

ISSN 2412-4338



**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Є ЧЛЕНОМ МІЖНАРОДНОГО СОЮЗУ
ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ



ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Науковий журнал

Виходить щоквартально

Засновано в січні 2003 р.

№ 4(57) 2017

Київ

Державний університет телекомунікацій

2017

Телекомунікаційні та інформаційні технології

Свідоцтво про державну реєстрацію № 20746-10546ПР від 30.04.2014 р. (перереєстрація)

До 2013 р. – Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 6846 від 04.01.2003 р.

Засновник: Державний університет телекомунікацій

Журнал є науковим фаховим виданням України –

Наказ Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Козелков Сергій Вікторович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Бондарчук Андрій Петрович – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Торошанко Ярослав Іванович – к.т.н., с.н.с., Державний університет телекомунікацій, Україна.

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Беркман Любова Наумівна – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Блаунштейн Натан Олександрович – д.т.н., проф., Університет Бен Гуріона, Ізраїль.

Весоловський Кишиштоф – д.т.н., проф., Познанський технологічний університет, Польща.

Вишнівський Віктор Вікторович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Гаврилко Євген Володимирович – д.т.н., с.н.с., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Гостєв Володимир Іванович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Зеневич Андрій Олегович – д.т.н., проф., Білоруська державна академія зв'язку, Білорусь.

Каток Віктор Борисович – к.т.н., доцент, ПАТ «Укртелеком», Україна.

Климаш Михайло Миколайович – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Конахович Георгій Філімонович – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, Україна.

Козелкова Катерина Сергіївна – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Коришун Наталія Володимирівна – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.

Кузнецов Олександр Петрович – д.т.н., проф., Білоруський Держ. унів-т інформатики та електроніки, Білорусь

Куртєв Іван – д.т.н., проф., Вище училище-коледж телекомунікацій та пошт, Болгарія.

Лунтовський Андрій Олегович – д.т.н., проф., Державна академія Саксонії «Беруфсакадемія», Німеччина.

Отрох Сергій Іванович – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.

Попов Валентин Іванович – д.ф.-м.н., проф., Ризький технічний університет, Латвія.

Поповський Володимир Володимирович – д.т.н., проф., Харківський нац. унів-т радіоелектроніки, Україна.

Смирнов Микола Ісаакович – д.т.н., проф., Московський технічний університет зв'язку та інформатики, Росія.

Сторчак Каміла Павлівна – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.

Сундучков Костянтин Станіславович – д.т.н., проф., Національний технічний унів-т України «КПІ», Україна.

Толубко Володимир Борисович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

Тумасонієне Інга – д.т.н., доц., Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва.

Тумасоніс Романос – доктор інформатики, доц., Вільнюський університет прикладних наук, Литва.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР З АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Таницюра Людмила Іванівна – Державний університет телекомунікацій, Україна.

Рекомендовано до друку Вченою радою Державного університету телекомунікацій
(протокол № 9 від 13 листопада 2017 р.)

Редакція може не поділяти думок авторів. Відповідальність за зміст наданих матеріалів несуть автори.

Передплатний індекс:
86479

Журнал індексується в наукометричних базах
Google Scholar, РИНЦ.
Реферативна інформація видання представлена у
загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова»
та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ «Джерело»

Адреса редакції та видавця: ДУТ. Вул. Солом'янська, 7, м. Київ, Україна, 03110

Тел.: +380 (50) 555 51 14, +380 (44) 249 25 88

E-mail: tit@dut.edu.ua . Сайт: <http://www.journal.dut.edu.ua>

© Державний університет телекомунікацій, 2017

© Телекомунікаційні та інформаційні технології, 2017

ЗМ І С Т

| | |
|---|-----|
| Козелков С. В., Коршун Н. В. Аналіз умов розповсюдження радіохвиль для забезпечення технологій 4G та 5G | 5 |
| Барабаш О. В., Гайдур Г. І., Дахно Н. Б., Шевченко Г. В. Математична модель мережевої рівноваги для випадку конкурентної боротьби в умовах неповної інформованості | 11 |
| Трембовецький М. П., Заїка В. Ф. Особливості архітектурного і функціонально-структурного проектування систем та мереж зовнішнього зберігання і обробки даних | 22 |
| Бондарчук А. П. Модель взаємодії інформаційних систем в умовах конфлікту ... | 33 |
| Торошанко Я. І., Якимчук Н. М. Аналіз і моделювання різнорідного самоподібного трафіку комп'ютерних мереж | 41 |
| Мельник Ю. В., Мельник В. Ю. Принципи інтелектуального управління телекомунікаційними мережами нового покоління | 51 |
| Зибін С. В. Підсистеми і модулі системи підтримки прийняття рішень. Алгоритми функціонування | 57 |
| Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипник В. В. Шляхи підвищення надійності відновлюваних систем мереж майбутнього | 70 |
| Ткаченко О. М., Дищук А. С., Білий О. А., Нагнибіда М. К. Синтез мультисервісних мереж з використанням методів теорії ігор | 79 |
| Колченко Г. Ф., Поскрипко Д. Ю. Практичні аспекти мотивації персоналу телекомунікаційного підприємства | 85 |
| Швець І. П. Компенсаційні методи захисту від завад у безпроводовій локальній мережі | 93 |
| Лосєв Є. О. Розробка алгоритму оптимального прийому багатопозиційних сигналів при невідомих апіорних даних | 102 |
| Лосєв М. О. Модель комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі | 109 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| Kozelkov S. V., Korshun N. V. Analysis of conditions of radio waves propagation for 4G and 5G technologies | 5 |
| Barabash O. V., Haidur H. I., Dakhno N. B., Shevchenko H. V. Mathematical model of the network equilibrium for the case of competition in the conditions of incomplete awareness | 11 |
| Trembovetskyi M. P., Zaika V. F. Features of architectural and functional-structural design of systems and networks of external storage and data processing | 22 |
| Bondarchuk A. P. Interaction model of information systems in conflict condition | 33 |
| Toroshanko Ya. I., Yakymchuk N. M. Analysis and modelling of heterogeneous similar traffic of computer networks | 41 |
| Melnyk Yu. V., Melnyk V. Yu. Principles of intellectual management of telecommunication new generation networks | 51 |
| Zybin S. V. Subsystems and modules of decision support system. Function algorithms | 57 |
| Otrokh S. I., Kravchenko V. I., Holubenko O. I., Zahryazhska M. V., Skrypnik V. V. Ways to increase the reliability of renewable systems of the future networks | 70 |
| Tkachenko O. M., Dyshchuk A. S., Bilyi O. A., Nahnybida M. K. Synthesis of multiservice networks using the game theory methods | 79 |
| Kolchenko G. F., Poskrypko D. Yu. Practical aspects of motivation of personnel telecommunication enterprise | 85 |
| Shwets I. P. Compensative methods of hindrances protecting in wireless local network ... | 93 |
| Losiev Ye. O. Development of algorithm for optimal reception of multiposition signals at unknown a priori data | 102 |
| Losiev M. O. Model of the combined information technology of data processing in the satellite system | 109 |

УДК 621.396.662.072.078

Козелков С. В., Коршун Н. В.

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ УМОВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 4G ТА 5G

Проаналізовано питання впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів, що використовуються в технологіях 4G і 5G. Досліджено характер впливу на якість зв'язку основних радіофізичних явищ, що мають місце при розповсюдженні широкопалосних надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів. Отримано загальні аналітичні вирази для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Ключові слова: супутниковий зв'язок, надвисокочастотні та вкрай високочастотні радіосигнали, загасання, багатопроменеве поширення.

Kozelkov S. V., Korshun N. V.

State University of Telecommunications, Kyiv

ANALYSIS OF CONDITIONS OF RADIO WAVES PROPAGATION FOR 4G AND 5G TECHNOLOGIES

Impact of the radio waves propagation environment on durability of radio signals which are used in 4G and 5G technologies was analyzed. The of main radio-physical phenomena which take and place at passing of broadband super-high-frequency and extremely high-frequency radio signals through troposphere are systematized. The of nature of influence of radiophysical phenomena on the quality of communication was researched. It of is rotined that the quantitative degree of influence of radio-physical processes on quality of passing to information depends on the length of troposphere radio-section connection. Common of analytical expressions are got for exact determination of length of troposphere area of most essential in the applied relation satellite radioline and finding of dependence of this length from the size of workings place corners.

Keywords: satellite communication, ultrahigh frequency and extremely high frequency radio signals, attenuation, multipath propagation.

Козелков С. В., Коршун Н. В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 4G И 5G

Проанализированы вопросы влияния среды распространения радиоволн на стойкость радиосигналов, которые используются в технологиях 4G и 5G. Исследован характер влияния на качество связи основных радиофизических явлений, которые имеют место при распространении широкополосных сверхвысокочастотных и крайне высокочастотных радиосигналов. Получены общие аналитические выражения для точного определения длины тропосферного участка наиболее важных в прикладном отношении спутниковых радиоліній и нахождения зависимости данной длины от величины рабочих углов места.

Ключевые слова: спутниковая связь, сверхвысокочастотные и крайне высокочастотные радиосигналы, затухания, многолучевое распространение.

© Козелков С. В., Коршун Н. В., 2017

Вступ. На сьогодні супутниковий зв'язок являє собою найбільш комерціалізований космічний сектор з використанням наземного прийому. Традиційно «телекомунікації» стосуються двох фундаментально відмінних концепцій з операційної точки зору, хоча обидві вимагають використання радіочастот (або, що не відноситься, як правило, до супутникового зв'язку, кабелів і проводів), технічно-операційні мережі між ними часто є "розмитими" і, як наслідок, їх не завжди приймають різними за своєю природою: двосторонній зв'язок «точка-точка» (традиційно телефон, телефакс, телеграф і т.д.) і односторонній багатоточковий зв'язок («трансляція», що включає в себе радіо і телебачення) відповідно. Останнє є предметом регулювання окремими правилами. При цьому супутниковий зв'язок сприймається як просте використання радіосигналів для спілкування в обидві сторони з різними об'єктами в космічному просторі – це супутники дистанційного зондування Землі, зондів далекого космосу або пілотованих космічних апаратів, а також супутниковий зв'язок з використанням спеціально сконструйованих супутників як частини інфраструктури для передачі повідомлень.

Міжнародний союз електрозв'язку як основний законодавець галузі визначив дев'ять частотних діапазонів відповідно до свого Регламенту і дванадцять частотних діапазонів відповідно до стандарту IEEE 521-2002. При цьому визначені космічні послуги потенційним споживачам.

Таким чином, з'являється можливість створення не тільки перспективної мережі мобільного зв'язку з використанням супутникового сегмента, а й використання орбітальної побудови космічних апаратів для створення глобальної інформаційної мережі технологій 4G і 5G. З огляду на головні принципи і підходи до 5G визначені ключові рішення і потенційні технологічні компоненти 5G.

Дослідження особливостей впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів. В даний час стрімко розвивається світовий супутниковий ринок, особливо в напрямку використання наносупутників як транспортного середовища. Особливий інтерес для забезпечення глобального характеру інформаційної мережі 5G представляє побудова супутникових систем за типами та класифікацією орбіт і вибору висот орбіт для низькоорбітальної побудови.

З огляду на радіочастоти, що використовуються в технологіях 4G і 5G, особливо гостро постає питання впливу середовища поширення радіохвиль на стійкість радіосигналів відповідно до розробленої класифікації.

Сучасні світові тенденції направлені на практичне освоєння сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль. Оскільки тропосферна ділянка – невід'ємна частина проходження більшості реальних надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів космічних апаратів (КА), а особливості тропосферного розповсюдження ширококутових сигналів сантиметрового і міліметрового діапазонів вивчені недостатньо повно, доцільно провести аналіз специфікації ефектів вказаного вище розповсюдження радіохвиль та оцінити їх вплив на якість передачі інформації.

Розглянемо особливості нижньої частини атмосфери – тропосферу: наявність в ній гідрометеорів в рідкому та твердому стані – крапель води та снігу. Систематизуємо основні радіофізичні явища, що відбуваються при проходженні ширококутових надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів через тропосферу з вказанням характеру їх впливу на ефективність функціонування систем зв'язку. Результати даної класифікації наведені в табл. 1.

Зазначимо, що конкретний (кількісний) ступінь впливу описаних в таблиці радіофізичних процесів на якість передачі інформації залежить від протяжності тропосферної ділянки радіолінії зв'язку. Внаслідок цього має теоретичний та практичний інтерес отримання загальних аналітичних виразів для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Класифікація радіофізичних явищ

Табл. 1

| № з/п | Найменування фізичного ефекту | Причини виникнення фізичного ефекту | Характер впливу на якість зв'язку |
|-------|---|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1.1 | Загасання сигналів | а) молекулярне загасання в "спокійній" тропосфері; б) загасання в гідрометрах | Зниження енергетичного потенціалу Те саме |
| 1.2 | Розсіювання сигналів | а) розсіювання в гідрометрах; б) турбулентний розсіювання | Те саме |
| 1.3 | Рефракція радіохвиль | а) регулярна рефракція б) флуктуація коефіцієнта заломлення | Те саме |
| 1.4 | Мерехтіння сигналів | а) мерехтіння внаслідок рефракції радіохвиль; б) мерехтіння в турбулентностях; в) мерехтіння в водних або льодомістячих хмарах. | Те саме |
| 1.5 | Доплерівські спотворення (зміщення і деформації спектра) сигналів | Варіації коефіцієнта заломлення хвиль в середовищі поширення | Те саме |
| 1.6 | Зниження просторової і поляризаційної вибірковості антен | Зростання помилок і втрат наведення антен | Те саме |
| 1.7 | Зменшення ефективного коефіцієнта підсилення антен | а) флуктуації кута приходу хвилі б) порушення когерентності (фазової декореляції) сигналів по апертурі через фазову дисперсію траєкторій променів | Те саме |
| 1.8 | Випромінювання (шум) тропосфери | а) випромінювання "спокійної" тропосфери б) випромінювання гідрометеорів в) випромінювання турбулентності | Поява додаткової перешкоди і спотворень |
| 1.9 | Дифракція радіохвиль | Дифракція на рельєфі місцевості | Те саме |
| 1.10 | Утворення тропосферних хвилеводних каналів | а) приймальні "хвилеводи"; б) підняті "хвилеводи" | |
| 1.11 | Деполаризація радіохвиль | а) деполаризація в гідрометеорах; б) деполаризація в турбулентних утвореннях; в) деполаризація внаслідок фарадеевських обертань; г) деполаризація в водних або льодомістячих хмарах; д) деполаризація внаслідок багатопроменевого поширення. | |

Класифікація радіофізичних явищ

Продовження табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|--|---|
| 1.12 | Зростання рівня внутрішньо-міжканальних перешкод | а) зниження просторової і поляризаційної вибіркості антен; б) утворення просторових хвилеводних каналів; в) дифракція на рельєфі місцевості. | |
| 1.13 | Багатопроменеве поширення | а) дискретна багатопроменевість (рахункова множина). | Обмеження максимальної швидкості променів |
| 1.14 | Дисперсійні властивості тропосфери | а) амплітуда дисперсія внаслідок нерівномірного загасання в смузі частот сигналу; б) амплітудно-фазова дисперсія в турбулентних утвореннях | Те саме |
| 1.15 | Зростання рівня спотворень сигналів | Збільшення втрат при оптимальній обробці сигналів внаслідок обмеження смуги і радіусу когерентного тропосферного каналу | |

З метою отримання таких аналітичних виразів використаємо геодезичну модель Землі, що описується геоїдом, та врахуємо також відомі відмінності по висоті тропосферного шару в екваторіальній і при полюсних областях. Тоді можна показати, що шукана довжина в діапазоні значень кута місця $\varphi \in [-85^\circ, +85^\circ]$ визначається з наступної формули:

$$d = |x - x_1| \sqrt{1 + K_1^2} ; \quad (1)$$

де K_1 – коефіцієнт еліптичності, причому

$$K_1 = \frac{\sin \varphi + K \cos \varphi}{\cos \varphi - K \sin \varphi} ; \quad (2)$$

$$K_1 \doteq \operatorname{tg} \varphi ; \quad (3)$$

$$|x - x_1| = -\frac{(b + \beta)^2 x_1 + K_1 y_1 (a + \alpha)}{(b - \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2} \pm \frac{\sqrt{\left[\left[(b + \beta)^2 x_1 + K_1 y_1 (a + \alpha) \right]^2 - \left[(b + \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2 \right] \times \left[(a + \alpha)^2 (b + \beta)^2 - (b + \beta)^2 x_1^2 - (a + \alpha)^2 y_1^2 \right] \right.}}{(b + \beta)^2 + K_1^2 (a + \alpha)^2} , \quad (4)$$

де a, b – велика та мала напівосі земного геоїда (в кілометрах);

$(a + \alpha), (b + \beta)$ – апогей та перигей тропосферного еліпсоїда (в кілометрах), що описується рівнянням вигляду:

$$\frac{x^2}{(a + \alpha)^2} + \frac{y^2}{(b + \beta)^2} = 1 ; \quad (5)$$

$\{x_1, y_1\}$ – географічні координати наземного терміналу радіолінії.

При цьому

$$x_1 = \frac{ab}{\sqrt{b^2 + K^2 a^2}}; \quad (6)$$

$$y_1 = \frac{Kab}{b^2 + K^2 a^2}. \quad (7)$$

Вважаючи, що наземний термінал радіолінії розташований на географічній широті 45° , використовуючи формули (1)-(7), знаходимо кількісну залежність d від значення φ . Результати розрахунків графічно представлені на рис. 1 (суцільна лінія), приведені також відповідні залежності для вертикальної (штрихпунктирна лінія) та горизонтальної (штрихова лінія) складових загальної довжини d тропосферної ділянки супутникової радіолінії.

Аналіз кривих показує, що збільшення діапазону робочих кутів місця, пов'язане зі зростанням протяжності тропосферної ділянки радіоліній, що використовуються, неминуче супроводжується збільшенням ступеня впливу даних ефектів. При цьому очевидно, що підвищення робочої частоти та (або) розширення спектральної смуги передачі радіоліній неминуче супроводжується збільшенням ступеня впливу даних ефектів, що, в свою чергу, обумовлює необхідність обмеження робочого сектору надійного радіозв'язку все більшими значеннями кутів місця.

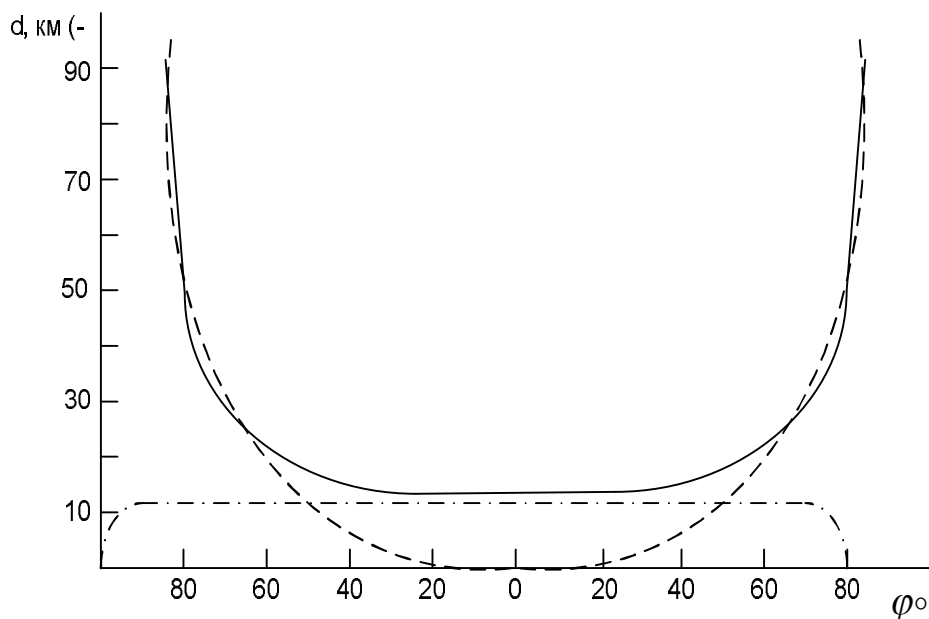


Рис.1. Результати розрахунків

Таким чином, вибір частотних параметрів ліній зв'язку здійснює істотний вплив на цілий ряд характеристик радіоліній. Це свідчить про необхідність комплексного підходу до розробки, проектування та експлуатації радіосистем та, в першу чергу, про доцільність спільного цілеспрямованого врахування радіофізичних, радіотехнічних та інших факторів.

Висновки

Досліджено характер впливу на якість зв'язку основних радіофізичних явищ, що мають місце при розповсюдженні широкосмугових надвисокочастотних та вкрай високочастотних радіосигналів. Отримано загальні аналітичні вирази для точного визначення довжини тропосферної ділянки найбільш важливих в прикладному відношенні

супутникових радіоліній та знаходження залежності даної довжини від величини робочих кутів місця.

Незважаючи на задовільний рівень вивченості «традиційних» радіофізичних ефектів тропосферного розповсюдження НВЧ радіохвиль, недостатньо повно досліджені специфічні явища при проходженні ширококутових сигналів міліметрового діапазону довжин хвиль. Це істотно стримує подальший прогрес в практичній організації та високоефективній експлуатації надшвидкісних НВЧ радіоліній цифрового зв'язку. Тому основною метою досліджень ефектів розповсюдження міліметрових є виявлення та всебічне вивчення специфічних для НВЧ діапазону явищ, в даному випадку – стосовно проблеми створення високошвидкісних когерентних каналів синхронної передачі цифрової інформації.

Список використаної літератури

1. Мороз І. В. Спосіб адаптивного прийому вкрай високочастотних радіосигналів / І. В. Мороз, В. Ф. Заїка, С. В. Козелков // Зв'язок. – 2016. – №3. – 7-9.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Бернард Скляр. – 2 изд. – Москва: Вильямс, 2007. – 1104 с.
3. Быховский М. А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем / М. А. Быховский. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2014. – 436 с.

References

1. Moroz I. V., Zaika V. F., Kozelkov S. V. "Method of adaptive reception of ultrahigh-frequency radio signals." *Zviyazok 3* (2016): 7-9.
2. Sklyar B. "Digital Communications: Fundamentals and Applications." *Moskva: Wiliams* (2007): 1104.
3. Byhovskiy M. A. "Development of telecommunications. On the way to the information society. Development of satellite telecommunication systems." *Moskva: Goryachaya liniya-Telecom* (2014): 436.

Автори статті

Козелков Сергій Вікторович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 542 27 73. E-mail: nniti_dut@ukr.net.

Коршун Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету телекомунікацій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Authors of the article

Kozelkov Serhiy Viktorovych – doctor of sciences (technical), director of the educational-scientific institute of telecommunications and informatization, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 542 27 73. E-mail: nniti_dut@ukr.net.

Korshun Nataliia Volodymyrivna – candidate of sciences (technic), assistant professor, dean of telecommunications faculty, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 24.08.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор М. М. Степанов
Державний університет телекомунікацій, м. Київ

УДК 004.65

Барабаш О. В., Гайдур Г. І., Дахно Н. Б., Шевченко Г. В.*Державний університет телекомунікацій, м. Київ***МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕРЕЖЕВОЇ РІВНОВАГИ ДЛЯ ВИПАДКУ
КОНКУРЕНТНОЇ БОРОТЬБИ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ІНФОРМОВАНОСТІ**

Формулюється оптимізаційна задача, щодо кількісних, якісних і часових характеристик, яка виникає перед особою, що приймає рішення і реалізує вибір альтернатив, базуючись на оцінюванні множини цілей, котрі часто є непорівнянними і суперечливими. Представлений точний алгоритм та схему обчислення для варіаційної нерівності спеціального вигляду, який дозволяє визначити рівноважний бюджет і явні витрати для структури абстрактної мережі, що лежить в основі даної задачі. Наведений числовий приклад.

Ключові слова: *граничний відгук, максимізація відгуку, оптимальні умови Кюна-Такера, рівновага Неша*

Barabash O. V., Haidur H. I., Dakhno N. B., Shevchenko H. V.*State University of Telecommunications, Kyiv***MATHEMATICAL MODEL OF THE NETWORK EQUILIBRIUM FOR THE CASE
OF COMPETITION IN THE CONDITIONS OF INCOMPLETE AWARENESS**

In this paper a network equilibrium framework for the modeling and analysis of competitive firms engaged in Internet advertising among multiple websites was developed. The optimization problem is formulated in relation to the quantitative, qualitative and temporal characteristics that arises before the decision maker (ODA) and implements the choice of alternatives, based on the evaluation of a set of goals that are often incompatible and contradictory. A scheme of equilibrium of the network was developed for modeling and analysis of the behavior of competing firms that advertise on many websites. A precise algorithm for the variational inequality of a special form is presented, which allows us to determine the equilibrium budget and the explicit expenses of advertising and shows that the solution of variational inequality satisfies the main equilibrium conditions for the model under consideration. The computation scheme in which the structure of the abstract network, which forms the basis of this task, is used. A numerical example is given.

Keywords: *limit response, maximization of response, optimal Cune-Tucker conditions, Nash equilibrium*

Барабаш О. В., Гайдур Г. І., Дахно Н. Б., Шевченко Г. В.*Государственный университет телекоммуникаций, м. Киев***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕТЕВОГО РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ СЛУЧАЯ
КОНКУРЕНТНОЙ БОРЬБЫ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМИРОВАННОСТИ**

Формулируется оптимизационная задача относительно количественных, качественных и временных характеристик которая возникает перед лицом, принимающим решение (ОПР) и реализующим выбор альтернатив, базирясь на оценивании множественного числа целей, которые часто являются несравнимыми и противоречивыми. Представлен точный алгоритм и схема вычисления для вариационного неравенства специального вида, которые позволяют определить равновесный бюджет и явные расходы для структуры абстрактной сети, которая лежит в основе данной задачи. Приведен числовой пример.

Ключевые слова: *предельный отзыв, максимизация отзыва, оптимальные условия Кюна-такера, равновесие Нэша*

© Барабаш О. В., Гайдур Г. І., Дахно Н. Б., Шевченко Г. В., 2017

Вступ. Цілісний математичний опис прийняття рішення щодо розроблення рекламного бюджету можна розподілити на дві великі підсистеми: визначення загального обсягу коштів, що асигнуються на рекламу та розподіл цих коштів за статтями витрат. Між цими підсистемами існує обмін різною за своєю природою інформацією. Але при цьому деякі елементи інформації можна описати кількісними методами, що ґрунтуються на диференціальних рівняннях у частинних похідних, або алгебраїчних регресійних співвідношеннях.

Проте не завжди вдається отримати точну цифру, оскільки, як правило, немає повної картини взаємозв'язку між контактами споживача з рекламою і його діями у відповідь. Отже, кількісні оцінки розмиваються і їм у відповідність ставлять деякі нечіткі підмножини. Аналітичний підхід базується на пошуку функціональної залежності між бюджетом і рівнем досяжності мети. Неаналітичний підхід заснований на логіці здорового глузду, досвіді людини, що дає змогу відкидати неправильні розв'язки, які суперечать умовам задачі.

В статті сформульовано оптимізаційну задачу щодо кількісних, якісних і часових характеристик, яка виникає перед особою, що приймає рішення (ОПР) і реалізує вибір альтернатив, базуючись на оцінюванні множини цілей, котрі часто є непорівнянними і суперечливими. Розроблення і прийняття рішень через свою складність можливо лише на базі людино-машинних процедур. Людині відведено роль особи, що формує задачу, аналізує результати і приймає остаточне рішення.

Шляхом аналізу отриманої задачі також встановлюється, що в рівновазі граничні відгуки на всіх носіях дорівнюють граничному відгуку на додаткову одиницю витрат, а бюджет фірми на інтернет-рекламу є зростаючою функцією від граничного відгуку.

Постановка задачі в загальному вигляді. Припускається, що одна і та сама ІТ-послуга, може пропонуватись N фірмами в усіх середовищах. Фірми планують показники своєї діяльності і прогнозують дії конкурента. Кожна сторона має свою цільову функцію. Суб'єкти діють незалежно і жодна сторона не знає ані цільової функції, ані параметрів інших сторін. При цьому, для одних цілей оптимальні розв'язки відповідають мінімальному значенню відповідного критерію, а для інших – максимальному. Крім того, стратегії суб'єктів протидіють одна одній.

Отже, ситуація залежить не тільки від зовнішніх умов, але і від стратегії сторін. Тому дії сторін зумовлюють потребу зміни не тільки параметрів, але і цілей у процесі розвитку ситуації.

Для фірми n ; $n = 1, 2, \dots, N$: нехай f_{ni} означає витрати на інтернет-рекламу і нехай f_{nd} витрати на рекламу в інших засобах. Також пропонується модель мережевої рівноваги в сенсі Неша, яка враховує вибір таких параметрів діяльності фірми, щоб у найгіршій ситуації мати максимально можливі для себе значення цільової функції. Згрупуємо f_{ni} та f_{nd} , $n = 1, 2, \dots, N$ відповідно в вектори f_i, f_d . Всі вектори вважаються векторами-стовпцями.

Нехай $r_{ni}(f_i)$ та $r_{nd}(f_d)$ позначають відгук споживачів на витрати f_i та f_d відповідно. Припускається, що відгук споживачів на витрати на інтернет-рекламу залежить лише від витрат, які було зроблено саме на дане середовище. Це припущення менш строге, ніж в інших аналогічних дослідженнях.

Можна знехтувати крос-медійним ефектом, але потрібно врахувати крос-фірмовий ефект, оскільки ступінь ризику при конкуренції залежить, як від ймовірності вибору супротивником певної стратегії, так і від ймовірності розпізнавання цієї стратегії. Рівень ризику визначає розмір збитку кожної із сторін. В той же час було враховано основні механізми маркетингу [1, 2].

Вважається, що $r(f_j), j=i, d$ є зростаючою, диференційованою та угнутою функцією від f_j . Припускається, що кожна фірма n має загальний рекламний бюджет C_n .

Задача оптимального розподілу бюджету, з якою зустрічається фірма n , при припущенні, що вона бажає максимізувати споживчий відгук через всі середовища, в межах бюджету, можна висловити, як наступну багатокритеріальну оптимізаційну задачу:

$$\left\{ \left\{ r_{ni}(f_i) + r_{nd}(f_d) \right\} \right\} \xrightarrow{f_{ni}, f_{nd}} \max, \quad (1)$$

за умов

$$f_{ni} + f_{nd} \leq C_n, \quad (2)$$

$$f_{ni} \geq 0, f_{nd} \geq 0. \quad (3)$$

Аналіз останніх публікацій. Задача мережевої рівноваги для випадку рівноваги транспортної мережі з еластичним попитом, досліджено в статтях [3, 4]. Для розв'язання використовувались методи теорії варіаційних нерівностей в асиметричному випадку. В цих випадках умови рівноваги не можна переформулювати як умови Кюна-Такера і пов'язаною з ними оптимізаційною задачею [5]. Задачі рівноваги мережі, включаючи задачі рівноваги транспортної мережі, розглядались в роботі [5, 6].

Задачі теорії ігор, як було доведено в статті [7], а звідси і олігопольні задачі допускають формалізацію умов рівноваги в сенсі Неша через варіаційні нерівності. Формалізацію і розв'язання подібних задач виконують за схемою, представленою в роботі [8] лише з відмінністю, що замість двох, оптимізують k функцій [9]. Конкуренція з асиметричною інформацією є предметом інших досліджень [10, 11].

На практиці сторони не тільки не повідомляють одна одній які-небудь достовірні відомості про свої дії, але й свідомо дезінформують як щодо цілей, так певних параметрів. Під час розкриття невизначеності дій конкуруючих фірм постає задача оцінювання ступеня і рівня ризику. Таким чином, функції відгуку можуть бути побудовані на асиметричній інформації. Зацікавленість в дослідженні цих тенденцій носить як теоретичний, так і практичний характер [12, 13].

Метою статті є оптимізація визначення величини та розподілу рекламного бюджету фірми в умовах конкуренції, неповної інформованості і невизначеності цілей. Як наслідок вирішується задача вимірювання ефективності реклами на традиційних носіях, оскільки невизначеним є питання про зв'язок між розподілом бюджету на розміщення реклами на традиційних носіях та відгуком на нього. Отже, в силу невизначеності і неповноти інформованості важко визначити кількість інвестицій в традиційну рекламу і прибуток від неї. У випадку розміщення реклами в інтернеті, навпаки, можна точно встановити залежність між інвестиціями і відгуком.

Таким чином задача багатокритеріальної оптимізації з суперечливими цілями (мінімізація витрат і максимізація відгуку) вирішується побудовою моделі, за допомогою якої можна зосередитись на знаходженні рівноваги (яка є оптимальною) інтернет-витрат, і тоді, та частина бюджету, яка залишається, буде оптимальною сумою, яку слід розмістити на традиційних носіях.

Оптимізаційна задача визначення величини та розподілу рекламного бюджету. Припускається, що на даний момент N фірм конкурує на M сайтах і кожна з них намагається максимізувати свій персональний відгук [1]. Нехай, $f_{mn} \quad m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N$ означає витрати фірми n на сайті m , де $f_{mn} \geq 0$. Витрати на інтернет-рекламу f_{mn} були згруповані в невід'ємні вектори $f \in R_+^{MN}$. Для позначення граничного відгуку на дії фірми щодо онлайн-реклами використовується η_n .

Рекламний бюджет фірми n на онлайн-рекламу b_n є зростаючою функцією від η_n і може бути записаним наступним чином:

$$b_n = b_n(\eta_n), \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Якщо позначити відгук споживачів, який отримує фірма n від сайту m через r_{mn} , тоді природньо припустити, що

$$r_{mn} = r_{mn}(f), \quad (5)$$

яка є зростаючою і угнутою функцією від f , і тоді

$$r_n = r_n(f) = \sum_{m=1}^M r_{mn}(f) \quad (6)$$

є загальним відгуком в інтернет-середовищі для фірми. Функція r_n також має бути зростаючою і угнутою функцією від f [5, 6].

Тепер робиться припущення, що кожна із фірм намагається максимізувати онлайн-відгук в залежності від обмежень щодо онлайн-бюджету. Таким чином, фірма n , $n=1, \dots, N$ в умовах конкуренції зустрічається з наступною оптимізаційною проблемою.

$$r_n(f) \xrightarrow{f_{1n}, \dots, f_{Mn}} \max, \quad (7)$$

за умов

$$\sum_m f_{mn} \leq b_n(\eta_n), \quad (8)$$

$$f_{mn} \geq 0, m = 1, 2, \dots, M. \quad (9)$$

Тут припускається, що η_n необов'язкові дані. Якщо η_n дано, фірма повинна пов'язати $b_n(\eta_n)$, онлайн-реклами з задачею (7)-(9), яку потрібно розв'язати, щоб визначити оптимальне $f_{mn}, m=1, 2, \dots, M$. Маркетингова дія покращується і η_n збільшується, а в результаті збільшується бюджет $b_n(\eta_n)$. В рівновазі, проте, η_n більше не є необов'язковим значенням, а визначається розміщенням f . Формально, це можна обгрунтувати за допомогою наступного твердження, в якому також припускається, що конкуренція між фірмами в сенсі Неша, виражається в не-кооперативній грі [9, 10].

Твердження 1 (рівновага Неша при інтернет-рекламуванні). Вектор $f^* = \{f_{mn}^*, m = 1, \dots, M; n = 1, \dots, N\}$ є рівноважним розподіленням бюджету для всіх фірм на всіх вебсайтах в сенсі Неша тоді і тільки тоді, коли він задовольняє наступним рівнянням і нерівностям для всіх фірм n і всіх сайтів m [1]:

$$\frac{\partial r_n(f^*)}{\partial f_{mn}} \begin{cases} = \lambda_n^*, f_{mn}^* > 0, \\ \leq \lambda_n^*, f_{mn}^* = 0, \end{cases} \quad (10)$$

$$\lambda_n^* \begin{cases} = 0, f_{ns}^* > 0, \\ \geq 0, f_{ns}^* = 0, \end{cases} \quad (11)$$

$$\sum_{m=1}^M f_{mn}^* + f_{ns}^* = b_n(\lambda_n^*). \quad (12)$$

Таким чином, в рівновазі граничні відгуки на всіх вебсайтах дорівнюють граничному відгуку на додаткову одиницю витрат цієї фірми на онлайн-рекламу, якщо використовується цей вебсайт.

Для розробки методики визначення оптимальної величини та оптимального розміщення рекламного бюджету розглянемо таку модель.

Нехай є граф G , в якому вершинами є N фірм та M сайтів. В графі додатково введено вершину з номером 0 (вершина виходу), яка відображає віртуальну фірму, що має сумарний рекламний бюджет мережі:

$$B = \sum_{n=1}^N b_n.$$

Вершини з номерами $1, 2, \dots, N$ – вершини виходу відображають фірми з рекламним бюджетом b_n .

Вершини, що позначають сайти, позначаються цифрами $m=1, 2, \dots, M$. Ребра графу поєднують кожен фірму (є вершинами виходу) з кожним сайтом (вершинами входу) та мають вагу f_{mn} – потік на шляху mn , де f_{mn} – витрати n -ої фірми на рекламування на m -му сайті. Невикористані частини бюджету f_{ns} : $n = 1, 2, \dots, N$ для кожної фірми представлені у вигляді петель.

Вектор потоку витрат задається як $f = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{MN})^T$, який є вектором у R^{MN}_+ . Потоки f_{ns} : $n = 1, 2, \dots, N$ представляють невід'ємні потоки на відповідних петлях і відповідають резервній частині бюджету [2].

Нехай тепер $u_{mn}(f)$ означає граничний прибуток від мережевого потоку f на шляху mn , який визначається таким чином:

$$u_{mn}(f) = \frac{\partial r_n(f)}{\partial f_{mn}}; m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N,$$

при цьому всі граничні прибутки на хибному шляху вважаються рівними нулю.

Еластичність попиту представлена $b_n(\cdot)$ для $n = 1, 2, \dots, N$. Тоді умови рівноваги (10)-(12) мають наступну інтерпретацію для рівноваги мережі: тільки ті шляхи, які забезпечують максимальний граничний прибуток, тобто, максимальні граничні відгуки використовуються (мають додатній потік) в рівновазі.

Перед тим, як встановити варіаційні нерівності для умов рівноваги Неша (10)-(12) вводяться наступні позначення. Оскільки бюджет на онлайн рекламу фірми $b_n(\lambda_n)$ є зростаючою функцією від граничного відгуку λ_n , то $\lambda_n = \lambda_n(b_n)$ є оберненою функцією $b_n(\cdot)$ і є також зростаючою функцією.

Тепер ми визначимо наступні вектори. Нехай

$$u(f) = (u_{mn}(f); m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N),$$

$$b = (b_n; n = 1, 2, \dots, N), \lambda(b) = (\lambda_n(b_n); n = 1, 2, \dots, N).$$

Тоді $u(f) \in R^{MN}_+$, $b \in R^n_+$ і $\lambda(b) \in R^n$. Умови рівноваги (10)-(12) можуть бути записані у еквівалентному вигляді: для всіх фірм $n = 1, 2, \dots, N$ і для всіх вебсайтів $m = 1, 2, \dots, M$:

$$\frac{\partial r_n(f^*)}{\partial f_{mn}} \begin{cases} = \lambda_n(b_n^*), f_{mn}^* > 0, \\ \leq \lambda_n(b_n^*), f_{mn}^* = 0, \end{cases} \quad (13)$$

$$\lambda_n(b_n^*) \begin{cases} = 0, f_{ns}^* > 0, \\ \geq 0, f_{ns}^* = 0, \end{cases} \quad (14)$$

$$\sum_{m=1}^M f_{mn}^* + f_{ns}^* = b_n(\lambda_n^*). \quad (15)$$

Тепер можна стверджувати наступне.

Твердження 2. (Формулювання у вигляді варіаційних нерівностей рівноваги Неша при інтернет-рекламуванні.) Вектор $(f^*, b^*) \in K^1$ є рівноважним згідно умов (13)-(15), еквівалентних (10)-(12) тоді і тільки тоді, коли він є розв'язком варіаційної задачі:

$$\langle u(f^*), f - f^* \rangle, \langle -\lambda(b^*), b - b^* \rangle \leq 0, \forall (f, b) \in K^1,$$

$$K^1 \equiv \left\{ (f, b) \mid (f, b) \in R_+^{MN+N}, \sum_{m=1}^M f_{mn} + f_{ns} = b_n, f_{ns} \geq 0; n = 1, 2, \dots, N \right\}, \quad (16)$$

де $\langle \cdot, \cdot \rangle$ означає внутрішній добуток у Евклідовому просторі потрібної розмірності.

Якщо $(f^*, b^*) \in K^1$ є розв'язком (10)-(12), тоді для $m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N$:

$$u_{mn}(f^*) - \lambda_n(b_n^*) = 0, f_{mn}^* > 0, \quad (17)$$

$$u_{mn}(f^*) - \lambda_n(b_n^*) \leq 0, f_{mn}^* = 0, \quad (18)$$

$$-\lambda_n(b_n^*) = 0, f_{ns}^* > 0, \quad (19)$$

$$-\lambda_n(b_n^*) \leq 0, f_{ns}^* = 0, \quad (20)$$

$$\sum_{m=1}^M f_{mn}^* + f_{ns}^* = b_n. \quad (21)$$

Нерівності (17) і (18) означають, що для $(f, b) \in K^1$ виконуються наступні нерівності:

$$(u_{mn}(f^*) - \lambda_n(b_n^*)) \times (f_{mn} - f_{mn}^*) \leq 0, \quad (22)$$

в свою чергу з (19) і (20) випливає, що

$$-\lambda_n(b_n^*) \times (f_{ns} - f_{ns}^*) \leq 0. \quad (23)$$

Взявши суму (22) по всіх m і n і (23) по всіх n і згрупувавши подібні, можна отримати:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (u_{mn}(f^*) \times (f_{mn} - f_{mn}^*) - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \lambda_n(b_n^*) \times ((f_{mn} - f_{mn}^*) + (f_{ns} - f_{ns}^*))) \leq 0, (f, b) \in K^1. \quad (24)$$

Застосувавши тепер (15) та визначення множини K^1 можна скоротити (24) до

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (u_{mn}(f^*) \times (f_{mn} - f_{mn}^*) - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \lambda_n(b_n^*) \times (b_n - b_n^*)) \leq 0, (f, b) \in K^1. \quad (25)$$

Але варіаційна нерівність (15) є записом у векторному вигляді нерівності (25). І навпаки, якщо $(f^*, b^*) \in K^1$ є розв'язком (16) для будь-яких $f_{ij}^* > 0$, можна покласти $f_{mn} = f_{mn}^*$ для будь-яких $(m, n) \neq (i, j)$, $f_{ns} = f_{ns}^*$ if $f_{ij} = f_{ij}^* + \delta$. Таким чином, $b_j = \sum_{m=1, m \neq i}^M f_{mj}^* + f_{js}^* + f_{ij}^* + \delta = b_j^* + \delta$, та $b_n = b_n^*$, для будь-яких $n \neq j$. Нерівність (16) скорочується до вигляду:

$$u_{ij}(f^*)\delta - \lambda_j(b_j^*)\delta \leq 0. \quad (26)$$

Враховавши, що оскільки δ може приймати додатне, або від'ємне значення, то (25) еквівалентно (13). З іншого боку, для будь-яких $f_{ij}^* = 0$, використовується той же підхід, але δ має бути додатнім.

Отже, (25) знову еквівалентно (16).

Крім того, можна помітити, що (14) еквівалентно (26). Для будь-яких $f_{ks}^* > 0$, беремо $f_{ns} = f_{ns}^*$ для будь-яких $n \neq k$, $f_{mn} = f_{mn}^*$ для будь-яких m, n і $f_{ks} = f_{ks}^* + \delta$. Тоді підстановка в (23) скорочує його до вигляду: $-\lambda_j(b_j^*)\delta \leq 0$.

Враховавши, що оскільки δ може приймати додатне, або від'ємне значення, то записана вище нерівність являє собою першу умову (17). З іншого боку, якщо $f_{ns}^* = 0$, то δ має бути додатнім. і вищезазначена нерівність являє собою другу умову (18). Що і потрібно було довести.

Важливо зазначити, що множина K^1 є опуклою необмеженою множиною в математичному сенсі. Але з маркетингової точки зору, доцільно вважати цю множину опуклою, обмеженою компактною множиною, оскільки онлайн-бюджет фірми b_n менший, або дорівнює загальному рекламному бюджету фірми, який в свою чергу не може бути нескінченним (отже необмеженим).

Із визначення $\lambda_n(b_n)$ в (14) можна зробити висновок, що це зворотня функція від $b_n(\lambda_n)$, де λ_n є граничним відгуком, якого досягла фірма n . $b_n(\lambda_n)$ є зростаючою функцією від λ_n тоді і тільки тоді, коли $\lambda_n(b_n)$ є зростаючою функцією. Якщо $\lambda_n(\cdot)$ є неперервною і диференційованою, то її сильна монотонність означає зростання $\lambda_n(\cdot)$ одночасно із зростанням $b_n(\cdot)$.

Алгоритм для обчислення рівноважного рекламного бюджету і розподілу бюджету. Представимо точний алгоритм для варіаційної нерівності спеціального вигляду, який дозволяє визначити рівноважний бюджет і явні витрати на рекламу і покажемо, що розв'язок варіаційної нерівності (16) можна наблизити послідовністю розв'язки відповідних варіаційних нерівностей спеціального вигляду. В алгоритмі використовується мережева структура задачі розміщення реклами в інтернеті.

Твердження 3. Нехай варіаційна нерівність (16) є квадратною з відокремлюваними змінними в сенсі для $m=1,2,\dots,M$; $n=1,2,\dots,N$:

$$u_{mn}(f) = \frac{\partial r_n(f)}{\partial f_{mn}} = a_{mn}f_{mn} + k_{mn}; \quad \lambda_n(b_n) = \alpha_n b_n + \beta_n,$$

де $a_{mn} < 0$, $\alpha_{mn} > 0$ – для того, щоб забезпечити сильну монотонність $-u(f)$ та $\lambda(b)$;

$k_{mn} > 0$ – для того, щоб забезпечити зростання $r_n(f)$ на допустимій множині K^1 ;

$\beta_n \leq 0$ – для того, щоб гарантувати невід'ємність бюджету b_n для будь-яких невід'ємних границь.

Тоді рівноважний Інтернет-бюджет для кожного $n=1,2,\dots,N$ та його розміщення можна розрахувати за наступним алгоритмом (рис. 1).

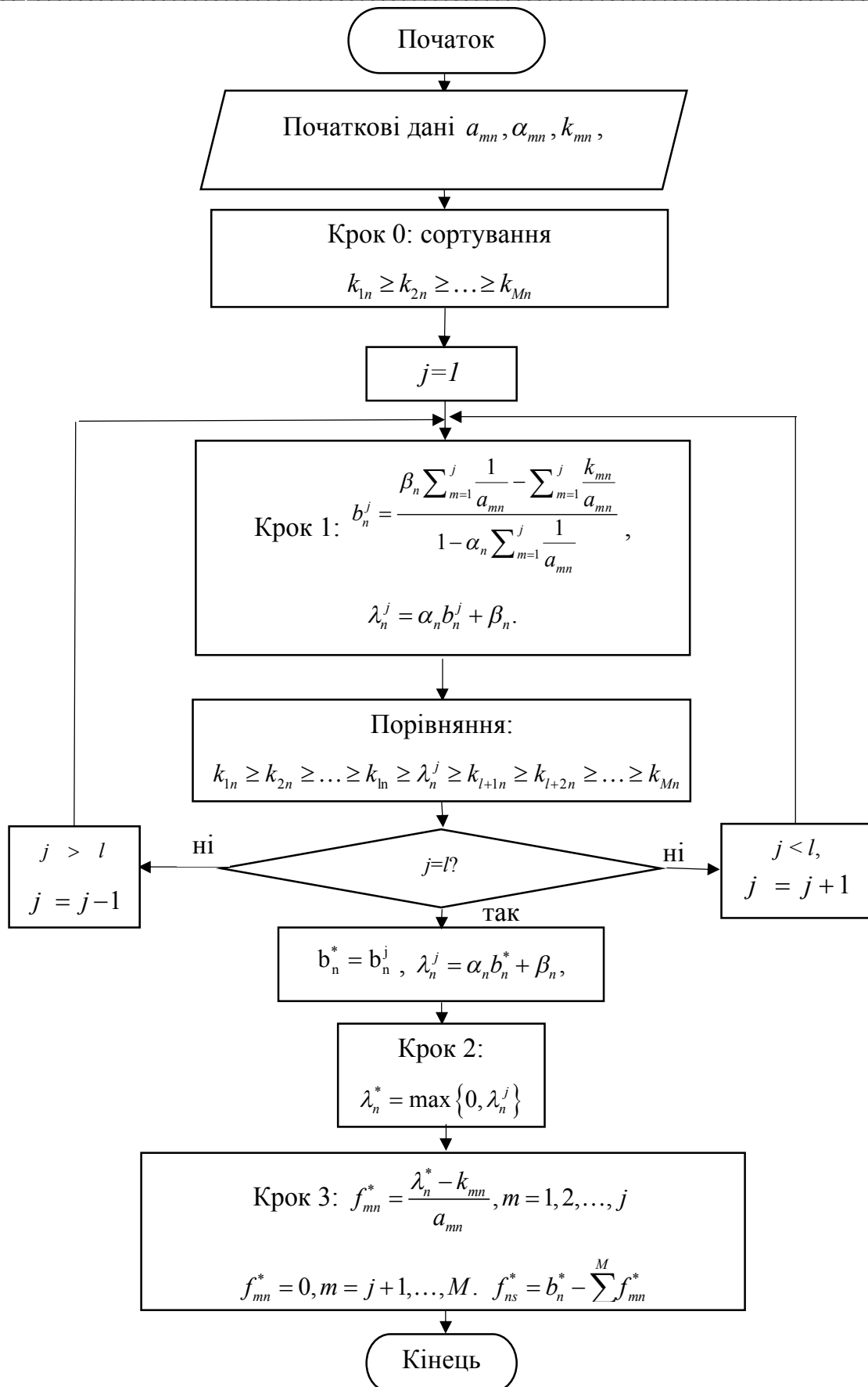


Рис.1. Методика визначення оптимальної величини та оптимального розміщення рекламного бюджету

Тепер буде наведено числовий приклад для ілюстрації застосування алгоритму точного обчислення, наведеного вище. Нехай є дві фірми конкуруючі на 3 веб-сайтах. Нехай функції відгуку (1000 одиниць) для онлайн-реклами

$$r_w = -\frac{2}{100000} f_w^2 + \frac{4}{100} f_w + 2.$$

Вважається, що рекламний бюджет складає 900 од (1 одиниця – 1000 грн), для того, щоб бюджет компанії на онлайн-рекламу був оптимальним, потрібно щоб:

$$f_{nw} = f_{mw}^0 + 25000(\eta_{nw} - 0.008).$$

Функції $u_{mn}(f) = \frac{\partial r_n(f)}{\partial f_{mn}} = a_{mn} f_{mn} + k_{mn}$ та $\lambda_n(b_n) = \alpha_n b_n + \beta_n$ матимуть вигляд:

$$u_{11}(f) = -5f_{11} + 90, \quad u_{21}(f) = -3f_{21} + 80, \quad u_{31}(f) = -f_{31} + 90,$$

$$u_{12}(f) = -2f_{12} + 45, \quad u_{22}(f) = -4f_{22} + 80, \quad u_{32}(f) = -2f_{32} + 100;$$

$$\lambda_1(b_1) = 8b_1 - 20, \quad \lambda_2(b_2) = 5b_2 - 10.$$

Застосувавши алгоритм точного встановлення рівноваги, наведений у Твердженні 3 та реалізувавши його за допомогою програми на мові Go до цього числового прикладу, можна отримати наступні розв'язки:

$$f_{11}^* = 2.0603, \quad f_{21}^* = 0.1005, \quad f_{31}^* = 10.3015, \quad b_1^* = 12.4623, \quad \lambda_1^* = 79.6985;$$

$$f_{12}^* = 0.0000, \quad f_{22}^* = 2.1052, \quad f_{32}^* = 14.2105, \quad b_2^* = 16.3158, \quad \lambda_2^* = 71.5790.$$

Умови (13)-(15), які еквівалентні (1)-(3), точно задовольняються цими розв'язками. Тобто отримано рівноважний розподіл бюджету.

Висновки

Запропоновано математичну модель мережевої рівноваги при інтернет-рекламуванні для випадку конкурентної боротьби при неповній інформованості щодо цілей та дій конкурентів, яка відрізняється додатковою множиною функцій і забезпечує можливість визначити обсяг рівноважного онлайн-бюджету для конкуруючих фірм, а також рівноважне розподілення бюджету на різних веб-сайтах. Було ідентифіковано мережеву структуру для задачі рівноваги в умовах конкуренції, розв'язання якої визначає розміри рівноважного онлайн бюджету за умов конкуренції фірм, а також рівноважні розміщення цих бюджетів в термінах вартості реклами.

Задача оптимізації розподілу рекламного бюджету формулюється через варіаційні нерівності для умов рівноваги в сенсі Неша і дозволяє не тільки враховувати оптимізацію відгуку, але і отримати рівноважний розподіл бюджету, як наслідок цієї оптимізації. Було запропоновано спеціальний алгоритм і далі показано як цей алгоритм можна звести до більш загального алгоритму варіаційних нерівностей.

Хоча в цій роботі обговорюються стратегії рівноважного розміщення реклами в інтернеті (що теж є оптимізацією), оптимальний стан не-інтернет рекламування досягається одночасно витратою тих коштів, які залишились в бюджеті після розміщення тієї кількості реклами в Інтернеті, яка була розрахована завдяки даній моделі.

Список використаної літератури

1. Шевченко Г. В. Математична модель мережевої рівноваги при інтернет-рекламуванні / Г. В. Шевченко, С. С. Мушта // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – № 5(39). – С. 59-64.
2. Шевченко Г. В. Математична модель мережевої рівноваги та алгоритм для обчислення рівноважного рекламного бюджету і його розподілу при інтернет-рекламуванні / Г. В. Шевченко, С. С. Мушта // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – № 6 (40). – С. 37-43.
3. Chatterjee P. Modeling the clickstream: implications for web-based advertising efforts / P. Chatterjee, D.L. Hoffman, T.P. Novak // *Marketing Science*. – 2003. – №22. – P. 520-541.
4. Zhao L. A network equilibrium framework for Internet advertising: Models, qualitative analysis and algorithms / L. Zhao, A. Nagurney // *European Journal of Operational Research*. – 2008. – №187. – P. 456-472.
5. Шевченко Г. В. Моделювання оптимального розміщення реклами підприємства з максимальним охопленням цільової аудиторії / Г. В. Шевченко // Формування ринкової економіки: збірник наукових праць. – Київ: КНЕУ, 2012. – № 28. – С. 501-514.
6. Dafermos S. An iterative scheme for variational inequalities / S. Dafermos // *Mathematical Programming*. – 1983. – №28. – P. 174- 185.
7. Reibstein D. Competitive responsiveness / D. Reibstein, D. Wittink // *Marketing Science*. – 2005. – №23. – P. 280-303.
8. Nash J.F. Noncooperative games / J.F. Nash // *Annals of Mathematics*. – 1951. – №54. – P. 286-298.
9. Dafermos S. Sensitivity analysis for the general asymmetric network equilibrium problem / S. Dafermos, A. Nagurney // *Mathematical Programming*. – 1984. – №28. – P. 174-184.
10. Zhao L. General economic equilibrium and variational inequalities / L. Zhao, S. Dafermos // *Operations Research Letters*. – 1991. – №10. – P. 369-376.
11. Бугрій О. Про єдиність розв'язку деякої нелінійної параболічної варіаційної нерівності в необмеженій області / О. М. Бугрій // *Математичний вісник НТШ*. – 2006. – Т. 3. – С. 5- 13.
12. Dafermos S. The general multimodal network equilibrium problem with elastic demand. *Networks* / S. Dafermos // *Operations Research*. – 1982. – №12. – P. 57-72.
13. Бугрій О. М. Деякі властивості розв'язків параболічних варіаційних нерівностей зі змінним ступенем не лінійності / О. М. Бугрій, О. Т. Панат // *Мат. методи та фіз.-мех. поля*. – 2006. – Т. 49. – № 2. – С. 99-107.

References

1. Shevchenko G.V., Mushta S.S. "Mathematical model of network equilibrium in Internet advertising." *Naukovi zapysky Ukrainkoho naukovo-doslidnoho instytutu zviyazku* 5(39) (2015): 59-64.
2. Shevchenko G.V., Mushta S.S. "Mathematical model of network equilibrium and algorithm for calculation of equilibrium advertising budget and its distribution at Internet advertising." *Naukovi zapysky Ukrainkoho naukovo-doslidnoho instytutu zviyazku* 6(40) (2015): 37-43.
3. Chatterjee P., Hoffman D. L., Novak T. P. "Modeling the clickstream: implications for web-based advertising efforts." *Marketing Science* 22 (2003): 520-541.
4. Zhao L., Nagurney A. "A network equilibrium framework for Internet advertising: Models, qualitative analysis and algorithms." *European Journal of Operational Research* 187 (2008): 456-472.
5. Shevchenko G.V. "Modeling optimal advertising of an enterprise with the maximum coverage of the target audience." *Formation of a market economy: a collection of scientific works* 28 (2012): 501-514.
6. Dafermos S. "An iterative scheme for variational inequalities." *Mathematical Programming* 28 (1983): 174-185.

7. Reibstein D., Wittink D. "Competitive responsiveness." *Marketing Science* 23 (2005): 280-303.
8. Nash J.F. "Noncooperative games." *Annals of Mathematics* 54 (1951): 286-298.
9. Dafermos S., Nagurney A. "Sensitivity Analysis for the general asymmetric network equilibrium problem." *Mathematical Programming* 28 (1984): 174-184.
10. Zhao L., Dafermos S. "General economic equilibrium and variational inequalities." *Operations Research Letters* 10 (1991): 369-376.
11. Bugry O. "On the uniqueness of the solution of some nonlinear parabolic variational inequality in an unbounded domain." *Mathematical Bulletin of the NTSh* 3 (2006). 5-13.
12. Dafermos S. "The general multimodal network equilibrium problem with elastic demand." *Networks Operations Research* 12 (1982). 57-72.
13. Bugry O. M., Panat O. T. "Some properties of solutions of parabolic variational inequalities with varying degrees of nonlinearity." *Mat. methods and physical fur. fields* 49(2). (2006): 99-107.

Автори статті

Барабаш Олег Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380958702490. E-mail: bar64@ukr.net

Гайдур Галина Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380442492504. E-mail: gaydurg@gmail.com

Шевченко Галина Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38050-2374120. E-mail: foxik.ryzyu@gmail.com

Дахно Наталія Борисівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380507268522. E-mail: nataly.dakhno@ukr.net

Authors of the article

Barabash Oleg Volodymyrovych – doctor of sciences (technic), professor, head of department of higher mathematics, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380958702490. E-mail: bar64@ukr.net

Haidur Halyna Ivanivna – candidate of sciences (technic), associate professor, professor of information and cyber security department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380442492504, E-mail: gaydurg@gmail.com

Dakhno Nataliia Borysivna – candidate of science (technic), associate professor, department of higher mathematics, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel: +380507268522. E-mail: nataly.dakhno@ukr.net

Shevchenko Halyna Volodymyrivna – candidate of science (technic), associate professor, department of higher mathematics, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel: +380502374120. E-mail: foxik.ryzyu@gmail.com

Дата надходження
в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор
В.В. Вишнівський
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.728.4

Трембовецький М. П., Заїка В. Ф. *Державний університет телекомунікацій, Київ*

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОГО І ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ ЗОВНІШНЬОГО ЗБЕРІГАННЯ І ОБРОБКИ ДАНИХ

Дано обґрунтування вибору формальних та неформальних методів опису систем і мереж зберігання і обробки даних. Досліджені особливості застосування розглянутих методів в технологіях архітектурного і функціонально-структурного моделювання та проектування на новій платформі багатофункціональних мереж зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв. Розглянуті рівні абстракції мережі, запропонована концептуальна схема використання багатофункціонального мережевого зовнішнього запам'ятовуючого пристрою на базі агентно-орієнтованої технології.

Ключові слова: зовнішнє зберігання даних, багатофункціональна мережа, віртуальна машина, обробка даних, агентно-орієнтована технологія.

Trembovetskyi M. P., Zaika V. F. *State University of Telecommunications, Kyiv*

FEATURES OF ARCHITECTURAL AND FUNCTIONAL-STRUCTURAL DESIGN OF SYSTEMS AND NETWORKS OF EXTERNAL STORAGE AND DATA PROCESSING

The justification for the choice of formal and informal methods for describing the systems and networks of data storage and processing is given. The peculiarities of application of the considered methods in architectural and functional structural modeling technologies and designing on the new platform of multifunctional networks of external storage devices are explored. It is shown that in order to improve the efficiency of implementation it is advisable to use logical-algebraic models and methods, adding to them a formally defined operational semantics, based on procedural knowledge about the functioning of the system. Considered levels of network abstraction, used for virtualization and modeling of complex multifunctional systems and networks of data storage and processing. On this basis, it is possible to define a network of abstract machines over structured memory space and use its description as formal specifications of the hierarchy of virtual machines. The conceptual scheme of use of multifunctional network external storage device based on agent-oriented technology is proposed.

Keywords: network external storage, multifunctional system, virtual machine, data processing, agent-oriented technology.

Трембовецкий М. П., Заика В. Ф. *Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ И СЕТЕЙ ВНЕШНЕГО ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Дано обоснование выбора формальных и неформальных методов описания систем и сетей хранения и обработки данных. Исследованы особенности применения рассмотренных методов в технологиях архитектурного и функционально-структурного моделирования и проектирования на новой платформе многофункциональных сетей. Рассмотрены уровни абстракции сети, предложена концептуальная схема использования многофункционального сетевого внешнего запоминающего устройства на базе агентно-ориентированной технологии.

Ключевые слова: внешнее хранение данных, многофункциональная сеть, виртуальная машина, обработка данных, агентно-ориентированная технология.

© Трембовецький М. П., Заїка В. Ф., 2017

1. Вступ. Вирішенню проблем створення систем і мереж зберігання і обробки даних присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідників. Але, в той же час, в існуючих роботах недостатня увага приділена опису реалізацій систем і мереж, побудова яких заснована на інтеграції і консолідації ресурсів зовнішнього зберігання з ресурсами віддаленої обробки даних, на концепціях структурування декларативних і процедурних знань при архітектурному проектуванні, що визначає основну проблемність ситуації. Відомі розробки засновані на практичному досвіді розробників та на застосування змістовних і неформалізованих концептуальних моделей, що, в свою чергу, ускладнює проектування і, як результат, збільшує терміни реалізації проекту.

2. Агентно-орієнтована технологія у мережах зовнішнього зберігання даних

Активність мережевої системи зберігання і обробки даних, що представлена або у вигляді окремої функціонуючої системи, або у вигляді інтегрованої мережі, при формуванні єдиного системного образу може бути підвищена за рахунок організації динамічного управління ресурсами на базі агентно-орієнтованої архітектури [1]. Наприклад, на рис. 1 проілюстровано використання агентно-орієнтованої технології в мережах зовнішнього зберігання даних [2]. Поєднання агентно-базованих і агентно-орієнтованих архітектур, використання абстракцій мобільності агентів і збережених даних дозволяють створювати різноманітні мережеві архітектури систем зберігання і обробки даних. Тому можна вважати, що при реалізації мереж віртуальних машин доцільно використовувати технологію мобільних агентів, причому агент може грати більш важливу роль вже на етапі визначення мережі абстрактних машин у якості абстрактного виконавця (інтерпретатора) логіко-алгебраїчного виразу, що описує роботу модуля абстрактної машини. При реалізації ієрархії віртуальних машин у якості основи реалізації може бути обрана одна з мультиагентних систем, що інтегрована із системою погодження і координації процесів і об'єктів [3, 4].



Рис. 1. Агентно-орієнтована технологія у мережі зовнішнього зберігання даних

Під час опису і, можливо, при реалізації сценарію зручно використовувати абстракцію агента. Терміном "агент" позначимо абстрактний об'єкт, або "виконавець" сценарію. Агент "розглядає" сценарій у якості плану власних дій; він може клонуватися, зливатися з іншими агентами, знищуватися, переходити з одного вузла на інший. У однопроцесорній системі тільки один агент може бути активним, або "поточним", а в мультипроцесорній системі або у багатовузловій обчислювальній мережі можуть бути активними кілька агентів, можливо, взаємодіючи між собою.

В імітаційній моделі, що реалізована на однопроцесорній обчислювальній машині, агенти можуть виконуватися квазіодночасно (даний режим виконання зазвичай реалізується у традиційних імітаційних системах [5, 6]). В останньому випадку робота агента при виконанні імітаційної моделі повинна бути прив'язана до системного часу, причому, послідовності активних фаз повинна відповідати неубутна послідовність моментів системного часу. Як і в загальноцільових імітаційних системах типу Simula 67 [7], під подією будемо розуміти виконання активної фази процесу, що супроводжується зміною стану моделі.

У загальному випадку дії агента по виконанню ієрархічного сценарію на деякому фіксованому рівні відповідають виконанню послідовностей одиночних або згрупованих подій по реалізації підсценарія нижнього рівня по відношенню до поточного. Дану послідовність дій агента назвемо правилами дій або просто сценарієм його поведінки. На самому нижньому рівні ієрархічної сценарної моделі виконуються модулі абстрактних машин. Переходячи від абстрактного поняття "агент" до конкретного фізичного, підкреслимо, що в реальній системі або мережі зберігання і обробки даних, агенту може відповідати повідомлення, блок даних, код програми, що переміщується (для мобільного агента) і ін. Стаціонарним агентом може бути програма, яка перебуває в активному стані (наприклад, та, що опитує вхідні порти) і виконує команди, що надходять по каналах зв'язку від інших програм, які виконуються на інших обчислювальних модулях системи або мережі. У зв'язку з цим, особливо важливо, щоб в логіко-алгебраїчних моделях системи або мережі зберігання і обробки даних були відображені (і збережені в базі даних) поточні просторово-часові відносини між об'єктами предметної області. Агенти можуть встановити прямі зв'язки з базою даних, розміщеної на сервері, і робити до неї запити. За рахунок агентів можуть бути розширені функціональні можливості додатків, наприклад, в частині групової роботи. Агенти можуть працювати як на серверному, так і на клієнтському боках, вирішуючи при цьому довільні завдання.

Використання мобільних агентів, що володіють здатністю переміщатися по мережі, дозволяє створювати гнучкі операційні середовища, в тому числі мережні імітаційні системи. Використання мобільних або стаціонарних агентів дозволяє здійснити перехід від клієнт-серверної архітектури мережі зберігання даних до більш розвиненою функціонально трирівневої архітектурі "клієнт-агент-сервер", що дозволяє перетворити мережу зберігання і обробки даних у динамічну змінну за запитами проектувальника або користувача середу зберігання і обробки даних.

3. Розподілені сховища об'єктів

До іншого класу систем, які придатні для реалізації широкого класу розподілених додатків, відносяться розподілені сховища об'єктів. Наприклад, до таких систем відноситься система JavaSpaces, розроблена фірмою Sun [8, 9]. Записаний до сховища об'єкт може бути знайдений за допомогою об'єктів-шаблонів за значеннями певних полів. До числа позитивних достоїнств даної системи є можливість побудови на її основі відмовостійких систем типу кластерів, так як у разі виходу з ладу одного з компонентів системи, об'єкти можуть бути відновлені.

Організація управління розподіленими ресурсами у мережах зовнішнього зберігання і обробки даних складна, оскільки вони відносяться до класу складних гетерогенних систем. Загальні вимоги до систем управління зберіганням і обробкою даних, що зменшують при реалізації їх вартість і складність, зводяться до наступних [8]. Системи управління повинні бути автоматизованими, щоб звести до мінімуму втручання персоналу; мати централізоване управління, щоб розподіленими ресурсами можна було керувати з одного місця; стандартизованими, щоб забезпечити взаємодію компонентів програмного забезпечення систем управління; відкритими, щоб програмне забезпечення системи управління могло взаємодіяти з різними типами керованих ресурсів в мережі; платформно незалежними, щоб можна було працювати з даними різних платформ; простими у розгортанні і використанні.

Багатьма з перерахованих властивостей володіє розроблена фірмою Sun технологія Jіго на платформі Java [8]. Jіго дозволяє розробляти системи управління розподіленими ресурсами (системами, пристроями, додатками) у гетерогенних мережах. Основною концепцією Jіго є трирівнева архітектура систем управління (рис. 2).

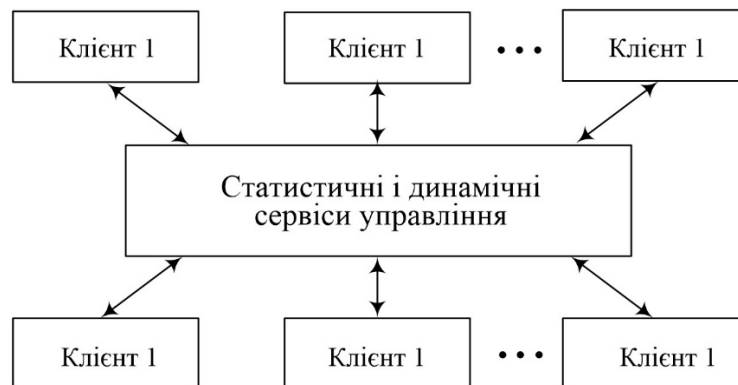


Рис. 2. Інтегрована трирівнева архітектура управління ресурсами у гетеродинамних мережах

На клієнтському рівні додатку здійснюють взаємодії із сервісами управління. На середньому рівні технологія Jіго надає статичні і динамічні сервіси управління, а на нижньому рівні знаходяться неоднорідні ресурси. Jіго дозволяє розробляти керуючі додатки на основі наданої інфраструктури управління та сервісів. Інфраструктура управління може використовувати механізми RMI (віддалений виклик методів), Jіні (набір мережових протоколів, програмних модулів і сервісів) і сервер класів. Jіні використовується у якості динамічного сервісу пошуку.

Керуючі додатки, які використовуються при віртуалізації (або мережовій реалізації) систем зберігання і обробки даних можна створювати, інтегруючи технологію Jіні з пірінговими і агентно-орієнтованими технологіями. Як відомо [8], у мережовому пірінговому додатку кожен вузол здатний виконувати як функції клієнта, так і функції сервера з відносно мінімальними вимогами до обчислювальної потужності і обсягу пам'яті, забезпечуючи швидкий обмін повідомленнями і спільне використання файлів. Агенти по додатковій пірінговій мережі можуть передавати повідомлення, команди, модулі керуючих програм, забезпечуючи при цьому функціонування вторинної "платформи віртуалізації".

На рис. 3 представлені дві інтегровані мережові структури, що забезпечують функціонування віртуальної системи зберігання і обробки даних. Зафарбованим кулькам відповідають вузли віртуалізації, які пов'язані швидкодіючими каналами зв'язку (ці зв'язки позначені суцільними лініями). Звичайними кружками позначені вузли вторинної мережі, на яких розміщені програмні агенти, що забезпечують функціонування платформи віртуалізації. Дані вузли пов'язані пунктирними лініями, що позначають звичайні канали зв'язку. Швидкодія даної вторинної мережі може бути нижчим, ніж у основної, якщо необхідний режим віртуалізації встановлюється відносно рідко. Такий запропонований варіант мережової віртуалізації має гнучкість і дозволяє змінювати план віртуалізації у залежності від вимоги користувача мережі.

Для проведення експериментів з віртуальними мережами зберігання і обробки даних запропонована наступна мережева структура, що представлена на рис. 4. Фізична мережа реалізується на базі локальної або глобальної TCP/IP мережі і містить мережові та обчислювальні ресурси. При ініціюванні даної мережі динамічно створюються до шести логічних рівнів (на рис. 4). Мережа процесів-демонів представляє середовище для виконання мобільних агентів. Логічні мережі віртуалізації обробки даних і, власне, обробки даних із заданими користувачами топологіями, утворюють другий і третій рівні і створюються на базі мережі процесів-демонів. Логічні мережі віртуалізації зберігання даних і власне зберігання

даних, утворюють четвертий і п'ятий рівні. Як і попередні мережі, вони створюються на базі мережі процесів-демонів при використанні додаткових серверів баз даних (наприклад, MySQL). На останньому, шостому, рівні знаходиться логічна мережа, в якій зберігаються метазнання про структуру інформації, що зберігається у мережі зберігання даних інформації.

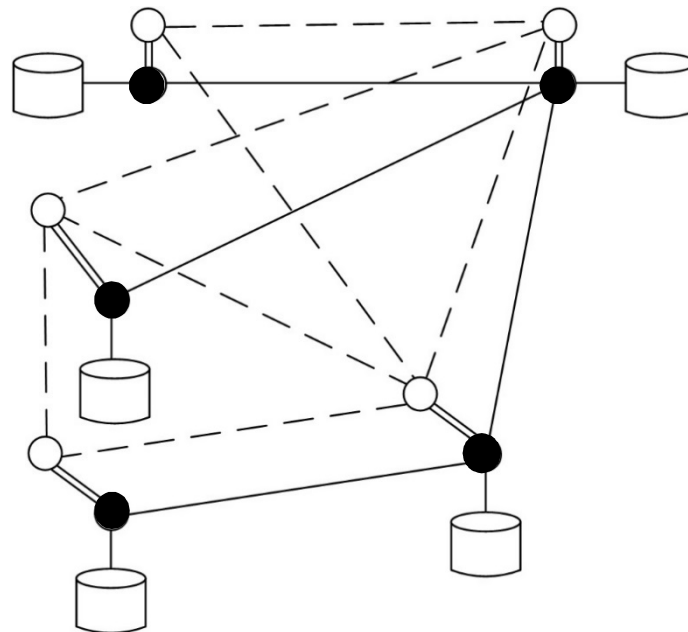


Рис. 3. Первинна мережа зберігання і обробки даних і вторинна мережа підтримки віртуальної архітектури

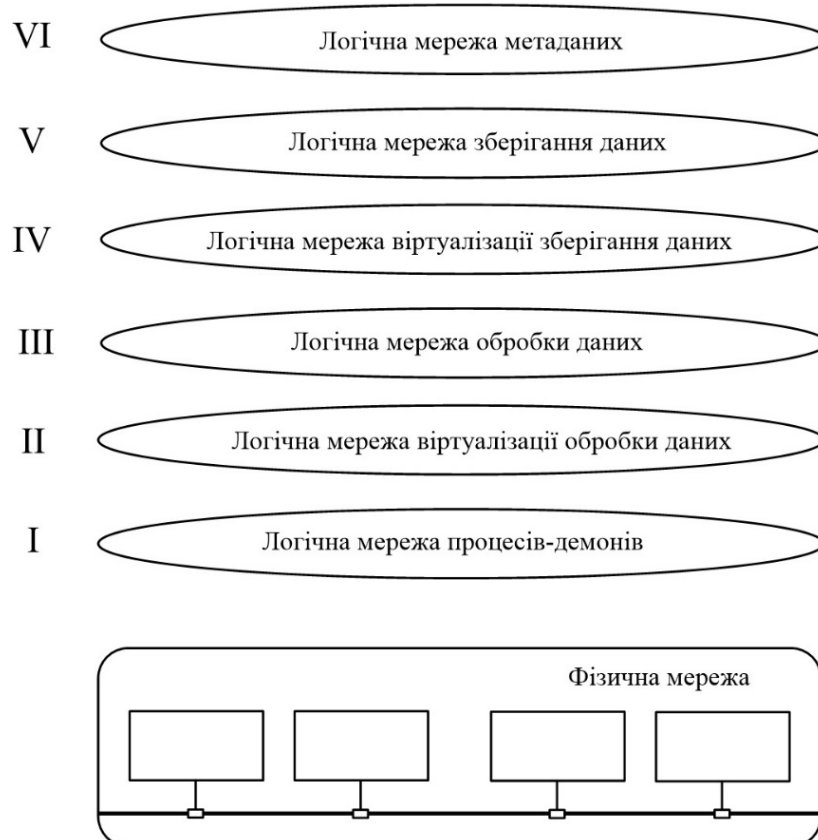


Рис. 4. Рівні абстракції мережі, що використовується для віртуалізації і моделювання складних багатofункціональних систем і мереж зберігання і обробки даних

Таким чином, на базі фізичної мережі створюється шість абстрактних рівнів для реалізації віртуального операційного середовища, що активно використовує віртуальний структурований простір даних. Програмна реалізація цих рівнів не тільки дозволяє проводити широке коло експериментів по апробації різних архітектурних рішень, але і використовувати мережу на практиці за прямим призначенням для виконання функцій системи зберігання структурованих даних і машини бази даних із розподіленою і паралельною обробкою. На основі подібної мережі були створені також реалізації сценарних мереж і мереж абстрактних машин.

Сценарні мережі та мережі абстрактних машин можуть бути покладені в основу побудови концептуальних схем, що описують архітектуру систем і мереж зберігання і обробки даних. Розвиваючи дані концептуальні схеми, можна далі побудувати імітаційні поведінкові моделі, після аналізу яких та отримання необхідних характеристик продуктивності системи, можна перейти до її фізичної реалізації. Побудова моделей, що розвиваються, або еволюціонують на єдиній логіко-алгебраїчній основі, дозволить зберегти послідовність формальних специфікацій, що розробляються з метою їх безпосереднього використання на етапах структурного синтезу і фізичної реалізації системи.

4. Розвиток функціональних можливостей мережевих пристроїв зовнішнього зберігання даних

У даний час ринок мереж зовнішнього зберігання даних розвивається у бік стирання умовних граней між різними технологіями зберігання і обробки даних. Наприклад, в одному і тому ж середовищі можуть бути успішно реалізовані дві поширені технології – мережевих пристроїв NAS і мереж зберігання SAN.

Іntenсивно розвиваються і інші мережеві технології зберігання даних, наприклад, технологія NASD підключених до мережі захищених пристроїв (Network Attached Secure Devices), що розроблена в університеті Карнегі-Меллона (США) і ще у кількох компаніях, що співпрацювали з даними університетом. Основна концепція технології NASD – підвищення рівня "інтелектуальності" дискових пристроїв при управлінні мережевими взаємодіями і роботою сховищ даних. Блоки, які реалізують ці функції, можуть розміщуватися безпосередньо у дисковому модулі [10].

Особливий інтерес представляє можливість використання безпосередньо у дисковому модулі блоків, що реалізують серверні протоколи FTP або HTTP, що дозволяє використовувати мережеві пристрої NASD як Web-серверів.

Іншою перспективною технологією є технологія файлових систем прямого доступу DAFS (Direct Access File System) [10]. Дана технологія, у свою чергу, активно використовує нові технології – архітектури віртуального інтерфейсу VIA (Virtual Interface Architecture) і InfiniBand ("послідовна" мережева технологія). Основне призначення пристроїв DAFS – побудова на їх основі масштабованих DAFS-кластерів для роботи з транзакціями. Клієнтські DAFS-з'єднання забезпечують малі часи затримок між системами баз даних і DAFS-пристроями, причому на ці пристрої можна перенести всі обчислення, що пов'язані із визначенням структур даних.

Високоорганізовані мережеві системи зберігання даних, зазвичай можуть виключити засоби підтримки додатків і інший інструментарій користувача.

Рис. 5 ілюструє спрощену еволюцію мережевих пристроїв зберігання даних. Перші дві стадії відповідають відомим мережевим пристроям NAS, NASD, DAFS. Третя структура потрібна для реалізації активних інтелектуальних мереж зовнішнього зберігання і обробки даних, що використовуються в якості інтегрованих мережевих співпроцесорів.



Рис. 5. Спрощена концепція розвитку мережевих пристроїв зовнішнього зберігання даних

Варіанти фізичної реалізації мереж зберігання і обробки даних, що відповідають описаним вище стадіям розвитку, представлені на рис. 6 і 7 [10]. На рис. 6 представлена мережа із виділеною системою зберігання даних, а на рис. 7 представлена інтегрована мережа, у якій розподіл трафіку забезпечує один комутатор.

Той чи інший варіант реалізації мережі зберігання вибирається у залежності від вимог до її продуктивності і вартості.



Рис. 6. Розподілена мережа зберігання і обробки даних



Рис. 7. Інтегрована мережа зберігання і обробки даних

Розглянемо далі деякі перспективні розподілені платформи для реалізації активних мереж зберігання даних. Широко поширені моделі взаємодії мережеских додатків, такі, як віддалений виклик процедур, віддалене звернення до методів, орієнтований на повідомлення проміжний рівень, потоки даних, трьохланкова архітектура "клієнт-сервер", добре узгоджуються з концепціями технологій розподіленого зберігання даних. Агентно-орієнтовані платформи, узагальнена модель яких представлена на рис. 8 [3], також є ефективним засобом реалізації активних інтелектуальних систем зовнішнього зберігання і обробки даних. Існуючі агентно-орієнтовані платформи дозволяють вибрати конкретні модифікації агентів для реалізації функцій агентів-серверів і агентів-демонів. Підвищення ролі агентів у розподілених системах відзначається, наприклад, у [3, 4]. У цих роботах дані визначення поняття "програмний агент" і класифікація агентів, що опирається на їх властивості. Програмний агент визначається як "автономний процес, здатний реагувати на середовище виконання і викликати зміни у середовищі виконання, можливо, у кооперації із користувачами або з іншими агентами".

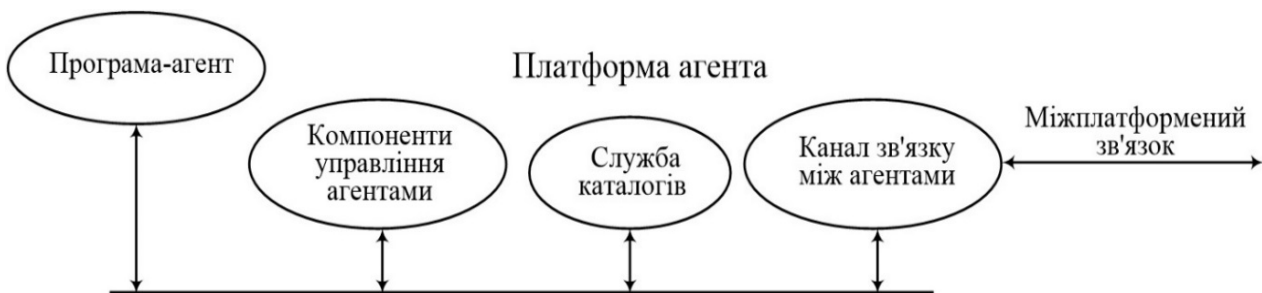


Рис. 8. Узагальнена модель програмного агента

Платформа агентів, узагальнена модель якої представлена на рис. 8, містить всі необхідні служби, які використовуються типовою мультиагентною системою: компонент управління агентами надає механізми створення, знищення та виявлення агентів; локальна служба каталогів дозволяє віддаленим агентам визначати, які агенти знаходяться на локальному вузлі; через канали зв'язку між агентами реалізуються взаємодії між усіма платформами агентів. Розрізняються кооперативні, мобільні, інтерфейсні, інформаційні та інтелектуальні агенти [3].

Ефективний розподіл даних і функцій управління серед машин локальної мережі реалізовано у безсерверній файлової системі xFS, розробленої у Берклі [3]. У системі xFS використовуються три типи процесів: сервер зберігання – процес, який відповідає за зберігання частин файлу; менеджер метаданих – процес, що визначає реальне розміщення блоків файлів, які можуть розміщуватися на декількох серверах зберігання; клієнт – процес, який приймає запити користувачів на виконання операцій з файлами і має можливість кешування і передачі кешованих даних іншим клієнтам. Кожен з трьох процесів може розміщуватися на будь-якій станції локальної мережі.

На рис. 9 представлені варіанти розподілу процесів xFS: варіант повністю симетричної системи, варіант системи з довільним розміщенням процесів і система з віртуальним RAID-масивом, реалізованим на серверах зберігання. У цілому побудова файлової системи xFS відповідає розподіленій реалізації NAS-пристрою.

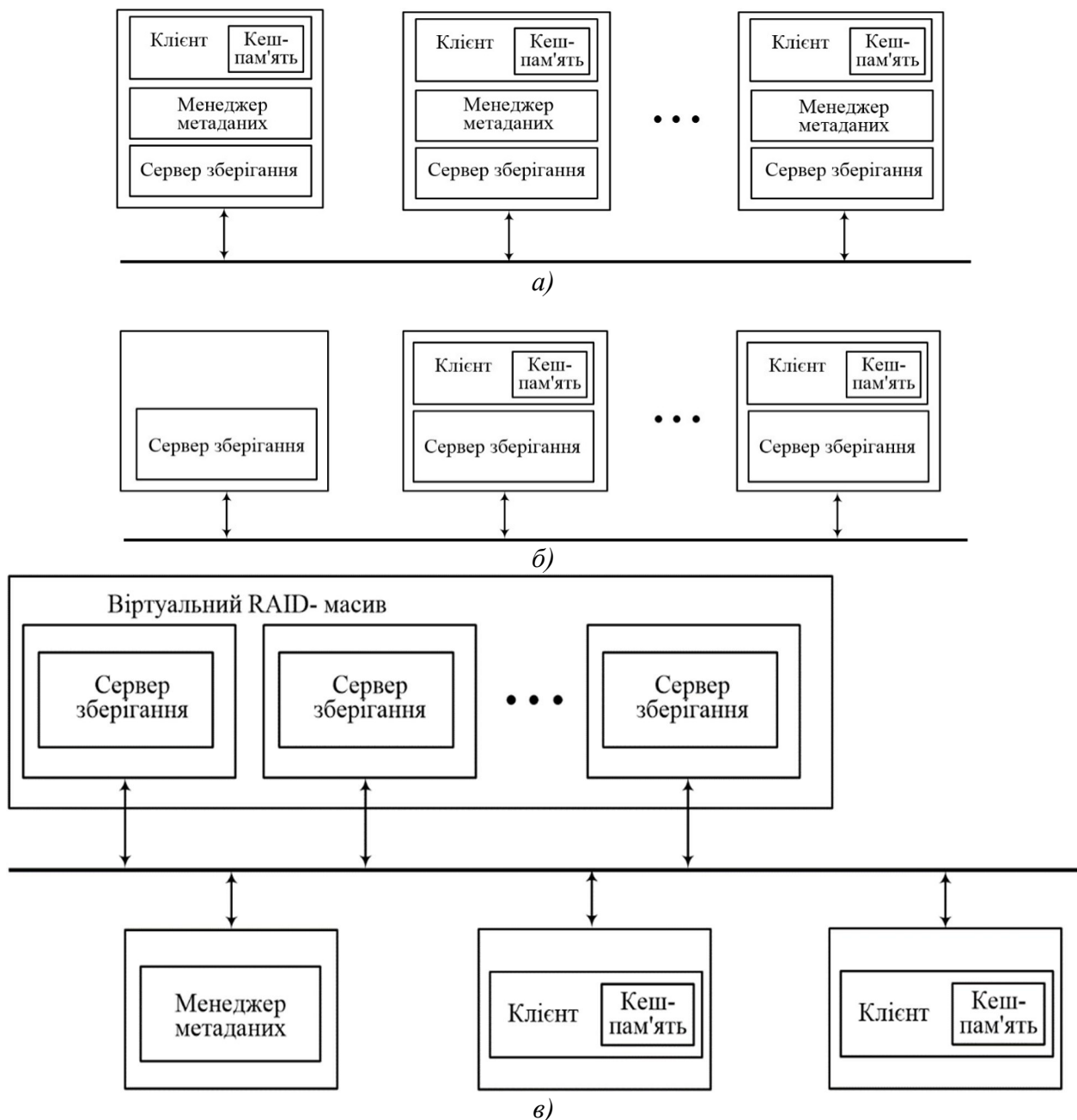


Рис. 9. Варіанти розподілу процесів xFS:
a – повністю симетрична система; *б* – довільне розміщення процесів;
в – реалізація RAID – масиву на серверах зберігання

У системі xFS блоки даних одного файлу можуть розміщуватися на кількох серверах зберігання. Зв'язок між процесами реалізується за допомогою активних повідомлень, що дещо ускладнює взаємодію цих процесів. Особливий інтерес представляє організація локального кешування блоків, а також кооперативне кешування, що враховує наявність кеш-пам'яті у кожного клієнта, і надає можливість отримання копії блоку даних з кеш-пам'яті будь-якого іншого клієнта.

На рис. 10 представлена запропонована концептуальна схема використання багатофункціонального мережевого зовнішнього запам'ятовуючого пристрою на базі агентно-орієнтованої технології. У якості платформи для реалізації різноманітних мережевих сховищ даних пропонується використовувати фізичні та логічні структури, що реалізуються на основі концептуальної схеми, представленої на рис. 4.

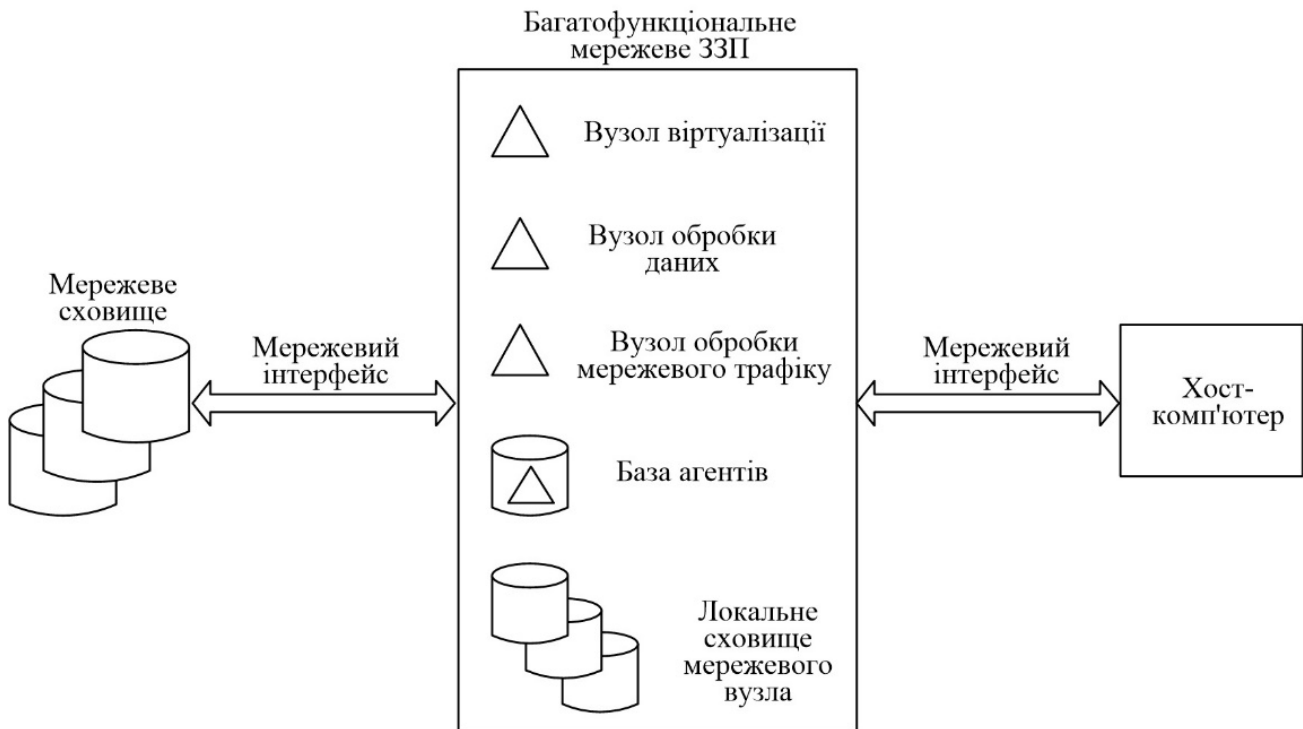


Рис. 10. Концептуальна схема використання багатофункціонального мережевого зовнішнього запам'ятовуючого пристрою

Висновки. У статті пропонується розвинути існуючі методи формалізованого опису архітектурних, функціонально-структурних і структурно-топологічних властивостей систем і мереж зовнішнього зберігання і обробки даних. Показано, що для підвищення ефективності реалізації доцільно використовувати логіко-алгебраїчні моделі та методи, додавши до них формально певну операційну семантику, засновану на процедурних знаннях про функціонування системи. На даній основі можливо визначити мережу абстрактних машин над структурованим простором пам'яті і використовувати її опис у якості формальних специфікацій ієрархії віртуальних машин. Даний підхід дозволить підвищити якість застосовуваних рішень і прискорити процес проектування.

Список використаної літератури

1. Корнеев В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В. В. Корнеев, А. Ф. Гареев, С. В. Васютин, В. В. Райх. – Москва: Нолидж, 2000. – 352 с.
2. Наик Д. Системы хранения данных в Windows / Д. Наик. – Москва: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 432 с.

3. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – Санкт Петербург: Питер, 2003. – 877 с.
4. Хьюз К. Параллельное и распределенное программирование на C++ / К. Хьюз, Т. Хьюз. – Москва: Издательский дом "Вильямс", 2004. - 672 с.
5. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – Москва: Радио и связь, 1988. – 232 с.
6. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – Москва: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
7. Андрианов А. Н. Программирование на языке СИМУЛА 67 / А. Н. Андрианов, С. П. Бычков, А. И. Хорошилов. – Москва: Наука, 1985. – 370 с.
8. Дейтел Х. М. Технология программирования на Java 2: Кн. 2. Распределенные приложения / Х.М. Дейтел, П.Дж. Дейтел, С.И. Сантри. – Москва: Бином-Пресс. –2003. –464 с.
9. Freeman, E., Hupfer, S., Arnold, R. JavaSpaces, Principles, Patterns and Practice. – Reading, MA: Addison-Wesley, 1999. – 368 p.
10. Фарли М. Сети хранения данных / М. Фарли. – Москва: Лори, 2003. – 550 с.

References

1. Korneyev V.V., Gareev A.F., Vasiutin S.V., VV Raich V.V. "Databases. Intelligent data processing." *Moskva: Nolidzh* (2000): 352.
2. Naik D. "Storage Systems into directory Windows." *Moskva: Williams* (2005): 432.
3. Tanenbaum E., Van Steen E. E. "Distributed systems. Principles and paradigms." *Sankt Peterburg: Piter* (2003): 877.
4. Hughes K., Hughes T. "Parallel and Distributed Programming in C ++." *Moskva, Williams* (2004): 672.
5. Maksimei I. V. "Simulation modeling on the computer." *Moskva: Radio i sviaz* (1988): 232.
6. Kudryavtsev E. M. "GPSS World. Based on simulation of different systems." *Moskva: DMK Press* (2004): 320.
7. Andrianov A. N., Bychko S.P., Khoroshilov A. I. "Programming SIMULA 67." *Moskva: Nauka* (1985): 370.
8. Deitel X. M., Deitel P.J., Santry S.I. "Technology of programming in Java 2. Book. 2. Distributed applications.", *Moskva: Binom-Press* (2003): 464.
9. Freeman E., Hupfer S., Arnold R., "JavaSpaces, Principles, Patterns and Practice." *MA, Addison-Wesley* (1999): 368.
10. Farley M. "Network Storage." *Moskva: Laurie* (2003): 550.

Автори статті

Трембовецький Максим Петрович – доктор технічних наук, завідувач кафедри енергоефективних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (50) 961 27 22. E-mail: maksimtremboff@gmail.com.

Заїка Віктор Федорович – доктор технічних наук, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (66) 102 80 04. E-mail: vfzaika@mail.ru.

Authors of the article

Trembovetskyi Maksym Petrovych – sciences doctor (technic), head of the department of energy efficient technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 961 27 22. E-mail: maksimtremboff@gmail.com.

Zaika Viktor Fedorovych - sciences doctor (technic), head of the department of telecommunication systems and networks, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (66) 102 80 04. E-mail: vfzaika@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 11.09.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор М. М. Степанов
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 681.5.01

Бондарчук А. П. Державний університет телекомунікацій, Київ

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ КОНФЛІКТУ

Розглядаються питання, які відносяться до проектування інформаційних систем та взаємодії систем між собою. Досліджується модель взаємодії інформаційних систем радіозв'язку, між якими є конфлікт. Розроблено пропозиції по зменшенню ступеня напруженості конфлікту. Запропонована шкала для вимірювання ступеня напруженості. Визначена кількісна оцінка результату конфлікту через функцію виграшу. Розроблена модель має підвищену живучість в умовах конфлікту.

Ключові слова: інформаційна система, конфліктна ситуація, напруженість конфлікту, живучість, ефективність, радіосистема, функція виграшу.

Bondarchuk A. P. State University of Telecommunications, Kyiv

INTERACTION MODEL OF INFORMATION SYSTEMS IN CONFLICT CONDITION

The article deals with issues relating to the design of information systems and the interaction of systems among themselves. The model of interaction of information systems of radio communication, between which the conflict is investigated. Proposals have been developed for reducing the degree of conflict tension. A scale is offered for measuring of degree of conflict tension. Input of such scale is based on the conception of decision-making purposefulness. This purposefulness at every system can be expressed as strtain fixed states sequence, that are desired from the point of view every system. The size of losses of vitally important elements serves as basis of this sequence by both systems. The quantitative estimation of conflict result by the winning function is certain. A winning function is the most objective description of conflict situation which describes this conflict full enough. The type of winning function depends on the degree of conflict situation: how one system influences on feasibility of purpose by other system, and also from the level of conducting conflict. The developed model has a high survivability in a conflict.

Keywords: information systems, conflict situation, conflict tension, survivability, efficiency, radio systems, function winnings.

Бондарчук А. П. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА

Рассматриваются вопросы, которые относятся к проектированию информационных систем и взаимодействию систем между собой. Исследуется модель взаимодействия информационных систем радиосвязи, между которыми есть конфликт. Разработаны предложения по уменьшению степени напряженности конфликта. Предложена шкала для измерения степени напряженности. Определена количественная оценка результата конфликта через функцию выигрыша. Разработанная модель имеет повышенную живучесть в условиях конфликта.

Ключевые слова: информационная система, конфликтная ситуация, напряженность конфликта, живучесть, эффективность, радиосистема, функция выигрыша.

Вступ. Розглядаючи структуру сучасних інформаційних систем та мереж, доволі часто виникає запитання щодо експлуатації подібних, а інколи і однакових систем в конфліктних ситуаціях. На побутовому рівні прикладом слугуватимуть мережі Wi-Fi, радіозони дій яких перетинаються, та при цьому можуть працювати на спільній частоті та одному каналі. Моделювання їх взаємодії та поведінки дозволить обрати компроміс та отримати баланс. Така взаємодія підвищить ефективність роботи інформаційних систем [1-4].

© Бондарчук А. П., 2017

Припустимо, що маємо дві системи, які характеризуються своїми цілями, структурою та поведінкою. Саме поведінка систем може сприяти чи перешкоджати досягненню ними цілей. Система A взаємодіє з іншою системою B . Обидві системи можуть переходити з одного стану в інший. Розглянемо систему A , ціль якої – прагнення досягнути бажаних для неї станів. Доцільність структури $|A|$ та цілеспрямованість поведінки \bar{A} системи A оцінюється тією ефективністю, з якою система досягає своєї цілі \underline{A} .

Введемо для системи B аналогічне поняття цілі \underline{B} , структури $|B|$ та поведінки \bar{B} . Тепер маємо дві системи, які характеризуються своїми цілями, структурами та поведінкою. Поведінка систем може сприяти чи перешкоджати досягненню системам своїх цілей та цілей противника.

Функціонування системи можна представити у вигляді серії обміну деякої кількості w витрачених ресурсів на деяку кількість k споживаючих ресурсів. Назвемо це (k, w) -обміном.

Ціль системи – найбільш вигідний (k, w) -обмін, тобто – прагнення за мінімальну кількість ресурсів w отримати більшу кількість ресурсів k . Остання величина є складною функцією структури та поведінки двох систем:

$$K = k(w, |A|, |B|, \bar{A}, \bar{B}) = k(w, A, B). \quad (1)$$

В результаті взаємодії, A і B отримують наступні (k, w) -обміни:

$$k_a = k_a(w_a, A_0, B_0) = \max_{\{\bar{A}, |A|\}} \min_{\{\bar{B}, |B|\}} k_a(w_a, A, B) \quad (2)$$

$$k_b = k_b(w_b, A_0, B_0) = \max_{\{\bar{B}, |B|\}} \min_{\{\bar{A}, |A|\}} k_b(w_b, A, B) \quad (3)$$

де A_0 та B_0 – оптимальні системи.

З (2) і (3) бачимо, що для визначення своїх цілей, кожній з систем потрібно враховувати ступінь важливості щодо отримання найбільш вигідного (k, w) -обміну, або завадити зробити це іншій системі. При цьому системи можуть змінювати значення (k, w) -обмінів в деяких межах:

$$k_1 \leq k_a \leq \bar{k}_1, k_2 \leq k_b \leq \bar{k}_2,$$

де величини k_1 та k_2 відповідають випадку, коли обидві системи максимально агресивні, а величини \bar{k}_1 та \bar{k}_2 відповідають випадку, коли вони найбільш обережні.

Якщо цілі систем відомі, то маємо цілком зрозумілу ситуацію [5-7]. Якщо кожна система, або одна з них приховує свої наміри, то виникає ситуація відносно вибору цілі.

Позначимо через \underline{A}_i та \underline{B}_j ($i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$) цілі систем A і B . Нехай в ситуації $\{\underline{A}_i, \underline{B}_j\}$ системи A і B отримують відповідно ($k_a = a_{ij}$) і ($k_b = b_{ij}$). Цілі \underline{A}_1 і \underline{B}_1 знаходяться в стані нанесення максимального збитку протилежній системі, а цілі \underline{A}_n та \underline{B}_m відповідають крайній обережності обох систем. Усі інші цілі \underline{A}_i та \underline{B}_j відповідають проміжним ситуаціям і пронумеровані в порядку плавного переходу від \underline{A}_1 до \underline{A}_n і від \underline{B}_1 до \underline{B}_m .

В результаті отримуємо задачу визначення оптимальної цілі з платіжними матрицями $\|a_{ij}\|$ та $\|b_{ij}\|$. Елементи цих матриць задовольняють очевидним співвідношенням:

$$\begin{aligned} a_{ij} &\leq a_{sj} && \text{при } i \leq s, \\ a_{is} &\leq a_{ij} && \text{при } j \leq s, \\ b_{ij} &\leq b_{sj} && \text{при } i \leq s, \\ b_{is} &\leq b_{ij} && \text{при } j \leq s. \end{aligned}$$

Рішення цієї задачі тривіальне і виявляється в тому, що обом системам необхідно дотримуватися цілей \underline{A}_n та \underline{B}_m , тобто системи мають поводити себе дуже обережно та не виявляти агресії.

Також відмітимо, що взаємодія систем стає суворо антагоністичною, коли (k, w) -обмін для однієї системи позитивний та для другої – негативний, тобто коли $k_a = -k_b$.

Так як (k, w) -обмін між системами, як правило, носить стохастичний характер, то можна говорити тільки про деяку ймовірність $P(k, w)$ досягнення системою своєї цілі. Максимальне значення цієї ймовірності визначається як гранична ефективність системи.

Основна частина

Розглянемо ситуацію, коли взаємодіють дві системи A і B (рис. 1). Усі елементи обох систем розділимо на три класи: робочі (життєво необхідні) елементи, захисні елементи та зовнішні (активно складові), призначені для впливу на зовнішнє середовище.

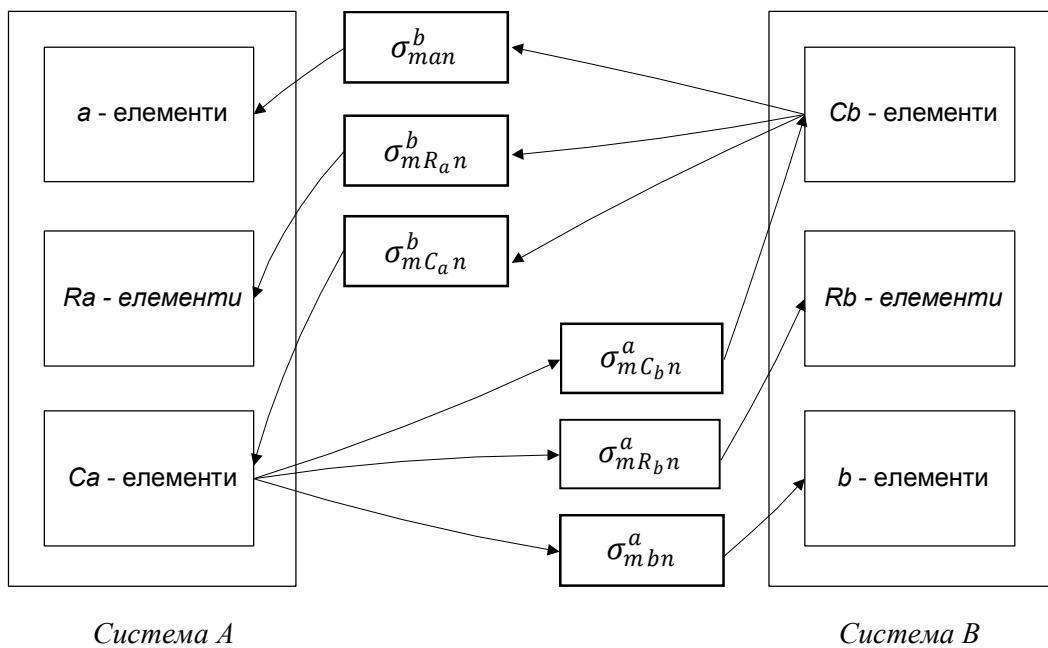


Рис. 1. Модель взаємодії двох систем

На рис. 2 показана модель взаємодії двох інформаційних радіосистем. Для скорочення робочі елементи систем A і B будемо називати a - та b -елементами, захисні елементи R_a - і R_b -елементами та активні складові c_a - і c_b -елементами відповідно.

Цінність елементів систем визначається у відносних одиницях, які вибрано на основі експертних оцінок в кожному випадку за своїми правилами. У загальному випадку a_i та b_i залежать від часу та кількості елементів в системах.

Взаємодія систем відбувається на деякому відрізку часу $0 \leq t \leq T$, причому в момент коли $t = 0$ системи A і B мають A_i і B_i , життєво важливі елементи типу $i = 1, 2, \dots, n_a$ (n_b) та цінностей a_i та b_i , відповідно

$$\sum_{i=1}^{n_a} A_i = N_a(0) \quad \text{і} \quad \sum_{i=1}^{n_b} B_i = N_b(0);$$

r_a та r_b типів захисних елементів по α_m та β_m в m -типу, причому

$$\sum_{m=1}^{r_a} \alpha_m = N_{R_a}(0) \quad \text{і} \quad \sum_{m=1}^{r_b} \beta_m = N_{R_b}(0);$$

s_a та s_b типів активних складових по k_m^a і k_m^b в m -м типі, причому

$$m \sum_{m=1}^{s_a} k_m^a = M_a(0) \quad \text{та} \quad \sum_{m=1}^{s_b} k_m^b = M_b(0), \text{ відповідно.}$$

R_a - і R_b -елементи m -го типу при взаємодії із c_b - і c_a -елементами n -го типу відповідно мають ефективності d_{mn}^b та d_{mn}^a ; при взаємодії із c_a - і c_b -елементами ω (a, b, R, c) n -го типу мають ефективності $\lambda_{m\omega n}^a$ та $\lambda_{m\omega n}^b$, відповідно.

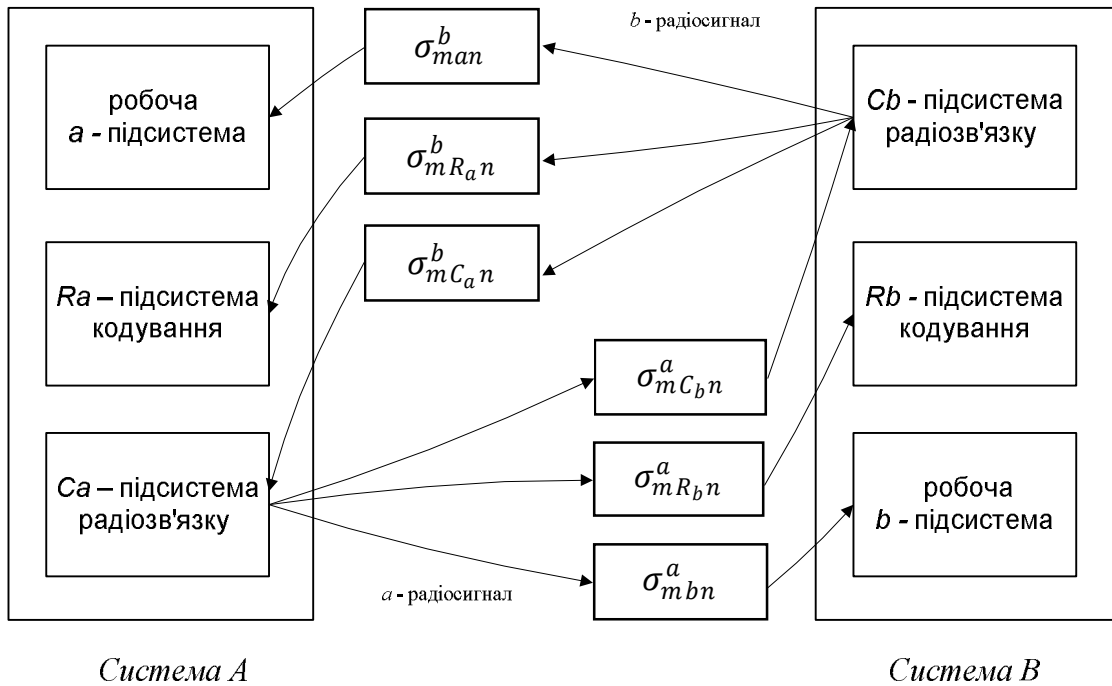


Рис. 2. Модель взаємодії двох інформаційних радіосистем

Будемо також вважати, що початкові структури $|A|$ та $|B|$ систем рівномірно заповнені усіма типам елементів, тобто характеристики усіх елементів не залежать від взаємного розміщення. Також будемо вважати, що усі елементи систем A та B в будь-якому їх просторовому розміщенні досягаються однаковою мірою для c_b - та c_a -елементів відповідно. Тому в будь-який момент часу t системи залишаються рівномірно заповненими усіма типами своїх елементів.

Взаємодія систем A та B означає, що кожна система на певному відрізку часу $0 \leq t \leq T$ в дискретні моменти $t_i (i=1, \dots, N)$ визначає свою поведінку \bar{A} і \bar{B} :

$$\bar{A}^{(i)} = \{\mu_{m\omega n}^a(t_i), \sigma_{m\omega n}^a(t_i)\} \tag{4}$$

$$\bar{B}^{(i)} = \{\mu_{m\omega n}^b(t_i), \sigma_{m\omega n}^b(t_i)\} \tag{5}$$

де $\mu_{m\omega n}^{a(b)}(t_i)$, і $\sigma_{m\omega n}^{a(b)}(t_i)$ порції $R_{a(b)}$ - і $c_{a(b)}$ -елементів m -го типу спрямованих на захист та знищення ω -елементів n -го типу відповідно.

З плином часу порції c_a - та c_b -елементів рівномірно заповнюють протилежну систему, та таким чином, елементи систем з часом "рівномірно рідшають". При цьому один ω -елемент n -го типу системи A (B) виходить з ладу (перестає функціонувати) під дією c_a (c_b)-елемента m -го типу з наступною ймовірністю:

$$P_{m\omega n}^b \{ \lambda_{m\omega n}^b; \mu_{1\omega n}^a, \dots, \mu_{r_a\omega n}^a; d_{1m}^a, \dots, d_{r_a m}^a \}, \tag{6}$$

$$P_{m\omega n}^a \{ \lambda_{m\omega n}^a; \mu_{1\omega n}^b, \dots, \mu_{r_b\omega n}^b; d_{1m}^b, \dots, d_{r_b m}^b \}.$$

Будемо вважати, що якість (k, w) -обміну кожної системи визначається рівнем живучості системи, який вказує на степінь близькості системи до моменту виходу з ладу та залежить від кількості життєво важливих елементів, які не перестали функціонувати.

Вважається, що система $A(B)$ перестає функціонувати, якщо до моменту $t \leq T$

$$\sum_{j=1}^{n_a} a_j A_j(t) \leq \sum_{j=1}^{n_a} \theta_{a_j} a_j A_j(0), \quad \left(\sum_{j=1}^{n_b} b_j B_j(t) \leq \sum_{j=1}^{n_b} \theta_{b_j} b_j B_j(0) \right), \quad (7)$$

де параметри $0 \leq \theta_{a_j}, \theta_{b_j} \leq 1$ визначаються специфікою систем, які розглядаються. Зрозуміло, що чим менші числа θ_{ω_j} , тим більш "життєво здатною" є система.

Структури систем A і B за достатньо довгий час до їх взаємодії відтворюються шляхом створення необхідної кількості різнотипних елементів.

Нехай кожна система має деякі обмежені енергетичні запаси (життєві структури) \bar{V}_a та \bar{V}_b , причому

$$\bar{V}_a = \{ \bar{V}_{a_j} \}, \bar{V}_b = \{ \bar{V}_{b_j} \}, (j=1, 2, \dots, n_a (n_b)).$$

Зі структур відтворюються життєво важливі елементи систем A та B таким чином, що зі структур $V a_j (V b_j)$ можливо відтворити A_j та (B_j) a (b) - елементів j -го типу та цінностей $a_j (b_j)$. Захисні та активні елементи кожної системи відтворюються (генеруються) життєво важливими елементами наступним чином. Перш за все, створюються захисні E_{Rm}^a (E_{Rm}^b) та активні E_{cm}^a (E_{cm}^b) структури елементів, які залишаються стійкими, незмінними при будь-яких перетвореннях, з яких генеруються R – та c - елементи m - го типу, причому мають місце наступні залежності:

$$E_{Rm}^a = E_{Rm}^a(\bar{V}_a, A_1, \dots, A_{n_a}) = \sum_{j=1}^{n_a} \omega_{mj}^a f_{jR}^a(V_{a_j}, A_j),$$

$$E_{Rm}^b = E_{Rm}^b(\bar{V}_b, B_1, \dots, B_{n_b}) = \sum_{j=1}^{n_b} \omega_{mj}^b f_{jR}^b(V_{b_j}, B_j),$$

$$E_{cm}^a = E_{cm}^a(\bar{V}_a, A_1, \dots, A_{n_a}) = \sum_{j=1}^{n_a} \omega_{mj}^{\prime a} f_{jC}^a(V_{a_j}, A_j),$$

$$E_{cm}^b = E_{cm}^b(\bar{V}_b, B_1, \dots, B_{n_b}) = \sum_{j=1}^{n_b} \omega_{mj}^{\prime b} f_{jC}^b(V_{b_j}, B_j),$$

де $\omega_{mj}^{a(b)}$, $\omega_{mj}^{\prime a(b)}$ та $f^{a(b)}$ – деякі задані "ваги" та функції, відповідно.

Так як початкові ресурси \bar{V}_a та \bar{V}_b обмежені, то вони можуть відтворювати або багато малоефективних елементів та елементів низької вартості, або мало вискоефективних та дорогих елементів. Тому природно припустити, що функції $f^{a(b)}$ при фіксації першого аргументу є спадними функціями другого. Наприклад, $f(V, A) = AF(V/A)$, де функція F є нелінійною та зростаючою, але $\lim_{A \rightarrow \infty} AF(V/A) = 0$.

Звідси бачимо, що поєднання, краще ніж поділ, а зі збільшенням $A_j (B_j)$ кількості захисних $E_{cm}^{a(b)}$ та активних структур зменшуються, а значить, зменшується число відповідних захисних та активних елементів фіксованої ефективності чи при тому ж їх числі знижується ефективність.

Можливо зробити висновок, що збільшення $A_j (B_j)$ призводить до зростання живучості системи $A (B)$ та зменшенню захисних та активних властивостей R -та c -елементів. В свою чергу, зменшення цих властивостей призводить до зменшення живучості. Відповідно, при фіксації кількості життєвих структур маємо оптимальну кількість життєво важливих елементів, які забезпечують максимальну живучість системи.

Системи A та B при фіксованих структурах з інтервалом часу $0 \leq t \leq T$ здійснюють (k, w) - обмін, який згідно (2) і (3) в кожний момент часу t змальовується наступними співвідношеннями:

$$\underline{k}_a(t) = \max_{\{\bar{A}, |A|\}} \min_{\{\bar{B}, |B|\}} N_a(t), \quad (8)$$

$$\underline{k}_b(t) = \max_{\{\bar{B}, |B|\}} \min_{\{\bar{A}, |A|\}} N_b(t). \quad (9)$$

З (8) та (9) бачимо, що якщо система має обмежену кількість c -елементів, то вона не може однаково інтенсивно домагатися мінімуму та максимуму, записаних в цих формулах. тому природно виділити для вивчення деякий клас цілей обох систем. Далі розглянемо ситуації, які виникають при взаємодії двох систем, які переслідують одну з двох цілей: \underline{A}_l та \underline{A}_n для системи A (\underline{B}_l и \underline{B}_m — для системи B).

Проаналізуємо перехід із одного стану в інший.

Використаємо наступні позначення:

$$\begin{aligned} d_m^a &= (d_{1m}^a, \dots, d_{r_a m}^a), \quad d_m^b = (d_{1m}^b, \dots, d_{r_b m}^b), \\ \sigma_m^a &= (\sigma_{1\omega n}^a, \dots, \sigma_{s_a \omega n}^a), \quad \sigma_m^b = (\sigma_{1\omega n}^b, \dots, \sigma_{s_b \omega n}^b), \\ \mu_m^a &= (\mu_{1\omega n}^a, \dots, \mu_{r_a \omega n}^a), \quad \mu_m^b = (\mu_{1\omega n}^b, \dots, \mu_{r_b \omega n}^b). \end{aligned} \quad (10)$$

В цих позначеннях стратегії поведінки систем A та B будуть мати наступний вигляд

$$\overline{A^{(i)}} = \{\|\sigma_{bn}^a(t_i)\|, \|\sigma_{Rn}^a(t_i)\| \|\sigma_{cn}^a(t_i)\|, \|\sigma \mu_{an}^a(t_i)\|, \|\mu_{cn}^a(t_i)\|\}, \quad (11)$$

$$\overline{B^{(i)}} = \{\|\sigma_{an}^b(t_i)\|, \|\sigma_{Rn}^b(t_i)\| \|\sigma_{cn}^b(t_i)\|, \|\mu_{bn}^b(t_i)\|, \|\mu_{cn}^b(t_i)\|\}. \quad (12)$$

Зміна середнього числа залишившихся функціонувати після моменту t_i елементів в обох системах буде описується наступними співвідношеннями:

$$A_n(t_{i+1}) = \max\{0, A_n(t_i) - \sigma_{an}^b(t_i)p_{an}^b(t_i)\} \quad (n = 1, \dots, n_a), \quad (13)$$

$$\alpha_j(t_{i+1}) = \max\{0, \alpha_j(t_i) - \sigma_{Rj}^b(t_i)p_{Rj}^b(t_i)\} \quad (j = 1, \dots, r_a), \quad (14)$$

$$B_m(t_{i+1}) = \max\{0, B_m(t_i) - \sigma_{bm}^a(t_i)p_{bm}^a(t_i)\} \quad (m = 1, \dots, m_b), \quad (15)$$

$$\beta_j(t_{i+1}) = \max\{0, \beta_j(t_i) - \sigma_{Rs}^a(t_i)p_{Rs}^a(t_i)\} \quad (s = 1, \dots, r_b), \quad (16)$$

де

$$\begin{aligned} p_{an}^b(t_i) &= (p_{1an}^b, \dots, p_{s_b an}^b); \quad p_{Rj}^b(t_i) = (p_{1Rj}^b, \dots, p_{s_b Rj}^b); \\ p_{bm}^a(t_i) &= (p_{1bm}^a, \dots, p_{s_a bm}^a); \quad p_{Rs}^a(t_i) = (p_{1Rs}^a, \dots, p_{s_a Rs}^a). \end{aligned} \quad (17)$$

При цьому, з огляду на вихід з ладу і витрата c -елементів в кожній системі, отримуємо такі обмежуючі умови:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{N-1} \{ \sigma_{cn}^b(t_i)p_{cn}^b(t_i) + \sum_{j=1}^{n_b} \sigma_{nbj}^a(t_i) + \sum_{s=1}^{r_b} \sigma_{nRs}^a(t_i) + \sum_{j=1}^{s_b} \sigma_{nsj}^a(t_i) \} \leq \\ \leq k_n^a(0) \quad (n = 1, \dots, s_a) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{і} \quad \sum_{i=0}^{N-1} \{ \sigma_{cs}^a(t_i)p_{cs}^a(t_i) + \sum_{j=1}^{n_a} \sigma_{naj}^b(t_i) + \sum_{j=1}^{r_a} \sigma_{sRj}^b(t_i) + \sum_{j=1}^{s_a} \sigma_{scj}^b(t_i) \} \leq \\ \leq k_s^b(0) \quad (s = 1, \dots, s_b), \end{aligned} \quad (19)$$

де позначено $p_{cn}^b(t_i) = (p_{1cn}^b, \dots, p_{s_b cn}^b)$, $p_{cn}^a(t_i) = (p_{1cn}^a, \dots, p_{s_a cn}^a)$.

Рівняння (13)-(19) характеризують стан систем A і B .

Для отримання кількісної оцінки результату конфлікту необхідно задати функцію виграшу. У якості функції виграшу зазвичай беруть таку найбільш об'єктивну характеристику конфліктної ситуації, яка досить повно описує цей конфлікт. Вид функції виграшу істотно залежить від ступеня конфліктності ситуації, тобто від того, як впливає одна система на здійсненість мети іншою системою, а також від того рівня, на якому ведеться конфлікт.

Очевидно, що для вимірювання ступеня напруженості конфлікту може бути введена шкала. Зокрема, введення такої шкали можна засновувати на понятті цілеспрямованості прийняття рішення. У нашому випадку ця цілеспрямованість у кожній системі може бути виражена у вигляді деякої фіксованої послідовності станів, бажаних з точки зору кожної системи. Основою цієї послідовності служить величина втрат життєво важливих елементів обома системами. Цінність цих втрат систем A і B можна виразити відповідно у вигляді величин:

$$G_a \sum_{i=1}^{n_a} a_i [A_i(0) - A_i(T)], \quad (20)$$

$$G_b \sum_{i=1}^{n_b} b_i [B_i(0) - B_i(T)]. \quad (21)$$

Із (20) и (21) видно, що інтенсивність конфлікту залежить від величини $G = G_a + G_b$. Чим ближче G прагне до величини

$$G_0 = \sum_{i=1}^{n_a} a_i A_i(0) + \sum_{i=1}^{n_b} b_i B_i(0),$$

тим інтенсивніше стає конфлікт. Максимум інтенсивності конфлікту настає при $G = G_0$. Навпаки, при $G \rightarrow 0$ інтенсивність конфлікту зменшується і при $G = 0$ настає кооперування. Тому в загальному випадку інтенсивність конфлікту, а отже, і вид функції виграшу, може змінюватися з плином часу в процесі взаємодії.

Таким чином, розглянута тут конфліктна ситуація досить повно може бути описана грою двох партнерів з нульовою сумою і з функціями виграшу:

$$k_a = \sum_{i=1}^{n_a} a_i A_i(T), \quad k_b = \sum_{i=1}^{n_b} b_i B_i(T)$$

Висновок. Побудова інформаційних систем з урахуванням внутрішньої та зовнішньої поведінки при подальшій експлуатації в невизначених умовах ставить питання оптимізації ефективності даних систем. При цьому мають бути враховані такі параметри як надійність, стабільність, завадостійкість, самовідновлення, самоогранізованість із врахуванням взаємодії з подібними системами.

Запропонована шкала для вимірювання ступеня напруженості конфлікту. Введення такої шкали засноване на понятті цілеспрямованості прийняття рішення. Ця цілеспрямованість у кожній системі може бути виражена у вигляді деякої фіксованої послідовності станів, бажаних з точки зору кожної системи. Основою цієї послідовності служить величина втрат життєво важливих елементів обома системами.

Визначена кількісна оцінка результату конфлікту через функцію виграшу.

Функція виграшу – це найбільш об'єктивна характеристика конфліктної ситуації, яка досить повно описує цей конфлікт. Вид функції виграшу залежить від ступеня конфліктності ситуації, тобто від того, як впливає одна система на здійсненість мети іншою системою, а також від того рівня, на якому ведеться конфлікт.

Список використаної літератури

1. Росляков А. В. Сети следующего поколения / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, И. В. Шибаева, С. В. Ваняшин, И. А. Чечнева; под ред. А.В. Рослякова. – Москва: Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
2. Крапивин В.Ф. Теоретико-игровые методы синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях / В. Ф. Крапивин. – Москва: Советское радио, 1972. – 192 с.
3. Бурлов В. Г. Синтез модели и способов функционирования системы в условиях конфликта / В. Г. Бурлов, Е. А. Зенина, А. В. Матвеев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2012. – №. 3 (150). – С. 72-79.
4. Росляков А. Future Networks. Версия МСЭ - Т. Часть 1 / Росляков А. // ИКС No12. – 2014. – С. 68-70. – <http://www.iksmedia.ru/articles/5158228> – Future – Networks – Versiya – MSET - Chast.html.
5. Михайлов А. С. Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей для идентификации и диагностики технических объектов / А. С. Михайлов, Б. А. Староверов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – №. 3. – С. 64-68.
6. Морозов В. К. Основы теории информационных сетей / В. К. Морозов, А. В. Долганов – Москва: Высшая школа, 1987. – 271с.
7. Семко В. В. Модель конфлікту взаємодії об'єктів кібернетичного простору / В. В. Семко // Проблеми інформатизації та управління. – 2012. – Т. 2. – №. 38. – С. 88-92.

References

1. Rosljakov A. V., Samsonov M. Ju., Shibaeva I. V., Vaniashin S. V., Chechnjova I. A. "Next generation networks." *Moskva: Eko-Trendz* (2008): 424.
2. Kravivin V. F. "Theoretical and playing synthesis methods of the complex in conflict situations." *Moskva: Sovetskoe radio* (1972): 192.
3. Burlov V. G., Zenina E. A., Matveev A. V. "Synthesis of model and methods of the system functioning in the conflict conditions." *The Scientific and technical lists of the Saint-Petersburg State Polytechnic University. Informatics. Telecommunications. Management* 3(150) (2012): 72-79.
4. Rosljakov A. "Future Networks. Version ITU-T. Part 1." <http://www.iksmedia.ru/articles/5158228> – *Future – Networks – Versiya – MSET - Chast.html* (2014): 68-70.
5. Mihailov A. S., Staroverov B. A. "Problems and prospects of the artificial neuron networks using for authentication and diagnostics of technical objects." *Bulletin of the Ivanovo State University* 3 (2013): 64-68.
6. Morozov V. K., Dolganov A. V. "Bases of informative networks theory." *Mockva: Vysshaja shkola* (1987): 271.
7. Semko V. V. "Conflict model of interprocessing of cybernetic objects." *Problemy iformatyzatsii ta upravlinnia* 2(38) (2012): 88-92.

Автор статті

Бондарчук Андрій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (97) 408 61 31. E-mail: 0-99@mail.ru.

Author of the article

Bondarchuk Andrii Petrovych – candidate of sciences (technical), assistant professor, dean of informative technologies faculty, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (97) 408 61 31. E-mail: 0-99@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 07.08.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. В. Вишнівський
Державний університет телекомунікацій, м. Київ,

УДК 621.391.1:621.394.74-503.5

Торошанко Я. І. Державний університет телекомунікацій, Київ**Якимчук Н. М.** Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ РІЗНОРІДНОГО САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Показано, що для усунення пачковості трафіку, викликаного самоподібністю вхідного потоку, необхідно керувати його параметрами, у першу чергу, періодом надходження пакетів. Завдяки цьому уповільнюється швидкість зростання черг у буферній пам'яті комутаційних вузлів і знижується ризик перевантаження окремих маршрутів та автономних мережних сегментів. Сформульовані основні напрямки подальших досліджень: отримання кількісних оцінок потрібних об'ємів буферної пам'яті і затримок обробки потоків трафіку у відповідності з часом життя пакетів.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, самоподібний трафік, теорія масового обслуговування, багатоканальна система, формула Літтла, параметр Херста.

Toroshanko Ya. I. State University of Telecommunications, Kyiv**Yakymchuk N. M.** Lutsk National Technical University

ANALYSIS AND MODELLING OF HETEROGENEOUS SIMILAR TRAFFIC OF COMPUTER NETWORKS

The models of computer networks heterogeneous traffic with selfsimilar characteristics are analysed. For the removal of batch property traffic, that is caused by selfsimilarity of input stream that, it is necessary to manage his parameters, in the first turn the period of receipt of packets. Due to it speed of growth of turns in buffer memory of switchboard knots is slowed. As a result, the risk of congestion of separate routes and autonomous network segments goes down. The main directions of subsequent researches are formulated: receipt of quantitative estimations of necessary volumes of annex memory and delays of treatment of traffic in accordance with times of packet life. The calculations results of basic technical and economical indicators of network for the different input traffic models are resulted. A comparative analysis is executed both for the Poissons and for the similar streams

Keywords: computer network, selfsimilar traffic, congestion, queueing system theory, multichannel system, Little formula, Herst parameter.

Торошанко Я. И. Государственный университет телекоммуникаций, Киев**Якимчук Н. Н.** Луцкий национальный технический университет

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗНОРОДНОГО САМОПОДОБНОГО ТРАФФИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Показано, что для устранения пачковости траффика, вызванного самоподобием входного потока, необходимо управлять его параметрами, в первую очередь, периодом поступления пакетов. Благодаря этому замедляется скорость роста очередей в буферной памяти коммутационных узлов и снижается риск перегрузки отдельных маршрутов и автономных сетевых сегментов. Сформулированы основные направления последующих исследований: получение количественных оценок нужных объемов буферной памяти и задержек обработки потоков траффика в соответствии со временем жизни пакетов.

Ключевые слова: компьютерная сеть, самподобный траффик, теория массового обслуживания, многоканальная система, формула Литтла, параметр Херста.

© Торошанко Я. І., Якимчук Н. М., 2017

Вступ. Постановка задачі

Процеси функціонування мереж і систем зв'язку можна представити деякою сукупністю систем масового обслуговування (СМО), для яких визначаються характеристики якості обслуговування QoS [1]. Пропускна здатність СМО тісно пов'язана з оцінкою показників якості обслуговування трафіку, що вимагає врахування багатьох факторів для побудови адекватних, науково обгрунтованих методів їх розрахунку. Методи оцінки характеристик якості обслуговування базуються на математичних моделях. У математичних моделях теорії телетрафіка враховуються вид вхідного потоку, схема системи і дисципліна обслуговування [1, 2].

Виникає багато випадків, коли важливо прогнозувати вплив деякої зміни в конструкції та/або топології мережі: або очікується зріст навантаження на мережу, або планується модифікація чи розширення мережі.

Продуктивність мережі – системна характеристика. В інтерактивній системі або у системі реального часу одним з основних параметрів продуктивності є час реакції. Якщо є якась система з розподіленим середовищем, наприклад, телекомунікаційна чи комп'ютерна мережа, лінія високовольтної передачі, система з розподілом, то попит у послугах такої системи зазвичай збільшується в показовому степені.

Типовий приклад наведений на рис. 1 [3, 4]. Верхня лінія показує, як змінюється затримка відповіді t_B системи з розподілом ресурсів при збільшенні коефіцієнту використання k_B мережі (нагадаємо, що коефіцієнт використання мережі є відношення навантаження на мережу до пропускної спроможності мережі).

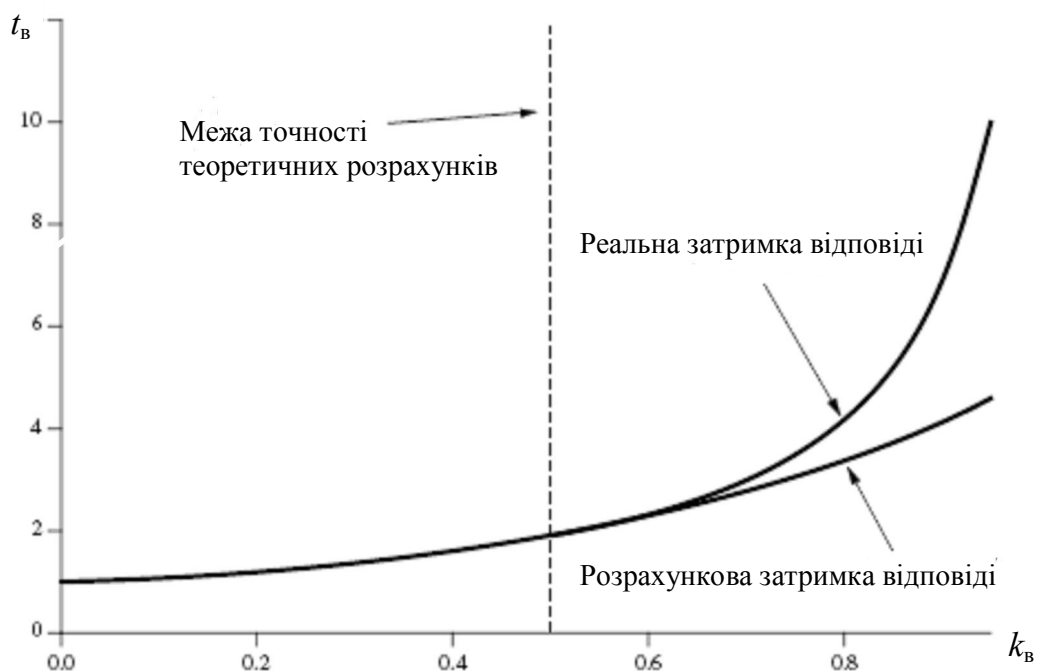


Рис. 1. Залежність затримки відповіді системи з розподілом ресурсів при збільшенні коефіцієнту використання мережі

Можна зробити висновок, що при простій екстраполяції реальна якість роботи системи не відповідає розрахунковій вже при $k_B \geq 0,6 \dots 0,7$, а при $k_B \geq 0,8 \dots 0,9$ мережа взагалі починає працювати “на себе”, передаючи втрачені пакети знову і знову [5].

Для комп'ютерів, операційних систем, мережних технологій, інших практичних задач аналітичні моделі, засновані на теорії масового обслуговування (ТМО), забезпечують прийнятну збіжність теорії та практики.

Точність результатів імітаційного моделювання в усіх випадках обмежена точністю вхідних даних. Крім того, навіть за наявності багатьох припущень, що вводяться при використанні ТМО, отримані результати бувають близькими до тих, які були б одержані б при більш детальному імітаційному моделюванні [6, 7]. До того ж, аналіз на основі ТМО може виконаний за короткий термін, ніж моделювання. Розглянемо застосування ТМО до аналізу телекомунікаційних та комп'ютерних мереж.

Моделі теорії масового обслуговування

Модель одноканальної СМО – найпростішої – зображено на рис. 2 [8]. Центральний елемент системи – сервер, який обслуговує деякі заявки. Ці заявки поступають в систему обслуговування. Якщо сервер вільний, заявка обслуговується негайно. Інакше заявка, що прибуває, стає в чергу. Коли сервер завершив обслуговування заявки, вона відбуває. Якщо є заявки, що чекають в черзі, одна з них негайно поступає на обслуговування до сервера. Сервер в цій моделі може виконувати деяку функцію обслуговування заявок. Приклади: процесор надає послугу процесам; лінія передачі даних надає послугу передачі пакетам або кадрам; пристрій вводу-виводу забезпечує читання або запис запитів.

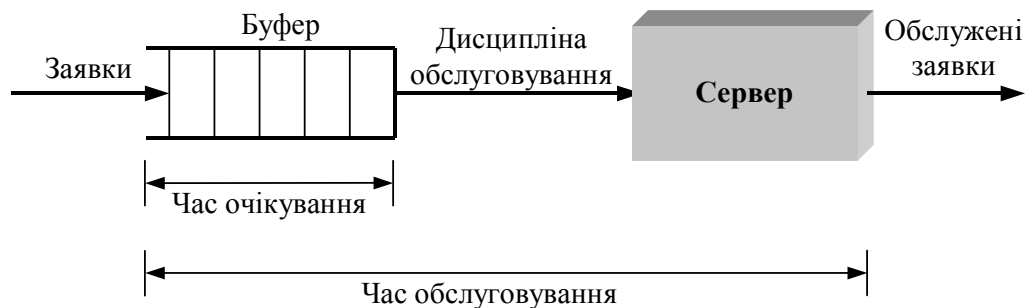


Рис. 2. Модель одноканальної СМО

Параметри потоку заявок, які пов'язані із моделями масового обслуговування, ілюструються на рис. 2. Заявки прибувають в буфер з деякою середньою інтенсивністю λ (число заявок у секунду). Заявки прибувають в буфер з деякою середньою інтенсивністю λ (число заявок у секунду). У будь-який даний час, в черзі буде знаходитись певна кількість заявок (нуль або більше); позначимо середнє число заявок у черзі через w , середнє число заявок, що обслуговуються – через ρ , а середній час очікування T_w . Цей час усереднюється по всім заявкам, що поступають на вхід, з урахуванням тих, які не чекають взагалі. Сервер обслуговує заявки, що поступають, з середнім часом обслуговування T_s . Це часовий інтервал між посилкою заявки до сервера і виходу обслуженої заявки з сервера. Інтенсивність обслуговування μ – це число обслужених заявок за одиницю часу. Загальне середнє число заявок, що знаходяться в системі, в тому числі заявка, що обслуговується (якщо вона є) і заявки, що очікують обслуговування (якщо вони є), означимо r і середній час, впродовж якого заявка знаходиться в системі (чекає своєї черги і обслуговується,) – T_r ; цей час розглядаємо як середній час загального знаходження заявки в системі (очікування плюс обслуговування).

Якщо ємність черги нескінченна, то заявки в системі ніколи не втрачаються; вони тільки затримуються впродовж часу очікування та обслуговування. При цих обставинах середнє число відправлених заявок дорівнює середньому числу прибуваючих заявок у одиницю часу. При збільшенні інтенсивності прибуття заявок на вхід системи час знаходження заявок в системі також збільшується, що призводить до заторів. Черга стає довшою, час очікування збільшується. При $\rho=1$, тобто $\lambda=\mu$, сервер насичується, працюючи 100% часу. Тому теоретична максимальна інтенсивність вхідного потоку пов'язана з середнім часом обслуговування T_s як $\lambda_{\max} = 1/T_s$.

Проте при насиченні системи, коли $\rho \rightarrow 1$, черга зростає до нескінченності. На практиці при обмеженому розмірі буферної пам'яті та наявності обмежень на затримку відповіді зазвичай обмежують інтенсивність вхідного потоку в одноканальній системі лімітом від 70% до 90% відносно теоретичного максимуму.

До подовження аналізу зробимо деякі припущення щодо цієї моделі.

Довжина потоку заявок. У першому наближенні приймається модель нескінченного потоку. Це означає, що середня частота появлення заявок не змінюється при їх втратах. Якщо довжина потоку обмежена, то обсяг заявок, які можна очікувати на вході системи, зменшується на число заявок, що зараз знаходяться в системі; це зазвичай приводить до пропорційного зменшення середньої частоти появлення заявок.

Розмір черги. Якщо приймається нескінченний розмір черги, час очікування може рости до нескінченності. За умов обмеженої черги деякі заявки в системі можуть втрачатися. На практиці, звичайно, будь-яка черга є обмеженою. У багатьох випадках це не приводить до суттєвої різниці в аналізі.

Дисципліна обслуговування. Коли сервер закінчує обслуговування поточної заявки, і, якщо в черзі є більш ніж одна заявка, повинно бути прийнято рішення щодо того, яку заявку обслуговувати далі. Найпростіша дисципліна обслуговування – так звана дисципліна *FIFO* (*First In – First Out*) – перший увійшов, перший вийшов; ця дисципліна – те, що зазвичай мається на увазі при використанні власно терміну "черга".

Інший вид дисципліни обслуговування – *LIFO* (*Last In – First Out*) останній зайшов – перший вийшов [9, 10].

У комп'ютерних та телекомунікаційних мережах можуть обирати й інші дисципліни обслуговування, наприклад:

– *Service in random order (SIRO)* або "перший зайшов – у випадковому порядку вийшов" (*FIRO*);

– найкоротші заявки обслуговуються першими – *Shortest processing time first (SPT)*;

– пріоритетне обслуговування заявок – *Service in according to priority (PRS)*.

На практиці вибирають дисципліну обслуговування з міркувань припустимого часу обслуговування. Наприклад, у вузлі з комутацією пакетів можна передбачити відправку спочатку найкоротших або навпаки, найдовших пакетів. Цей вибір визначається характером трафіку та вимогами до якості обслуговування.

Модель багатоканальної системи. На рис. 3 зображено узагальнену модель багатоканальної системи обслуговування з загальним буфером. Якщо заявка прибуває в момент, коли хоча б один сервер вільний, вона негайно відсилається до того сервера. Передбачається, що всі сервери ідентичні; тому, якщо доступний більш ніж один сервер, не має значення, який сервер вибраний для обслуговування. Якщо всі сервери зайняті, починає формуватися черга. Як тільки один сервер звільняється, заявка вибирається з черги, відповідно з діючою дисципліною обслуговування.

За винятком інтенсивності обслуговування ρ , всі параметри, використані при аналізі одноканальної системи, мають той же сенс. Якщо ми маємо N ідентичних серверів з однаковою інтенсивністю обслуговування кожним сервером, що дорівнює ρ , то можна вважати, що середня інтенсивність обслуговування системи в цілому дорівнює $N\rho$; цей останній термін часто співвідносять з інтенсивністю трафіку u , що чисельно дорівнює інтенсивності вхідного потоку заявок λ . Теоретичний максимум відносної інтенсивності обслуговування дорівнює $N \times 100\%$, а теоретичний максимум інтенсивності

вхідного потоку є $\lambda_{\max} = \frac{N}{T_s}$.

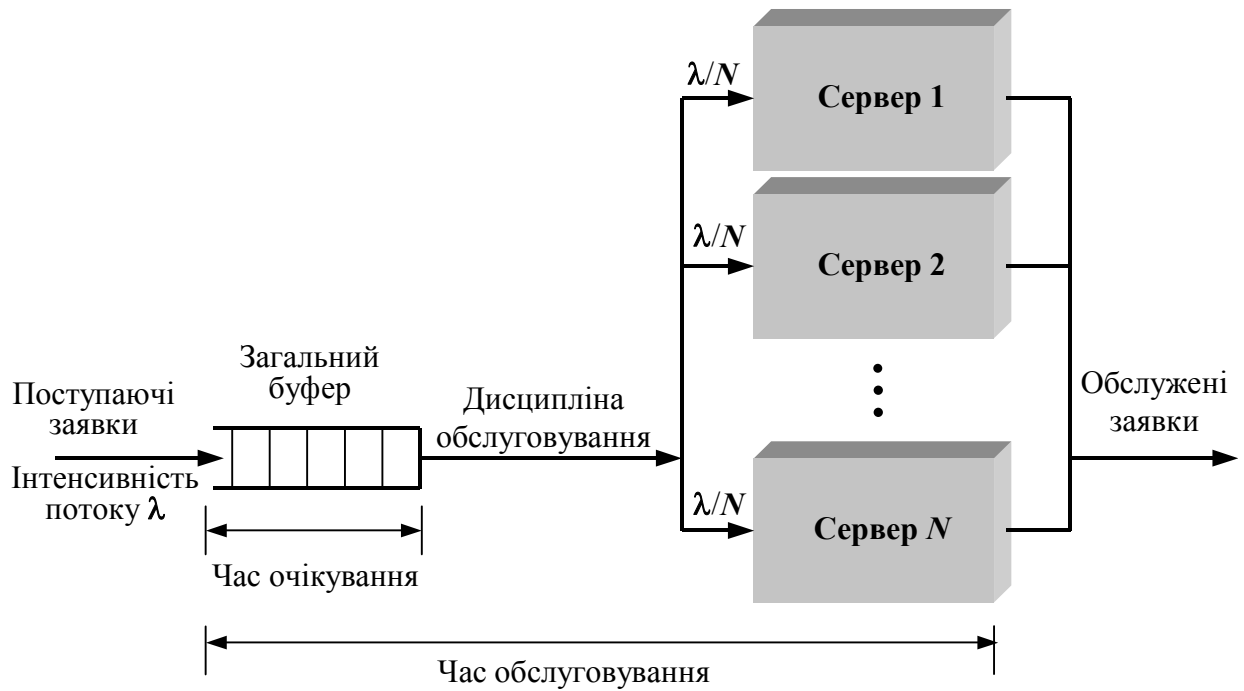


Рис. 3. Багатоканальна система обслуговування з загальною буферною пам'яттю (загальна черга з заданою дисципліною обслуговування)

На рис. 4 зображено багатоканальну систему з розділеною буферною пам'яттю, що можна трактувати як паралельну структуру з одноканальних систем обслуговування. Хоча зміни в структурі не є принциповими, робочі характеристики зображеної системи можуть відрізнятися від тих, що розглянуті раніше.

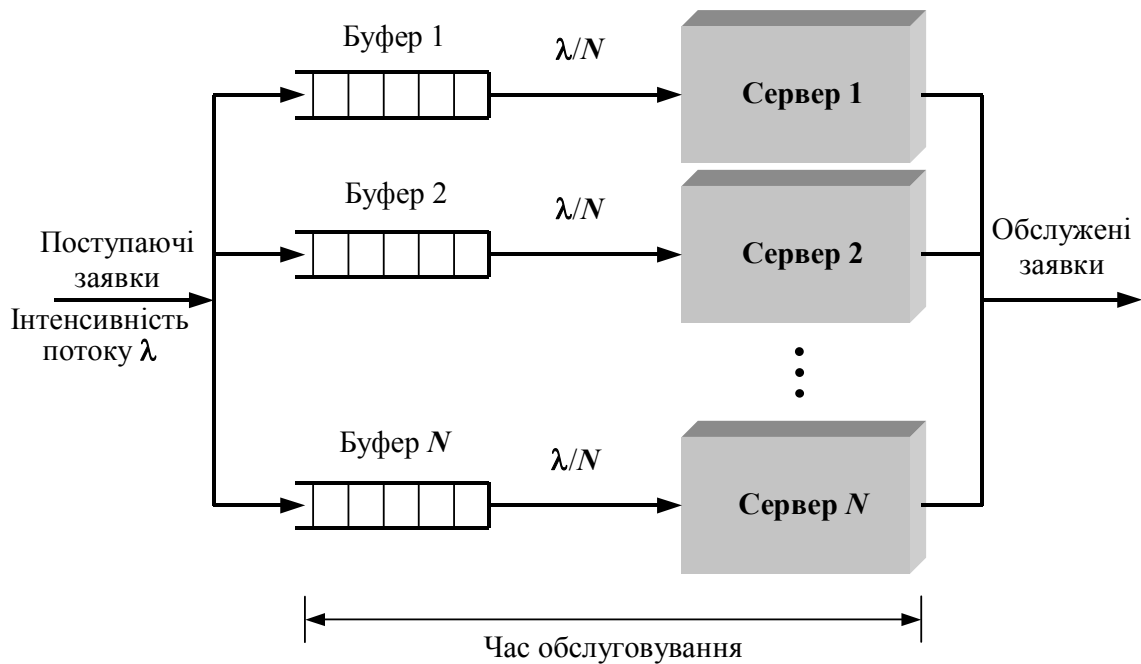


Рис. 4. Багатоканальна система обслуговування з роздільною буферною пам'яттю (індивідуальні черги з заданими дисциплінами обслуговування)

Ключові характеристики для черги з декількома обслуговуючими пристроями аналогічні характеристикам для одноканальної системи. Припускається нескінченний об'єм буферної пам'яті і нескінченний розмір черги, з розподілом черги між всіма обслуговуючими пристроями (серверами). Звичайно вважають, що реалізується дисципліна обслуговування в порядку надходження (*FIFO*). Для випадку багатоканальної системи обслуговування, якщо всі сервери передбачаються ідентичним, вибір специфічного сервера для чергової заявки не впливає на час обслуговування.

Основні співвідношення теорії масового обслуговування

Наведемо деякі співвідношення, справедливі для стаціонарних та ергодичних процесів приходу заявок на обслуговування. Ці співвідношення можуть бути корисні як асимптотичні наближення реальних процесів.

Для оцінювання середнього розміру черзі r за умов стаціонарності та ергодичності процесу приходу заявок використовуються формула Літла [6]:

$$\text{– для одноканальної системи обслуговування} \quad r = \lambda T_r, \quad r = w + \rho;$$

$$\text{– для } N\text{-канальної системи обслуговування} \quad \rho = \frac{\lambda T_r}{N}, \quad u = \lambda T_s = \rho N, \quad r = w + N\rho,$$

де $T_r = T_w + T_s$.

Відповідно можна через формули Літла зв'язати число ρ з інтенсивністю приходу заявок λ та часом знаходження заявки в системі T_s . Воно дорівнює $\rho = \lambda T_s$.

Таким чином, для аналізу СМО необхідно мати таку апіорну інформацію:

- інтенсивність вхідного потоку заявок;
- середній час обслуговування;
- число каналів обслуговування.

На основі даної інформації можна отримати асимптотичні оцінки середнього числа заявок у черзі, середній час очікування та загальний час знаходження заявки в системі.

Необхідно враховувати, що потоки заявок можуть бути розподілені не по закону Пуассона, а по іншим імовірнісним законам з так званими “важкими хвостами” [5]. Це розподіли Парето, Вейбулла, логарифмічно-нормальний розподіл, гамма-розподіл, бета-розподіл та деякі інші, менш популярні.

Наприклад, для розподілу Парето основні співвідношення мають наступний вид:

$$\text{– щільність імовірності} \quad f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1}, \quad \text{де } k \text{ і } \alpha (k, \alpha > 0) \text{ – параметри розподілу;}$$

$$\text{– функція імовірності:} \quad F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha} (x > k; \alpha > 0);$$

$$\text{– середнє значення} \quad E[X] = \frac{\alpha}{\alpha-1} k \quad (\alpha > 1).$$

Реальні випадкові процеси, звичайно, зберігають властивість самоподібності тільки до певної межі. Ця міра статистичної усталеності процесу при багаторазовому масштабуванні визначається так званим параметром Херста чи пов'язаним з ним параметром самоподібності. Випадковий процес $x(t)$ є статистично самоподібним з параметром Херста H ($0,5 \leq H \leq 1$), якщо для будь-якого $a > 0$ процес $\frac{x(at)}{a^H}$ має ті ж статистичні характеристики, що і сам процес $x(t)$:

$$\text{– математичне очікування} \quad M[x(t)] = \frac{M[x(at)]}{a^H};$$

- дисперсія $D[x(t)] = \frac{D[x(at)]}{a^{2H}}$;
- кореляційна функція $R(t, \tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^{2H}}$.

Чим більше H , тим довше зберігається властивість самоподібності при багаторазовому масштабуванні. При $H = 0,5$ ця властивість практично відсутня.

Кореляційні функції самоподібних процесів з великим параметром Херста загасають повільніше, ніж у звичайних випадкових процесів, причому спадання має, як правило, коливальний характер. Установлено, що спадання постійної складової кореляційної функції відбувається за законом

$$c_1 t^{-c_2 a},$$

де c_1, c_2 – константи, a – параметр масштабу.

Відповідно і спектральна щільність процесу теоретично прагне до нескінченності при частоті, що наближується до нуля.

Такі специфічні характеристики властиві не тільки трафіку даних (протоколи TCP, FTP), але і сигнальному трафіку (протокол SS7), VBR-відео, Ethernet/ISDN і деяких інших. Фізично вони обумовлені високим ступенем групування пакетів на клієнтських ділянках, у маршрутизаторах і вузлах комутації інфокомунікаційних мереж. Навіть якщо джерело породжує регулярний потік пакетів, дані до споживача доставляються серіями, що перемежуються інтервалами простою. Причинами цього є обмежена швидкість роботи мережних пристроїв, недостатній обсяг буферів і ін.

Крім того, самоподібний трафік має особливу структуру, що зберігається при багаторазовому масштабуванні - у реалізації, як правило, є присутнім деяка кількість викидів при відносно невеликому середньому рівні трафіку. Через такі сплески навантаження характеристики мережі також погіршуються: збільшуються втрати, затримки, джиттер пакетів при проходженні через вузли мережі.

Методи розрахунку вимог до мереж нових поколінь (пропускної здатності каналів, ємності буферів і ін.) засновані на марківських моделях і формулах Ерланга чи Літгла, що з успіхом використовувалися при проектуванні телефонних мереж, можуть давати невиправдано оптимістичні рішення і приводити до недооцінки навантаження.

При самоподібній природі трафіку залежність середньої тривалості черги (відповідно, необхідного розміру буфера) q від середнього коефіцієнта використання має наступний вид:

$$q = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{(1-\rho)^{H/(1-H)}}.$$

При $H=0,5$ ця формула спрощується: $q = \rho/(1-\rho)$, що представляє собою класичний результат СМО з найпростішим входним потоком і показниково розподіленим часом обслуговування ($M/M/1$). Для системи з детермінованим часом обслуговування ($M/D/1$) класичний результат виглядає в такий спосіб:

$$q = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}.$$

На рис. 5 наведено результати розрахунків залежності потрібної пам'яті буфера q_{buff} від коефіцієнта використання $\rho = \lambda/\mu$ для різних моделей входного трафіку. Розрахунки зроблено як для Пуассонівських потоків заявок $M/M/1$, $M/D/1$, так і для самоподібних потоків.

На графіках добре видно, що для самоподібного трафіку вже при $\rho \approx 0,4$ потрібен більший ресурс пам'яті буферних пристроїв, ніж для класичної моделі M/M/1, що вважається найменш сприятливою в порівнянні з іншими (наприклад, з постійним чи гаусівським розподілом часу обслуговування). Швидкість росту необхідного обсягу пам'яті росте при збільшенні параметра Херста, що обумовлено, в основному, ступенем групування однорідних пакетів і сплесками навантаження на мережу.

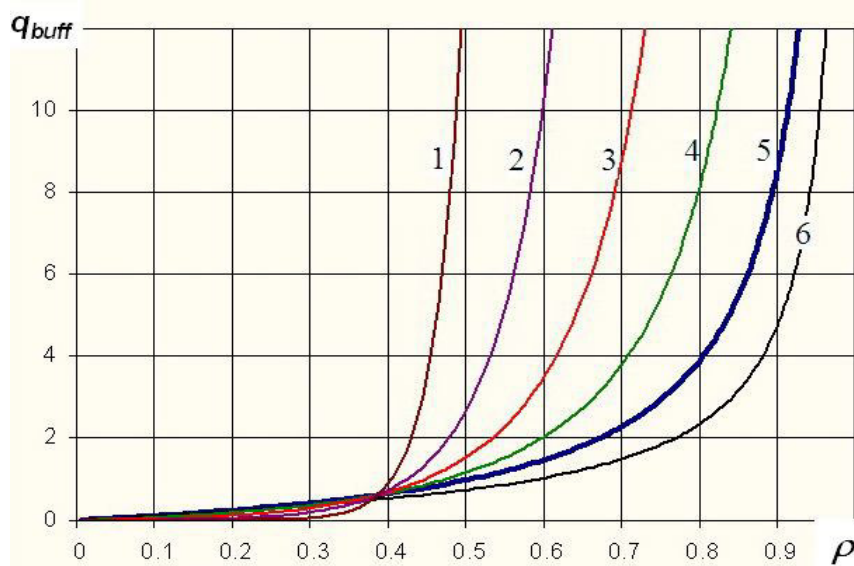


Рис. 5. Залежності потрібної пам'яті буфера від коефіцієнта використання ρ .
(1 – H=0,6; 2 – H=0,8; 3 – H=0,7; 4 – H=0,4; 5 – M/M/1; 6 – M/D/1)

Можна також зробити висновок, що просте нарощування буферної пам'яті (апаратним чи програмним способом) є малоефективним. При очікуваному збільшенні частки трафіку даних у загальному обсязі степінь самоподібності буде збільшуватися, і залежність $\rho(q_{buff})$ буде зростати все більш різко.

Для усунення або хоча б зниження шкідливого впливу самоподібності трафіку зазвичай використовують методи регулювання або формування вхідного потоку (policing – shaping). В ідеалі це призводить до детермінованого або близького до нього порядку надходження заявок. При детермінованому трафіку (детермінованому порядку поступаючих заявок та детермінованому часі обробки) графік зростання черги представляє собою лінійно-ламану лінію (рис. 6).

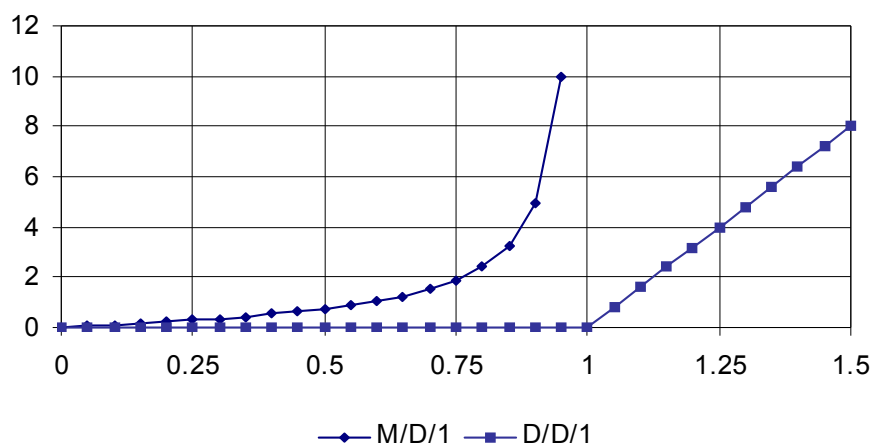


Рис. 6. Графік зростання черги при детермінованому трафіку

На практиці як трафік на виході формувача, так і час обробки пакетів є квазідетермінованими (позначимо їх QD). На рис. 7 зображені графіки для відповідних випадків.

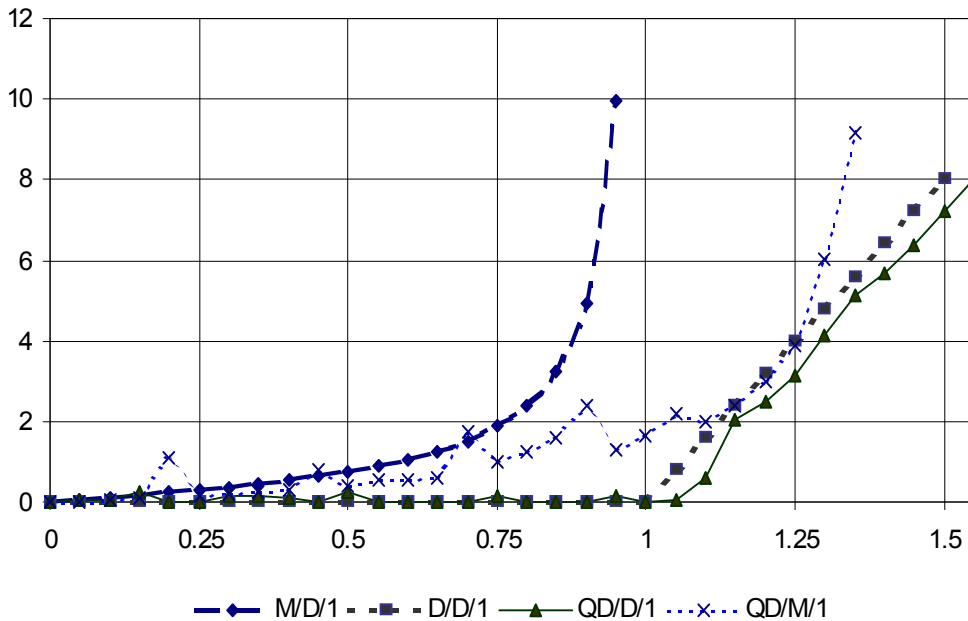


Рис. 7. Графік зростання черги при квазідетермінованому трафіку

Висновки

У даній роботі проаналізовані моделі різнорідного трафіку комп'ютерних мереж, який має самоподібні властивості. Для усунення пачковості трафіку, викликаного самоподібністю вхідного потоку, необхідно керувати його параметрами, у першу чергу, періодом надходження пакетів. Завдяки цьому уповільнюється швидкість зростання черг у буферній пам'яті комутаційних вузлів. Як наслідок, знижується ризик перевантаження окремих маршрутів та автономних мережних сегментів.

У подальших дослідженнях планується отримати кількісні оцінки потрібних об'ємів буферної пам'яті, затримок обробки потоків трафіку у порівнянні з наявним часом життя пакетів.

Список використаної літератури

1. Ложковский А. Г. Теория массового обслуживания в телекоммуникациях / А. Г. Ложковский. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. – 112 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – Москва: Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. - 538 pp
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 783 с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.
6. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва: Наука, 1987. – 336 с.
7. Leland W. E. On the self-similar nature of Ethernet traffic / W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, D. V. Wilson // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1994. – №2(1). –P. 1-15.

8. Lindley D. V. The theory of queues with a single server / D. V. Lindley // *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. – April 1952. – Vol. 48. – Issue 02. – P 277-289.
9. Цыбаков Б. С. Наилучшая и наихудшая передачи пакетов / Б. С. Цыбаков, П. Папантони-Казакос // *Проблемы передачи информации*. – 1996. – Т. 32. – Вып. 4. – С. 72-92.
10. Figueira N. R. Leave-in-time: A new service discipline for real-time communications in a packet-switching network / N. R. Figueira, J. Pasquale // *Proceedings of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication (ACM SIGCOMM '95)*. - Cambridge, MA, USA, September 1995. – P. 207-218.

References

1. Lozhkovskiy A. G. "Queueing systems theory in telecommunications." *Odessa: O.S. Popov ONAT* (2012): 112.
2. Kleinrock L. "Queueing systems theory." *Moskva: Mashinostroyeniye* (1979): 432.
3. Stallings W. "Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud." *Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey* (2016): 538.
4. Stallings W. "Modern computer networks. 2-d ed." *Sankt-Peterburg: Piter* (2003): 783.
5. Vinogradov N. A. "Analysis of potential descriptions of commutation devices of and management of the new generations networks." *Zviazok* 4 (2004): 10-17.
6. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. "Introduction in queueing systems theory." *Moskva: Nauka* (1987): 336.
7. Leland W. E., Taqqu M. S., Willinger W., Wilson D. V. "On the self-similar nature of Ethernet traffic." *IEEE/ACM Transactions on Networking* 2(1) (1994): 1-15.
8. Lindley D. V. "The theory of queues with a single server." *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* Vol. 48 Issue 02 (April 1952): 277-289.
9. Cybakov B. S., Papantoni-Kazakos P. "The best and the worst transmissions of packets." *Problemy peredachi informacii* 32(4) (1996): 72-92.
10. Figueira N. R., Pasquale J. "Leave-in-time: A new service discipline for real-time communications in a packet-switching network" *Proceedings of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication (ACM SIGCOMM '95)*. - Cambridge, MA, US, (September 1995): 207-218.

Автори статті

Торошанко Ярослав Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Якимчук Наталія Миколаївна – асистент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет. Тел. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Authors of the article

Toroshanko Yaroslav Ivanovych – candidate of sciences (technical), professor of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Yakymchuk Natalia Mykolaivna – assistant of electronics and telecommunications department. Lutsk National Technical University. Tel. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Дата надходження
в редакцію: 9.09.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор М. А. Віноградов
Національний авіаційний університет, Київ,

УДК 004.896:004.451.25

Мельник Ю. В., Мельник В. Ю. Державний університет телекомунікацій, Київ

ПРИНЦИПИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Розглянуті інтелектуальні інформаційні технології та досліджені їх загальні властивості для управління телекомунікаційними мережами. Розроблена схема узагальненої структури системи інтелектуального управління та визначені основні зв'язки між її складовими. Розглянута концепція ієрархічної побудови систем управління складними динамічними об'єктами з використанням методів і технологій штучного інтелекту як засобу боротьби з невизначеністю зовнішнього середовища.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, інтелектуальне управління, невизначеність середовища, ситуаційне управління, нейро-нечітка мережа, експертна система.

Melnyk Yu. V., Melnyk V. Yu. State University of Telecommunications, Kyiv

PRINCIPLES OF INTELLECTUAL MANAGEMENT OF TELECOMMUNICATION NEW GENERATION NETWORKS

In the article the intellectual information technologies are considered and their general properties for management of telecommunication networks are investigated. The scheme of the generalized structure of the system of intellectual management is developed and the main connections between its components are determined. It is established that in the system of management of complex dynamic objects it is necessary to use methods and technologies of artificial intelligence as a means of controlling the uncertainty of the external environment. Necessary intellectualization of each level of leveling control of the influence of various factors of uncertainty on the functions performed by the control system.

The properties of applied intellectual technologies are presented. The principles of intellectual management of the new generation networks and the properties of intellectual technologies are determined.

Keywords: telecommunication network, intellectual management, of *environments* vagueness, situational management, neuro-fuzzy network, expert system.

Мельник Ю. В., Мельник В. Ю. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПРИНЦИПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены интеллектуальные информационные технологии и исследованы их общие свойства для управления телекоммуникационными сетями. Разработана схема обобщенной структуры системы интеллектуального управления и определены основные связи между ее составляющими. Рассмотрена концепция иерархического построения систем управления сложными динамическими объектами с использованием методов и технологий искусственного интеллекта как средства борьбы с неопределенностью внешней среды.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, интеллектуальное управление, неопределенность среды, ситуационное управление, нейро-нечеткая сеть, экспертная система.

Вступ. Створення систем, які орієнтуються для роботи в умовах неповноти або нечіткості вихідної інформації, невизначеності зовнішніх впливів і середовища функціонування, вимагає залучення нетрадиційних підходів до управління з використанням методів і технологій штучного інтелекту.

© Мельник Ю. В., Мельник В. Ю., 2017

Такі системи, що названі інтелектуальними системами управління, утворюють зовсім новий клас, для якого не тільки принципи побудови, методи аналізу й синтезу перебувають у стадії розвитку, але й основні поняття й визначення мають потребу в ретельному методичному проробленні.

Принципи побудови інтелектуальних систем управління складними системами

Високий рівень автономності, адаптивності й надійності систем управління, при наявності різного роду невизначеностей, повинен забезпечуватися за рахунок підвищення їхніх інтелектуальних можливостей, заснованих на обробці спеціальних знань.

Наукові дослідження й розробка принципів побудови інтелектуальних систем управління складними динамічними розподіленими інфокомунікаційними мережами насамперед вимагає чіткого тлумачення терміну «інтелектуальна система». Загальним у його трактуванні, що приводиться в науковій літературі, є те, що основною відмінною рисою інтелектуальних систем є можливість системної обробки знань.

До розряду інтелектуальних можна віднести принаймні чотири інформаційні технології: технології експертних систем, технології нечіткої логіки, технології нейромережових структур, технології асоціативної пам'яті [1].

Головною відмінною рисою технології експертних систем є можливість роботи з формами явного подання знань, включаючи продукційні правила, предикати, семантичні мережі й фреймоподібні структури. Яскраво виражена структурованість цих форм обумовлює застосування формалізованих логічних методів для аналізу й уточнення знань, а також висновку по сукупності вихідних даних.

Технології нечіткої логіки, орієнтовані на обробку логіко-лінгвістичних моделей подання знань. Моделі такого типу призначені для формалізації неточних, розмитих у суттєвому відношенні суджень і будуються з використанням узагальнених категорій, що задають класифікацію вихідних понять на рівні нечітких множин.

Один з перспективних підходів до організації обробки неявних форм подання знань пов'язаний із застосуванням *технології нейромережових структур*, що акумулює й відтворює основні функціональні особливості біологічних прототипів. Ця технологія побудови інтелектуальних систем припускає формування однорідних структур, що складаються з множини взаємозалежних елементів із заданою характеристикою перетворення сигналів. Сукупність знань, що закладають у процесі навчання такої структури, визначається настроюванням коефіцієнтів міжелементних зв'язків і дозволяє забезпечити надійну класифікацію пропонованих прикладів. При цьому найважливішою особливістю нейромережових структур є їхня висока швидкодія, що досягає за рахунок паралельності обробки інформації при їхній апаратній реалізації.

Пошуки альтернативних шляхів побудови швидкодіючих систем обробки знань привели до розвитку *технології асоціативної пам'яті*. Ця технологія припускає використання механізмів відновлення цілісних образів по їхніх окремих елементах і зводиться до роботи з багатомірними масивами даних, що характерно для багатовимірних мереж майбутнього *FGN*. Знання, що зберігаються в пам'яті, мають неявну форму подання й задають класифікацію понять деякої предметної області у вигляді сполучення ознак. Головні переваги такого підходу пов'язані із простотою як програмного, так і апаратного втілення асоціативної пам'яті, що забезпечує високу швидкодію [2].

Порівняльний аналіз різних інтелектуальних технологій дозволяє виділити ряд загальних для них властивостей, головна з яких пов'язана з використанням класифікації тих або інших понять як засіб для встановлення зв'язків між окремими явищами розглянутої предметної області. Ця особливість має ключове значення для розробки принципів організації інтелектуального управління на основі застосування сучасних технологій обробки знань.

Виходячи з ключових положень теорії ситуаційного управління кожному класу ситуацій (рис. 1.), виникнення яких вважається припустимим у процесі функціонування мережі, ставитися у відповідність деяке рішення по управлінню.

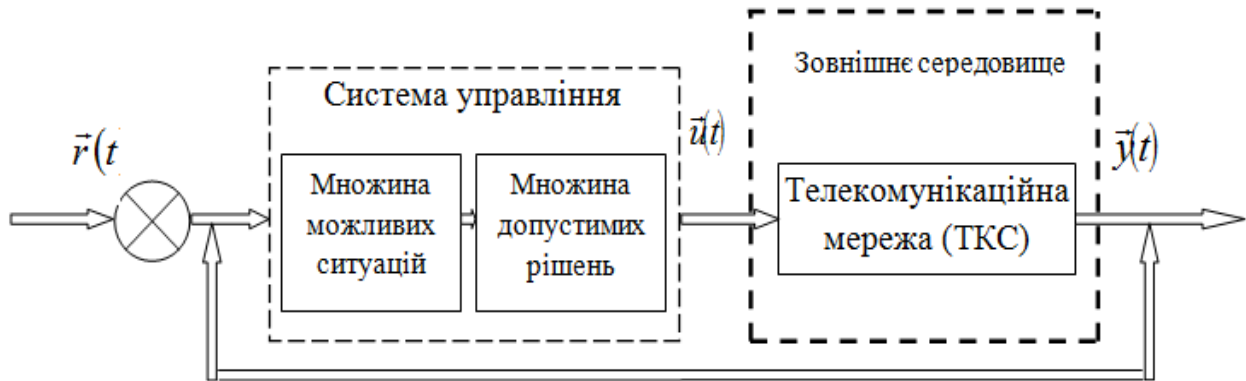


Рис. 1. Реалізація принципів ситуаційного управління.

Тоді сформована ситуація, обумовлена поточним станом як самої мережі, так і її зовнішнього середовища й яка ідентифікується за допомогою вимірювально-інформаційних засобів, може бути віднесена до деякого класу, для якого необхідне управління вже вважається відомим.

Таким чином, практична реалізація концепції ситуаційного управління на основі сучасних інтелектуальних технологій припускає наявність розгорнутої бази знань про принципи побудови й мету функціонування системи, специфіку використання різних алгоритмів, особливостях виконавчих сегментів і мережі в цілому (рис. 2).

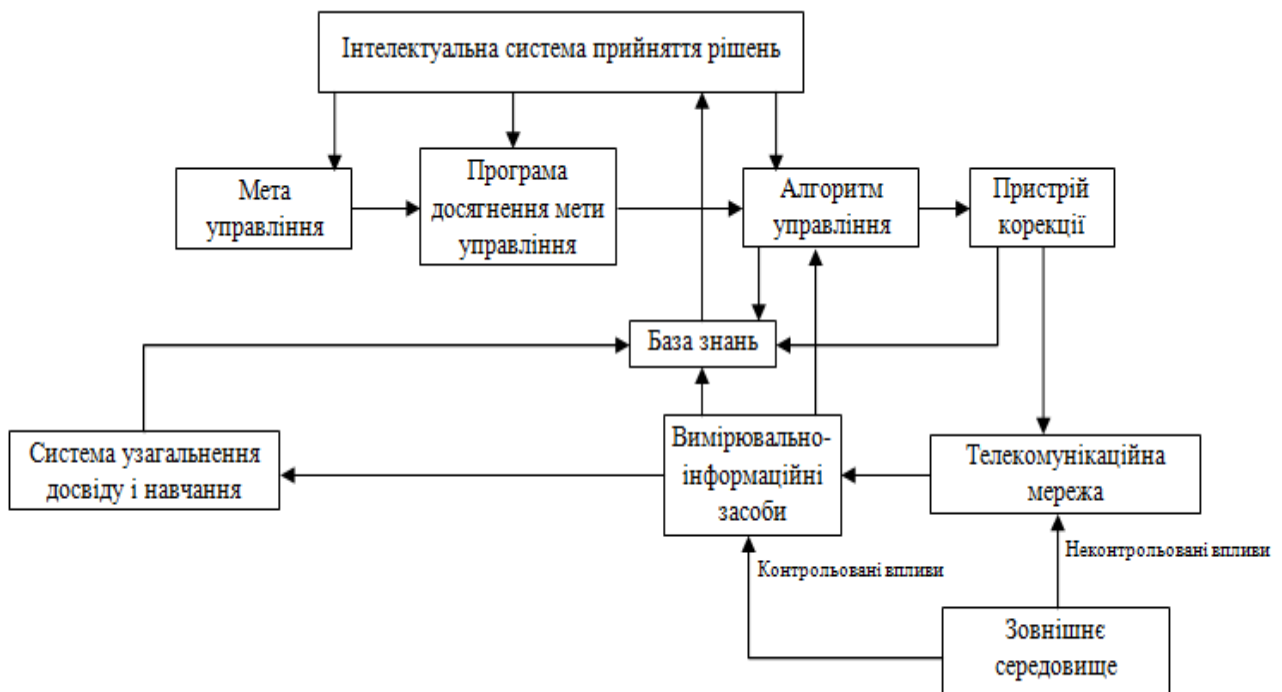


Рис. 2. Узагальнена структура системи інтелектуального управління

Важливо відзначити, що головна архітектурна особливість, що відрізняє інтелектуальну систему управління від побудованої по "традиційній" схемі, пов'язана з підключенням механізмів зберігання й обробки знань для реалізації здатностей по виконанню необхідних функцій у неповно заданих (або невизначених) умовах при випадковому характері зовнішніх впливів. До впливів подібного роду можуть відноситись непередбачена зміна цілей, експлуатаційних характеристик системи й об'єкта управління, параметрів зовнішнього середовища, тощо. Крім того, склад системи доповнюється засобами самонавчання, що забезпечують узагальнення досвіду, його накопичення, і на цій основі – поповнення знань.

Невизначеність зовнішнього середовища складних систем

У загальному випадку об'єкт управління може бути досить складним і включати ряд функціонально підлеглих підсистем. Головною відмінністю концепції ієрархічної побудови систем управління складними динамічними об'єктами є використання методів і технологій штучного інтелекту як засобу боротьби з невизначеністю зовнішнього середовища.

Ступінь невизначеності зовнішнього середовища можна представити як добуток ймовірностей небажаних наслідків на відповідну величину втрат:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n p_i \cdot Z_{i\sigma},$$

де R – величина невизначеності;

p_i – ймовірності небажаних наслідків;

$Z_{i\sigma}$ – величини втрат.

У відносному вираженні невизначеність оцінюють як коефіцієнт варіації δ_Z :

$$\delta_Z = \delta \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z} \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2}, \quad \bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{i\sigma}.$$

Виходячи з величини коефіцієнту варіації пропонується використовувати шкалу для оцінювання рівня невизначеності середовища [3]:

0,0 – 0,1 – мінімальна невизначеність;

0,1 – 0,25 – мала невизначеність;

0,25 – 0,5 – допустима невизначеність;

0,5 – 0,75 – критична невизначеність;

0,75 – 1.0 - неприйнятна невизначеність.

Необхідність інтелектуалізації кожного з рівнів управління обумовлена схильністю впливу різних факторів невизначеності на функції, що виконує система управління.

Практичне втілення цієї концепції припускає вибіркове використання тих або інших технологій обробки знань залежно від специфіки завдань, що розв'язуються, особливостей керованого об'єкта, його функціонального призначення, умов експлуатації. Як показує огляд численних робіт з розвитку методів обробки знань, одна з передових тенденцій у цій області пов'язана зі спробами інтеграції різних інтелектуальних технологій для об'єднання їхніх переваг. Так, наприклад, одночасне забезпечення високої функціональної гнучкості й швидкодії може досягатися за рахунок комплексного застосування технологій експертних систем і нейромережових структур.

Властивості інтелектуальних технологій приводяться в табл. 1.

Властивості інтелектуальних технологій

Табл. 1.

| Технологія | Представлення знань | Формування початкових знань | Організація логічного виводу | Можливість поповнення знань | Пояснення прийнятих рішень | Спосіб реалізації й забезпечення відносної швидкодії |
|---------------------------|--|--|---|--|--|--|
| Експертних систем та СПНР | В явному виді за допомогою продуктивних правил, семантичних мереж, предикатів і фреймуутворюючих структур | За допомогою експерта в ітеративному режимі | Здійснюється аналіз початкової посилки з багаторівневою класифікацією, яка задана ієрархією продуктивних правил або в іншій формі | Здійснюється шляхом зміни продуктивних правил, семантичних зв'язків, або в іншій формі | Може бути забезпечено за рахунок аналізу активізованого ланцюга логічного виводу | Програмним шляхом, низька |
| Нечіткої логіки | У напіврозкритому виді за допомогою продуктивних правил і функцій приналежності, що відбивають взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів і їхню фізичну значимість | За допомогою експерта в інтерактивному режимі або в автоматичному режимі на основі аналізу статистичних даних про функціонування системи | Забезпечується виконанням продуктивних правил і вибраним методом обробки функцій приналежності | Забезпечується за рахунок зміни системи правил, форми й відносного розміщення ФП на базових осях | Може бути забезпечено за рахунок аналізу застосованих правил | Програмний і апаратний, високе й низьке, відповідно |
| Нейромережевих структур | У неявному виді в архітектурі мережі, параметрах нейронів і зв'язків | На прикладі навчальної вибірки за допомогою алгоритмічних процедур налаштування в автоматичному режимі | Забезпечується логікою роботи мережі | Забезпечується шляхом зміни топології, структури й параметрів мережі | Може бути забезпечено за рахунок введення додаткової пояснюючої нейромережі | Апаратний, високе |
| Асоціативної пам'яті | У неявному виді й у формі гіперповерхні в багатомірному просторі ознак в архітектурі асоціативної пам'яті | Шляхом автоматичного формування асоціативних зв'язків по заданому алгоритму | Забезпечується проектуванням робочої крапки гіперповерхні на осі обраної системи координат | Забезпечується шляхом зміни простору параметрів і форми гіперповерхні | Може бути забезпечено введенням додаткової координати з поясненнями | Програмний і апаратний, високе |

У той же час для збільшення швидкодії асоціативної пам'яті пропонуються нейромережеві засоби її реалізації. Сполучення технологій експертних систем і нечіткої логіки дозволяє не тільки підвищити швидкість інтелектуальної системи, але й скоротити обсяг бази знань. Інший підхід до проблем оптимізації інтелектуальних систем і їхнього навчання пов'язаний з розробкою комбінованих технологій нечітких нейромережевих структур [4].

Висновок. Розглянуті інтелектуальні інформаційні технології та досліджені їх загальні властивості для управління телекомунікаційними мережами. Розроблена схема узагальненої структури системи інтелектуального управління та визначені основні зв'язки між її складовими. Проведення подальших досліджень в області інтелектуального управління мережами нового покоління забезпечить можливість створення принципово нового покоління систем управління, призначеної для автономного функціонування в умовах неповноти й невизначеності інформації при наявності випадкових впливів зовнішнього середовища.

Список використаної літератури

1. Толюпа С. В. Дослідження функціонування інфокомунікаційних мереж нового покоління на основі інтелектуальних технологій. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Київ, 2011. – 40 с.
2. Стеклов В. К. Проектування інтелектуальних мереж / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Ю. О. Лев // Зв'язок. – 1997. – № 3. – С. 36 – 38.
3. Селюков О. В. Застосування інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи телекомунікаційних мереж при невизначеності / О. В. Селюков, Ю. В. Хмельницький, І. В. Обертюк, Л. В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – Вип. 56. – С. 146-153.
4. Недаїбіда Ю. П. Особливості толерантності до невизначеності при прийнятті рішень під впливом випадкових факторів / Ю. П. Недаїбіда, Ю. І. Хлапонін, М. С. Молодець, Ю. В. Котова // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2015). Міжнародна наук.-техн. конф. НАУ, 18-19 травня 2015 р.: тези доп. – Київ: НАУ, 2015. – С.87.

References

1. Toliupa S. V. "Investigation of the functioning of the infocommunication new generation networks on the basis of intelligent technologies. The dissertation tethes for the degree Doctor of sciences (technic)." *Kyiv* (2011): 40.
2. Steklov V. K., Berkman L. N., Lev Yu. O. "Designing intelligent networks" *Zviazok* 3 (1997): 36-38.
3. Seliukov O. V., Khmelnytskyi Yu. V., Obertiuk I. V., Solodieieva L. V. "Application of intelligent technologies for improving the quality of telecommunication networks in uncertainty." *Proceedings of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv* 56 (2017): 146-153.
4. Nedaibida Yu. P., Khlaponin Yu.I., Molodets M. S., Kotova Yu. V. "Features of tolerance to uncertainty when making decisions under the influence of random factors." *Integrated intelligent robotic complexes (IRITK-2015). International science-technigal confrence, NAU, Kyiv* (May 18-19 2015): 87.

Автори статті

Мельник Юрій Віталійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, завідувач кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел +380 (99) 376 46 94. E-mail: melnik_yur@ukr.net.

Мельник Віталій Юрійович – магістрант, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел +380 (99) 358 40 45. E-mail: melnik_yur@ukr.net.

The authors of the article

Melnyk Yurii Vitaliiiovych – candidate of sciences (technical), senior researcher, head of the telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel +380 (99) 376 46 94. E-mail: melnik_yur@ukr.net

Melnyk Vitalii Yuriiiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel +380 (99) 358 40 45. E-mail: melnik_yur@ukr.net

Дата надходження
в редакцію: 09.09.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, доцент В. Ф. Заїка
Державний університет телекомунікацій, м. Київ,

ПІДСИСТЕМИ І МОДУЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ. АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Розглянуті питання побудови і функціонування системи підтримки прийняття рішень у сфері інформаційної безпеки. Розроблені алгоритми функціонування основних модулів системи: підсистеми аналізу проблем, ризиків і загроз; підсистеми формування цілей і критеріїв; підсистеми формування рішень; підсистеми формування вирішального правила і аналіз альтернатив. Представлені алгоритми забезпечують повнофункціональний процес прийняття рішень.

Ключові слова: система керування, інформаційна безпека, автоматизована інформаційна система, система підтримки прийняття рішень, моделювання процесів.

Zybin S. V. State University of Telecommunications, Kyiv

SUBSYSTEMS AND MODULES OF DECISION SUPPORT SYSTEM. FUNCTION ALGORITHMS

The article is devoted to the construction of a structural scheme for the functioning of the decision support system to provide support for decision-making in the field of information security. The main functional modules that provide the continuous and efficient system functioning are the following subsystems: a subsystem for analyzing problems, risks and threats; subsystem of goals and criteria formation; subsystem of solutions formation; a subsystem for the formation of a decisive rule and an alternatives analysis. The subsystem "Analysis of problems, risks and threats" should provide search and problem formulation to be subsequently addressed. The subsystem "The formation objectives and criteria" should provide gradual formation of criteria and objectives for future functioning of DSS. The subsystem "The formation of solutions" should provide the formation of a plurality for decisions. The subsystem "The formation of deciding rules and analysis of alternatives" should provide the formation of a deciding rule for choosing a solution and the choice of the most effective solution based on the formed decisive function.

Analysis and selection of alternatives is based on the established decisive rule. The possibility of expert evaluation of decision options based on expert opinions from the problem-oriented industry should be provided in the absence of a solution in the subsystem. The subsystem allows for the construction of a parallel decision function in automatic mode and based on expert opinion. Independent application of rules allows you to compare the output decisions obtained as a result of their operation of the subsystem.

The developed structural scheme provides a full-function decision-making process.

Keywords: management system, information security, automated information system, decision support system, process modeling, information impact.

Зыбин С. В. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПОДСИСТЕМЫ И МОДУЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы построения и функционирования системы поддержки принятия решений в сфере информационной безопасности. Разработаны алгоритмы функционирования основных модулей системы: подсистемы анализа проблем, рисков и угроз; подсистемы формирования целей и критериев; подсистемы формирования решений; подсистемы формирования решающего правила и анализ альтернатив. Представленные алгоритмы обеспечивают полнофункциональный процесс принятия решений.

Ключевые слова: система управления, информационная безопасность, автоматизированная информационная система, система поддержки принятия решений, моделирования процессов.

Вступ. Аспекти розробки та застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) детально розглянуто у роботах [1-3]. Проаналізовано історію їх розвитку, галузі застосування, наведено опис найпоширеніших СППР. Необхідними умовами ефективності рішень, що приймаються, являються своєчасність, комплексність та оптимальність. Перша з наведених умов являється обмеженням, а інші – визначальними фундаментальними умовами. Вимога комплексності передбачає необхідність якомога повнішого та всебічного урахування впливу на рішення внутрішніх і зовнішніх факторів та їх взаємозв'язків.

Значний внесок у вирішення проблем застосування СППР зробили такі відомі зарубіжні та вітчизняні вчені як Фішберн П., Кіні Р., Райфа Р., Сааті Т., Руа Б., Заде Л., Герасимов Б. М., Тоценко В. Г., Ларічев О. І., Бідюк П.І., Подіновський В.В., Волошин О.Ф., Наконечний О.Г., Згуровський М.З., Зайченко Ю.П., Панкратова Н.Д. та багато інших.

Методи та засоби забезпечення захисту інформації розглянуті у [4-6]. Комплексне дослідження аспектів задач прийняття рішень має велику теоретичну і прикладну значимість і являється актуальним.

Загальна характеристика СППР.

Інформаційно-аналітичні СППР використовуються в різних областях технологічного, соціально-економічного і політичного характеру.

Основні функції системи підтримки прийняття рішень для програм інформаційної безпеки держави регламентуються наступними позиціями:

- комплексний аналіз проблеми на основі формальних і неформальних методів підтримки прийняття рішень;
- отримання достовірної та актуальної інформації про поточний стан проблеми на основі звітів, статистичних даних, аналітичних оглядів та систем моніторингу;
- автоматизований вибір методів підтримки прийняття рішень;
- підтримка розвитку станів системи, керування якою здійснюється;
- динамічне управління з метою підвищення ефективності та обґрунтованості висновків і рекомендацій при розробці керуючих впливів;
- можливість аналізу, оперативного управління і контролю проблеми, яка вирішується [7, 8].

Для забезпечення функціонування стандартна СППР повинна включати в себе наступні основні модулі та підсистеми:

1. База даних СППР.
2. База знань СППР.
3. База моделей, правил і прийомів прийняття рішень.
4. Система управління інтерфейсом.
5. Основні функціональні модулі.

При реалізації підтримки прийняття рішень СППР повинна забезпечувати наступні види проведення підтримки:

- експертний;
- автоматизований;
- комбінований.

Будь-яку систему підтримки прийняття рішень зручно розглядати як діалогову автоматизовану систему, яка використовує відповідні математичні моделі спільно з базами даних і знань, а також інтерактивний комп'ютерний процес моделювання [9, 10].

Основні функціональні модулі, що забезпечують безперервне та ефективне функціонування системи, включають наступні підсистеми або моделі:

- підсистема аналізу проблем, ризиків і загроз;
- підсистема формування цілей і критеріїв;
- підсистема формування рішень;
- підсистема формування вирішального правила і аналіз альтернатив.

Структурну схему функціонування СППР наведено на рис. 1.

Наведена схема забезпечує повнофункціональний процес прийняття рішень при аналізі будь-якого виду завдань.

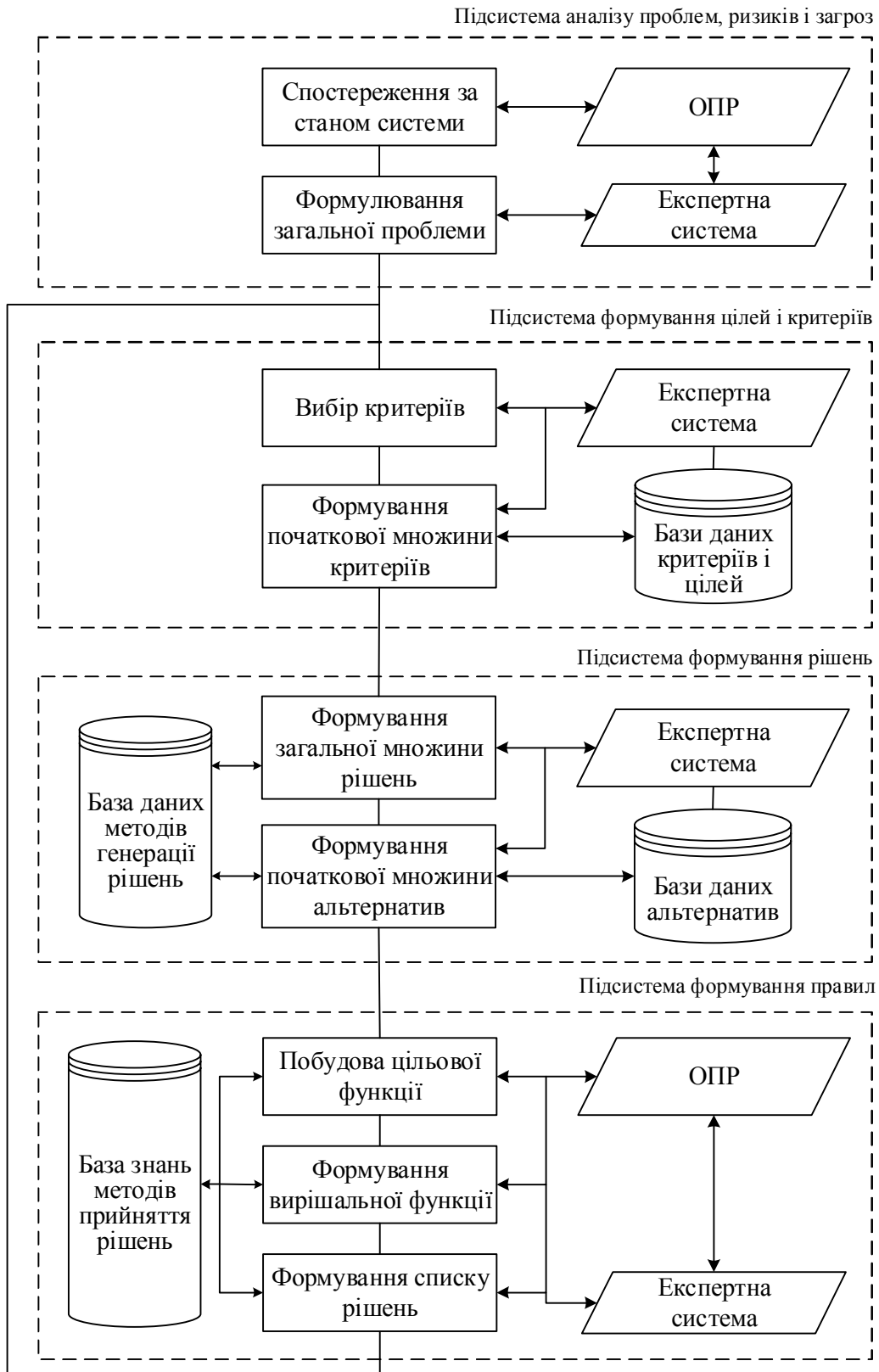


Рис. 1. Структурна схема функціонування системи підтримки прийняття рішень.

Розглянемо більш докладно алгоритми функціонування окремих підсистем СППР.

Підсистема "Аналіз проблем, ризиків і загроз"

Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми представлена на рис. 2.

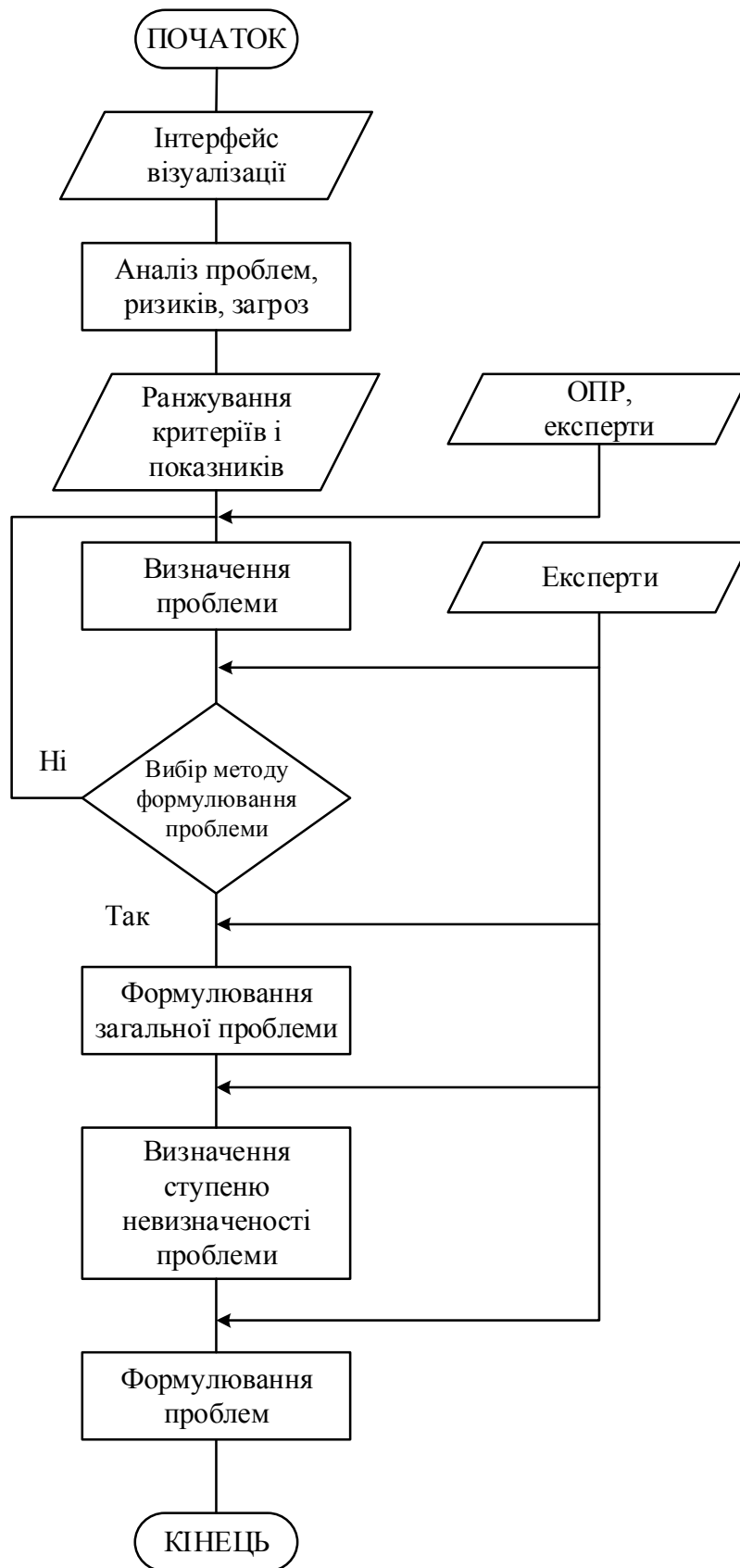


Рис. 2. Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми "Аналіз проблем, ризиків і загроз".

Існує чотири класи найбільш поширених проблем.

1. Стандартні проблеми. Проблеми цього класу вимагають застосування інструкцій, встановлених керівником правил для свого рішення.

2. Добре структуровані проблеми. Проблеми цього класу мають кількісні характеристики і показники. До їх вирішення найчастіше застосовують економіко-математичні методи.

3. Слабо структуровані проблеми. Проблеми цього класу мають не тільки кількісні, але і якісні характеристики. Для їх вирішення, як правило, використовується системний підхід.

4. Неструктуровані проблеми. Їх вирішення можливе на основі експертних оцінок, суджень професіоналів. Проблеми цього класу зазвичай мають своїм предметом маловивчені процеси [11, 12].

З точки зору вмісту всю множину можливих завдань управління можна розділити на наступні типи: ідентифікація; оцінювання; синтез можливих варіантів; аналіз проблем; аналіз чинників; аналіз тенденцій; прогнозування; планування; програмна реалізація алгоритмів; організація і оперативне управління; реалізація прийнятих рішень; здійснення контролю.

Підсистема "Аналіз проблем, ризиків і загроз" повинна забезпечувати пошук і формулювання проблеми з метою її подальшого вирішення. До основних напрямів функціонування підсистеми відносяться:

- моніторинг об'єкту управління;
- визначення кількісних критеріїв і показників;
- визначення джерел проблеми на основі аргументів;
- вибір методу формулювання проблеми;
- формулювання загальної проблеми;
- визначення ступеня невизначеності проблеми;
- визначення проблематик в рамках загальної проблеми.

Після визначення проблеми необхідно сформулювати перелік цілей і систему критеріїв ефективності для оцінки проблеми і її подальшого вирішення. Для формування вищезгаданого необхідна розробка підсистеми "Формування цілей і критеріїв".

Підсистема "Формування цілей і критеріїв".

При формуванні цілі або множини цілей можуть виникати різні завдання. Ці завдання можуть переплітатися між собою різним чином: об'єднуватися, суперечити один одному, бути взаємовиключними і т.і.

Формування цілей і системи критеріїв можна поділити на:

- принципово нові новаторські цілі, які формують експерти;
- типові цілі, за аналогією з цілями, поставленими в аналогічних ситуаціях, на основі комбінації відомих часткових цілей, генерація яких доступна системам прийняття рішень [9, 10].

Найбільш ефективним способом формування цілей і критеріїв ефективності є програмні системи у взаємодії з експертами.

Підсистема "Формування цілей і критеріїв" повинна забезпечувати поетапне формування цілей і системи критеріїв для подальшого функціонування СППР: багаторівнева побудова ієрархії критеріїв і показників; декомпозиція критеріїв по підцілям; визначення математичної залежності між критеріями і показниками; вибір шкал і одиниць виміру для критеріального показника.

Блок-схему алгоритму функціонування підсистеми наведено на рис 3.

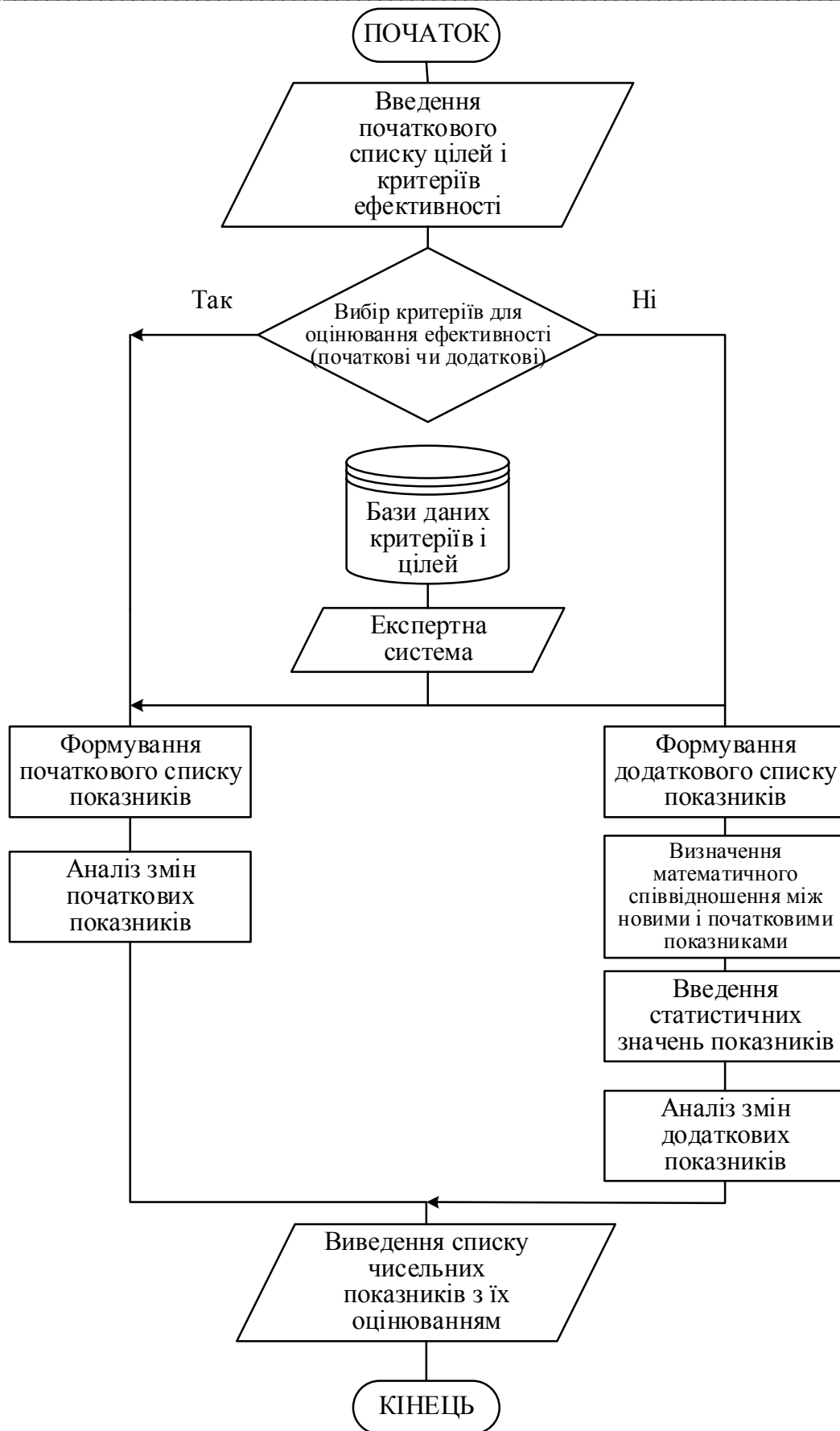


Рис. 3. Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми "Формування цілей і системи критеріїв".

Підсистема "Формування рішень"

Для подальшого аналізу проблеми необхідно сформувати альтернативні варіанти рішень, які формуються в підсистемі "Формування рішень". Блок-схему алгоритму функціонування підсистеми "Формування рішень" наведено на рис. 4.

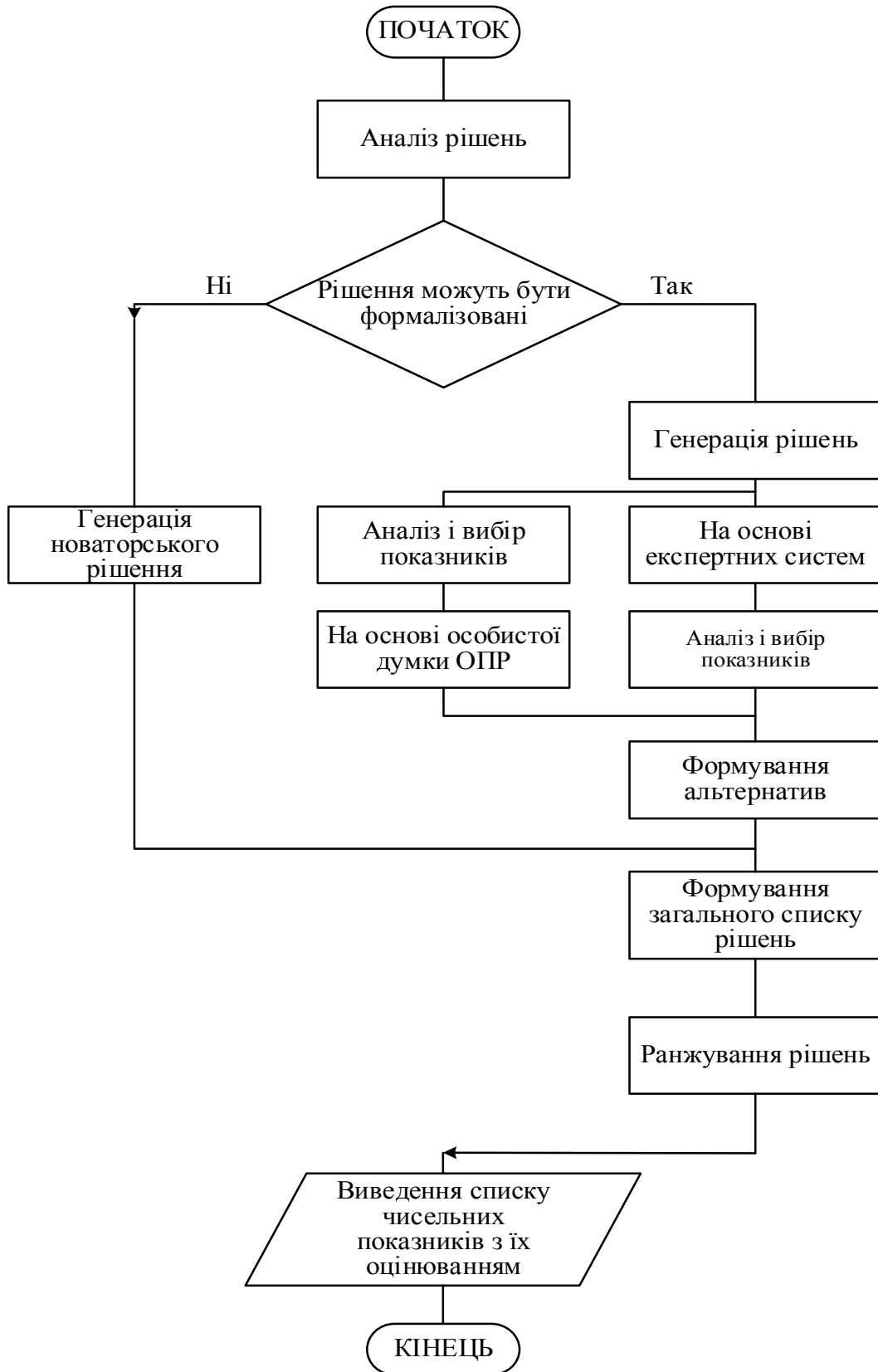


Рис. 4. Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми "Формування рішень".

Формування можливих рішень можна реалізувати за допомогою: програмної реалізації аналітичних моделей, з використанням експертних систем, генерації сценаріїв шляхом комбінації різних операцій, заданих особою, яка приймає рішення (ОПР) або взятих з бази даних, і використовуючи підхід, що отримав назву ситуаційного управління.

Процес формування рішень можна поділити на два види:

- новаторські рішення, які поки комп'ютер розробити не в змозі;
- рішення, що ґрунтуються на типових сценаріях, по аналогії, на основі комбінації відомих часткових рішень. Зауважимо, що формування таких рішень доступне для обчислення за допомогою обчислювальної машини [13, 14].

Підсистема "Формування рішень" повинна забезпечувати формування множини рішень у відповідності з наступною послідовністю:

- генерація множини рішень з використанням математичних, експертних методів і за допомогою когнітивних карт;
- структурування альтернатив;
- формування кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень.

Формування вирішального правила і аналіз альтернатив

Підсистема "Формування вирішального правила і аналіз альтернатив" представляє наступну послідовність функціональних дій:

- формування вирішального правила для вибору рішення за умовами завдання. Формування вирішального правила проводиться в автоматизованому режимі або з залученням групи експертів, які формують вирішальну функцію в залежності від задачі, яка вирішується і сформованої системою критеріїв. Основою формування вирішального правила представляється багатокритеріальна функція переваги для ієрархічних структур критеріїв, математичні та евристичні правила підтримки прийняття рішень, що забезпечують найбільш ефективний підбір управлінських рішень в соціальній, економічній, технічній і технологічній сферах;

• вибір найбільш ефективного вирішення на основі сформованої вирішальної функції. Аналіз і вибір альтернатив здійснюється на основі сформованого вирішального правила. У разі відсутності рішення в підсистемі повинна передбачена можливість проведення експертної оцінки варіантів рішень на основі думок експертів з проблемно-орієнтованої галузі [15].

Формування вирішального правила здійснюється спільно з експертною системою на основі сформованої бази знань правил, прийомів і методів прийняття рішень в залежності від різних ситуацій. Паралельно функціонують два напрямки: автоматизоване формування вирішального правила прийняття і вибір рішень на основі експертних думок.

Автоматизоване формування вирішального правила відповідно до початкової системи критеріїв відбувається на основі людино-машинної взаємодії з системним аналітиком, яке формує цільову функцію на основі запропонованих методів. Сформовані раніше альтернативні варіанти аналізуються і якщо рішення задовольняють ОПР, то система припиняє роботу [16].

Експертне формування цільової функції визначається при взаємодії експертів на основі їх думок з експертною системою. Рішення відбирається на основі вибору експертами найкращого рішення з урахуванням їх вагомості [17].

Підсистема дозволяє провести побудову вирішальної функції паралельно як в автоматизованому режимі, так і на основі експертної думки. Незалежне застосування правил дозволяє провести зіставлення вихідних рішень, отриманих в результаті їх функціонування підсистеми.

Блок-схему алгоритму функціонування підсистеми наведено рис. 5.

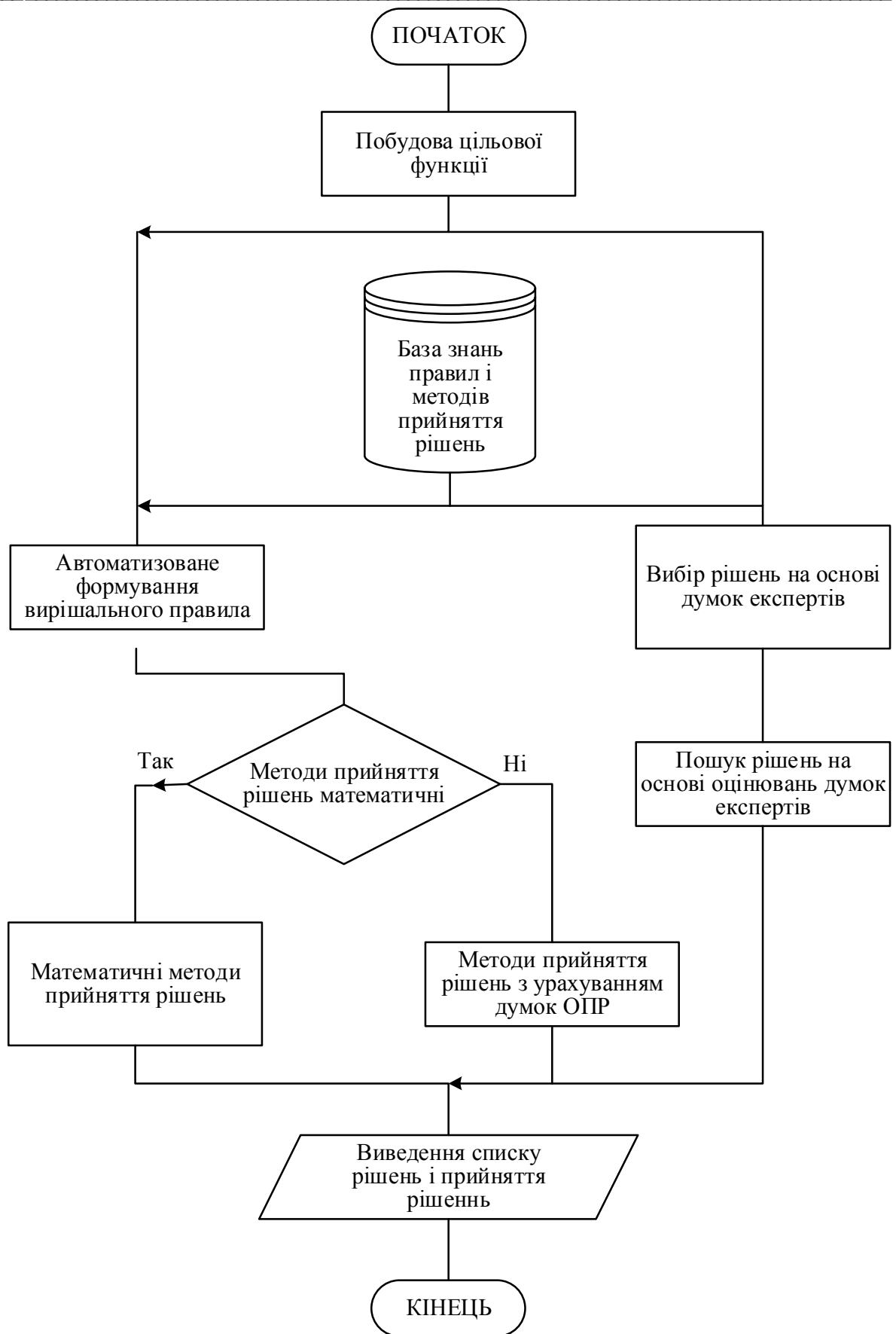


Рис. 5. Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми "Формування вирішального правила і аналіз альтернатив".

Підсистема підтримки експертної підсистеми

Експертні системи являються одним з основних додатків штучного інтелекту і призначені для вирішення завдань, що належать конкретній предметній області, знання про яку зберігаються в базі знань системи.

Основним призначенням експертної підсистеми, як основи СППР, являється орієнтація на рішення великого класу задач, до яких відносяться так звані частково структуровані або неструктуровані завдання.

Блок-схема алгоритму функціонування експертної підсистеми наведено на рис. 6.

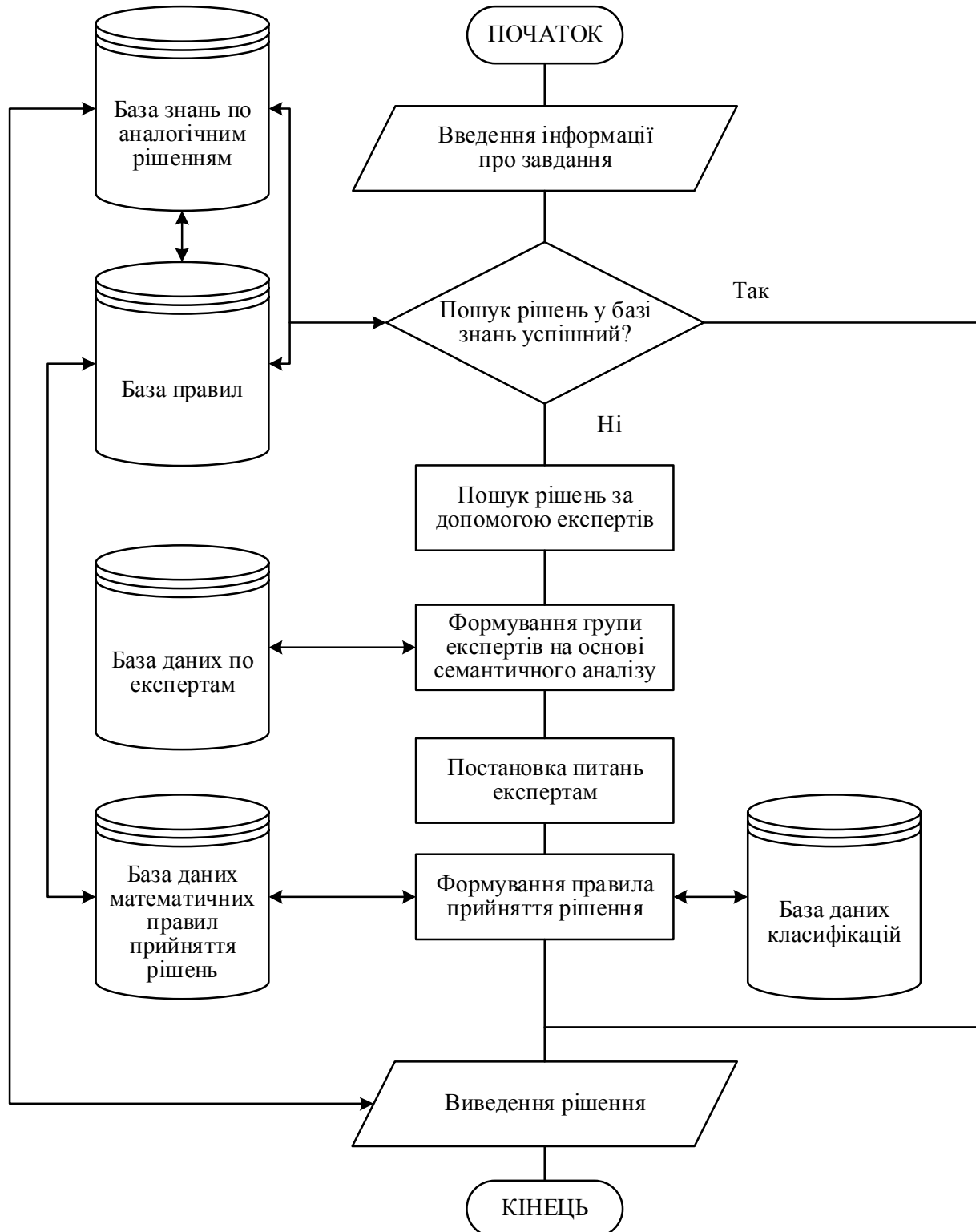


Рис. 6. Блок-схема алгоритму функціонування експертної підсистеми

Експертна підсистема забезпечує вироблення і оцінку можливих альтернатив користувачем за рахунок знань, отриманих від фахівців-експертів.

Експертна підсистема складається з:

- бази знань, призначеної для зберігання вихідних і проміжних фактів і зберігання моделей і правил маніпулювання моделями в базі правил;
- блоку вирішення завдань, який забезпечує реалізацію послідовності правил для вирішення конкретного завдання на основі критеріїв і правил, що зберігається в базах даних і базах знань;
- підсистеми пояснення, яка дозволяє користувачеві отримати відповіді про причини прийняття рішення;
- модуль формування правил, призначений для додавання в базу знань нових правил і їх модифікацію;
- інтерфейсу, який реалізує діалог користувача з підсистемою [7, 19].

Ядром експертної підсистеми являється база знань, в якій акумулюються знання експертів у конкретній галузі в формі евристичних правил. Навчання і накопичення бази знань відбувається за наступним принципом:

- при розгляданні конкретної задачі, формується правило, яке забезпечує його рішення;
- розроблені правила в залежності від специфіки конкретної проблемної області поміщаються в базу правил.

Пошук необхідного правила в базі правил проводиться на основі семантичної моделі [20]. Послідовність дій функціонування алгоритму полягає в наступному.

При отриманні інформації про завдання відбувається пошук рішення в існуючій базі знань. Якщо аналогічна ситуація раніше існувала і визначені правила прийняття рішень, то однозначно визначається рішення з даної проблеми.

Якщо рішення по початковій задачі не знайшлося, то формується проблемно-орієнтована експертна група на основі семантичного аналізу. Далі відбувається розсилка експертам питань для формування вирішального правила на основі класифікації методів і підсистем прийняття рішень. Експерти формують вирішальне правило для вибору найкращого альтернативного варіанту і підсистеми СППР.

На наступному етапі визначається вибір найкращого рішення. У разі відповідності рішення до вихідної задачі правило записується в базу даних правил, а рішення в базу знань.

Даний алгоритм функціонування експертної системи забезпечує можливість аналізу і знаходження рішення по будь-якій задачі з різних предметних областей.

Висновок

Автором статті пропонується структурна схема функціонування системи підтримки прийняття рішень для забезпечення підтримки прийняття рішень в сфері інформаційної безпеки. Основні функціональні модулі, які забезпечують безперервне та ефективне функціонування системи, включають наступні підсистеми або моделі:

- підсистема аналізу проблем, ризиків і загроз;
- підсистема формування цілей і критеріїв;
- підсистема формування рішень;
- підсистема формування вирішального правила і аналіз альтернатив.

Наведена схема забезпечує повнофункціональний процес прийняття рішень при аналізі будь-якого виду завдань.

Список використаної літератури

1. Бідюк О. П. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень / О. П. Бідюк, О. П. Гожий, Л. О. Коршевнік. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. – 380 с.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах / О. И. Ларичев. – 2-ое изд. – Москва: Логос, 2002. – 392 с.
3. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т. Л. Саати. – Москва: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
4. Хорошко В. А. Методы и средства защиты информации / В. А. Хорошко, А. А. Чекатков; под ред. Ю.С. Ковтанюка. – Киев: ЮНИОР, 2003. – 504 с.
5. Браиловский Н. Н. Модели управления в системах обеспечения информационной безопасности государства / Н. Н. Браиловский, С. В. Зыбин, В. А. Хорошко // Информатика та математичні методи в моделюванні. – Т.4. – № 4. – 2014. – С. 304-311.
6. Зибін С. В. Підтримка прийняття рішень при формуванні програм інформаційної безпеки держави: оцінка ефективності програм / С. В. Зибін, В. О. Хорошко // Информатика та математичні методи в моделюванні. – Т.5. – № 2. – 2015. – С.122-129.
7. Искусственный интеллект. Кн. 2. Модели и методы: справочник. – Москва: Радио и связь, 1990. – 304 с.
8. Романов В. П. Интеллектуальные информационные системы в экономике / В. П. Романов. – Москва: "Экзамен", 2003. – 496 с.
9. Трахтенгерц Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений / Э. А. Трахтенгерц. – Москва: СИНТЕГ, 2001 – 256 с.
10. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. Серия "Системы и проблемы управления" / Э. А. Трахтенгерц. – Москва: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.
11. Денисов Д. А. Информационные основы управления / Д. А. Денисов. – Ленинград: Энергоатом издат., 1983. – 72 с.
12. Миронов С. В. Метасистемный подход в управлении / С. В. Миронов, А. М. Пищухин. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 338 с.
13. Ларичев О. И. Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития / О. И. Ларичев, А. Б. Петровский // Итоги науки и техники. – Москва: ВИНТИ, 1987. – Т.21. – С. 131-164.
14. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. Серия "Информатизация России на пороге XXI века" / Э. А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
15. Ириков В. А. Распределённые системы принятия решений. Теория и приложения / В. А. Ириков, В. Н. Тренев. – Москва: Наука. Физматлит, 1999. – 288 с.
16. Рейльян Я. Р. Аналитическая основа принятия управленческих решений / Я. Р. Рейльян. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 208 с.
17. Рыков А. С. Методы системного анализа: многокритериальная и нечёткая оптимизация, моделирование и экспертные оценки / А. С. Рыков. – Москва: Экономика, 1999. – 316 с.
18. Клыков Ю. И. Банки данных для принятия решений / Ю. И. Клыков, Л. Н. Горьков. – Москва: Сов. радио, 1980. – 208 с.
19. Гилев С.Е., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Распределённые системы поддержки принятия решений в управлении региональным развитием / С. Е. Гилев, С. В. Леонтьев, Д. А. Новиков. – Москва: ИПУ РАН, 2002. – 52 с.
20. Clyde W. Holsapple. Decision support systems: a knowledge-based approach / Clyde W. Holsapple, Andrew B. Whinston. – West Pub. Co., 10-th ed. – 1996. – 713 p.

References

1. Bidiuk O. P., Hozhyi O. P., Korshevniuk L. O. "Computer systems of decision support systems." *Mykolaiv: Publishing house Petro Mohyla ChSU* (2012): 380.
2. Larychev O. I. "A theory and methods of decision making, and also Chronicle of events, is in the Magic countries." *2-d ed. Moskva: Logos* (2002): 392.
3. Saati T. L. "Decision making at dependences and feed-backs. Analytical networks." *Moskva: LKI* (2008): 360.
4. Khoroshko V. A., Chekatkov A. A. "Methods and facilities of information protection." *Ed. Kovtaniuk Yu. A. Kyiv: YUNIOR* (2003): 504.
5. Brailovskyi N. N., Zybin S. V., Khoroshko V. A. "Management models in the systems of the state informative safety." *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni* 4(4) (2014): 304-311.
6. Zybin S. V., Khoroshko V. A. "Decision support at forming of the programs of the state informative safety: estimation of the programs efficiency." *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni* 5(2) (2015): 122-129.
7. "Artificial intelligence. Book 2. Models and methods: reference book." *Moskva: Radio i zviaz`* (1990): 304.
8. Romanov V. P. "The intellectual informative systems in economy." *Moskva: Ekzamen* (2003) 496.
9. Trahtengerc E. A. "Subjectivity in computer support of administrative decisions." *Moskva: SINTEG* (2001): 256.
10. Trahtengerc E. A. "Computer support of aims and strategies forming. Series System and management problem." *Moskva: SINTEG* (2005): 224.
11. Denisov D. A. "Informative management bases." *Leningrad: E`hergoatomizdat* (1983): 72.
12. Mironov S. V., Pischuhin S. V. "Metasystem approach in a management." *Orenburg: GOU OGU* (2004): 338.
13. Larichev O. I., Petrovskij A. B. "Decision support systems: modern state and development prospects." *Results of scitech. Moskva: VINITI* 21 (1987): 131-164.
14. Trahtengerc E. A. "Computer support decision making. Scientific and practical edition. Series Informatization of Russia on the threshold of XXI age." *Moskva: SINTEG* (1998): 376.
15. Irikov V. A., Trenev V. N. "Distributed systems of decision making. Theory and applications." *Moskva: Nauka. Fizmatlit* (1999): 288.
16. Rejl`jan Ja. R. "Analytical basis of administrative decisions making." *Moskva: Finansy i statistika* (1989): 208.
17. Rykov A. S. "Methods of systems analysis: multicriterion and fuzzy optimization, modelling and expert estimations." *Moskva: E`konomika* (1999): 316.
18. Klykov Ju. I., Gor`kov L. N. "Data banks for decisions making." *Moskva: Sovetskoe radio* (1980): 208.
19. Gilev S. E., Leont`ev S. V., Novikov D. A. "The distributed systems of decision making in a management regional development." *Moskva: IPU RAN* (2002): 52.
20. Clyde W. Holsapple, Andrew B. Whinston "Decision support systems: a knowledge-based approach" *West Pub. Co., 10-th ed.* (1996): 713.

Автор статті

Зибін Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (44) 249 45 88. E-mail: duikt@ua.fm.

Author of the article

Zybin Serhii Viktorovich – candidate of sciences (technical), associate professor of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (44) 249-45-88. E-mail: duikt@ua.fm.

Дата надходження

в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.396.13

Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипник В. В.
Державний університет телекомунікацій, Київ

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ СИСТЕМ МЕРЕЖ МАЙБУТНЬОГО

Проаналізовано способи підвищення надійності відновлюваних систем мереж майбутнього. Проведено аналіз їх переваг та недоліків з точки зору зручності для роботи з ними з боку користувача. В результаті аналізу було розроблено методіку визначення надійності дубльованої системи чотирьох можливих варіантів.

Ключові слова: *future network, резервування системи, хмарні технології, надійність системи, відновлювання елемента.*

Otrokh S. I., Kravchenko V. I., Holubenko O. I., Zahryazhska M. V., Skrypnik V. V.
State University of Telecommunications, Kyiv

WAYS TO INCREASE THE RELIABILITY OF RENEWABLE SYSTEMS OF THE FUTURE NETWORKS

The current development of the technologies of the 4th and 5th generations of mobile communication involves the constant use of cloud services, with which the device is synchronized in real time. In this regard, considerable attention must be paid to the development of network technologies and their operating modes. Since the number of user data for remote online work is rapidly increasing, service representatives need to maintain the continuous service of the devices connected to them. On this basis, the issue of the reliability of the network of the future comes to the fore. The article considers the main ways of ensuring the efficiency of computing technologies of the future networks, considers their advantages and disadvantages in terms of convenience for working with them from the user side. As a result of the analysis, a method for determining the reliability of the duplicate system of four possible options was developed.

Keywords: *future network, system redundancy, cloud technology, system reliability, item restoration.*

Отрох С. И., Кравченко В. И., Голубенко А. И., Загряжская М. В., Скрыпник В. В.
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ СЕТЕЙ БУДУЩЕГО

Проанализированы способы повышения надежности восстанавливаемых систем сетей будущего. Проведен анализ их преимуществ и недостатков с точки зрения удобства для работы с ними со стороны пользователя. В результате анализа была разработана методика определения надежности дублируемой системы четырех возможных вариантов.

Ключевые слова: *future network, резервирование системы, облачные технологии, надежность системы, возобновление элемента.*

Вступ. Розвиток сучасних технологій, які застосовуються для створення передових мобільних гаджетів, передбачає постійне перебування пристрою в режимі онлайн. Сучасні смартфони, планшети або інші мобільні пристрої постійно підтримують зв'язок між хмарними сховищами та іншими сервісами, що надають свої послуги в режимі реального часу. Гаджет відстежує зміни, що вносяться користувачем і, забезпечивши надійний ступінь захисту, зберігає інформацію на віддаленому сервері.

© Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипник В. В., 2017

Якщо раніше користувач сам вибирав час і умови взаємодії з зовнішніми хмарними технологіями, то з розвитком сучасних мережевих технологій 4-го та 5-го покоління мобільного зв'язку, іменованих мережею майбутнього (Future Network – FN), або розумною мережею, девайси мають можливість синхронізуватися між сервісами з мінімальним втручанням людини. Однак, для повнофункціональної роботи сучасного пристрою необхідно забезпечити надійну роботу і віддаленого сервера/сховища, який представляє собою складну обчислювальну мережу, зав'язану на безперервну роботу компонентів електронних обчислювальних машин.

При виході з ладу одного з компонентів необхідно провести його заміну в найкоротші терміни або побудувати систему таким чином, щоб кожен мережевий елемент (NE – network element) був взаємозамінний або було можливо передбачити його резервування. Виходячи з цього сучасні мережеві технології мають різні способи побудови і взаємокомпенсації елементів, якщо передбачається гаряча заміна зазначеного елемента.

Проте, бувають випадки, коли працюючу (ввімкнену) резервовану систему неможливо ремонтувати. Коли у процесі роботи системи можливо відновлювати лише деякі елементи які мають великий процент відмови, у зв'язку з чим вдається домогтися підвищення показника надійності мережі майбутнього.

Так як для ремонту елемента необхідно його вимкнення, відновлення використовується при активному методі резервування.

Для нерезервованих систем скорочення часу відновлення веде до збільшення коефіцієнту готовності, що не впливає на безвідмовність системи. При наявності резервування відновлення стає ефективним засобом підвищення надійності. Завдяки скороченню часу відновлення мережевих елементів FN резервованої системи, які відмовили, існує можливість суттєво підвищити як коефіцієнт готовності, так і безвідмовність системи. Для відновлювальних систем поєднання резервування та відновлення має набагато більше значення, ніж для невідновлювальних систем поєднання резервування з профілактичним контролем працездатності усіх елементів (окремо кожного).

Аналіз дубльованої системи з двома однаковими мережними елементами

Розглянемо на прикладі дубльованої системи, в якій присутні два однакових NE FN — основний та резервний, особливості резервованих систем. В разі, коли перемикач між основним та резервним NE абсолютно надійний, зменшуючи час ремонту, стає можливим домогтися дуже високої надійності системи.

Припустимо, що під час ремонту в елементах не можуть виникнути вторинні відмови.

Дубльована система може знаходитися в одному із трьох станів, котрі позначимо цифрами:

0 – система працездатна (обидва елементи працездатні);

1 – система працездатна, але один із елементів відмовив (система схильна до відмови);

2 – система непрацездатна (відмовила).

Позначимо ймовірність перерахованих раніше станів через $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$. Ці ймовірності залежать від початкових станів системи, в якій вона знаходилась при $t = 0$

В залежності від призначення дубльованої системи до неї можуть висунуті різноманітні вимоги [1]:

1. Після ввімкнення система повинна безвідмовно працювати певний час; перерви в роботі недопустимі. При цьому необхідно знати ймовірність неперервної безвідмовної роботи системи (ймовірність перший раз не опинитися у стані 2). Іноді кажуть, що для таких систем непрацездатний стан є поглинаючим. При цьому розраховують умову ймовірності безвідмовної роботи на інтервалі $(0, t)$ за умови, що при $t=0$ основний та резервний елементи працездатні.

2. Необхідно вилучити певний заданий момент часу, коли система працездатна, але перерви у роботі системи не відіграють ніякої ролі. При цьому будуть розглядатися готовність системи та її характеристики: функція готовності $\Gamma(t)$ або коефіцієнт готовності. Інакше кажучи, знаходиться ймовірність не опинитися у стані 2. Цей випадок відрізняється від попереднього тим, що існує можливість переходу зі стану 2 в стан 1.

Розрахуємо формули для функції готовності та ймовірності безвідмовної роботи дубльованої системи з відновленням. Припустимо, що основний та резервний елементи однонадійні, мають показники розподілення часу безвідмовної роботи та часу відновлення: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, відмова непрацездатних елементів неможлива, відмови виявляються миттєво. Спочатку розглянемо системи у яких відмови допустимі.

На рис.1 наведені графи станів чотирьох можливих варіантів дубльованої системи з відновленням:

- 1) Навантажений резерв; при відмові елементів вони можуть ремонтуватися як по одному, так і одночасно (відновлення без обмежень);
- 2) Навантажений резерв; елементи, які відмовили можуть ремонтуватися лише по одному (обмежене відновлення);
- 3) Ненавантажений резерв; відновлення проводиться без обмежень;
- 4) Ненавантажений резерв; відновлення по одному елементу (обмежене).

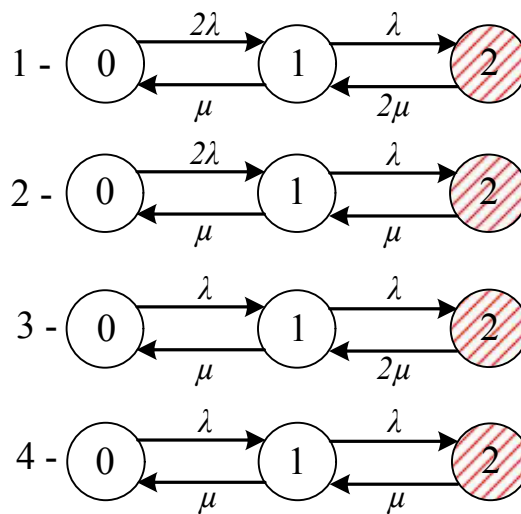


Рис.1. Графи станів різноманітних варіантів дубльованої системи

Диференційні рівняння для ймовірностей станів відповідно до графів станів (рис. 1) мають вигляд:

Для першого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для другого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + \mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для третього варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для четвертого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu) P_1(t) + \mu P_2(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Дані рівняння повинні бути доповнені нормуючою умовою

$$\sum_{i=0}^2 P_i(t) = 1. \quad (5)$$

В результаті вирішення рівнянь (1)-(5) при початкових умовах $P_0(0) = 1$; $P_1(0) = P_2(0) = 0$ знайдемо залежності $P_i(t)$ для $i = 0, 1, 2$.

$$\Gamma(t) = P_0(t) + P_1(t) = 1 - P_2(t) \quad (6)$$

Функції готовності розглянутих раніше чотирьох варіантів резервованих систем з відновленням мають вигляд:

Для першого варіанту:

$$\Gamma_1(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} \left[1 + \frac{1}{\lambda + \mu} (x_2 e^{x_1 t} - x_1 e^{x_2 t}) \right], \quad (7)$$

де $x_1 = -(\lambda + \mu)$; $x_2 = -2(\lambda + \mu)$.

Для другого варіанту:

$$\Gamma_2(t) = 1 - \frac{2\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \lambda^2} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}} (y_2 e^{y_1 t} - y_1 e^{y_2 t}) \right], \quad (8)$$

де $y_1 = -\frac{3\lambda + 2\mu - \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}$; $y_2 = -\frac{3\lambda + 2\mu + \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}$.

Для третього варіанту:

$$\Gamma_3(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2} \times \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}} (z_2 e^{z_1 t} - z_1 e^{z_2 t}) \right], \quad (9)$$

де $z_1 = -\frac{2\lambda + 3\mu - \sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}}{2}$; $z_2 = -\frac{2\lambda + 3\mu + \sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}}{2}$.

Для четвертого варіанту:

$$\Gamma_4(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 - \lambda\mu} \times \left[1 - \frac{1}{2\sqrt{\lambda\mu}} (\gamma_2 e^{\gamma_1 t} - \gamma_1 e^{\gamma_2 t}) \right], \quad (10)$$

де $\gamma_1 = -(\lambda + \mu - \sqrt{\lambda\mu})$; $\gamma_2 = -(\lambda + \mu + \sqrt{\lambda\mu})$.

На рис. 2 наведені графіки залежностей $\Gamma(t)$, які обчислюються за розглянутими вище формулами (7)-(10) при $\lambda = 0,01 \frac{1}{\text{год}}$ та $\mu = 0,1 \frac{1}{\text{год}}$. Графіки побудовані для чотирьох варіантів дубльованої системи, графі станів яких наведені на рис. 1.

Для порівняння на графіку присутня функція готовності $\Gamma_5(t)$ нерезервованої системи

FN з тими самими значеннями: $\lambda = 0,01 \frac{1}{\text{год}}$ та $\mu = 0,1 \frac{1}{\text{год}}$.

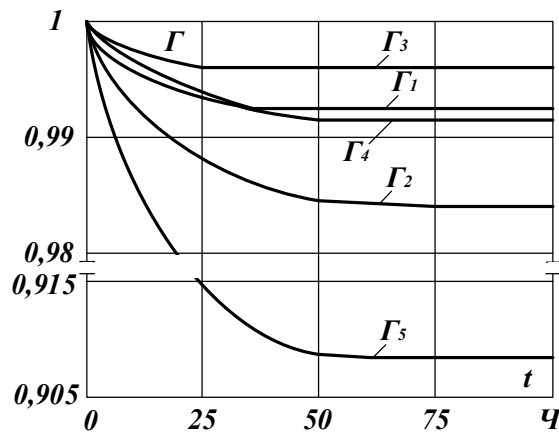


Рис. 2. Графіки функцій готовності.

Якщо ми прийемо вираз $\lambda/\mu = \rho$, тоді з формул (7)-(10) отримаємо:

$$k_{\Gamma1} = \frac{1+2\rho}{(1+\rho)^2}; \quad (11)$$

$$k_{\Gamma2} = \frac{1+2\rho}{(1+\rho)^2 + \rho^2}; \quad (12)$$

$$k_{\Gamma3} = \frac{2(1+\rho)}{(1+\rho)^2 + 1}; \quad (13)$$

$$k_{\Gamma4} = \frac{1+\rho}{(1+\rho)^2 - \rho}. \quad (14)$$

Коли $\rho = 0,1$ в результаті отримуємо:

$$k_{\Gamma1} = 0,992; k_{\Gamma2} = 0,984; k_{\Gamma3} = 0,995; k_{\Gamma4} = 0,991.$$

Таким чином, для того щоб підвищити готовність відновлювальної дубльованої системи, необхідно створити умови, які забезпечують наявність ненавантаженого резерву та відновлення без обмежень. Це також відповідає інтуїтивним представленням на рахунок даного процесу [2].

Складемо системи диференціальних рівнянь, для визначення умовної ймовірності безвідмовної роботи, при тому, що стан 2 поглинаючий, тобто відсутні переходи зі стану 2 в стан 1. В такому випадку при відповідності з графами станів на рис. 1 в результаті отримаємо:

Для першого та другого варіантів

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t); \\ P'_2(t) &= 2\lambda P_1(t). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для третього та четвертого варіантів

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Коли початкові умови $P_0(0)=1, P_1(0)=P_2(0)=0$, В результаті розв'язання системи рівнянь (15) та (16) відповідно з нормуючою умовою (5) отримаємо вираз для умовної ймовірності безвідмовної роботи:

$$\rho(t) = \frac{1}{\beta_2 - \beta_1} (\beta_2 e^{\beta_1 t} - \beta_1 e^{\beta_2 t}), \quad (17)$$

де для першого та другого варіантів

$$\beta_{1,2} = -\frac{1}{2} [\mu + 3\lambda \mp \sqrt{\lambda^2 + 6\lambda\mu + \mu^2}]; \quad (18)$$

для третього та четвертого варіантів

$$\beta_{1,2} = -\frac{1}{2} [\mu + 2\lambda \mp \sqrt{4\lambda\mu + \mu^2}]. \quad (19)$$

Залежності $\rho(t)$, обчислені за формулами (17)-(19) для $\lambda = 0,01$ 1/ч та $\mu = 0,1$ 1/ч, представлені на рис. 3. Також для порівняння наведені графіки функцій надійності невідновлювальних систем: нерезервованої, із навантаженням та ненавантаженим дублюванням.

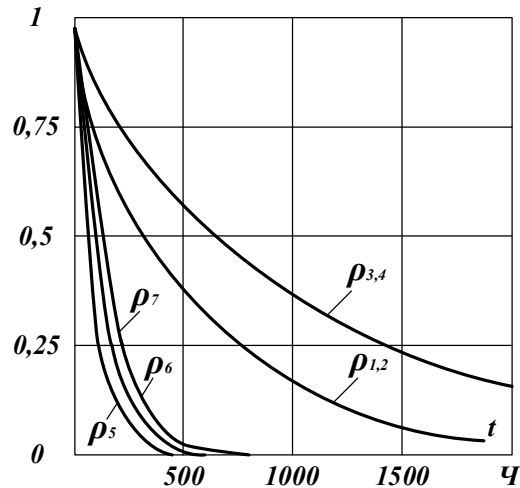


Рис. 3. Графіки функцій надійності різновидних систем

На рис. 3. графіки функцій надійності приведені для таких варіантів:

$\rho_{1,2}(t)$ – для першого та другого варіантів дубльованої системи (графи станів варіантів наведені на рис.1);

$\rho_{3,4}(t)$ – так само для третього та четвертого варіантів;

$\rho_5(t)$ – для нерезервованої системи;

$\rho_6(t)$ – для навантаженого дублювання без відновлення;

$\rho_7(t)$ – для ненавантаженого дублювання без відновлення.

Середній час безвідмовної роботи резервованої відновлювальної системи FN визначається так: якщо в початковий момент часу (коли $t=0$) всі елементи резервованої системи працездатні, тоді середній час безвідмовної роботи являється часом переходу із початкового стану до підмножини непрацездатних станів.

Припустимо, що немає обмежень для числа ремонтних бригад, відмови виявляються миттєво, апаратура контролю безвідмовна, основний та резервний елементи однонадійні та мають показовий розподіл часу безвідмовної роботи і також часу відновлення. При цьому, використовуючи методи [3], можливо отримати наступні вирази для середнього часу безвідмовної роботи системи зі спільним резервуванням, яка складається з одного основного та $k-1$ резервних елементів:

При навантаженому резерві:

$$m_{t_{c1}} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{\left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right)^j}{1+j}; \quad (20)$$

у випадку $\lambda/\mu \ll 1$:

$$m_{t_{c1}} \approx \frac{\mu^{k-1}}{k\lambda^k}. \quad (21)$$

При навантаженому резерві:

$$m_{t_{c2}} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{1}{1+j} \frac{k!}{(k-j-1)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j, \quad (22)$$

у випадку $\lambda/\mu \ll 1$

$$m_{t_{c2}} \approx (k-1)! \frac{\mu^{k-1}}{k\lambda^k}. \quad (23)$$

В реальних системах можуть існувати обмеження за числом ремонтних бригад, загально допустимому числу відновлень та інше [4]. Саме тому значення m_{t_c} , обчислені за формулами (20)-(23) доведеться розраховувати верхньою межею середнього часу безвідмовної роботи резервованої відновлювальної системи. Значення m_{t_c} майже для всіх основних випадків резервування наведені у табл. 1.

Середній час безвідмовної роботи

Табл. 1

| Кількість надлишкових елементів | Вид резерву | Число ремонтних бригад | Формула для m_{t_c} |
|---------------------------------|--------------|------------------------|---|
| Один $k=2$ | Навантажений | $r \geq 1$ | $\frac{\mu + 3\lambda}{2\lambda^2}$ |
| | Невантажений | $r \geq 1$ | $\frac{\mu + 2\lambda}{\lambda^2}$ |
| Два $k=3$ | Навантажений | $r = 1$ | $\frac{2\mu^2 + 4\lambda\mu + 11\lambda^2}{6\lambda^2}$ |
| | | $r \geq 1$ | $\frac{2\mu^2 + 7\lambda\mu + 3\lambda^2}{6\lambda^2}$ |
| | Невантажений | $r = 1$ | $\frac{\mu^2 + 2\lambda\mu + 3\lambda^2}{\lambda^3}$ |
| | | $r \geq 1$ | $\frac{2\mu^2 + 3\lambda\mu + 3\lambda^2}{\lambda^3}$ |

Вирази для m_{t_c} при $r=1$ отримані шляхом складання та вирішення системи диференціальних рівнянь, відповідних графам станів при $r=1$.

Зіставивши формули для середнього часу безвідмовної роботи дубльованої відновлювальної системи з навантаженим резервом за умови ідеального контролю згідно виразу (20) зі значенням середнього часу безвідмовної роботи невідновлювальної системи із ненавантаженим резервом $m_{t_c}'' = 3/2\lambda$ знайдемо:

$$\frac{m_{t_c}}{m_{t_c}''} = 1 + \frac{\mu}{3\lambda} = 1 + \frac{1}{3\rho}.$$

Таким чином, якщо $\rho = \lambda/\mu = 0,01 \longrightarrow 0,001$ застосування відновлення підвищує середній час безвідмовної роботи резервованої системи у декілька разів [5].

Висновки. На сьогоднішній день сучасні технології повністю витісняють з ринку інформаційно-комунікаційних послуг такі служби як телебачення, новини (в друкованому вигляді), листування та інші способи обміну інформацією. На їх зміну ринок заповнюють послуги мережі Інтернет. Основною вимогою до подібних стандартів є надійність роботи елементів мереж, систем та їх комплексів в парі з мобільним пристроєм або комп'ютером. Вирішення задачі забезпечення надійного зберігання та необмеженого доступу до інформації покладається на створення безвідмовної в роботі мережі.

Виходячи з проведеного аналізу запропоновано методичку визначення надійності дубльованої системи чотирьох можливих варіантів:

1 – Навантажений резерв; при відмові елементів вони можуть ремонтуватися як по одному, так і одночасно (відновлення без обмежень);

2 – Навантажений резерв; елементи, які відмовили можуть ремонтуватися лише по одному (обмежене відновлення);

3 – Ненавантажений резерв; відновлення проводиться без обмежень;

4 – Ненавантажений резерв; відновлення по одному елементу (обмежене).

Розглянуті варіанти резервування систем та їх компонентів дозволяють побудувати комплекси технічних рішень які дозволять забезпечити високий рівень захисту інформації або нададуть можливість працювати з нею в режимі реального часу в залежності від потреб користувачів.

Список використаної літератури

1. Гостев В. И. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами / В. И. Гостев, В. К. Стеклов. – Київ: Радіоаматор. – 1998. – 704 с.
2. Дружинин Г. В. Надёжность автоматизированных систем / Г. В. Дружинин. – Москва: Энергия, 1977. – 536 с.
3. Фомин Я. А. Теория выбросов случайных процессов. – Москва: Связь, 1980. – 216 с.
4. Емельянов Г.А. Передача дискретной информации / Г. А. Емельянов, В. О. Шварцман. – Москва: Радио и связь. – 1982. – 240 с.
5. Окунев Ю. Б. Принципы системного перехода к проектированию в технике связи / Ю. Б. Окунев, В. Г. Плотников. – Москва: Связь, 1976. – 184 с.
6. Стеклов В. К. Телекоммуникационные сети / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ: Киевский институт связи Украинской Государственной академии связи им. А.С. Попова, 2000. – 395 с.
7. Вильямс Столлингс. Беспроводные линии связи и сети / Столлингс Вильямс. – Москва: Связь, 2003. – 639 с.
8. Арипов М. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи данных дискретных сообщений / М. Арипов, Г. Захаров, С. Малиновский, Г. Яновский. – Москва: Радио и связь, 1988. – 360 с.

References

1. Gostev V.I., Steklov V.K. "Automatic control systems with digital controllers." *Kyiv: Radiomator* (1998):704.
2. Druzhinin G. V. "Reliability of Automated Systems." *Moskva: Energy* (1977): 536.
3. Fomin Ya. A. "Theory of emissions of random processes." *Moskva: Svyaz`* (1980): 216.
4. Emel`yanov G. A, Shvartsman V. O. "Transmission of discrete information." *Moskva: Radio i svyaz`* (1982): 240.
5. Okunev Yu. B., Plotnikov V. G. "Principles of a systematic transition to design in communications technology." *Moskva: Svyaz`* (1976): 184.
6. Steklov V. K. Berkman L. N. "Telecommunication networks." *Kiev: Institute of Communications of A. S. Popov Ukrainian State Academy of Telecommunications* (2000): 395.
7. Stallings Williams. "Wireless communication lines and networks." *Moskva: Svyaz`* (2003): 639.
8. Aripov M., Zakharov G., Malinovsky S., Yanovsky G. "Designing and technical operation of data transmission networks of discrete messages." *Moskva: Radio i svyaz`* (1988): 360.

Автори статті

Отрох Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 591 94 09. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua

Кравченко Владислав Ігорович – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 801 81 16. E-mail: vladislav_kravchenko@mail.ua

Голубенко Олександр Іванович – старший викладач кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 812 79 02. E-mail: Alan@bigmir.net

Загряжська Марія Вікторівна – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 692 68 22. E-mail: 7mariamagdalone7@gmail.com

Скрипник Вікторія Володимирівна – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (99) 560 57 95. E-mail: skripnik2008@ukr.net

Authors of the article

Otrokh Serhii Ivanovych – candidate of science (technic), head of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 591 94 09. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua

Kravchenko Vladyslav Igorovich – post-graduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 801 81 16. E-mail: vladislav_kravchenko@mail.ua

Holubenko Oleksandr Ivanovych – senior lecturer of the department of mobile and video information technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 812 79 02. E-mail: Alan@bigmir.net

Zahriazhska Mariia Viktorivna – postgraduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 692 68 22. E-mail: 7mariamagdalone7@gmail.com

Skrypnik Viktoriia Volodymyrivna – postgraduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (99) 560 57 95. E-mail: skripnik2008@ukr.net

Дата надходження

в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор

В.В. Вишнівський

Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.396

Ткаченко О. М., Дищук А. С., Білий О. А., Нагнибіда М. К.*Державний університет телекомунікацій, Київ***СИНТЕЗ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ІГОР**

Проаналізовані загальні вимоги до перспективних мультисервісних мереж телекомунікацій. Запропоновано методіку багатокритеріальної оптимізації параметрів мультисервісних мереж на основі методів теорії ігор. Визначено оптимальні ймовірності застосування чистих стратегій та середній вииграш. Показані особливості використання змішаних ігрових стратегій при реалізації мультисервісних мереж телекомунікацій.

Ключові слова: мультисервісна мережа, послуга, синтез, багатокритеріальна оптимізація, якість, теорія ігор, матриця, стратегія.

Tkachenko O. M., Dyshchuk A. S., Bilyi O. A., Nahnybida M. K.*State University of Telecommunications, Kyiv***SYNTHESIS OF MULTISERVICE NETWORKS USING THE GAME THEORY METHODS**

The requirements for perspective telecommunication networks are defined: multiservice, broadband, multimedia, intelligence, access invariance, multi-operator. Advantages in comparison with traditional telecommunication networks are determined. It is shown that one of the main goals of building multiservice networks is to expand the range of services provided: telephone service; data services; telematic services; mobile telecommunication services; services of information providers.

A method for multicriterion optimization of multiservice network parameters based on game theory methods is proposed. The optimal probabilities of using pure strategies and the average win have been determined. When applying a mixed strategy, the choice of a particular action must remain unknown to the enemy. An important property of the optimal mixed strategy is that for any opponent strategy (pure or mixed) it provides the player with an average winnings no less than if the opponent uses the optimal mixed strategy.

Keywords: multiservice network, service, synthesis, multicriterion optimization, quality, game theory, matrix, strategy.

Ткаченко О. Н., Дищук А. С., Билый А. А., Нагныбида М. К.*Государственный университет телекоммуникаций, Киев***СИНТЕЗ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИГР**

Проанализированы общие требования к перспективным мультисервисным сетям телекоммуникаций. Предложена методика многокритериальной оптимизации параметров мультисервисных сетей на основе методов теории игр. Определены оптимальные вероятности применения чистых стратегий и средний выигрыш. Показаны особенности применения смешанных игровых стратегий при реализации мультисервисных сетей телекоммуникаций.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, услуга, синтез, многокритериальная оптимизация, качество, теория игр, матрица, стратегия.

Вступ і постановка задачі. Мультисервісна мережа (МСМ) представляє собою універсальне багатоцільове середовище, призначене для передачі мови, зображення і даних з використанням технології комутації пакетів (ІР). Мультисервісна мережа відрізняється ступенем надійності, характерної для телефонних мереж (на противагу негарантованої якості зв'язку через Інтернет) і забезпечує низьку вартість передачі в розрахунок на одиницю об'єму інформації (наближену до вартості передачі даних по Інтернету).

© Ткаченко О. М., Дищук А. С., Білий О. А., Нагнибіда М. К., 2017

Мультисервісні мережі можуть бути створені безпосередньо на основі як існуючих цифрових, так і віртуальних мереж.

В літературі [1-5] сформувався термін Time Warner Full Service Network (FSN), який дослівно означає повносервісні мережі, що попереджають втрату якості через несвоєчасність (з запізненням) доставки трафіку. У вітчизняній літературі цей термін аналогічний поняттю мультисервісних мереж, тобто мереж, готових до надання будь-яких телекомунікаційних та інформаційних послуг – передача голосу, мультимедійні послуги, передача даних тощо.

Аналіз літературних джерел показує, що при дослідженні, аналізі та синтезі мультисервісних мереж найефективнішим є апарат складних систем.

При проектуванні складних систем, як відомо [6-9], для одержання ефективних рішень, необхідно здійснювати векторний синтез на основі вектора показників якості.

В роботі [10] досліджується категорія чутливості складних систем як математичного показника для оцінювання поведінки системи щодо запобігання перевантажень мережі і підвищення якості надання послуг. Представлені аналітичні вирази для визначення однопараметричної і багатопараметричної чутливості складних систем.

Метою даної роботи є дослідження можливості використання алгоритмів теорії ігор при оптимізації параметрів мультисервісних мереж.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі: обґрунтування вимог до перспективних мереж зв'язку, постановка основного завдання мультисервісної мережі, оптимізація мережі на базі алгоритмів теорії ігор.

Особливості реалізації мультисервісних мереж. В [3, 8] визначені загальні вимоги до перспективних мереж зв'язку:

- мультисервісність – незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;
- широкосмуговість – можливість гнучкої й динамічної зміни швидкості передачі інформації в широкому діапазоні в залежності від поточних потреб користувача;
- мультимедійність – здатність мережі передавати багатокomпонентну інформацію (мова, дані, відео, аудіо) з необхідною синхронізацією цих компонентів в реальному часі;
- інтелектуальність – можливість управління послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача або постачальника послуг;
- інваріантність доступу – можливість організації доступу до послуг, незалежно від використовуваної технології;
- багатооператорність – можливість участі декількох операторів у процесі надання послуги і поділ їх відповідальності у відповідності з областю діяльності.

Основне завдання мультисервісних мереж полягає в забезпеченні роботи різнорідних інформаційних і телекомунікаційних систем і додатків в єдиному транспортному середовищі, коли для передачі звичайного трафіку (даних) і трафіку іншої інформації (мови, відео та ін.) використовується єдина інфраструктура, яка володіє наступними характеристиками:

- функціонує на базі комутації пакетів і має розділені функції управління і перенесення інформації, де функції послуг і додатків відокремлені від функцій мережі;
- мережа компонентної побудови з використанням відкритих інтерфейсів;
- підтримує широкий спектр послуг, включаючи послуги в реальному часі і послуги доставки інформації (електронна пошта), в тому числі мультимедійні послуги;
- забезпечує взаємодію з традиційними мережами електрозв'язку;
- володіє загальною мобільністю, тобто дозволяє окремому абоненту користуватися і управляти послугами незалежно від технології доступу і типу використовуваного терміналу та надає абоненту можливість вільного вибору постачальника послуг.

Мережі телекомунікацій, побудовані на основі концепції мультисервісної мережі, мають наступні переваги перед традиційними мережами телекомунікацій:

- використання універсальної транспортної мережі для надання різних послуг;
- підвищення середнього доходу з абонента за рахунок надання додаткових мультимедійних послуг;
- оптимальна реалізація смуги пропускання для інтеграції різних видів трафіку;
- мультисервісна мережа краще пристосована до модернізації і розширення;
- мультисервісна мережа володіє легкістю в управлінні та експлуатації;
- оператор мультисервісної мережі має можливість швидкого впровадження нових послуг і додатків з різними вимогами до обсягу переданої інформації і якості її передачі.

Переваги для користувача:

- абстрагування від технологій реалізації послуг телекомунікацій (принцип чорного ящика);
- гнучке отримання необхідного набору, обсягу та якості послуг;
- мобільність отримання послуг.

Однією з основних цілей побудови мультисервісних мереж є розширення спектру послуг, що надаються:

- послуги служби телефонного зв'язку (надання місцевого телефонного з'єднання, міжміського телефонного з'єднання, міжнародного телефонного з'єднання);
- послуги служб передачі даних (надання виділеного каналу передачі даних, постійного і комутованого доступу в мережу Інтернет, віртуальних приватних мереж передачі даних);
- послуги телематичних служб (електронна пошта, голосова пошта, доступ до інформаційних ресурсів, телефонія по IP-протоколу, аудіоконференція і відеоконференція);
- послуги служб рухомого електрозв'язку;
- послуги постачальників інформації: відео та аудіо за запитом, інтерактивні новини, електронний супермаркет, дистанційне навчання та ін.

MCM використовує єдиний канал для передачі даних різних типів, дозволяє зменшити різноманітність типів обладнання, застосовувати єдині стандарти, технології і централізовано керувати комунікаційним середовищем.

Інтерактивні MCM надають абонентам широкий спектр послуг: пакети аналогового і цифрового телебачення, потокове мовлення, Інтернет, телефонію, відеоконференція, голосування та опитування населення, відеотелефонію, відео на вимогу, дистанційне навчання, медичні консультації, оплату комунальних послуг з автоматичним зніманням показань із лічильників води, тепла і електроенергії, охоронну сигналізацію, відеоспостереження та ін.

Оптимізація мережі на базі теорії ігор. Для розрахунку показників якості мультисервісних мереж пропонується скористатися методами теорії ігор. Це дозволить ефективно розв'язати задачу багатокритеріальної оптимізації параметрів мультисервісних мереж. Покажемо це на прикладі.

Нехай гравець A – система управління деякою мережею, яка повинна управляти одним з двох основних показників якості мережі – гравця B . Мережа може забезпечувати певне стале значення лише одного параметра, але не обох одразу. Відомо, що перший параметр втричі важливіше, ніж другий. Як потрібно діяти обом супротивникам?

Позначимо стратегії управління та забезпечення певного сталого значення першого параметра індексом 1, другого параметра – індексом 2.

Тоді платіжна матриця має вигляд, зображений на рис. 1.

| | | |
|-------|-------|-------|
| | B_1 | B_2 |
| A_1 | 0 | 3 |
| A_2 | 1 | 0 |

Рис. 1. Платіжна матриця гри

Якщо B забезпечує певне постійне значення параметра якості, яким управляє A , то виграш A дорівнює нулю. Легко бачити, що ця матриця не має сідлової точки:

$$\max_j \min_i a_{ji} = 0 \quad (\max[0,0]=0), \quad \min_i \max_j a_{ji} = 1 \quad (\min[3,1]=1).$$

Застосування чистих стратегій в цьому випадку є не вигідним для гравців. Дійсно, якщо A завжди буде дотримуватися одного й того ж принципу дій (наприклад, управляти більш важливим параметром), то B , знаючи про це, зведе виграш A до нуля. Таким же чином, якщо B буде, наприклад, завжди забезпечувати певне стає значення більш важливого параметру (що, здавалося б, диктується "здоровим глуздом"), то A зможе напевно виграти 1 – управляти другим параметром. Таким чином, той, хто застосовує чисту стратегію, опиняється в гіршому положенні, в порівнянні з його більш "гнучким" супротивником. Очевидно, більш вигідно потай від супротивника вибирати то одну, то іншу чисту стратегію, причому не за будь-яким наперед відомим законом, а випадково, користуючись, скажімо, таблицею випадкових чисел. Наприклад, якщо гравець A буде з рівними ймовірностями управляти то одним, то іншим параметром, то як би не діяв B , виграш A в середньому буде не менше $\frac{1}{2}$, тобто, в будь-якому випадку, більше нуля. Виникає питання, які ж оптимальні ймовірності застосування чистих стратегій? Для випадку ігор 2×2 теорія ігор дає порівняно просту відповідь: ймовірності чистих стратегій повинні розраховуватися за формулами:

$$p(A_1) = \frac{a_{22} - a_{21}}{(a_{11} + a_{22}) - (a_{12} + a_{21})}; \quad p(B_1) = \frac{a_{22} - a_{12}}{(a_{11} + a_{22}) - (a_{12} + a_{21})};$$

$$p(A_2) = \frac{a_{11} - a_{12}}{(a_{11} + a_{22}) - (a_{12} + a_{21})}; \quad p(B_2) = \frac{a_{11} - a_{21}}{(a_{11} + a_{22}) - (a_{12} + a_{21})}.$$

Отримаємо наступні ймовірності:

$$p(A_1) = 1/4; \quad p(A_2) = 3/4; \quad p(B_1) = 3/4; \quad p(B_2) = 1/4.$$

Середній виграш A (тобто програш B) рівний при цьому $\frac{3}{4}$. Стратегія, що полягає у випадковому застосуванні з визначеними ймовірностями тих чи інших чистих стратегій, називається змішаною стратегією. Змішана стратегія задається ймовірностями застосування чистих стратегій, що входять в неї. В нашому випадку оптимальні змішані стратегії гравців S_A та S_B можна записати в наступному вигляді, причому чисті стратегії нумеруються зверху до низу:

$$S_A = \begin{vmatrix} 1/4 \\ 3/4 \end{vmatrix}; \quad S_B = \begin{vmatrix} 3/4 \\ 1/4 \end{vmatrix}.$$

На відміну від випадку гри з сідловою точкою, при застосуванні змішаної стратегії вибір певної дії повинен залишатися невідомим супротивнику. Хоча, однак, оптимальну змішану стратегію гравця супротивник завжди може розрахувати за матрицею гри.

Важливою властивістю оптимальної змішаної стратегії є те, що при будь-якій стратегії супротивника (чистій чи змішаній) вона забезпечує гравцю середній виграш, не менший, ніж у випадку застосування супротивником його оптимальної змішаної стратегії. Цей середній

виграш, який може отримати "хороший" гравець у "хорошого" гравця, називається ціною гри. В нашому прикладі ціна гри дорівнює $\frac{3}{4}$ (на користь A). У грі з сідловою точкою ціна гри рівна величині платежу в сідловій точці. Якщо ціна гри рівна нулю, то гру можна вважати "справедливою". В протилежному випадку одному з гравців краще утриматися від гри, якщо це можливо (це, доречі, також деяка чиста стратегія, що зводить гру до гри з сідловою точкою та ціною гри, рівною нулю).

Рішення ігор з більшою кількістю чистих стратегій, ніж 2×2 , знайти складніше. Однак, як довів Дж. фон Нейман, кожна гра $m \times n$ має хоча б один розв'язок у вигляді оптимальних (чистих чи змішаних) стратегій для обох гравців.

Досить складними є ігри з більшою кількістю стратегій, особливо так звані нескінченні ігри (з нескінченною множиною чистих стратегій), а також ігри багатьох гравців, в тому числі коаліційні ігри, в яких гравці можуть утворювати коаліції з метою збільшити сумарний виграш.

Висновки. Запропоновано методику багатокритеріальної оптимізації параметрів мультисервісних мереж на базі методів теорії ігор.

Для наведеного прикладу показано, що застосування чистих стратегій є не вигідним для гравців, так як той, хто застосовує чисту стратегію, опиняється в гіршому положенні, в порівнянні з його більш "гнучким" супротивником.

Визначено оптимальні ймовірності застосування чистих стратегій, а також середній виграш A – система управління мережею зв'язку, (тобто програш B – мережа зв'язку), який становить $\frac{3}{4}$.

Список використаної літератури

1. Толубко В.Б. Методи оптимізації / В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман. – Київ: ДУТ, 2016. – 442 с.
2. Соломенчук В. Д. Оптические транспортные сети / В. Д. Соломенчук, В. А. Мищенко, К. Н. Гура. – Киев: Центр последипломного образования ПАО «Укртелеком», 2014. – 294 с.
3. Стеклов В. К. Телекоммуникационные сети / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ: Техніка, 2000. – 392 с.
4. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – Москва: Мир, 1989. – 544 с.
5. Лихтциндер Б.Я. Интеллектуальные сети связи. / Б. Я. Лихтциндер, М. А. Кузякин, А. В. Росляков, С. М. Фомичев. – Москва: Эко-Трендз, 2000. – 205 с.
6. Беркман Л. Н. Застосування алгоритмів теорії ігор для оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами / Л. Н. Беркман, О. М. Ткаченко // Матеріали Международной научно-технической конференции «Технологии цифрового вещания: стратегия внедрения в Украине» (ДВТ-2006). – 2006. – С. 180-183.
7. Льюс Р.Д. Игры и решения / Р. Д. Льюс, Х. Райфа. – Москва: ИИЛ, 1961. – 642 с.
8. Нетудыхата Л. И. К вопросу оптимизации системы управления сетью связи методами теории игр / Л. И. Нетудыхата, В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман // Зв'язок. – 2004. – №6. – С. 59-60.
9. Ткаченко О.М. Використання ігрових методів для аналізу і синтезу систем зв'язку / О. М. Ткаченко // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології (COMINFO-2006)». – С. 34-35.
10. Горошанко Я. І. Управління надійністю телекомунікаційної мережі на основі аналізу чутливості складних систем / Я. І. Горошанко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №3. – С.31-36.

References

1. Tolubko V. B., Berkman L. N. "The methods of optimization." *Kyiv: DUT* (2016): 442.
2. Solomenchuk V. D., Mischenko V. A., Gura K.N. "Optical transport networks." *Kyiv: Ukrtelecom* (2014): 294.
3. Steklov V. K., Berkman L. N. "Telecommunication networks." *Kyiv: Tekhnika* (2000): 392.
4. Bertsekas D., Gallager R. "Data transmission networks." *Moskva, Mir* (1989): 544.
5. Lichtzkind B. Ya., Kuzyakin M. A., Roslyakov A. V., Fomichev S.M. "Intelligent Communication Networks". *Moskva: Eco-Trends* (2000): 205.
6. Berkman L. N., Tkachenko O. M. "Application of algorithms of game theory for optimization of telecommunication network management systems." *International Scientific and Technical Conference "Digital Broadcasting Technologies: Implementation Strategy in Ukraine" (DBT-2006)* (2006): 180-183.
7. L'yus R. D., Raifa H. "Games and solutions." *Moskva: IIL* (1961): 642.
8. Netudykhata L. I., Steklov V. K., Berkman L. N. "On the question of optimization of the network management system by game theory methods." *Zviyazok* 6 (2004): 59-60.
9. Tkachenko O. M. "Use of game techniques for the analysis and synthesis of communication systems." *II International Scientific and Technical Conference "Modern Information and Communication Technologies (SOMINFO)* (2006)": 34-35.
10. Toroshanko Ya. I. "Management reliability of telecommunication network on the analysis of sensitivity of the complex systems." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 3 (2016): 31-36.

Автори статті

Ткаченко Ольга Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +380 (50) 647 57 77. E-mail : okar@ukr.net.

Дишук Анатолій Станіславович – директор центру документального інформаційного забезпечення та контролю, Державний університет телекомунікацій. Тел.: +380 (67) 273 46 82. E-mail: adishuk@mail.ru.

Білий Олексій Андрійович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +380 (93) 264 16 31.

Нагнибіда Микита Костянтинівич – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +380 (93) 536 42 00.

Authors of the article

Tkachenko Olha Mykolaivna – candidate of science (technic), associate professor of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +380 (50) 647 57 77. E-mail : okar@ukr.net.

Dyshchuk Anatolii Stanislavovych – director of center of the documentary informative providing and control, State University of Telecommunications. Tel.: +380 (67) 273 46 82. E-mail: adishuk@mail.ru.

Bilyi Oleksii Andriiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +380 (93) 264 16 31.

Nahnybida Mykyta Kostiantynovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +380 (93) 536 42 00.

Дата надходження

в редакцію: 3.11.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор О.М. Власов
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК621.395

Колченко Г. Ф. ТОВ «ВЦ «Омега», Київ**Поскрипко Д. Ю.** Державний університет телекомунікацій, Київ

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ МОТИВАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Визначена функція мотивування, як одна із функцій управління підприємством. Розглянута категорія мотивації як складної, багаторівневої неоднорідної системи чинників. Сформульовані основні критерії мотивації персоналу на підприємствах телекомунікацій. Проведено оцінку основних мотиваторів та демотиваторів для працівників підприємства. Запропоновано визначати ключові показники результативності, які характеризують результативність управління мотивацією на підприємстві.

Ключові слова: персонал, функція мотивації, телекомунікаційне підприємство, мотиватор, демотиватор, ключові показники результативності, управління мотивацією.

Kolchenko G. F. LLC "PC "Omega", Kyiv.**Poskrypko D. Yu.** State University of Telecommunications, Kyiv

PRACTICAL ASPECTS OF MOTIVATION OF PERSONNEL TELECOMMUNICATION ENTERPRISE

The motivation function is defined as one of the functions of enterprise management. The category of motivation is considered as a complex, multilevel non-uniform system of factors, which includes motives, needs, values, interests, aspirations, settings, norms of activity and human behavior. The main criteria of motivation of personnel at telecommunication enterprises are formulated. The evaluation of the main motivators and demotivators for the employees of the enterprise is conducted. It was found that the most significant motivators were those that were realized with the help of material stimulation. The priority directions of continuous improvement of motivation of telecommunication enterprise personnel are given. The effectiveness of measures to improve the management of personnel motivation has been determined. It is proposed to determine the key performance indicators that characterize the effectiveness of motivation management at the enterprise.

Keywords: personnel, motivation function, telecommunication enterprise, motivator, demotivator, key performance indicators, motivation management.

Колченко Г. Ф. ООО «ВЦ «Омега», Киев**Поскрипко Д. Ю.** Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Определена функция мотивирования, как одна из функций управления предприятием. Рассмотрена категория мотивации как сложной, многоуровневой неоднородной системы факторов. Сформулированы основные критерии мотивации персонала на предприятиях телекоммуникаций. Проведена оценка основных мотиваторов и демотиваторов для работников предприятия. Предложено определять ключевые показатели результативности, которые характеризуют результативность управления мотивацией на предприятии.

Ключевые слова: персонал, функция мотивации, телекоммуникационное предприятие, мотиватор, демотиватор, ключевые показатели результативности, управления мотивацией.

© Колченко Г. Ф. Поскрипко Д. Ю., 2017

Загальні положення. Формування соціально-орієнтованої ринкової економіки та перспективи євроінтеграції України потребують удосконалення існуючих та пошуку нових підходів до ефективного використання трудового потенціалу підприємств, узгодження суспільно-політичних, правових та інших норм, забезпечення відповідних соціально-економічних стандартів та якості трудового життя на підприємствах.

Ефективне управління виробничо-господарською діяльністю сучасних підприємств значною мірою залежить від управління мотивацією працівників та налагодженого мотиваційного механізму.

При вирішенні виробничих завдань підприємств мотивація персоналу відіграє велику роль, саме тому керівникам необхідно мати актуальну інформацію про наявність у трудовому колективі характеристик, необхідних для досягнення цілей підприємства, а також про стан мотивації працівників. У сучасних умовах ринкову перспективу мають лише ті підприємства, які зможуть налагодити та реалізувати ефективні механізми адаптації до змін, що відбуваються. Керівники підприємств повинні це усвідомлювати та постійно підтримувати високий рівень мотивації своїх робітників, оптимально задовольняючи їх потреби, сприяти формуванню та реалізації потенціалу співробітників.

Для вирішення цих завдань підприємства країн з розвинутою економікою розробляють та імплементують багатопланові та довгострокові програми мотивації працівників. Існує значна кількість теорій та підходів до розуміння змісту та сутності мотивації і, з нашої точки зору, в кожному з них є практично-важливі елементи, які можуть бути використані керівництвом підприємств та організацій при розробці та реалізації програм мотивації персоналу.

Теоретичні засади мотивації та стимулювання персоналу. Мотивація є однією з фундаментальних проблем вітчизняного та світового менеджменту. Її сутність пов'язана з визначенням та аналізом джерел активності людини, як власника або працівника підприємства, спонукальних чинників (мотивів) його діяльності, організаційної поведінки. У загальному плані мотив можна визначити як те, що визначає, стимулює, спонукує людину до здійснення певної дії у межах обумовленої цим мотивом діяльності.

Мотивація є складною, багаторівневою неоднорідною системою чинників, яка включає в себе мотиви, потреби, цінності, інтереси, прагнення, установки, норми тощо, що визначає з одного боку полімотивованість діяльності та поведінки людини, а з іншого – домінуючі мотиви. Ієрархічна структура мотиваційної сфери визначає спрямованість особистості людини, яка має різний характер залежно від того, які саме мотиви (зокрема організаційні) стали домінуючими.

Під мотивацією розуміються активні рушійні сили, що визначають поведінку людини. З одного боку – спонукання, нав'язане ззовні, а з іншого сторони – самоспонукування.

Мотивація – це спонукання до певної дії, динамічний процес фізіологічного та психологічного генезу, який керує поведінкою людини, визначає її організованість, активність, здатність людини діяльно задовольняти свої потреби. Мотивація необхідна для ефективного виконання прийнятих рішень і запланованих завдань. Мотивація – все те, що знаходиться "всередині" людини та спонукає до певної діяльності. Якщо людина мотивована, її задоволення від роботи може призвести до якісного результату.

В основі поняття «мотивація» є поняття «мотив», яке реалізується через складний механізм співвідношень зовнішніх і внутрішніх чинників поведінки, який визначає виникнення, напрямок, а також здійснення конкретних форм діяльності. Мотив – це переважно внутрішня спонукальна сила, яка примушує людину до здійснення певних дій або вести себе певним чином [1-3].

Мотиви проявляються у вигляді реакції людини на фактори його внутрішнього стану або впливу зовнішнього середовища, зовнішніх обставин, ситуацій, умов. Мотиви справляють вплив на поведінку людини, направляють її діяльність в необхідну для організації сторону,

регулюють інтенсивність праці, трудовитрати, спонукають проявляти сумлінність, наполегливість, старанність в досягненні цілей [1].

Мотиви діяльності можуть бути внутрішніми і зовнішніми. Зовнішні обумовлені бажанням людини володіти неналежними їй об'єктами. Внутрішні мотиви пов'язані із одержанням задоволення від існуючого об'єкта, який працівник бажає зберегти, або незручностей, які приносять володіння ним, а відповідно бажанням позбавитись його. Наприклад, цікава робота приносить людині задоволення, вона готова працювати більше часу; в іншому випадку працівник на все готовий, аби позбавитись займаної посади. Мотиви у залежності від стимулюючої сфери можуть бути поділені на матеріальні і моральні.

Мотив завжди пов'язаний з певною ситуацією. Дослідження демонструють співвідношення діяльності (активності) людини та результатів його роботи. На початковому етапі зростання активності результати підвищуються, пізніше, на певному рівні активності, результати не змінюються і залишаються на одному рівні. Звідси можна зробити висновок, що керівництво має домагатися не максимально можливої активності підлеглих, а нарощування їх активності до оптимального рівня.

Мотиви слід відрізнити від стимулів. Стимул – це зовнішня причина, яка спонукає людину діяти певним чином для досягнення поставленої мети. Стимулом можуть бути окремі предмети, дії інших людей, обіцянки, зобов'язання можливості та інше, що може бути запропоновано людині як компенсація за її дії або за те, що вона бажала б одержати в результаті певних дій [2, 4, 5]. За змістом стимули можуть бути економічними і неекономічними. Економічні надають можливість одержувати матеріальні вигоди, які підвищують добробут. Некономічні стимули - організаційні та моральні. Моральні стимули можуть викликати і негативні наслідки: кар'єризм, користолюбство, а матеріальні можуть сприяти працювати високоефективно, якісніше [6, 7].

Не існує чітких відмінностей між зовнішньою і внутрішньою мотивацією. Деякі мотиви в одних випадках викликані внутрішньою мотивацією, а в інших – зовнішньою. Іноді мотив одночасно викликаний різними джерелами мотивації. Відомо, що мотивація виявляє суттєвий вплив на виконання роботи працівником, проте між мотивацією й кінцевим результатом трудової діяльності не має безпосередньої залежності – іноді працівники, орієнтовані на якісне виконання певної роботи, демонструють гірші результати, аніж мотивовані працівники. Відсутність безпосереднього зв'язку між мотивацією й кінцевим результатом праці обумовлена тим, що на результат впливає також багато інших факторів, зокрема кваліфікація й здатності працівника, правильне розуміння виконуваного завдання та багато іншого.

Загальна системна уява щодо мотиваційної сфери людини дозволила дослідникам класифікувати мотиви: а) характер участі у діяльності; б) час (тривалість) обумовлення діяльності; в) соціальна значимість; г) включення мотивів у процес діяльності або локалізація поза ним; д) певний вид діяльності, наприклад трудова мотивація тощо.

Потреби та мотиви соціального плану пов'язані з інтересами та цілями суспільства в цілому, а організаційного – із стратегічними цілями та завданнями підприємств. Ця група мотивів обумовлює поведінку людини як члена групи, команди, організації, інтереси якої можуть стати інтересами самої особистості.

Процес мотивації містить три елементи:

1) потреби, які являють собою бажання, прагнення до результатів. Люди відчують потребу в таких речах як одяг, житло тощо. Але також у таких речах як почуття поваги, можливість особистого професійного росту тощо.

2) цілеспрямована поведінка – прагнучи задовольнити свої потреби, люди вибирають свою лінію цілеспрямованої поведінки. Робота в компанії – один із способів цілеспрямованої поведінки. Спроби просунутися на керівну посаду - ще один тип цілеспрямованої поведінки, спрямованої на задоволення потреб у визнанні.

3) задоволення потреб – відображає позитивне почуття полегшення й комфортного стану, яке відчуває людина, коли її бажання реалізується [8-11].

Мотивація та стимулювання персоналу підприємства відіграють суттєву роль у процесі управління персоналом (рис. 1).

Застосування мотивації дозволяє підвищити ефективність діяльності персоналу, тому що фахове керівництво сприяє розвитку причетності й ідентифікації, проясненню ролей і цілей, командоутворенню та розвитку командного духу. Велике значення також має роль особистості та стиль управління керівника.

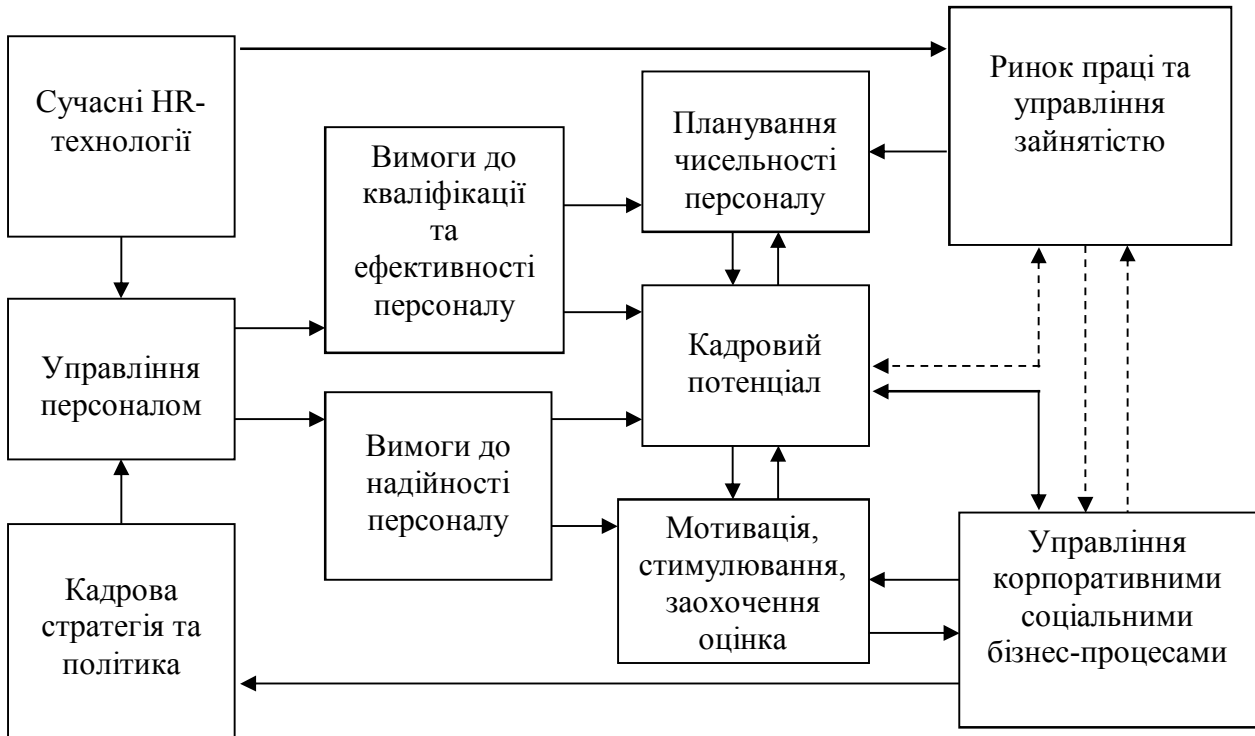


Рис. 1. Місце мотивації у забезпеченні та реалізації кадрового потенціалу підприємств

Стан управління мотивацією на телекомунікаційному підприємстві. Аналіз поточного стану управління мотивацією на досліджуваному телекомунікаційному підприємстві (далі ТКП) проведено за такою схемою:

1. Аналіз соціальної структури персоналу на підприємстві:
 - 1.1. Виділення вікових груп і побудова гістограми розподілу, на основі гістограми зробимо висновок про вікову структуру підприємства.
 - 1.2. Класифікація працівників підприємства за рівнем освіти та побудова гістограми розподілу.
 - 1.3. Побудова гістограми розподілу працівників за кількістю років стажу.
 - 1.4. Висновок про соціальну структуру персоналу на підставі аналізу гістограм.
2. Виявлення ставлення до виконуваної роботи.
3. Аналіз мотивації та стимулювання працівників ТКП.
4. Виявлення мотиваційної спрямованості трудової діяльності.

На основі аналізу підприємства, на якому проводилось дослідження, можна зробити висновок, що більшість співробітників працюють на підприємстві від одного до п'яти років, причому друга за чисельністю група працює менше 1 року, лише по дві людини працюють від 5 до 10 років і від 10 до 15 років, і тільки 4 працівники мають стаж роботи на підприємстві більше 15 років.

Для виявлення мотиваційної спрямованості трудової діяльності за допомогою анкетування було проведено аналіз мотивації та стимулювання працівників ТКП (рис. 2).

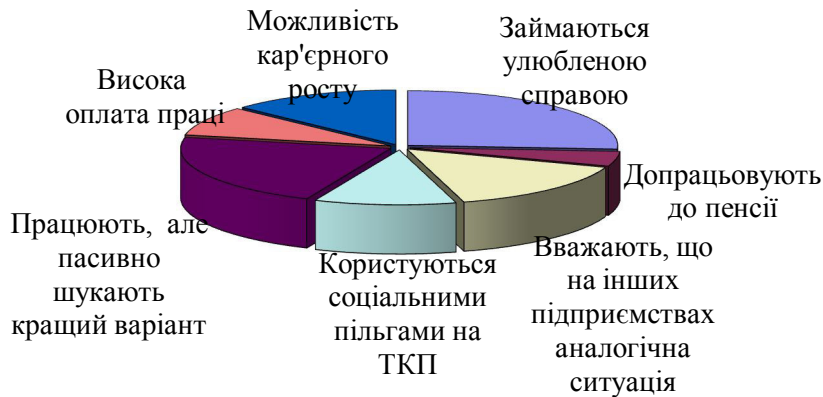


Рис. 2. Аналіз мотивації та стимулювання працівників ТКП

Мотивування через саму роботу базується на внутрішніх стимулах інтересу до роботи працівників, почуття задоволення від процесу роботи, можливості виявити свої здібності при прийнятті рішень і виконанні виробничих завдань. Заохочення мотивують тоді, коли вони заслужені, і працівники це усвідомлюють та знецінюють, коли безпідставні.

Програма мотивації на досліджуваному ТКП сприяє розвитку причетності співробітників до загальної справи, підвищенню рівня їхньої залученості, з'ясуванню їх ролей і цілей і організації, командоутворенню.

На досліджуваному ТКП стиль управління керівника переважно демократичний та орієнтований на зниження рівня незадоволеності та підвищення рівня задоволеності підлеглих, визначення та коригування регуляторів мотивації, підсилення основних мотиваторів. З метою "збагачення роботи" працівників на досліджуваному ТКП практикується доручення "більш складних" чи "більш відповідальних – вищого порядку" завдань.

За статистичною оцінкою пріоритетних програм мотивації найбільш важливим напрямком її реалізації визначено забезпечення задоволеності та лояльності персоналу підприємства, формування та реалізація корпоративних програм мотивації та підтримка стабільності кадрового складу.

Результативність заходів вдосконалення управління мотивацією персоналу телекомунікаційного підприємства. Однією з умов забезпечення управління мотивацією персоналу телекомунікаційного підприємства є її економічна результативність, що вимагає здійснення подальших досліджень оцінки результативності.

На практиці поняття «результативність» іноді ототожнюється з поняттям «результат», проте їх сутність не однакова. Результат характеризує кінцевий підсумок процесу, послідовності дій, виражений якісно або кількісно, а результативність – ступінь досягнення поставленої мети. Результат – абсолютна величина, результативність – відносна, оскільки при її визначенні співвідносяться підсумок – результат та мета або отримані позитивні та негативні результати. Оцінка економічної ефективності передбачає необхідність визначення усіх цільових витрат на реалізацію програми мотивації. При цьому повинні враховуватися усі витрати підприємства на заходи мотивування та стимулювання, персонал, кадрову службу.

При оцінці результативності окремих заходів і програм мотивації та стимулювання визначається вплив кожного заходу або програми на результативність діяльності працівників підприємств загалом (підвищення продуктивності праці, поліпшення якості послуг, економія ресурсів тощо).

Однією з сучасних методик оцінки результативності є підхід до оцінки на основі ключових показників результативності (Key Performance Indicators, KPI) [8]. Стандарт ISO 9000:2008 визначає, що термін «performance» має два значення: і результативність, і ефективність. «Результативність» визначається як ступінь досягнення запланованих результатів (орієнтація на результат), а «ефективність» – як співвідношення між досягнутими

результатами і витраченими ресурсами (орієнтація на досягнення цілей з визначеним рівнем витрат).

Оцінювання економічної результативності управління мотивацією можна проводити за визначенням КРІ, які характеризують її рівень. При визначенні КРІ насамперед необхідно чітко визначити стратегічні цілі управління мотивацією.

Формулювання стратегічної мети управління мотивацією через індикатори її стану дозволяє сформулювати математичну модель її результативності:

$$f = \sum_i (S_i - S_{in}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де S_i – фактичне значення інтегрального показника управління мотивацією;

S_{in} – значення інтегрального показника управління мотивацією, який відповідає нормативному (нормальному, цільовому) рівню;

f – розрив між фактичним та нормативним рівнями.

Проблема практичного застосування наведеної математичної моделі результативності управління мотивацією полягає у визначенні інтегрального показника управління мотивацією, проте існують різні підходи до структури та визначення показників мотивації, а також немає узгодженої думки науковців з цього приводу. Тому у роботі обмежимося формуванням та розрахунком КРІ мотивації персоналу, а також визначенням їх нормативних цільових рівнів.

Таким чином, результативність мотивації досягається, коли забезпечується мінімізація розриву між фактичним та нормативним (цільовим) рівнями її забезпечення.

Тому на основі проведеного дослідження можемо запропонувати КРІ, які характеризують результативність управління мотивацією (табл. 1):

КРІ-1 – частка персоналу, який не пройшов атестацію;

КРІ-2 – частка персоналу, який пройшов програми навчання;

КРІ-3 – частка персоналу, який пройшов кар'єрний розвиток на підприємстві;

КРІ-4 – частка персоналу, який звільнився або був звільнений протягом року з усіх причин (або за період);

КРІ-5 – рівень задоволеності персоналу;

КРІ-6 – рівень лояльності персоналу;

КРІ-7 – питома вага мотиваційної (преміальної та бонусної) частини у структурі фонду оплати праці на підприємстві.

Ключові показники результативності управління мотивацією ТКП

Табл. 1

| Значення КРІ | Рекомендована тенденція | Незадовільне значення КРІ | Нейтральне значення КРІ | Позитивне значення КРІ | |
|--------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----|
| 1 | КРІ-1 | → min | >10 | 5-10 | <5 |
| 2 | КРІ-2 | → max | <50 | 50-75 | >75 |
| 3 | КРІ-3 | ↑ | <5 | 5-10 | >10 |
| 4 | КРІ-4 | → min | >20 | 10-20 | <10 |
| 5 | КРІ-5 | → max | <50 | 50-80 | >82 |
| 6 | КРІ-6 | → max | <25 | 25-40 | >40 |
| 7 | КРІ-7 | ↑ | <20 | 20-30 | >30 |

де: ↑ – зростання; → min – мінімізація; → max – максимізація; показники у %.

Важливо здійснювати періодичну оцінку системи мотивації на підприємстві на основі моніторингу динаміки змін показників управління персоналом та ключових показників результативності мотивації (за визначений період).

Про негативний стан системи мотивації та незадовільне управління мотивацією на підприємстві можуть свідчити зміни показників у динаміці:

– зниження кадрових показників: коефіцієнт стабільності кадрів (Кск), коефіцієнт дисципліни персоналу (Кдп), коефіцієнт кваліфікованості працівників (Ккп), коефіцієнт інтелектуального складу (Кіс), коефіцієнт якості розстановки кадрів (Кяр):

$$K_{ск_0} < K_{ск_n}, \quad K_{дп_0} < K_{дп_n}, \quad K_{кп_0} < K_{кп_n}, \quad K_{іс_0} < K_{іс_n}, \quad K_{яр_0} < K_{яр_n};$$

– зниження продуктивності праці (Пп), темпів зростання продуктивності праці (Ппт), фондоозброєності праці (Фп):

$$P_{п_0} < P_{п_n}, \quad P_{пт_0} < P_{пт_n}, \quad F_{п_0} < F_{п_n};$$

– зростання показників: загальний фонд оплати праці (Фоп), втрати робочого часу (Врч), трудомісткість процесів / продукції (Тп), загальна чисельність персоналу (Чп), коефіцієнт плинності кадрів (Кпк), витрат на управління персоналом (УПв):

$$F_{оп_0} > F_{оп_n}, \quad B_{рч_0} > B_{рч_n}, \quad T_{п_0} > T_{п_n}, \quad Ч_{п_0} > Ч_{п_n}, \quad K_{пк_0} > K_{пк_n}, \quad У_{Пв_0} > У_{Пв_n};$$

– зниження ключових показників результативності мотивації КРІ-2, КРІ-3, КРІ-5, КРІ-6, КРІ-7:

$$KPI-2_0 < KPI-2_n, \quad KPI-3_0 < KPI-3_n, \quad KPI-5_0 < KPI-5_n, \quad KPI-6_0 < KPI-6_n, \quad KPI-7_0 < KPI-7_n;$$

– зростання ключових показників результативності мотивації КРІ-1, КРІ-4:

$$KPI-1_0 < KPI-1_n, \quad KPI-4_0 < KPI-4_n; (6)$$

З метою визначення економічної результативності та ефективності управління мотивацією на підприємства можна враховувати також інші фінансові та кадрові показники, за умов моніторингу в динаміці тенденцій і співвідношення стимуляторів та дестимуляторів системи мотивації.

Висновки. Аналіз управління мотивацією на телекомунікаційному підприємстві демонструє, що мотивація та стимулювання праці є важливим чинником його успішного розвитку. Мотивація праці нерозривно пов'язана з розвитком підприємства і має бути спрямована на повну реалізацію можливостей працівника. Функція мотивування, як одна найскладніших функцій управління, сприяє реалізації стратегічних цілей і завдань підприємства. Складність мотивування полягає у тому, що і його суб'єктом, і його об'єктом є персонал підприємства, його працівники зі своїми цінностями, потребами, визначення, узгодження та задоволення яких є рушійною силою в процесі його діяльності. Тому в механізмі трудової мотивації найяскравіше виявляються особисті потреби, оскільки вони безпосередньо пов'язані із життєдіяльністю як співробітника, так і підприємства.

В процесі аналізу проблем управління мотивацією персоналу на підприємстві визначено та проведено оцінку основних мотиваторів та демотиваторів для працівників підприємства. Встановлено, що найбільш значущими мотиваторами були ті, які реалізуються за допомогою матеріального стимулювання. Наведено пріоритетні напрямки постійного вдосконалення мотивації персоналу телекомунікаційного підприємства. Визначено результативність заходів вдосконалення управління мотивацією персоналу телекомунікаційного підприємства, зокрема, запропоновано визначати ключові показники результативності, які характеризують результативність управління мотивацією на підприємстві.

Список використаної літератури

1. Герчиков В. И. Мотивация, стимулирование и оплата труда персонала: учеб. пособ. / В. И. Герчиков. – 2-е изд. – Москва: Изд-во ГУ-ВШЭ, 2003. – 110 с.
2. Абрамов В. М. Мотивация і стимулювання праці в умовах переходу до ринку / В. М. Абрамов, В. М. Данюк, А. М. Колот. – Одеса: ОКФА, 1995. – 215 с.
3. Афонін А. А. Основи мотивації праці й організаційно-економічний аспект / А. А. Афонін – Київ: МЗУУП, 1994. – 154 с.

4. Іванченко Г. В. Особливості використання нематеріальних стимулів на вітчизняних підприємствах / Г. В. Іванченко // Економіст. – 2010. – № 3. – С. 21-23.
5. Ручка А. А. Стимулирование и мотивация труда на промышленном предприятии: монограф. / А. А. Ручка, Н. А. Сакада. – Київ: Наукова думка, 1988. – 130 с.
6. Грїшнова О. А. Людський розвиток / О. А. Грїшнова. – Київ: КНЕУ, 2006. – 308 с.
7. Максименко Т. Оцінка результатів і складності роботи як інструмент мотивації управлінських працівників / Т. Максименко // Україна: аспекти праці. – 1999. – № 6. – С. 44-46.
8. Ветлужских Е. Мотивация и оплата труда. Инструменты. Методики. Практика / Е. Ветлужских. – Москва: Изд-во «АльпинаБизнес Букс», 2007. – 133 с.
9. Герчиков В. И. Типологическая концепция трудовой мотивации. Часть 1 / В. И. Герчиков // Мотивация и оплата труда. – 2005. – № 2. – С. 53-62.
10. Герчиков В. И. Типологическая концепция трудовой мотивации. Часть 2 / В. И. Герчиков // Мотивация и оплата труда. – 2005. – № 3. – С. 2-6.
11. Ильин Е. П. Мотивация и мотивы / Е. П. Ильин. – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 512 с.

References

1. Gerchikov V. I. "Motivation, incentives and remuneration of staff." – 2-d ed. Moskwa: Publishing House of the Higher School of Economics (2003): 110.
2. Abramov V. M., Daniuk V. M., Kolot A. M. "Motivation and stimulation of labor in the conditions of transition to the market." Odesa: OKFA (1995): 215.
3. Afonin A. A. "Fundamentals of labor motivation and organizational-economic aspect." Kyiv.: MZUUP (1994): 154.
4. Ivanchenko G. V. "Features of the use of non-material incentives at domestic enterprises." Economist 3 (2010): 21-23.
5. Ruchka A. A., Sakada N. A. "Stimulation and motivation of labor in an industrial enterprise." Kyiv: Naukova Dumka (1988): 130.
6. Hrishnova O. A. "Human development." Kuiv: KNEU (2006): 308.
7. Maksymenko T. "Estimation of the results and complexity of work as a tool for motivating management employees." Ukraine: aspects of labor 6. (1999): 44-46.
8. Vetluzhskih E. "Motivation and remuneration. Instruments. Techniques. Practice." Moskva: Publishing house "Alpina Business Books" (2007): 133.
9. Gerchikov V. I. "Typological concept of labor motivation. Part 1." Motivacija i oplata truda 2 (2005): 53-62.
10. Gerchikov V. I. "Typological concept of labor motivation. Part 2." Motivacija i oplata truda 3 (2005): 2-6.
11. Il'in E. P. "Motivation and motives." Sankt-Petersburg: Piter (2000): 512.

Автори статті

Колченко Галина Федорівна – кандидат технічних наук, доцент, начальник відділу управління якістю ТОВ «ВЦ «Омега», Київ. Тел. +380(66) 601 90 97. E-mail: galina2406@i.ua

Поскрипко Денис Юрійович, студент Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (93) 858 80 48. E-mail: posdenis@ukr.net.

Authors of the article

Kolchenko Galyna Fedorivna – candidate of science (technic), associate professor, chief of department, LLC PC "Omega", Kyiv. Tel.: +380 (66) 601 90 97. E-mail: galina2406@i.ua

Poskrypko Denys Yuriiiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 858 80 48. E-mail: posdenis@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 13.09.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук Гаврилко Є. В.
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.73(045)

Швец І. П. Державний університет телекомунікацій, Київ

КОМПЕНСАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД ЗАВАД У БЕЗПРОВОДОВІЙ ЛОКАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Для розв'язання завдання захисту безпроводової мережі від завад, джерела яких рознесені з джерелом корисного сигналу, розроблено метод амплітудної компенсації. Розраховано рівні корисного сигналу з урахуванням шумів у каналах та степеню компенсації завад у залежності у залежності від величини кутового рознесення джерел. Результати розрахунків амплітуд корисного сигналу при переміщенні його джерела будуть корисними для роботи з мобільними абонентами безпроводової мережі при виборі найбільш ефективного режиму компенсації.

Ключові слова: просторово-часова обробка сигналів, амплітудна компенсація, коефіцієнт передавання, кутове рознесення джерел.

Shwets I. P. State University of Telecommunications, Kyiv

COMPENSATIVE METHODS OF HINDRANCES PROTECTING IN WIRELESS LOCAL NETWORK

To solve the problem of protecting the wireless network from interference, the sources of which are separated with the source of the useful signal, the method of amplitude compensation is developed. The levels of the useful signal are calculated taking into account the noise in the channels and the degree of compensation of interferences, depending on the magnitude of the angular diversity of the sources. With the unchanging spatial orientation of the antenna pattern, this dependence is considered for two cases. In the first case, the degree of compensation of interference is analysed at the unchanged position of its source and the displacement of the source of the useful signal. In the second case, the analysis of the degree of compensation of the interference in the direction of change (azimuth and angle of the place) of the arrival of the interference is conducted, when the reception of a useful signal is made at the maximum of the antenna direction diagram on the main channel. In the second case, the compensation is achieved by adjusting the transmission rates of the channels. At the same time, at low angular diversity of sources, the level of the useful signal is reduced in comparison with its nominal value. The results of the work can be used to select the most effective compensation regime.

Keywords: space-time signal processing, amplitude compensation, transmission coefficient, angular diversity of sources.

Швец В. П. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХ В БЕЗПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Для решения задачи защиты беспроводной сети от помех, источники которых разнесены с источником полезного сигнала, разработан метод амплитудной компенсации. Рассчитаны уровни полезного сигнала с учетом шумов в каналах и степени компенсации помех в зависимости в зависимости от величины углового разнесения источников. Результаты расчетов амплитуд полезного сигнала при перемещении его источника будут полезными для работы с мобильными абонентами беспроводной сети при выборе наиболее эффективного режима компенсации.

Ключевые слова: пространственно-временная обработка сигналов, амплитудная компенсация, коэффициент передавания, угловое разнесение источников.

© Швец І. П., 2017

Вступ. Постановка завдання

Безпроводові мережі, зокрема, безпроводові сенсорні мережі (БСМ) широко використовуються у самих різних областях людської діяльності [1-4]. Завдяки наявності безпроводових мереж будь-який користувач отримує можливість доступу в інформаційно-комунікаційні системи різного масштабу та призначення. Є також багато інших переваг безпроводових мереж стандартів IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network – WLAN) та IEEE 802.16 (Worldwide interoperability for Microwave Access – WiMAX; їх відносять класу MAN – Metropolitan Area Network), у першу чергу – відсутність потреби у великій кількості проводів, що вельми зручно для розгортання, поточної експлуатації та масштабування безпроводових мереж.

З іншого боку, саме зв'язок мережних вузлів безпроводових мереж, включаючи БСМ, через вільне середовище (радіозв'язок) є джерелом уразливості мережі до ненавмисних та навмисних завад. Стандартне обладнання безпроводової мережі не здатне розпізнати завади, створювані пристроями, що не відносяться до стандартів IEEE 802.11 або IEEE 802.16. Завдання контролю середовища розповсюдження електромагнітних хвиль лягає на точки доступу з додатковою функцією аналізу спектра, або спеціалізовані радіо пристрої, що доповнюють інфраструктуру безпроводової мережі.

У деяких випадках цю роль беруть на себе точки доступу, що переводяться в режим аналізу. В цей час вони не обслуговують клієнтів. Після виявлення завади система перебудовує план розподілу точок доступу так, щоб каналам, суміжним завадам, привласнювалися точки доступу, максимально віддаленим від їх джерел. Крім того, система дозволяє фіксувати спроби "глушіння" мережі, і блокувати зловмисні спроби підбору пароля доступу, порушення достовірності та цілісності інформації. У всіх випадках ведеться протоколювання подій і створення звітів із зазначенням локалізації безпроводових загроз на плані приміщення, і рекомендацій щодо їх усунення [5, 6].

Безумовно, всі згадані заходи є такими, що просто реєструють спроби несанкціонованого проникнення у мережу, тобто, по суті, пасивними. Просторово-розподілені загороджувальні завади можуть повністю вивести БСМ з ладу, якщо не прийняти спеціальних заходів з придушення таких завад.

Як правило, джерела завад є просторово-зосередженими. і рознесені у просторі з джерелами корисного сигналу. Тоді захист від заважаючих сигналів може здійснюватися методами компенсації [7-9]. Ці методи є універсальними і забезпечують стійкість рішення по відношенню практично до будь-якого виду завади.

Як показано у роботі [10], початковою умовою реалізації цих способів захисту в умовах невизначеності електромагнітної обстановки (ЕМО) – випадкового місцезнаходження джерел завад і параметрів їх сигналів – є визначення числа рознесених по куту джерел випромінювання, що утворюють сукупний сигнал на вході РЕМ, і кутових координат джерела завад.

У даній роботі розглядається безпроводова мережа стандарту IEEE 802.11 з багатоканальними антенами типу MIMO (Multiple Input – Multiple Output). Не вдаючись у питання теорії таких антен (вичерпне викладення цих питань дано наприклад, в [11, 12]), розглянемо початкові умови компенсації електромагнітних завад. Потенційні можливості визначення числа рознесених по куту джерел випромінювання визначається використовуваними методами просторово-часової обробки сигналів [13, 14].

У комплексі технічних заходів забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) та завадозахищеності радіоелектронних засобів, які працюють поблизу одне від одного, широке застосування знаходить просторова селекція корисних сигналів від завад. Вказана обставина визначається універсальністю даного засобу захисту внаслідок можливості його застосування до широкого класу просторово-зосереджених завад.

У безпроводових телекомунікаційних системах обмін даними здійснюється в широкому діапазоні азимутальних кутів. Просторова селекція реалізується в основному на базі багатоканального прийому з просторово-часовою обробкою сумарного електромагнітного поля, створеного джерелами корисного сигналу і завад. У такій системі обробки розв'язується задача визначення, оцінювання координат та прийому корисного сигналу від джерела (відправника) на фоні множини активних завад на основі використання просторових відмінностей їх джерел.

В роботі [7] отримані алгоритми та розроблені структурні схеми просторово-часових багатоканальних систем (фільтрів) визначення корисних сигналів на фоні активних шумових завад за критерієм максимальної правдоподібності. Розглянуті різні варіанти рішення задачі у залежності від числа джерел, інформації про координати джерел корисного сигналу при випадковому положенні джерел завад, структурі та характеристиках сигналів.

При оцінюванні можливостей просторово-часової фільтрації враховується наступне:

– для точної компенсації L просторово-зосереджених джерел активних шумових завад число незалежних просторових каналів M приймальної частини (просторово-багатоканального фільтра) повинно бути не менш ніж L : $M \geq L$;

– оптимальна обробка сигналів за критерієм максимальної правдоподібності супроводжується змінами форми прийнятого корисного сигналу;

– відношення "корисний сигнал/завада" на виході оптимального фільтра суттєво залежить від параметрів завад;

– при апіорі невідомому положенні джерел завад і його змінах впродовж часу спостереження використовуються рекурентні алгоритми самонастроювання (адаптації) параметрів фільтрів у відповідності з завадовою обстановкою, що змінюється.

Для практичної реалізації розроблених методів фільтрації (компенсації) завад за умов складної електромагнітної обстановки з випадковими змінами параметрів (зокрема, для апіорно невідомих змін координат джерел завад) потрібні вельми складні апаратні або програмні рішення.

Крім того, різниця у спектральних характеристиках корисного сигналу та завад може приводити до перекинувань корисного сигналу.

У даній роботі зроблено спробу заповнити цей пробіл.

Метод амплітудної компенсації завади довільної структури

Розглянемо метод компенсації завади при відомих координатах джерела корисного сигналу з використанням алгоритму визначення координат джерела завади.

Захист автономного мережного вузла з двоканальним прийомом сигналу (рознесений прийом, Rx Diversity або Single Input Multiple Output – SIMO 1x2) при наявності завади, потужність якої достатня для ефективного придушення або перекинування корисного сигналу, виконується у такій послідовності:

– визначення наявності кутового рознесення джерел корисного сигналу та завади;

– обчислення кутових координат джерела завад;

– формування нуля (провалу) діаграми спрямованості антени у напрямі на джерело завади.

Потенційні можливості визначення числа рознесених по куту джерел, сигнали яких поступають на приймач, засновані на використанні методів функціональної обробки сигналів [7, 13].

Треба відмітити, що термін "функціональна обробка сигналів", дуже популярний і широко застосовуваний у 70-х – 90-х роках ХХ сторіччя, в наш час відомий лише достатньо вузькому колу спеціалістів з багатоканальних радіотехнічних систем. Нагадаємо, що під ним розуміють сумісну обробку функцій просторового розподілу амплітуд та фаз векторів електромагнітного поля в просторово-багатоканальних антенах (антенних решітках). У такому розумінні ми й будемо тут та далі вживати цей термін.

Розглянемо амплітудний двоканальний кутомірний датчик (моноімпульсний пеленгатор), який вимірює координати одного джерела й дозволяє визначити число рознесених по куту джерел (один чи два).

Для розв'язання останньої задачі в [10] запропоновано використовувати значення показника

$$q = \frac{R_c \left(\overline{\dot{U}_1 \dot{U}_2^*} \right)}{\dot{U}_1 \dot{U}_2^*},$$

де \dot{U}_1 та \dot{U}_2^* – комплексні амплітуди сигналів на виходах першого та другого каналів.

Показник q є функцією кутового рознесення $\Delta\theta_H$ джерел сигналів. Отже, при відомих кутових координатах можна визначити кутові координати джерела завад.

Формування нульової зони прийому (провалу) у напрямі на джерело завад при апріорно відомих координатах джерела корисного сигналу θ_H у двоканальному пеленгаторі забезпечується при виконанні наступних умов:

$$\begin{aligned} \dot{K}_0 \dot{F}_0(\theta_H) + \dot{K}_k \dot{F}_k(\theta_H) &\neq 0; \\ \dot{K}_0 \dot{F}_0(\theta_{\Pi}) + \dot{K}_k \dot{F}_k(\theta_{\Pi}) &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\dot{F}_0(\theta)$ і $\dot{F}_k(\theta)$ – нормовані комплексні ДС основного та компенсаційного каналів;

$\dot{K}_0(\theta)$ і $\dot{K}_k(\theta)$ – комплексні коефіцієнти передавання відповідних каналів.

Коефіцієнти спрямованої дії антен G_0 і G_k враховані в $\dot{K}_0(\theta)$ і $\dot{K}_k(\theta)$.

Для реалізації умов (1) знаходять застосування різні методи: амплітудного віднімання (некогерентний), височастотний (когерентний), поляризаційний та ін.

На рис. 1 зображено схему амплітудного компенсатора завади.

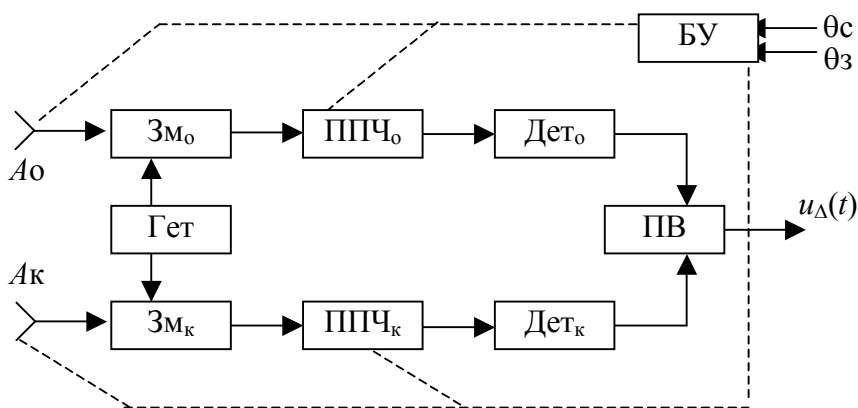


Рис. 1. Амплітудний компенсатор завад.

A_0 та A_k – індекси основного та компенсаційного каналів відповідно; A_0 та A_k – антени; Гет – гетеродин; Z_{M_0} та Z_{M_k} – змішувачі; ППЧ₀ та ППЧ_к – підсилювачі проміжної частоти; Дет – детектори; ПВ – пристрій віднімання; БУ – блок управління

Для дійсних значень $F(\theta)$ і K , лінійних детекторів основного та компенсаційного каналів мають місце наступні умови компенсації:

$$\begin{aligned} K_0 F_0(\theta_H) - K_k F_k(\theta_H) &\neq 0; \\ K_0 F_0(\theta_{\Pi}) - K_k F_k(\theta_{\Pi}) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

Блок управління в загальному випадку змінює просторове положення ДС антен основного A_0 й компенсаційного A_k каналів та коефіцієнтів посилення приймальних каналів у відповідності зі значеннями θ_C і θ_3 для виконання умови (2).

Положення ДС антен при формуванні нульової зони прийому на джерело завади показано на рис. 2. Амплітуди сигналів на виходах основного та компенсаційного приймачів з урахуванням позначень на рис. 1 та 2 запишуться у виді:

$$\begin{aligned} U_0 &= K_0 F_0(\theta_{01} - \Delta\theta_C) U_C + K_0 F_0(\theta_{01}) U_3 + \sigma_0; \\ U_k &= K_k F_k(\theta_{02} + \Delta\theta_C) U_C + K_k F_k(\theta_{02}) U_3 + \sigma_k, \end{aligned} \quad (3)$$

де U_C і U_3 – амплітуди корисного сигналу та завади відповідно;

θ_{01} і θ_{02} – зміщення максимумів ДС антен основного та компенсаційного каналів відносно рівносигнального напрямку (РСН); цей напрям співпадає з напрямом на джерело завади;

$\Delta\theta_H$ – кутове рознесення джерел сигналу та завади;

σ_0 і σ_k – середньоквадратичні відхилення шумів на виходах приймачів.

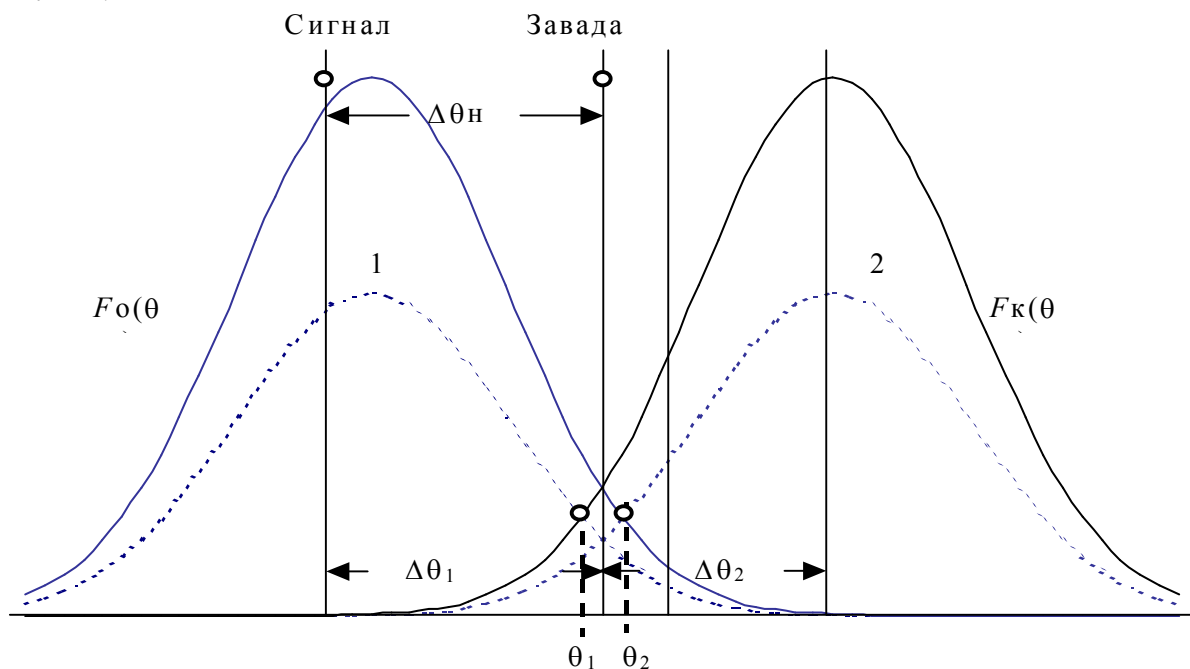


Рис. 2. Геометричні та енергетичні співвідношення у двоканальному амплітудному компенсаторі.

На рис. 2 два варіанти функцій просторової фільтрації при різних величинах коефіцієнтів передачі каналів позначені суцільними та штриховими кривими.

На виході пристрою віднімання у відповідності з (3) при

$$K_0 F_0(\theta_{01}) = K_k F_k(\theta_{02}) \quad (4)$$

має місце компенсація завади.

Значення корисного сигналу з урахуванням внутрішніх шумів дорівнює

$$U_c = K_0 F_0(\theta_{01} - \Delta\theta_H) U_H - K_k F_k(\theta_{01} + \Delta\theta_H) U_H + \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}. \quad (5)$$

Відношення h вихідного сигналу до шуму при $K_0 = K_k = K$, $\sigma_0^2 = \sigma_k^2 = \sigma_{ш}^2$, $\theta_{01} = \theta_{02} = \theta_0$, $F_0(\theta) = F_k(\theta) = F(\theta)$ дорівнює

$$h = \frac{KU_H}{\sqrt{2}\sigma_{ш}} [F(\theta_0 - \Delta\theta_H) - F(\theta_0 + \Delta\theta_H)]. \quad (6)$$

Дамо оцінку впливу складової $Q(\Delta\theta_H) = F(\theta_0 - \Delta\theta_H) - F(\theta_0 + \Delta\theta_H)$ на відношення h у залежності від кутового рознесення джерел $\Delta\theta_H$ при апроксимації ДС антен функцією

$$F(\theta) = \exp\left[-1,4\left(\frac{\theta}{\theta_{0,5}}\right)^2\right].$$

Для ширини ДС антени по половинній потужності $\theta_{0,5} = 60^\circ$ і $\theta_0 = 30^\circ$ значення Q як функції кутового рознесення $\Delta\theta_H$ наведені на рис. 3.

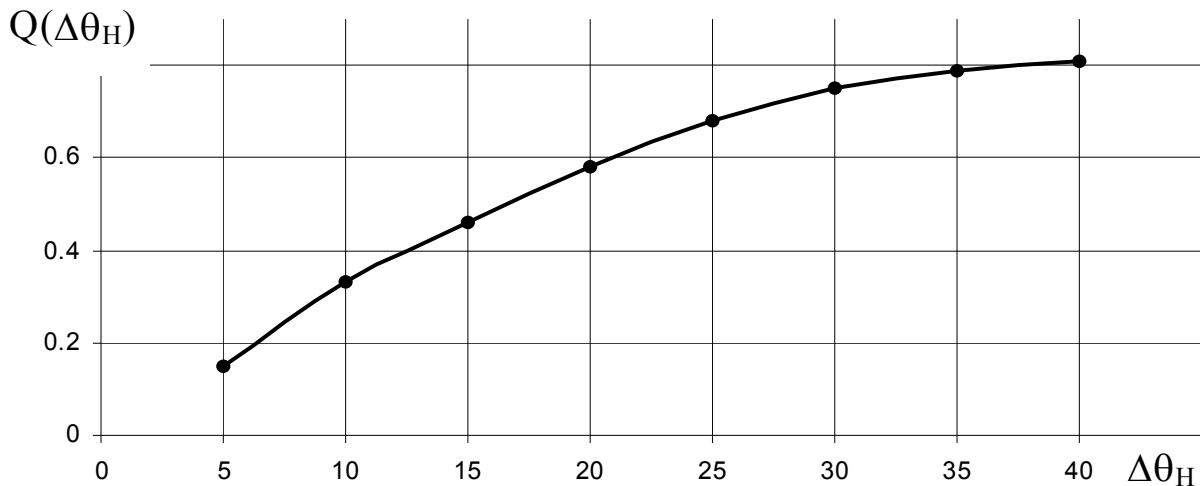


Рис. 3. Залежність вихідного відношення сигнал/шум від кутового рознесення джерел сигналу та завади

Мінімальне значення $\Delta\theta_H$ залежить від рівня корисного сигналу (5) та алгоритму подальшої обробки в умовах урахування шумів.

Поточні кутові координати джерела завади в умовах нестаціонарної електромагнітної обстановки та числа користувачів, що змінюється випадковим чином, також можуть бути змінними. Це необхідно фіксувати спеціальними методами й засобами на приймальній стороні. Зміни РСН (положення нульової зони прийому) для компенсації завади при зміні кутових координат її джерела згідно з умовою (2) може бути забезпечено відповідними регулюваннями при незмінних ДС антен і коефіцієнтах K_0 і K_k .

Переміщення РСН внаслідок регулювання коефіцієнтів K_0 і K_k можна спостерігати на рис. 2, де крива 1 відповідає зменшенню K_0 , що приводить положення РСН в θ_1 , а крива 2 – зменшенню K_k (РСН зміщується в положення θ_2).

Визначимо зміщення рівносигнального напрямку $\theta_{см}$ у відповідності з поточними

координатами θ_{Π} відносно положення джерела корисного сигналу, напрям на який співпадає з максимумом ДС антени A_0 , в залежності від відношення $\frac{K_k}{K_0}$.

З урахуванням (2) маємо:

$$\frac{K_{kT}}{K_{0T}} = \frac{F_0(\theta_{CM})}{F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})} = \frac{\exp\left[-1,4\left(\frac{\theta_{CM}}{\theta_{0,5}}\right)^2\right]}{\exp\left[-1,4\left(\frac{2\theta_0 - \theta_{CM}}{\theta_{0,5}}\right)^2\right]}.$$

Поточні значення K_{0T} і K_{kT} регулюються для забезпечення потрібної величини θ_{CM} наступним чином: при $0 < \theta_{CM} \leq \theta_0$ коефіцієнт K_{0T} зменшується, тоді як значення K_k лишається незмінним; при $\theta_0 < \theta_{CM} \leq 2\theta_0$ зменшується коефіцієнт K_{kT} , в той час як лишається незмінним K_0 .

На рис. 4 представлено залежність θ_{CM} від відношення K_{kT}/K_{0T}

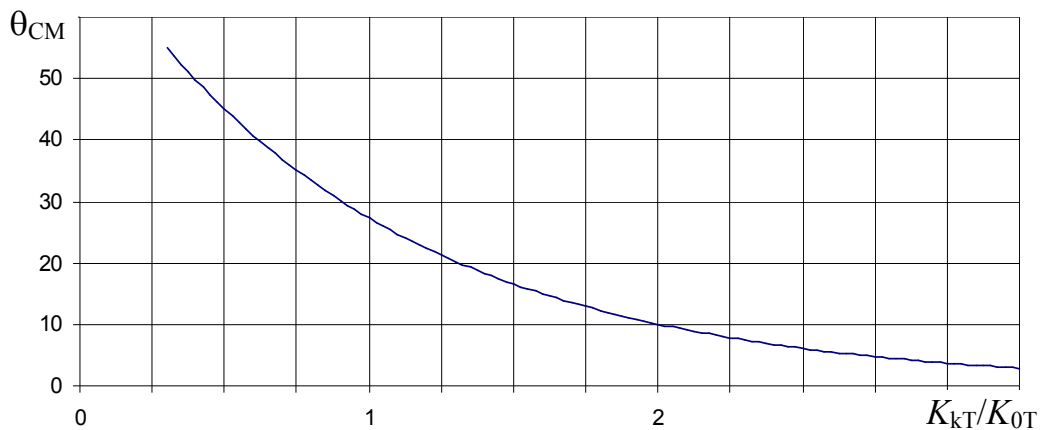


Рис. 4. Залежність зсуву РСН компенсатора від величини відношення коефіцієнтів передачі основного та компенсаційного каналів

Також представляє інтерес вплив регулювань – зміни одного з коефіцієнтів при незмінному іншому – на відношення сигнал/шум на виході пристрою віднімання. Вважаючи, що прийом корисного сигналу здійснюється у напрямі максимуму ДС антени основного каналу, у відповідності до (6) маємо:

$$h = \frac{U_c}{\sigma_{\text{ш}} \sqrt{\left(\frac{K_{0T}}{K_0}\right)^2 + \left(\frac{K_{kT}}{K_k}\right)^2}} [K_{0T}F_0(\theta) - K_{kT}F_k(2\theta)], \quad (7)$$

де $K_{0T} = \frac{K_{kT}F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})}{F_0(\theta_{CM})}$; $K_{0T} = \text{var}$, $K_{kT} = K_k = \text{const}$;

$$K_{0T} = \frac{K_{0T}F_0(\theta_{CM})}{F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})}$$
; $K_{kT} = \text{var}$, $K_{0T} = K_0 = \text{const}$.

Оцінка h у відповідності до (7) і значеннями K_{0T} і K_{kT} свідчить про зменшення рівня

корисного сигналу у порівнянні з його номінальним значенням при варіаціях $K_0 F_0(\theta)$ у діапазоні кутів зміщення (рознесення джерел) $0 < \theta_{\text{CM}} \leq \theta_0$. По мірі зростання кута θ_{CM} збільшується рівень корисного сигналу. У діапазоні $\theta_0 < \theta_{\text{CM}} \leq 2\theta_0$ рівень корисного сигналу залишається практично незмінним і дорівнює своєму номінальному значенню.

Висновки. На завершення відмітимо, що наведені оцінки для різних варіантів амплітудної компенсації справедливі для завади, яка є не суміщеною по куту приходу з кутом приходу корисного сигналу. Результати розрахунків амплітуд корисного сигналу при переміщенні його джерела будуть корисними для роботи з мобільними абонентами безпроводової мережі при виборі найбільш ефективного режиму компенсації.

У подальшому планується розглянути завдання компенсації при змінному числі джерел завад, при співпадінні кутових координат джерел завад та корисних сигналів та впливу числа джерел завад на результуючу пропускну спроможність безпроводової мережі.

Список використаної літератури

1. Вишневикий В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. / В. М. Вишневикий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Ad Hoc and Sensor Wireless Networks: Architectures, Algorithms and Protocols / Eds: Hai Liu, Xiaowen Chu and Yiu-Wing Leung – Sharjah, United Arab Emirates: Bentham Science Publishersence Publishers, 2017. – 140 p.
3. Benslama M. Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory / M. Benslama, M. L. Boucenna, H. Batatia. – London SW19 4EU UK ISTE: Ltd John Wiley & Sons, Inc. 27-37 St George's Road, 2015. – 141 p.
4. Заруцкий В. А. Энергосберегающая технология передачи данных в сети радиодатчиков с мобильными агентами / В. А. Заруцкий, Е. В. Толстикова, А. С. Торошанко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – №58. – С. 11-16.
5. Владимиров А. А. WiFi: «боевые» приемы взлома и защиты беспроводных сетей / А. А. Владимиров, К. В. Гавриленко, А. А. Михайловский. – Москва: NT Press, 2005. – 463 с.
6. Беспроводная сеть WiFi для офиса. Безопасность беспроводных сетей // –<https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/>.
7. Лазуткин Б. А. Радиотехнічні пристрої з компенсацією завад / Б. А. Лазуткин. – Київ: Техніка, 1972. – 116 с.
8. Защита от радиопомех / Под ред. М. В. Максимова. – Москва: Советское радио, 1976. – 496 с.
9. Вакин С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С. А. Вакин, Л. Н. Шустов. – Москва: Советское радио, 1968 – 448 с.
10. Швець І. П. Визначення числа джерел випромінювання в завданні компенсації завад у безпроводовій локальній мережі / І. П. Швець // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – №3(56). – С. 124-129.
11. Бакулин М. Г. Технология MIMO: принципы и алгоритмы / М. Г. Бакулин, Л. А. Варукина, В. Б. Крейнделин. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2014. – 242 с.
12. Paulraj A.J, An Overview of MIMO Communications — A Key to Gigabit Wireless / A. J. Paulraj, D. A. Gore, R. U. Nabar, H. Bolcskei. // Proc. Of the IEEE – February 2004. – Vol. 92, No. 2 – P. 198 – 218.
13. Царьков Н. М. Многоканальные радиолокационные измерители / Н. М. Царьков. – Москва: Советское радио, 1980 – 192 с.

14. Варюхин В. А. Основы теории многоканального анализа / В. А. Варюхин. – Киев: ВА ПВО СВ, 1993. – 171 с.
15. Сигалов Г. Г. Вопросы расчета радиолокационных следящих систем / Г. Г. Сигалов, Е. А. Яшучин, Л. Н. Марков. – Минск, 1969 – 240 с.

References

1. Vishnevskiy V. M., Lyakhov A. I., Portnoy S. L., Shakhnovich I.V. " Broadband wireless communication networks." *Moskva: Tekhnosfera* (2005) 592.
2. "Ad Hoc and Sensor Wireless Networks: Architectures, Algorithms and Protocol." Ed. by Hai Liu, Xiaowen Chu and Yiu-Wing Leung. *Sharjah, United Arab Emirates. Bentham Science Publishersence Publishers* (2017): 140.
3. Benslama M., Boucenna M. L., Batatia H. "Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory." *London SW19 4EU UK ISTE. Ltd John Wiley & Sons, Inc. 27-37 St George's Road* (2015): 141.
4. Zaruckiy V. O.;Tolstikova O. V.; Toroshanko O. S. "Energy saving technology of data transmission in the radiosensors network with mobile agents." *Proceedings of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv* 58 (2017): 11-16.
5. Vladimirov A. A., Gavrilenko K. V., Mikhaylovskiy A. A. "WiFi: "military" tricks of hacking and protecting wireless networks". *Moskva.: NT Press* (2005) – 463.
6. "Wireless WiFi network for office. Wireless Security." <https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/>
7. Lazutkin B. A. "Radio equipment with interference compensation." *Kyiv. Tekhnika* (1972): 116.
8. Maksimov M. V. "Protection against radio interference." *Moskva. Sov.radio* (1976): 496.
9. Vakin S. A., Shustov L. N. "Fundamentals of radio interference and radio technical intelligence." *Moskva: Sovetskoe radio* (1968) – 448.
10. Shwets I. P. "Determination of number of radiants at compensation of hindrances in wireless local network." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 3(56) (2017): 124-129/
11. Bakulin M. G., Varukina L.A., Kreindelin V. B. "MIMO technology: principles and algorithms." *Moskva: Goryachaya Liniya-Telecom* (2014): 242.
12. Paulraj A. J., Gore D. A., Nabar R. U., Bolcskei H. "An Overview of MIMO Communications – A Key to Gigabit Wireless." *Proc. Of the IEEE* 92(2) (February 2004): 198–218.
13. Czar'kov N. M. "Multichannel radar gauges." *Moskva: Sovetskoe radio* (1980): 192.
14. Varyuhin V. A. "Fundamentals of the theory of multichannel analysis." *Kyiv: VA PVO SV* (1993): 171.
15. Sigalov G. G., Yashuchin E. A., Markov L. N. "Questions of calculating radar tracking systems." *Minsk* (1969): 240.

Автор статті

Швец Іван Павлович – магістрант, кафедра інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (95) 338 73 99. E-mail: p.shvetz@gmail.com

Author of the article

Shvets Ivan Pavlovych – student, informative and cybernetic security department, State University of Telecommunications, Kiev. Tel.: +380 (95) 338 73 99. E-mail: p.shvetz@gmail.com.

Дата надходження

в редакцію: 3.09.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор М. М. Степанов
Державний університет телекомунікацій, м. Київ,

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЙОМУ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРИ НЕВІДОМИХ АПРІОРНИХ ДАНИХ

Розглянуті питання та можливості трактування вхідних даних, котрі надходять як масив вибірових значень та можливість розробки алгоритму формування цих повідомлень залежно від ступеня деталізації. Представлений алгоритм виявлення сигналу на фоні завад ілюструє порівняння параметричного і непараметричного методів підходу до прийому сигналів. Показано, що досліджуваний перелік інваріантних перетворень не є вичерпним, але він підтверджує саму неоднозначність вибору перетворень масиву.

Ключові слова: *апріорна невизначеність, вибірові значення, статистична обробка, розподіл імовірностей, алгоритм та аналіз методів*

Losiev Ye. O. State University of Telecommunications, Kyiv

DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR OPTIMAL RECEPTION OF MULTIPosition SIGNALS AT UNKNOWN A PRIORI DATA

The article deals with the questions and possibilities of interpreting incoming data, which arrive as an array of sample values, and the possibility of developing an algorithm for forming these messages depending on the degree of detail. The proposed algorithm for detecting a signal against a background of impediments illustrates the comparison of parametric and nonparametric methods of approach to the reception of signals. An analysis of these signal detection methods shows that the investigated list of invariant transformations is not exhaustive, but it confirms the ambiguity of the choice of transformations of the array. The criterion for this choice is not only the study of given invariant properties of the level of unlikely alarms to the type of distribution, but also the maximum possible storage of the necessary information about a signal that allows it to be detected.

.Keywords: *a priori uncertainty, selective values, statistical processing, probability distribution, algorithm and methods analysis.*

Лосєв Е. А. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА МНОГОПОЗИЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ АПРИОРНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрены вопросы и возможности трактовки входных данных, которые поступают как массив выборочных значений и возможность разработки алгоритма формирования этих сообщений в зависимости от степени детализации. Представленный алгоритм обнаружения сигнала на фоне помех иллюстрирует сравнение параметрического и непараметрического методов подхода к приему сигналов. Показано, что исследуемый перечень инвариантных преобразований не является исчерпывающим, но он подтверждает самую неоднозначность выбора преобразований массива.

Ключевые слова: *апериорная неопределенность, выборочные значения, статистическая обработка, распределение вероятностей, алгоритм и анализ методов.*

Вступ. Одним з найважливіших питань різнорідної телекомунікаційної мережі є цифровізація місцевих (міських та сільських) мереж зв'язку. Саме багатоканальні модеми найбільш адекватні за своїми параметрами до реальних каналів цих мереж.

У відомій науково-технічній літературі на сьогодні недостатньо досліджені різні принципи побудови ефективних систем передачі інформації на базі багатоканальних модемів, що мають практичний зміст і враховують багатоваріантний розвиток засобів та сучасних технологій. Як відомо, на завадостійкість модемів найбільше впливають такі фактори, як флуктуаційний шум, лінійні спотворення, що проявляються у вигляді міжканальних перехідних завад і міжсимвольних спотворень, імпульсних завад і короточасних переривань зв'язку. Реальним способом подолання комплексу вищезгаданих завад є техніка багатоканальних модемів з ортогональними канальними сигналами і багатопозиційною фазорізницевою модуляцією: вихідний високошвидкісний цифровий потік розподіляється на декілька низькошвидкісних потоків, переданих на різних піднесучих.

Серед невирішених проблем на сьогодні залишається задача синтезу алгоритмів оптимальної обробки багатопозиційних сигналів з амплітудно-фазовою модуляцією в БМ з ортогональними сигналами. Недостатньо досліджено проблему використання різних методів прийому для традиційних каналів місцевих мереж та каналів цільового призначення; немає рекомендацій який саме з методів прийому (когерентний, некогерентний, автокореляційний) використовувати в конкретних випадках. У відомих багатоканальних модемах використовується, як правило, оптимальна некогерентна обробка сигналів. З розвитком багатопозиційних систем набула актуальності задача синтезу алгоритмів когерентного прийому багаточастотних взаємоортогональних сигналів, орієнтованих на цифрову реалізацію і придатних для довільних сигналів із амплітудно-фазовою модуляцією. З цією задачею тісно пов'язана проблема реалізації БМ для каналів зв'язку на базі сучасних мікропроцесорних пристроїв. Перспектива активного становлення цифрових мереж, як альтернатива існуючим аналоговим каналам зв'язку, з метою забезпечення техніко-технологічного розвитку телекомунікацій, є реальністю.

Основна частина. Для успішного функціонування ТС необхідно забезпечити, насамперед, якісний контроль параметрів мережних елементів. Отже фактично доводиться розв'язувати задачу в умовах апріорної невизначеності.

Згідно зі статистичним трактуванням задачі виявлення вхідних даних, котрі надходять на виявник, розглядатимемо як масив вибірових значень X , що має визначений розподіл ймовірностей. Випадковість масиву X зумовлена впливом випадкових завад, а також недосконалістю технічних засобів (похибками вимірювань або перетворень фізичних величин, шумами приймально-підсилюючих пристроїв та ін.) На підставі апріорних відомостей про властивості масиву вибірових значень X як за відсутності, так і за наявності сигналу, формулюються відповідно досліджувальна та альтернативна статистичні гіпотези (тобто деякі припущення про види розподілів ймовірностей X).

У залежності від ступеня конкретизації цих припущень і прийнятого критерію якості вибираються тестова статистика $V(X)$, тобто деякий функціонал від вхідних даних, і порогова константа Π . Рішення приймається шляхом порівняння значення $V(X)$, отриманого по даним конкретної реалізації масиву X з пороговою константою Π . Якщо $V(X) \geq \Pi$, то приймається рішення на користь альтернативної гіпотези, тобто про наявність сигналу, у протилежному випадку – на користь припущеної гіпотези – про відсутність сигналу. Таким чином, виявник повинен містити обчислювач тестової статистики $V(X)$ і пороговий пристрій.

Результат роботи визначника можна розглядати як оцінку \bar{v} – формального параметра ситуації v , який дорівнює 0 при відсутності сигналу, і рівного 1 – при його наявності. Через

присутність випадкових завад значення параметра \bar{v} не завжди співпадає з дійсним значенням v , а лише з деякою ймовірністю, яка при $\bar{v}=1$ і $v=1$ називається ймовірністю правильного визначення D а при $\bar{v}=1$ і $v=0$ - ймовірністю хибної тривоги α . Параметри D і α характеризують якість роботи визначника, яка тим вища, чим менше значення α і більше D .

Як відомо, оптимальний демодулятор за критерієм Неймана-Пірсона максимізує ймовірність правильного прийому D , коли задано ймовірність хибної тривоги α . Значення D та α залежить від виду статистики $V(X)$. Можливість оптимального вибору $V(X)$ визначається повнотою і достовірністю апріорної інформації про властивості розподілів масиву вибірових значень X .

Залежно від ступеня деталізації цих повідомлень використовують наступні методи статистичної обробки.

Оптимальні методи. Оптимальні (класичні) методи використовують за умови, коли відомі функціональний вид розподілу вибірових значень і всі його параметри. У цьому випадку найвища якість визначення за відомим критерієм Неймана-Пірсона, який забезпечує функціонал відношення правдоподібності:

$$V(x) = \alpha(x) = \frac{f(x/v=1)}{f(x/v=0)}, \quad (1)$$

де $f(x/v)$ – спільний розподіл імовірностей масиву вибірових значень в ситуації v .

Тоді порогова константа Π обчислюється як розв'язок рівняння

$$P_\lambda(\Pi/v=0) = 1 - \alpha, \quad (2)$$

де $P_\lambda(\Pi/v)$ – інтегральна функція розподілу статистики (1).

Адаптивні методи. Адаптивні методи використовують, якщо розподіл вхідних даних відомий з точністю до масиву невідомих параметрів δ . У цьому випадку оптимізація $V(X)$ за класичними критеріями неможлива. Потрібно звертатись до використання некласичних методів оптимізації, побудованих на принципах незміщеності, інваріантності, подібності тощо. Використовують також некласичні критерії якості. Але незалежно від прийнятого методу загальний результат такий: у відношення правдоподібності, обчислене при відомому масиві параметрів δ , підставляємо оптимальну оцінку $\bar{\delta}$, здобуту або безпосередньо за масивом X , або за спеціальним масивом Y . Таким чином, ця група методів відрізняється від попередньої введенням до складу визначника блока адаптації, який оцінює невідомі параметри сигналу і завади.

Непараметричні методи. Непараметричні методи використовують, коли функціональний вид розподілу вхідних даних невідомий, а задано лише загальні відмінності між ситуаціями наявності і відсутності сигналу.

Нехай масив вибірових значень X складається з n -елементів $\{x_1, \dots, x_n\}$. У багатьох випадках спільний n -мірний розподіл імовірностей вибірок $f(x_1, \dots, x_n/v)$ має властивість інваріантності до перестановок аргументів, тобто:

$$f(x_1, \dots, x_n/v) = f(x_{k_1}, \dots, x_{k_n}/v), \quad (3)$$

де $\{k_1, \dots, k_n\}$ – довільна перестановка цілих чисел від 1 до n .

Умова в окремих випадках виконується, якщо

$$f(x_1, \dots, x_n / v) = \prod_{i=1}^n f(x_i / v), \quad (4)$$

тобто вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ статистично незалежні і мають однаковий одномірний розподіл.

Якщо умови (3) і (4) виконуються для $v=0$ і не виконуються для $v=1$, то задачу визначення сигналу можна сформулювати як перевірку виконання вказаних нерівностей. Конкретний вид розподілу при цьому знати не обов'язково.

Інформативним параметром розподілу, який не залежить від його конкретного виду, може бути властивість симетрії:

$$f(x/v=0) = f(-x/v=0), \quad (5)$$

на протипагу альтернативній гіпотезі про те, що розподіл несиметричний.

Існування відмінності між розподілами масиву X у ситуаціях $v=0$ і $v=1$ можна сформулювати як гіпотезу зсуву розподілу вправо:

$$F(x/v=1) \leq F(x/v=0), \quad (6)$$

де F – одномірна інтегральна функція розподілу вибірок $\{x_1, \dots, x_n\}$.

Тоді

$$F(x/v) = \int_{-\infty}^x f(y/v) dy, \quad (7)$$

Фактично нерівність (6) означає, що за наявності сигналу вибірккові значення фізичних величин у середньому більші, ніж за його відсутності. Можливий також зсув розподілу вліво, якому відповідає нерівність, протилежна виразу (6). У цьому разі сигнальні вибірки будуть у середньому менші за величиною, ніж завадові. Окремим випадком гіпотези зсуву є гіпотеза зсуву середнього значення:

$$f(x/v) = f(x - v\alpha), \quad (8)$$

де α – деяка константа.

Дослідження показують, що апіорна інформація, яка використовується під час синтезу непараметричних виявлень, має швидше якісний, ніж кількісний характер. Непараметричні методи обробки відрізняються від класичних і адаптивних. Відмінність від останніх полягає в тому, що в непараметричних методах головний акцент ставиться не на оптимізації характеристик системи, а на забезпеченні їх нечутливості до умов функціонування. Тому, непараметричними вважають системи визначення сигналів, рівень α_0 хибних тривог яких інваріантний щодо функціонального виду розподілу завади. Оскільки рівень α_0 однозначно визначається функцією розподілу тестової статистики, то звідси випливають дві вимоги до $V(x)$: по-перше, її розподіл за відсутності сигналу має бути точно відомим і незмінним, яким би не був розподіл завади на вході системи; по-друге, у разі появи сигналу інваріантність розподілу $V(x)$ має порушуватись, щоб зберігалась можливість розпізнавання ситуацій $v=0$ і $v=1$. Синтез непараметричних процедур обробки сигналів проводиться переважно евристичними методами.

Деякі закономірності цих методів: практично всі непараметричні визначники містять як складовий елемент пристрої, що виконують деяке інваріантне перетворення S масиву вибірккових значень X . У результаті цього перетворення утворюється новий масив $Z = SX$, розподіл елементів якого при відсутності сигналу ($v=0$) точно відомий.

Перетворення S , яке вибирається евристично, дає змогу звести задачу визначення сигналу на фоні завад з невідомим розподілом до задачі перевірки простої гіпотези відносно розподілу

масиву Z . Відповідно і синтез непараметричних визначників виконують в два етапи: на першому вибирають вид інваріантного перетворення S , на другому – спосіб обробки перетворюваних даних.

Одним із найпростіших прикладів перетворення є жорстке обмеження:

$$Z_i = \text{sgn}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \geq 0 \\ 0, & x_i < 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Якщо гіпотеза симетрії (5) правильна, то неважко переконатись, що поява одиниць і нулів на виході обмежувача (9) рівноймовірна.

$$P(z_i = 1 / v = 0) = P(z_i = 0 / v = 0) = 1 / 2. \quad (10)$$

Отже, (9) переводить масив з довільним симетричним, відносно нульового рівня розподілом, до нового масиву. З появою сигналу симетрія розподілу порушується (що особливо важливо). Тоді задачу виявлення можна звести до перевірки простої гіпотези (10) щодо альтернативної гіпотези $P(z_i = 1 / v = 1) > 1 / 2$.

Рішенням такої задачі є критерій знаків, який передбачає додавання знаків елементів вибірки

$$V(x) = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) \quad (11)$$

і аналіз накопиченого значення з порогом.

Статистика (11) – це кількість переваг в серії n незалежних досліджень, тобто підпорядковується біноміальному розподілу, причому n за відсутності сигналу ймовірність переваги дорівнює $1/2$, а за його наявності перевищує $1/2$.

Отже, (11) задовольняє дві вище наведені умови: при $v = 0$ її розподіл точно відомий і незмінний, яким би не був вихідний симетричний розподіл $f(x / v = 0)$, а при $v = 1$ розподіл статистики (11) чутливий до наявності сигналу.

Окрім жорсткого обмеження, відомі також наступні види перетворень.

Перестановка елементів вибірки. Якщо справедлива гіпотеза випадковості (3), то всі перестановки елементів вибірки рівноймовірні незалежно від виду їх розподілу.

Порядкові статистики. Вихідна вибірка $\{x_1, \dots, x_n\}$ упорядковується за величиною і організується в так званий варіаційний ряд, в якому $x^{(1)}$ – найменший елемент вибірки, $x^{(2)}$ – другий за абсолютною величиною елемент; $x^{(R)}$ – R -й за абсолютною величиною елемент; $x^{(n)}$ – максимальний елемент, тобто:

$$x^{(1)} < x^{(2)} \dots < x^{(R)} \dots < x^{(n)}. \quad (12)$$

Випадкова величина $x^{(R)}$ називається R -ю порядковою статистикою. Її інваріантна властивість полягає в тому, що із збільшенням обсягу вибірки значення $x^{(R)}$ збігається за ймовірністю з квантованим рівнем $R / (n + 1)$ незалежно від виду розподілу вихідної вибірки (якщо лише для нього виконується рівність (4)).

Ранги. Рангом i -го елементу x_i масиву вибірових значень X вважається порядковий номер R_i цього елементу в варіаційному ряді, тобто:

$$x_i = x^{(R_i)}. \quad (13)$$

Як відомо, формально процедуру обчислення рангу можна представити у вигляді:

$$R_i = \sum_{k=1}^n \text{sgn}(x_i - x_k). \quad (14)$$

Сукупність рангів $\{R_1, \dots, R_n\}$ усіх елементів вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ утворює деяку перестановку чисел від 1 до n . Згідно гіпотези випадковості (3) усі такі перестановки рівномірні. Отже, незалежно від конкретного закону розподілу вихідної вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ спільний розподіл рангів $\{R_1, \dots, R_n\}$ є рівномірним:

$$P(R_1, \dots, R_n) = \frac{1}{n!}. \quad (15)$$

Представлений на рис. 1 алгоритм виявлення сигналу на фоні завад ілюструє порівняння параметричного і непараметричного методів підходу до прийому сигналів.

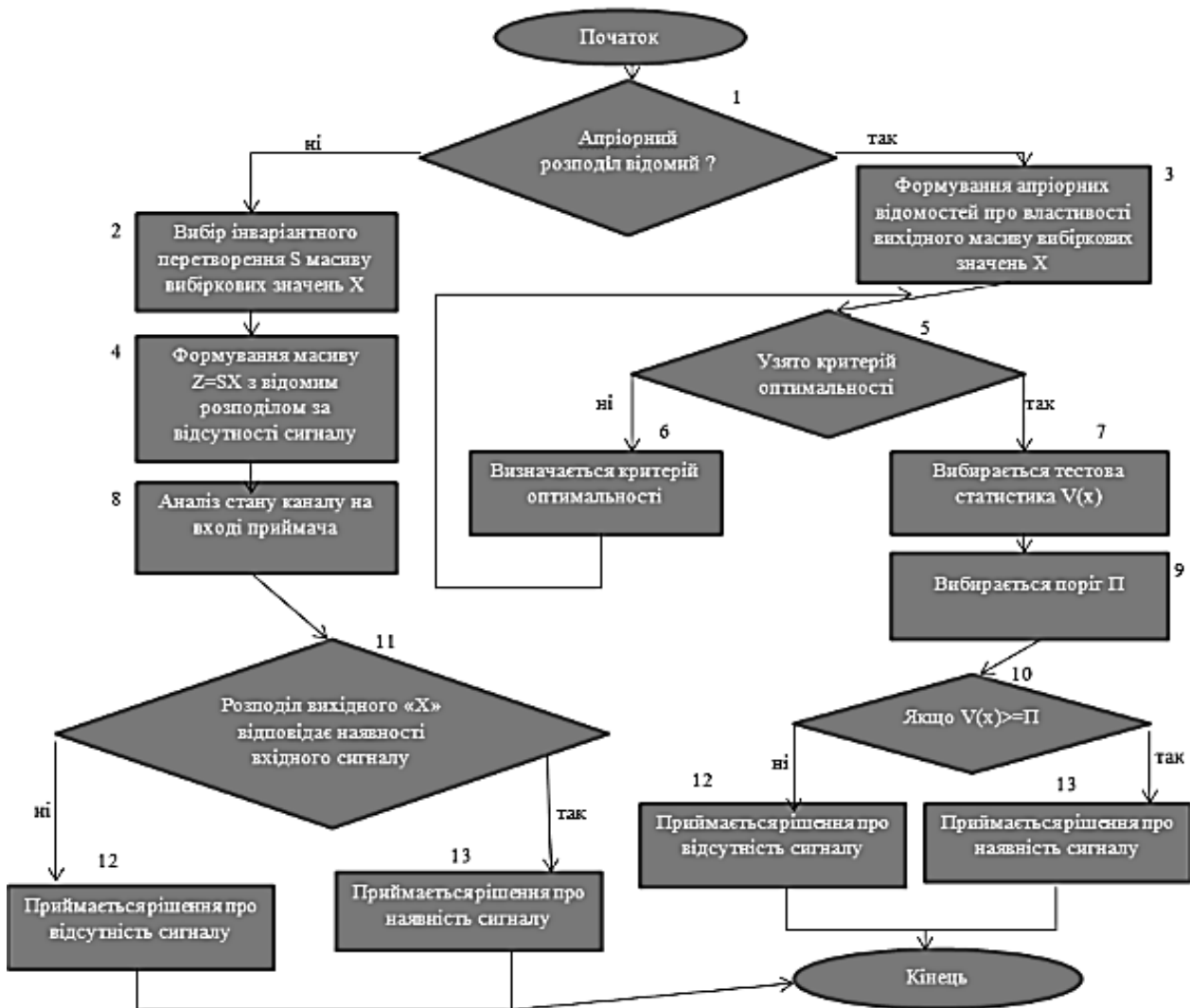


Рис. 1. Алгоритм виявлення сигналів на фоні завад

Висновки

Аналіз методів виявлення сигналу показує, що наведений перелік інваріантних перетворень не є, безумовно, вичерпним, але він підтверджує неоднозначність вибору перетворень масиву S . Критерієм вибору є не тільки дослідження заданих інваріантних властивостей рівня неправдоподібних тривог до виду розподілу, але і максимально можливе зберігання інформації про сигнал, що дає змогу його виявити.

Список використаної літератури

1. Козелкова Е. С. Синтез алгоритмов и структур устройств формирования линейно-частотно модулиро-ванных диаграмм направленности / Е. С. Козелкова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 4(26). – С. 115-116.
2. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.
3. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – Москва : Физматгиз, 1960. – 606с.
4. Стеклов В. К. Основы управления сетями та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.

References

1. Kozelkova E. S. "Synthesis of algorithms and structures of devices for the formation of linearly-frequency-modulated radiation patterns." *Zbirnik naukovykh prac Kharkivskoho Universytety Povitryanykh Syl* 4(26) (2010): 115-116.
2. Tolubko V. B., Berkman L. N., Komarova L. O., V. Orlov Ye. V. "Multycriterial optimization of parameters in program-confirming networks." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 4 (2014): 5-11.
3. Wald A. "Sequential analysis." *Moskva: Fizmatgiz* (1960): 606.
4. Steklov V. K., Kilchytskyi Ye. V. "The basis of management by telecommunications means and services" *Kyiv: Technika* (2002): 438.
5. Vinogradov N. A. Analysis of the potential characteristics of switching and management devices at new generations networks *Zv'azok* 4 (2004): 10-17.

Автори статті

Лосєв Євгеній Олександрович – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (97) 937 92 41. E-mail: loseveo@gmail.com.

Authors of the article

Losiev Yevhenii Oleksandrovych – postgraduate student of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel: +380 (97) 937 92 41. E-mail: loseveo@gmail.com.

Дата надходження
в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор
К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.398.96

Лосєв М. О. Державний університет телекомунікацій, Київ

МОДЕЛЬ КОМБІНОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В СУПУТНИКОВІЙ СИСТЕМІ

У статті розглянуті питання та можливості розробки нової математичної моделі функціонування гібридної мережі зв'язку, що дозволяє на основі запропонованих коефіцієнтів поділу потоків визначати затримку даних у гілках наземної мережі і супутниковому каналі в залежності від вхідних інтенсивностей потоків повідомлень, а також імовірність відмов у встановленні з'єднання для мовних викликів. Для забезпечення нормального функціонування гібридних мережах зв'язку створено системи керування мережного рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем, що характеризуються принципами організаційно-технічної побудови.

Ключові слова: гібридна мережа зв'язку, вхідні інтенсивності, мережний рівень, відкриті системи, імовірність відмов.

Losiev M. O. State University of Telecommunications, Kyiv

MODEL OF THE COMBINED INFORMATION TECHNOLOGY OF DATA PROCESSING IN THE SATELLITE SYSTEM

The article deals with the questions and possibilities of developing a new mathematical model of the operation of the hybrid communication network, which allows, based on the proposed flow dividing coefficients, to determine the delay of data in the branches of the terrestrial network and the satellite channel, depending on the incoming intensity of message flows, as well as the probability of failures in the connection installation for voice calls. To ensure the normal functioning of hybrid communication network special systems of management are created, characterized by certain principles of organizational and technical construction and parameters that describe them. In this article, first of all, the network level of management considered in accordance with the reference model of interaction of open systems, that is, the tasks of routing in such networks. The routing algorithm allows you to automatically load, for example, if there are two channels of communication with different or equal bandwidths between the two nodes, as well as minimize the transmission delay of the network, since the paths are initially selected in directions with minimal delay, and then only through the satellite network.

Keywords: hybrid communication network, incoming intensities, network layer, open systems, probability of failure.

Лосєв Н. А. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

В статье рассмотрены вопросы и возможности разработки новой математической модели функционирования гибридной сети связи, позволяющей на основе предложенных коэффициентов разделения потоков определять задержку данных в ветвях наземной сети и спутниковом канале в зависимости от входных интенсивностей потоков сообщений, а также вероятность отказов в установлении соединений для речевых вызовов. Для обеспечения нормального функционирования гибридных сетей связи создана система управления сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем, характеризующихся принципами организационно-технического построения.

Ключевые слова: гибридная сеть связи, входящие интенсивности, сетевой уровень, открытые системы, вероятность отказов.

© Лосєв М. О., 2017

Вступ

Поряд із загальними закономірностями побудови і функціонування мереж зв'язку будь-якого типу, відомчі (міжвідомчі) мережі зв'язку можуть істотно відрізнятися від мереж загального користування. Це, у першу чергу, обумовлюється специфічними вимогами з боку користувачів послуг відомчих мереж і необхідністю забезпечення функціонування таких мереж в умовах, що істотно відрізняються від повсякденних умов мереж зв'язку загального користування.

Специфіка створення мережі передачі даних в супутниковій системі, а саме включення її до складу, як наземних вузлів комутації пакетів, так і супутникової мережі [1], обумовлює виділення її в особливий клас – гібридних мереж зв'язку (ГМЗ).

Важливе місце в дослідженні складних систем, до яких можна віднести і ГМЗ, займає метод статистичного імітаційного моделювання, що дозволяє імітувати поведінку і взаємодію складної системи з зовнішнім середовищем.

Однак введення в статистичну модель усіх цікавлячих дослідника елементів системи, законів їхнього поведінки і впливу зовнішнього середовища на ці елементи, при виконанні вимог точності, приводить до моделі реалізованої тільки для систем малої розмірності.

У зв'язку з цим у даний час ведеться пошук таких прийомів і методів статистичного моделювання, що дозволили б досліджувати мережі зв'язку великої розмірності з врахуванням всіх основних процесів їхнього функціонування. Перспективним є метод послідовного аналізу мережі, що базується на агрегативних моделях.

Основна частина

Розглянемо узагальнену структурну схему моделі [1] (рис. 1), на якій в агрегатно-системному виді представлені її елементи і визначені взаємозв'язки між ними, а також розглянемо поведінку цієї системи при передачі повідомлень. Під повідомленнями ми будемо розуміти або пакети даних, або мовні виклики.

Для передачі повідомлень у моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі будемо використовувати дейтаграмний режим передачі, цей режим є найбільш ефективним при виникненні на мережі несправностей, або перевантажень окремих напрямків або вузлів зв'язку.

При перевищенні окремим повідомленням максимального розміру пакета, воно розбивається на декілька дейтаграм. Кожна дейтаграма включає у своєму заголовку адресу вузла-джерела і одержувача.

На виходах агрегатів A_1 і A_2 , що відображають роботу зовнішніх джерел пакетів a_i і a_j у деякі моменти t_i виникають пакети $x_1(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ і службові пакети підтвердження прийняття повідомлень $x_2(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$, де a_1 – номер відправника; a_2 – категорія терміновості; a_3 – час надходження пакета в систему; a_4 – номер одержувача; a_5 – поточний час перебування пакета в системі; a_6 – порядковий номер повідомлення.

Останні генеруються тільки у випадку передачі даних, якщо підтвердження про прийняття повідомлення не надійшло протягом заданого проміжку часу, усі пакети повідомлення передаються повторно.

Агрегат F відображає дію зовнішнього середовища. Розглядається випадок “пасивного” поведінки середовища, коли середовище не має інформації про слабкі елементи мережі і не здійснює цілеспрямований вплив.

Таке поведінка середовища в моделі будемо інтерпретувати процесами переходу елементів мережі в стани відмови або відновлення. Агрегат F характеризується вихідним потоком подій (повідомлень) $q(b_1, b_2, b_3)$, де b_1 – номер елемента мережі з яким ця подія відбулася; b_2 – ознака події (відмова, відновлення); b_3 – час виникнення події.

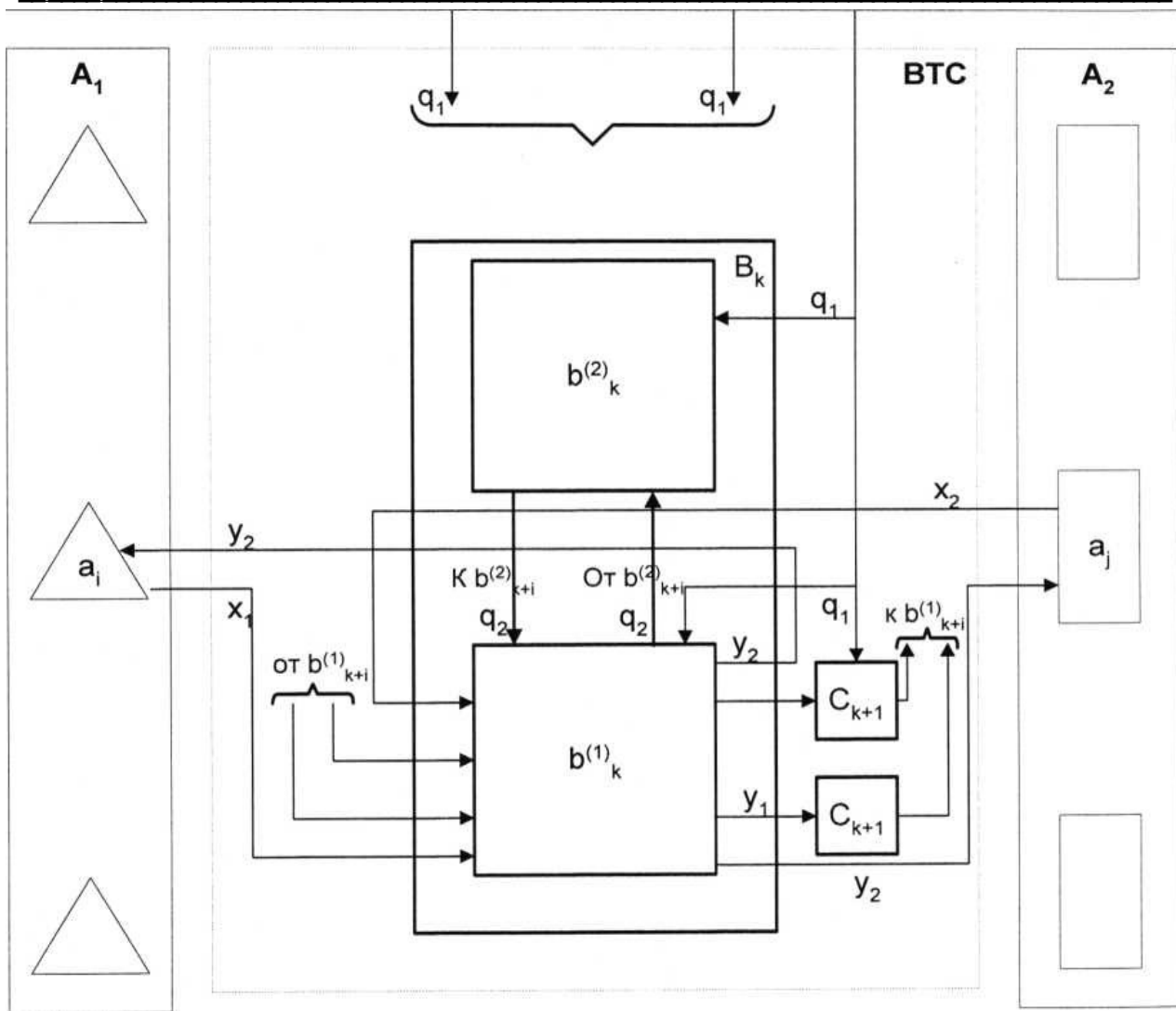


Рис. 1. Структурна схема моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі

У даній моделі враховано, відповідно до сучасного стану архітектур керування мережам зв'язку [2, 3], що для їхньої передачі використовується ті ж канали зв'язку і центри комутації, що і для всіх інших повідомлень.

В агрегаті $b_k^{(1)}$ відображені процеси обслуговування x_1 -, x_2 -пакетів, на його виході виникають або пакети $y_1(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$, що надходять на входи агрегатів C_k (відповідно до стану таблиць маршрутизації на момент надходження пакета), або пакети $y_2(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$, що направляються прикінцевим агрегатам $a_i(a_j)$.

Розглянемо порядок обслуговування x_1 -, x_2 -пакетів в агрегаті $b_k^{(1)}$. При надходженні пакета в даний агрегат він записується в пакетний буфер фіксованої довжини, і обслуговується за алгоритмом FIFO (First In First Out), при неможливості обслужити пакет у даний період часу він переміщується в кінець черги.

Якщо ж пакетний буфер цілком заповнений, то у випадку передачі даних даний пакет залишається в буфері прикінцевого вузла, у випадку передачі мовних повідомлень вони скидається мережею.

З керуючого виходу агрегату $b_k^{(2)}$ на керуючий вхід агрегату $b_k^{(1)}$ надходять повідомлення C_2 , що змінюють маршрутні таблиці агрегату $b_k^{(1)}$, що відображають стан структури мережі.

Таке представлення моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі дозволяє застосувати метод послідовного дослідження мережі. Так, на весь період моделювання послідовно моделюються наступні умовно-незалежні процеси:

1. формування потоків X_1 -, X_2 -повідомлень, що надходять від абонентів;
2. формування потоків Q_1 -повідомлень;
3. формування таблиць станів структури мережі при передачі X_1 -повідомлень;
4. формування таблиць станів структури мережі при передачі X_2 -повідомлень;
5. передача X_1 -, X_2 -повідомлень з перерозподілом потоків за інформацією переформування таблиць станів структури мережі.

Основними вхідними даними для проведення досліджень є:

1. структура мережі у виді графа, що задається матрицею безпосередніх зв'язків $L = \|C_{ij}\|_{nn}$;
2. план розподілу інформації на мережі у виді вхідних матриць маршрутів: основних $M_0 = \|m_{ij}\|$, резервних $M_p = \|m_{ij}\|$ і допоміжних $M_b = \|m_{ij}\|$;
3. матриця навантаження $\Delta = \|\lambda_{ij}\|$, що визначає інтенсивності потоків X_1 - X_2 -повідомлень між абонентами a_i і a_j ;
4. характеристики законів розподілу часу обслуговування повідомлень на вузлах мережі;
5. характеристики законів розподілу часу обслуговування повідомлень у каналах зв'язку;
6. характеристики часу видачі Q_2 -повідомлень;
7. припустимий час доставки повідомлення у мережі;
8. реальний час моделювання мережі;
9. характеристики точності моделювання.

Моделювання мережі з використанням описаної моделі дозволяє одержувати наступні характеристики мережі:

1. середній час доставки X_1 -, X_2 -повідомлень до адресатів;
2. розподіл часу доставки X_1 -, X_2 -повідомлень до адресатів;
3. імовірність доставки X_1 -, X_2 -повідомлень за час, що не перевищує припустимий;
4. імовірності втрат пакетів у вузлах і каналах зв'язку.

Таким чином, за допомогою даної моделі ми можемо визначити не тільки середній час доставки пакетів до адресатів, який ми порівнюємо потім з отриманими аналітичними результатами, але й імовірність доставки пакетів за час, що не перевищує припустимий, Що є основним критерієм якості обслуговування для пакетних мереж згідно рекомендацій X.134, X.135, X.136, X.137, X.141.

В яких визначено, що середній час доставки пакетів не повинен перевищувати 0,35 с, а час доставки 95% пакетів у мережі не повинен перевищувати 0,525 с. Таким чином, дана модель є основою побудови експериментальної методики визначення якості обслуговування повідомлень у МПД ЄССП.

Крім того, розглянута імітаційно-статистична модель МПД ЄССП дозволяє робити оцінку впливу різних методів динамічного керування розподілом потоків повідомлень на якість обслуговування повідомлень.

Відмінною рисою даної моделі від раніше запропонованих є те, що в ній враховані наступні особливості:

1. використання для передачі службових повідомлень тих же каналів зв'язку і центрів комутації, що і для всіх інших повідомлень відповідно до сучасних архітектур систем керувань мережами зв'язку [2-5];
2. враховано втрати і затримки службових повідомлень у мережі;
3. враховано використовуваний метод перерозподілу потоків повідомлень у мережі;

4. враховано особливості процесів функціонування вузлів і каналів зв'язку.

Метод послідовного аналізу процесів на мережі зв'язку забезпечує можливість планування процесу реалізації моделі на ЕОМ, а розмірність мережі, що моделюється, обмежується в основному тільки реальним модельним часом.

Моделювання процесів передачі X_1 -, X_2 -повідомлень у мережі з динамічним керуванням є етапом, що дозволяє оцінити вплив досліджуваних характеристик на ефективність функціонування мережі.

Алгоритм моделювання включає опис процесів вибору оптимальних маршрутів пакетів з врахуванням існуючої на мережі ситуації (стану структури мережі) і процесів обслуговування повідомлень в елементах мережі.

Як показує аналіз літератури, у більшості сучасних мереж передачі даних використовується передача повідомлень винятково по найкоротших шляхах, під найкоротший шляхом розуміється мінімальне число транзитів, або шлях з мінімальною величиною затримки, що обчислюються або розподіленним методом (алгоритм Форда-Фалкенсона), або централізованим по повному графу мережі, наприклад за допомогою алгоритму Дійкстра.

Нами запропонований наступний оригінальний підхід. Повідомлення передаються вузлами по найкоротших шляхах, але якщо пакет не може бути обслугований вузлом у даний момент по найкоротшому шляху, наприклад у результаті переповнення буфера передавача/приймача, вузол намагається його передати по наступному найкоротшому шляху і т.д., якщо всі спроби не є успішними, то вибирається шлях через супутникову мережу.

Такий алгоритм маршрутизації дозволяє автоматично робити балансування навантаження, наприклад, якщо між двома вузлами існує два канали зв'язку з різною або рівною пропускною здатністю, а також мінімізувати затримку передачі повідомлень в мережі, тому що спочатку вибираються шляхи в напрямках з мінімальною затримкою, а потім тільки через супутникову мережу.

Для спрощення моделювання мережі всі маршрути для усіх вузлів мережі обчислюються заздалегідь, і зберігаються у виді маршрутних матриць основних (M_0), резервних (M_r), допоміжних (M_v), остання визначає шляхи в супутникову мережу.

Алгоритм моделювання приведений на рис. 2, на якому прийняті наступні позначення:

M_1 – масив вхідних у мережу потоку X_1 -, X_2 -повідомлень;

M_2, M_3, M_4 – масиви матриць маршрутів M_0, M_r, M_v ;

M_5 – масив таблиць станів структури мережі;

$FN_{nt}, FP_{nt}, FT_{nt}$ – масиви потоку Q_2 -повідомлень;

N – номер фази, що моделюється;

i – порядковий номер повідомлення з M_1 ;

w_1 – ознака N -ї фази в i -му повідомленні;

v – поточний номер W ;

f – ознака стану фази (0 – несправна, 1 – справна);

N_y – порядковий номер транзитної фази, що відлічується від фази N ;

NP – номер напрямку передачі (1 – основний, 2 – резервний, 3 – допоміжний);

A_y – поточний номер фази;

A_k – номер кінцевої фази;

A^* – номер чергової фази одержувача X_1 -, X_2 -повідомлення;

$RM[N_y, 2]$ – робочий масив для запам'ятовування шляху до $(N_y - 1)$ номера фази;

$RM[1, 1]$ – робочий масив для запам'ятовування обраного шляху передачі в напрямку A_y ;

N_M – максимальний номер фази.

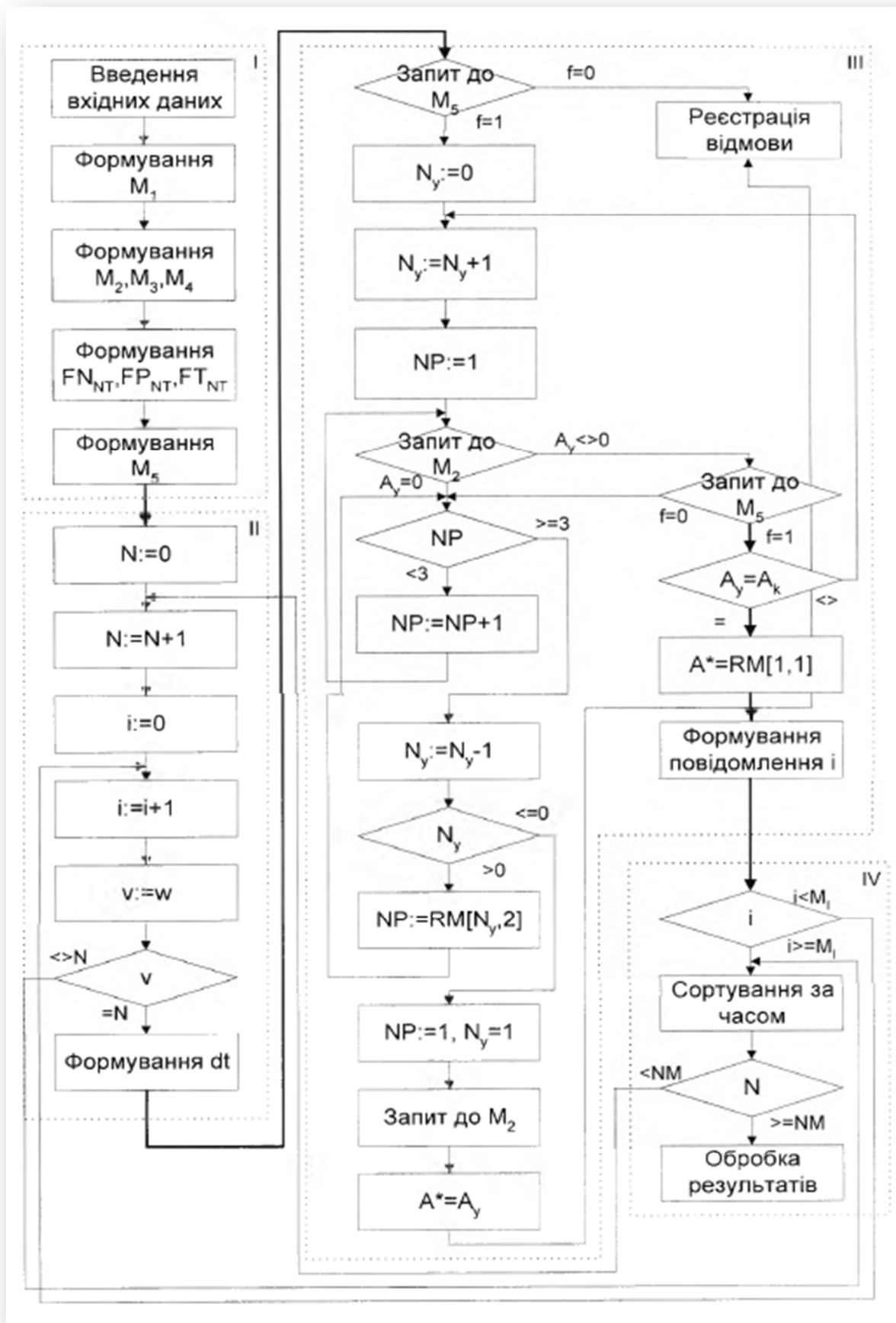


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесів передачі X_1 - , X_2 -повідомлень

Частина I алгоритму описує процеси введення вхідних даних на весь відрізок модельного часу. Вхідними даними для реалізації моделі є матриці L , M_0 , M_p , M_b , масиви потоків x_1 -, x_2 -повідомлень, реальний час моделювання, характеристики точності моделювання.

Частина II алгоритму описує процеси вибору з загального масиву повідомлень, що адресовані даному вузлу, і визначення часу перебування повідомлень у фазі.

Частина III описує процес вибору шляху передачі пакета по мережі і формування повідомлень для видачі в першій на цьому шляху транзитний вузол. Задача пошуку оптимального шляху вирішується в такий спосіб.

Для передачі x_1 -повідомлення від абонента a_1 до абонента a_2 перевіряється наявність у масиві M_2 основного шляху по напрямку $\{b_1, b_2\}$. У випадку існування такого шляху проводиться запит до масиву M_5 , за інформацією про стан вузла b_2 на даний момент.

При непрацездатному стані b_2 проводиться звернення до масиву M_5 за даними про наявність резервного шляху $\{b_1, b_3\}$ або $\{b_1, b_4\}$ для зв'язку з абонентом a_2 .

При наявності в M_3 , наприклад, шляху $\{b_1, b_3\}$ знов проводиться запит до масиву M_5 для перевірки стану працездатності шляху.

При непрацездатному стані шляху $\{b_1, b_3\}$ здійснюється звернення до масиву M_4 і визнається наявність для зв'язку з a_2 допоміжного шляху.

При існуванні допоміжного шляху, наприклад $\{b_1, b_4\}$, і одержанні з масиву M_5 зведень про його працездатний стан, проводиться запит до масивів M_2 , M_3 , M_4 за даними про наявність шляху з b_4 в a_2 .

При відсутності такого шляху в b_1 фіксується відмовлення на передачу даного повідомлення абонентіві a_2 .

Процес вибору працездатного маршруту може продовжуватися доти, поки прикінцевий відрізок шляху не замкнеться на вузол b_1 з'єднаний з абонентом a_1 . При наявності такого маршруту вузол b_1 видає повідомлення на першій в обраному маршруті вузол, а процес пошуку оптимального шляху передачі повідомлення продовжується на наступному вузлі.

Така шляхова процедура забезпечує безперервне спостереження за змінами ситуації на мережі в процесі передачі повідомлення.

Запропонований алгоритм (рис. 2) дозволяє моделювати ГМЗ з урахуванням процесів функціонування вузлів і каналів зв'язку. Дійсно, частини II і III алгоритму описують роботу фаз моделі, що у залежності від вхідних даних відображають процеси обслуговування повідомлень у вузлі або в каналі зв'язку, при цьому фазам моделі встановлюються наскрізні номери.

Висновки

Результати моделювання процесів передачі x_1 -, x_2 -повідомлень показують, що при заданій точності моделювання запропонований алгоритм динамічного керування розподілом пакетів дозволяє дуже близько наблизитися до результатів аналітичного рішення задачі оптимальної маршрутизації.

При низькому навантаженню (менше ніж 8 пакетів/с), моделювання дає вже на 30% гірші результати. Це зв'язано з тим, що аналітичне рішення задачі показує, що в цьому випадку всі повідомлення повинні проходити по наземній мережі, у випадку ж запропонованого алгоритму динамічного розподілу повідомлень до 10% пакетів надходить у супутникову мережу, що і викликає збільшення затримки, однак при низьких навантаженнях на мережу, це несуттєво позначається на функціонуванні мережі в цілому.

Список використаної літератури

1. Козелкова Е. С. Синтез алгоритмов и структур устройств формирования линейно-частотно модулиро-ванных диаграмм направленности / Е. С. Козелкова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 4(26). – С. 115-116.
2. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.
3. Стеклов В. К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.
4. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – Москва : Физматгиз, 1960. – 606с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.

References

1. Kozelkova E. S. "Synthesis of algorithms and structures of devices for the formation of linearly-frequency-modulated radiation patterns." *Zbirnik naukovykh prac Kharkivskoho Universytety Povitryanykh Syl* 4(26) (2010): 115-116.
2. Tolubko V. B., Berkman L. N., Komarova L. O., V. Orlov Ye. V. "Multycriterial optimization of parameters in program-confirming networks." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 4 (2014): 5-11.
3. Steklov V. K., Kilchytskyi Ye. V. "The basis of management by telecommunications means and services" *Kyiv: Technika* (2002): 438.
4. Wald A. "Sequential analysis." *Moskva: Fizmatgiz* (1960): 606.
5. Vinogradov N. A. Analysis of the potential characteristics of switching and management devices at new generations networks *Zv'azok* 4 (2004): 10-17.

Автори статті

Лосєв Микола Олександрович – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (97) 906 00 96. E-mail: mykola.losev@gmail.com.

Authors of the article

Losiev Mykola Oleksandrovyich – postgraduate student of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel: +380 (97) 906 00 96. E-mail: mykola.losev@gmail.com.

Дата надходження
в редакцію: 19.10.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор
К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Науковий журнал

№ 4(57) 2017

Відповідальний за випуск **І. І. Тищенко**

Наклад 200 прим. Зам. 34

Видавець і виготовлювач: Державний університет телекомунікацій.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №2539 від 26.06.2006 р.

03110, Київ, вул. Солом'янська, 7.
Тел. +380 (44) 249 25 76