

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КС

В.І. Гостев

(підпис, ініціали, прізвище)

" ___ " _____ 2015 року

Срібна І.М., Сторчак К.П.

(прізвище та ініціали автора)

ЛЕКЦІЯ 7, 8

з навчальної дисципліни

Комп'ютерні технології вимірювань в телекомунікаціях

(назва навчальної дисципліни)

Тема 6: Комплекс вимірювань для оцінки параметрів якості передачі в пакетних мережах

(номер і назва теми)

Заняття: Лекція №7, 8

(номер і назва заняття)

Навчальний час – 4 години.

Для студентів інституту (факультету):

Навчально-науковий інститут
телекомунікації та інформатизації
факультет Інформаційних технологій,
факультет Телекомунікацій

Навчальна та виховна мета:

Ознайомити студентів з етапами діагностики локальної мережі

Обговорено та схвалено на засіданні

кафедри

“28” серпня 2015 року Протокол №1

7.1 Види вимірювань в мережі

Для того щоб оцінити деяку характеристику продуктивності мережі, необхідно провести певні вимірювання на послідовності пакетів, що надходять на деякий інтерфейс мережевого пристрою. Існує два типи вимірювань в мережі: активні вимірювання і пасивні вимірювання.

Активні вимірювання засновані на генерації у вузлі-джерелі спеціальних «вимірювальних» пакетів. Ці пакети повинні пройти через мережу той же шлях, що і пакети, характеристики яких ми збираємося оцінювати. Вимірювання у вузлі призначення проводяться на послідовності «вимірювальних» пакетів.

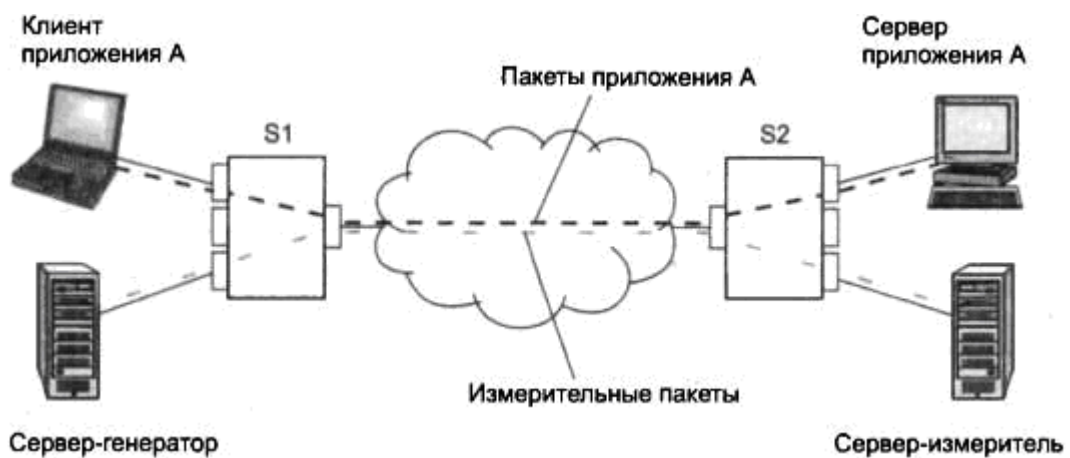


Рисунок 7.1 – Схема активних вимірювань

Рисунок 7.1 ілюструє ідею активних вимірювань. Нехай ми хочемо виміряти затримки пакетів деякого додатка А, які передаються від комп'ютера-клієнта додатка А комп'ютеру-серверу додатка А через мережу. Замість того щоб намагатися виміряти затримки пакетів, що генеруються клієнтським комп'ютером, ми встановлюємо в мережі два додаткових комп'ютера: сервер-генератор і сервер-вимірювач. Сервер генератор генерує вимірювальні пакети, а сервер-вимірювач вимірює затримки цих пакетів. Для того щоб вимірювані значення були близькі до значень затримки пакетів додатку А, потрібно, щоб вимірювальні пакети проходили через мережу по тому ж шляху, що і пакети додатку А, тобто потрібно намагатися підключити сервер-генератор і сервер-вимірювач по можливості ближче до оригінальних вузлів. У нашому прикладі таке наближення досягнуто за рахунок підключення додаткових вузлів до портів тих же комутаторів S1 і S2, до яких підключені оригінальні вузли. Крім того, потрібно, щоб вимірювальні пакети якомога більше «походили» на оригінальні пакети - розмірами, ознаками, поміщеними в заголовки пакетів. Це потрібно для того, щоб мережа обслуговувала їх так само, як оригінальні пакети.

Однак вимірювальні пакети не повинні генеруватися занадто часто, інакше навантаження мережі може істотно змінитися, і результати вимірювань будуть відрізнятися від тих, які були б отримані у відсутності вимірювальних пакетів. **Іншими словами, вимірювання не повинні змінювати умов роботи мережі.** Зазвичай інтенсивність генерації вимірювальних пакетів не перевершує 20-50 пакетів в секунду. Існує спеціальне програмне забезпечення, яке генерує вимірювальні пакети і вимірює їх характеристики по прибуттю на сервер-вимірювач.

Виникає природне запитання: навіщо потрібно вирішувати стільки проблем: розміщувати додаткове обладнання, створювати умови для вимірювальних пакетів, близькі до умов обробки оригінальних пакетів, і в той же час намагатися не змінити навантаження мережі? Чи не простіше вимірювати параметри реальних пакетів? Відповідь полягає в тому, що активна схема спрощує процес проведення вимірювань і дозволяє добитися їх високої точності. Так як сервер-генератор створює вимірювальні пакети, то він легко може використовувати спеціальний формат пакетів для того, щоб помістити в них необхідну для вимірювання інформацію, наприклад часову позначку (time-stamp) відправки пакету. Потім сервер-вимірювач використовує цю часову позначку для обчислення часу затримки. Очевидно, що для того щоб вимірювання затримки були точними, потрібна хороша синхронізація сервера-генератора і сервера-вимірювача. Так як у схемі активних вимірювань вони являють собою виділені вузли, такої синхронізації домогтися простіше, ніж у випадку синхронізації клієнта і сервера додатка А, які найчастіше представляють собою звичайні комп'ютери. Крім того, іноді у інженерів, які проводять вимірювання, просто немає доступу до комп'ютерів, на яких працюють додатки, щоб встановити там програмне забезпечення для необхідних вимірювань пакетів, що надходять. А якщо такий доступ і існує, то операційні системи клієнта і сервера і апаратна платформа, швидше за все, не оптимізовані для точних вимірювань тимчасових інтервалів, а значить, вносять великі спотворення в результати (наприклад, за рахунок затримок програми вимірювань в черзі до центрального процесора).

Однак переваги активної схеми вимірювань не є абсолютними. У деяких ситуаціях оптимальнішою є схема пасивних вимірювань.

Пасивні вимірювання засновані на вимірювань характеристик реального трафіку. Цю схему ілюструє рисунок 7. 2.

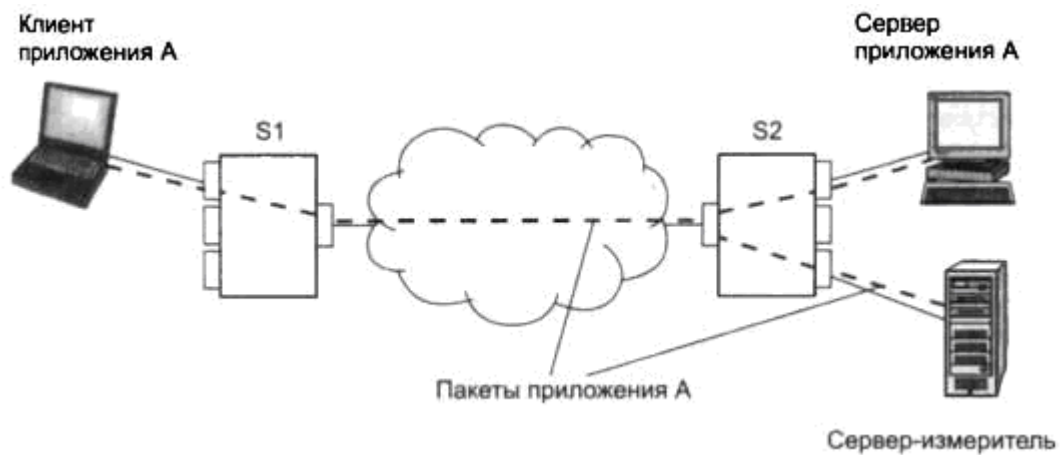


Рисунок 7.2 – Схема пассивних вимірювань

Наводячи аргументи на користь схеми активних вимірювань, ми, по суті, описали проблеми, які доводиться вирішувати при використанні схеми пассивних вимірювань: складності синхронізації клієнта і сервера, додаткові і невизначені затримки, внесені універсальними мультипрограмними операційними системами цих комп'ютерів, відсутність в заголовку використовуваних додатком пакетів поля для переносу по мережі часової оцінки.

Частково ці проблеми вирішуються за рахунок використання окремого сервера-вимірювача. Цей сервер приймає той же вхідний потік пакетів, що і один з вузлів, що бере участь в обміні пакетами, характеристики яких потрібно виміряти (на рисунку показаний випадок, коли сервер-вимірювач ставиться в паралель з сервером додатку А). Для того щоб сервер-вимірювач отримував той самий вхідний потік пакетів, що і оригінальний вузол, зазвичай вдаються до дублювання вимірюваного трафіку на порт, до якого підключений сервер-вимірювач. Таку функцію, яку називають дзеркалізацією портів, підтримують багато комутаторів локальних мереж. Сервер-вимірювач може працювати під управлінням спеціалізованої операційної системи, оптимізованої для виконання точних вимірювань часових інтервалів.

Складніше вирішити проблему синхронізації. Деякі протоколи переносять часові позначки в своїх службових полях, так що якщо, наприклад, додаток А використовує такий протокол, то частина проблеми вирішується. Однак і в цьому випадку залишається відкритим питання про точність системного часу в комп'ютері клієнта додатка А; швидше за все вона невисока. Тому в пасивному режимі вимірюють ті характеристики, які не вимагають синхронізації передавача і приймача, наприклад, оцінюють частку втрачених пакетів.

Можливим варіантом пасивної схеми вимірювань є відсутність виділеного сервера-вимірювача. Деякі програми самі виконують вимірювання затримок пакетів, що надходять наприклад, такими функціями володіють багато додатків IP-телефонії і відеоконференцій, тому що інформація про затримки пакетів допомагає визначити можливу причину незадовільної якості роботи програми.

7.2 Оцінка параметрів якості передачі в пакетних мережах

Сучасні мережі з пакетною комутацією відрізняються різноманіттям мережевих сервісів, і якість обслуговування в сучасних умовах набуває дуже вагоме значення. Не так багато часу пройшло з тих пір, коли оператори зв'язку пропонували свої послуги без визначення їх параметрів якості, часто з клієнтом застерігалася лише максимальна швидкість каналу. При цьому в порядку речей було навіть пропозиція каналу з нульовим значенням мінімальної гарантованої швидкості передачі даних, тобто надання пропускної спроможності без будь-якої гарантії її наявності. Проте такі умови зараз не прийнятні, клієнти стали більш компетентні в питаннях якості і вже навряд хто-небудь погодиться на такі умови.

Конкуренція на ринку телекомунікаційних послуг постійно зростає, при цьому пропозиція найчастіше перевищує попит, вартість послуг неухильно падає, а оператори розвивають свої магістральні мережі, розширюючи ємність і територіальне покриття, клієнтам є з чого вибирати.

З іншого боку, технологія не стоїть на місці: з'явилися нові засоби передачі даних та їх захисту. Мережі на базі IP тепер доставляють не тільки дані, але і служать транспортом для самих різних сервісів з різними, а іноді й суперечливими вимогами до мережі: дані, відео, голос, мережеві ігри, різноманітні бізнес-додатки та ін. І всіх цих випадках від транспортної середовища потрібні забезпечення заявлених параметрів якості. У таких постійно мінливих умовах потрібно чітко розуміти, які вимоги до якості транспорту IP висуває клієнт і що саме може запропонувати оператор. Питання якості сервісу відіграє найважливішу роль в розвитку ринку телекомунікацій. Тому, останнім часом, все частіше піднімається питання про необхідність систематичного проведення контролю параметрів якості послуг зв'язку в операторських мережах з пакетною комутацією (передача даних, голосової інформації, телематичних послуг зв'язку та ін.), Що в свою чергу вимагає розробки критеріїв контролю та методик його проведення, а також наявності засобів вимірювань параметрів мережі. Для того щоб критично важливі мережеві сервіси не страждали в моменти перевантажень, протягом усієї транзитної ділянки повинна бути реалізована **політика диференційованого обслуговування трафіку мережевих сервісів QoS** (Quality of Service). QoS являє собою набір методів для контролю і управління перерахованими вище параметрами якості, за допомогою яких пропускна здатність перерозподіляється в моменти перевантажень, що дозволяє забезпечити функціонування критичних сервісів за рахунок обмеження трафіку менш важливих мережевих додатків.

Це досягається шляхом призначення різних рівнів пріоритету для кожного виду послуг. Однак, реалізації політики диференційованого обслуговування в корпоративній мережі недостатньо для забезпечення належного функціонування критично важливих додатків. QoS буде успішно працювати в моменти перевантажень, але в разі погіршення параметрів

каналу налаштуванням QoS проблеми не вирішити, і в цьому випадку виникає ряд питань:

- Як бути впевненим, що параметри якості всієї мережі задовольняють встановленим вимогам?
- Як переконатися в довільний момент часу, що декларовані оператором параметри знаходяться в нормі і не погіршилися з моменту прийому послуги?
- У разі виходу якого-небудь з параметрів за встановлені межі, як з'ясувати причину того, що сталося? Чи справді виною тому брак пропускну здатності?
- На якому з ділянок мережі виникла проблема, в чий зоні відповідальності вона знаходиться, що треба робити і кому?

Кінцевим обладнанням для каналів Ethernet часто є комп'ютери. І першим ділом виникає бажання реалізувати якусь схему тестування на базі комп'ютера і стандартною мережевою карти. Але використовувати їх для тестування каналу Ethernet не представляється можливим, оскільки це не спеціалізовані пристрої, по-перше, не здатні генерувати трафік з варіюваним та настроюваним навантаженням аж до стовідсоткової швидкості завантаження каналу; по-друге, така схема не дозволяє проводити вимірювання на нижніх рівнях моделі IP; по-третє, схема не дозволяє формувати настроювані шлейфи різного рівня з фіксованою затримкою; по-четверте, схема не дозволяє проводити вимірювання помилок. При цьому ПК володіють залежністю результатів від операційної системи і від конфігурації апаратної частини комп'ютера, а мережеві карти виконують функцію фільтрів помилок, відкидаючи пакети, вміст яких не відповідає контрольній сумі, що супроводжує пакет. Для тестування може виникнути бажання користуватися простою функцією ICMP-протоколу - ехо-тестуванням, перевіркою досяжності вузла мережі - командою «Ping». Але дане тестування не дозволяє продемонструвати продуктивність, правильно виміряти затримку передачі, нерівномірність передачі і цілісність сервісу. Оскільки, знову ж необхідної завантаження каналу одержати не можливо. А при вимірюваннях крім необхідних параметрів, таких як затримка поширення, починають підсумовуватися довільні затримки відпрацювання більш високорівневих елементів схеми, таких як IP-стеки на прийомі і передачі.

7.3 Методики вимірювань транспортної мережі

Коли в IP мережі здійснюється транспорт мережевих сервісів, якість транспортного середовища визначається декількома параметрами:

- Смуга пропускання, номінальна пропускну здатність середовища передачі;
- Втрата пакетів;
- Кругова затримка;
- Варіація затримки (пакетний джитер).

Методики вимірювання цих параметрів описуються в рекомендаціях RFC-2544 і RFC-3393.

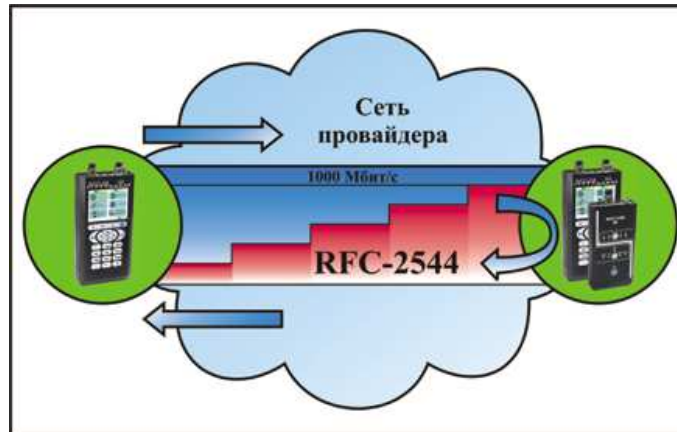


Рисунок 7.3 - Тест RFC 2544

7.3.1 Тестування за методикою RFC 2544

Стандарт RFC 2544 був розроблений робочою групою за стандартами для мережі Інтернет (IETF Internet Engineering Task Force) і на даний момент є найпоширенішою методикою для проведення вимірювань, що використовуються для перевірки параметрів продуктивності та різнопланового тестування мереж Ethernet. Стандарт описує сценарій автоматизованої процедури тестування Ethernet каналу за відсутності робочого трафіку. У сценарії фіксовані ключові параметри для тестів пропускної здатності, затримки поширення пакетів, залежності рівня втрат пакетів від завантаження каналу і тесту, визначення часу граничного навантаження каналу.

Причому кожен тест дозволяє перевірити певні параметри, описані в угодах про рівень сервісу SLA (Service - level agreement). Методологія тестів визначає розміри кадрів, тривалість випробування і число повторень випробувань. У результаті проведення вимірювань отримуються результати, що дають уявлення про продуктивність тестуємої Ethernet мережі (рис. 7. 3).

Тест пропускної здатності. Тестування пропускної здатності дозволяє визначити максимальну кількість кадрів в секунду, які можуть бути передані без виникнення втрат пакетів. Цей тест проводиться для визначення максимально можливої швидкості комутації для мережевих елементів (світців, маршрутизаторів) у транспортних мережах Ethernet.

Тест вимірювання затримки поширення. Вимірювання затримки проводиться для оцінки часу, який необхідно кадру для проходження по мережі від вихідного елемента до кінцевого мережевого елемента (тестування між кінцевих точок). Цей тест може також бути налаштований, щоб виміряти кругову затримку, тобто для вимірювання часу, який необхідно кадру для проходження від початкового елемента до кінцевого елемента і повернення назад.

Якщо час затримки змінюється від кадру до кадру, це може викликати проблеми в роботі сервісів реального часу. Наприклад, зміни затримки в

додатках VoIP приведуть до деградації якості голосу, появи тріска і клацань в лінії, також при великих затримках з'являться паузи в розмові. Велика затримка також може привести до погіршення якості Ethernet сервісів. У клієнт-серверних додатках може статися витікання часу очікування на сервері, або клієнтський додаток буде працювати з перебоями.

Тест втрат кадрів. Тестування втрат кадрів дозволяє оцінити реакцію мережі, що працює в умовах перевантаження.

Такий тест критичний для перевірки можливості мережі підтримувати додатки, що працюють в реальному часі, де великий відсоток втрат швидко призведе до деградації якості сервісу. Оскільки при роботі в реальному часі повторної передачі не відбувається, такі сервіси можуть повністю втратити свою працездатність, якщо втрати кадрів не будуть взяті під контроль.

Тест граничного навантаження. Вимірювання нерівномірної передачі даних (тест граничного навантаження), дозволяє оцінити можливості буферизації в маршрутизаторах і світчах. У транспортних мережах Ethernet ці вимірювання є корисним, оскільки дозволять перевірити форсовану швидкість передачі, яка фігурує в багатьох угодах про рівень сервісу.

Тестування за допомогою шлейфа. Тестування мереж Ethernet за допомогою функції шлейфу вельми поширене. Таке тестування дозволяє знизити час діагностики та локалізувати проблему. За допомогою шлейфа різного рівня можна проводити тести RFC-2544 або BERT, а також будь-яке інше тестування, що вимагає заворот переданого трафіку в зворотному напрямку (рис. 7. 4).

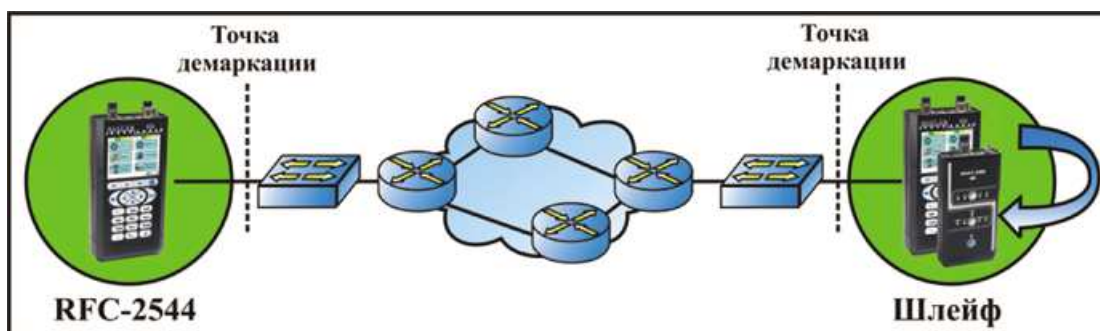


Рисунок 7.4 - Функція «Шлейф»

На порту при включеній функції шлейфу одночасно можна переглядати статистику за прийнятими і переданим пакетам, на будь-якому з рівнів, здійснювати вибірку вхідного трафіку, фільтрувати пакети, призначені для мережевого стека цього інтерфейсу.

Функцію шлейфу можна реалізувати на будь-якому з трьох нижніх рівнях моделі IP: фізичному, каналному або мережевому. При цьому в

приладі реалізований алгоритм перестановки або підміни полів пакету, відповідних кожному з рівнів. Для каналного рівня - це MAC-адреси джерела і одержувача, для мережевого рівня IP-адреси джерела і одержувача.

7.3.2 Тестування за методикою RFC-3393

Важливою характеристикою ділянки мережі є варіація затримки пакетів (пакетний джитер), яка визначається в RFC-3393 як різниця наскрізних затримок проходження двох пакетів (рис. 7.5).

Якщо S_i - час відправки пакета (при цьому часова мітка включається в тіло пакета), а R_i - час доставки пакета, то значення варіації затримки для пакетів з номерами i та j буде розраховуватися згідно простій формулі:

$$D = (R_j - R_i) - (S_j - S_i). \quad (7.1)$$

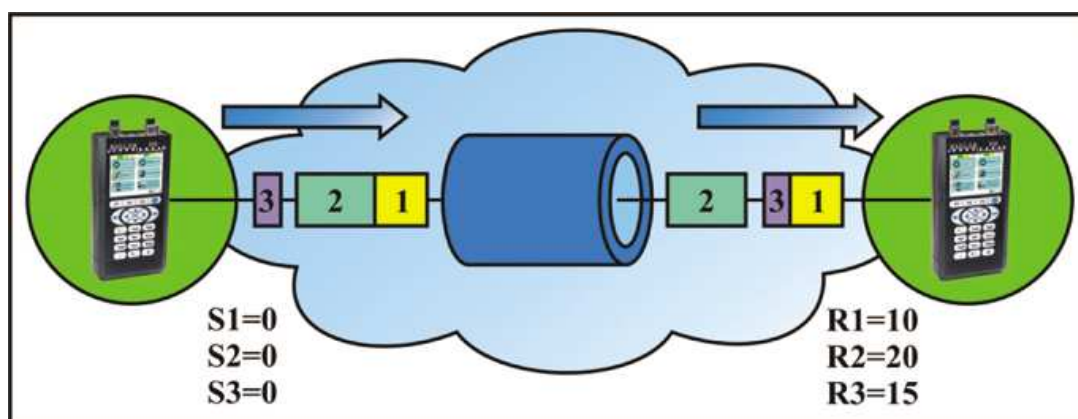


Рисунок 7.5 - Пакетний джитер

Виникнення варіацій затримки впливає із самої природи пакетної комутації мережі IP. В ідеальному випадку варіація дорівнює нулю, тобто тривалість доставки пакетів не розрізняється. Однак в силу неоднорідності мережевого потоку, що проходить через вузли мережі, а також внаслідок дії механізмів диференційованого обслуговування мережевого трафіку варіації не є нульовими.

7.3.3 Тестування за методикою ITU-T Y.1564

Y.1564 - більш сучасна методика активації сервісів мереж Ethernet. Методологія тесту розбивається на дві частини: тест конфігурації сервісу, який допоможе знайти і виправити проблеми з конфігурації мережі, і тест експлуатації сервісу, який підтверджує, що продуктивність відповідає критеріям приймання та обслуговування є незмінним з часом (рис. 7. 6).

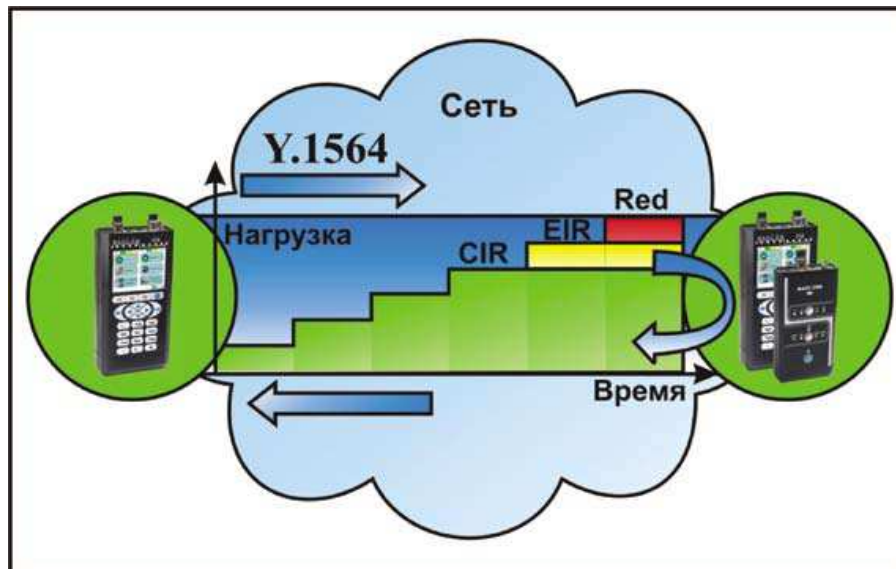


Рисунок 7.6 - Тестування за методикою ІТУ-Т Y.1564

Як і в попередніх рекомендаціях, показники ефективності включають в себе:

- Пропускнну здатність;
- Затримку;
- Втрати кадрів;
- Пакетний джитер.

Відмінність даної рекомендації полягає в тому, що всі показники вимірюються не послідовно, а паралельно, що значно знижує час проходження тесту. Оцінка пропускну здатності проводиться з поділом на інтервали з урахуванням перевантажень в мережі.

Історія розвитку цифрових телекомунікаційних мереж тісно пов'язана з вирішенням завдань синхронізації обладнання мережевих вузлів. Спочатку мережі з комутацією пакетів призначалися для передачі асинхронних даних. Але так як в сучасних умовах пакетні методи передачі стають основними транспортними телекомунікаційними технологіями, це вимагає від них забезпечення якості передачі не гірше ніж у мережах синхронної цифрової ієрархії. Зокрема, повинні забезпечуватися висока готовність з'єднань, малі затримки, висока якість синхронізації, низький рівень помилок, оперативність виявлення несправностей, зручність адміністрування, резервування, що забезпечує відсутність перерв зв'язку більше 50 мкс. У сучасних мережах зв'язку, поряд з проблемою тактової синхронізації, все більшої актуальності набувають завдання передачі сигналів часу з необхідною точністю. У зв'язку з цим, виник цілий комплекс завдань узгодження шкал часу за спеціальними мітками, що передаються в пакетному транспортному середовищі. Для вирішення цих завдань були розроблені двосторонні мережеві протоколи NTP (Network Time Protocol) і RTP (Precision Time Protocol). Останній, що забезпечує більш високу точність, набув великої популярності.

Протокол РТР був спочатку стандартизований для промислових підприємств та вимірювальної техніки. Друга версія протоколу РТР (Рекомендація IEEE 1588 v2), яка вийшла в 2008 році передбачає безліч варіантів застосування для вирішення тих чи інших завдань. Під кожне конкретний додаток вироблений свій перелік установок, так званий «профіль», у тому числі розроблені і телекомунікаційні профілі.

Галузі застосування протоколу РТР:

- Проводовий зв'язок;
- Стільниковий зв'язок;
- Енергетика;
- Промислова автоматика;
- Вимірювальна техніка;
- Роботизовані системи;
- Фінансові додатки.

Протокол РТР є протоколом взаємодії пристроїв що беруть участь у синхронізації.

Протокол передбачає двонаправлений обмін повідомленнями, укладеними в структуру пакета, що включають в себе мітки часу, та інші параметри. Мережеві елементи, задіяні в синхронізації можна поділити на три категорії:

- Майстер-пристрої, що містять РТР годинник і є джерелом синхронізації (ведущим);
- Шлейф-пристрої, які синхронізуються від ведучого (ведомым);
- Пасивні пристрої, пропускають через себе сигнали синхронізації, або не беруть участь у взаємодії.

Рівнева архітектура роботи РТР пристроїв представлена на рисунку 7.

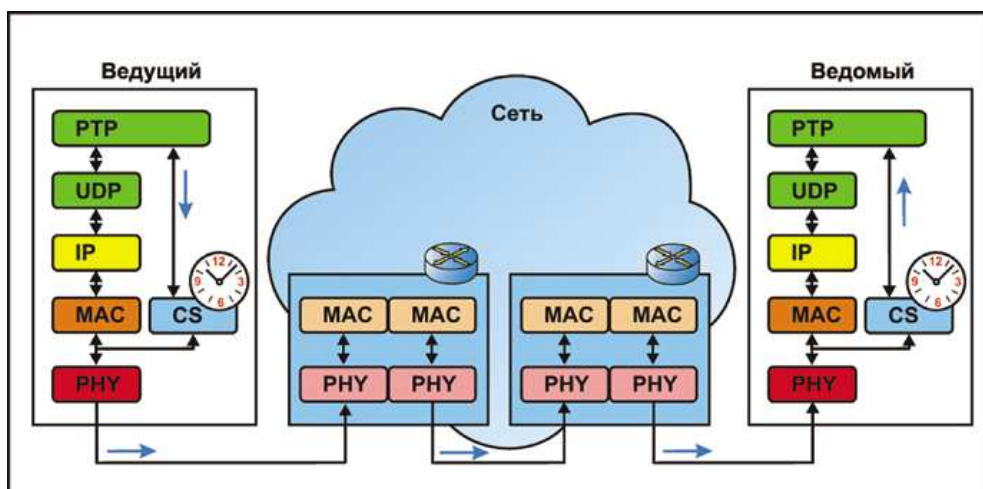


Рисунок 7.7 - Уровневая архитектура работы РТР

Для перевірки роботи системи синхронізації в пакетній мережі потрібно впевнитися, що в перевіряєму точку приходять всі сигнали синхронізації і протокол взаємодіє правильно. У процесі вимірювань емулюється ведений (ведомый) пристрій РТР і здійснюється верифікація всіх

сигналів синхронізації (рисунок 7.8), при цьому вимірюються наступні параметри:

- Зміщення між ведучим і веденим;
- Середня і одностороння затримки;
- Варіація затримки для пакетів;
- Догляд фази між годинниками.

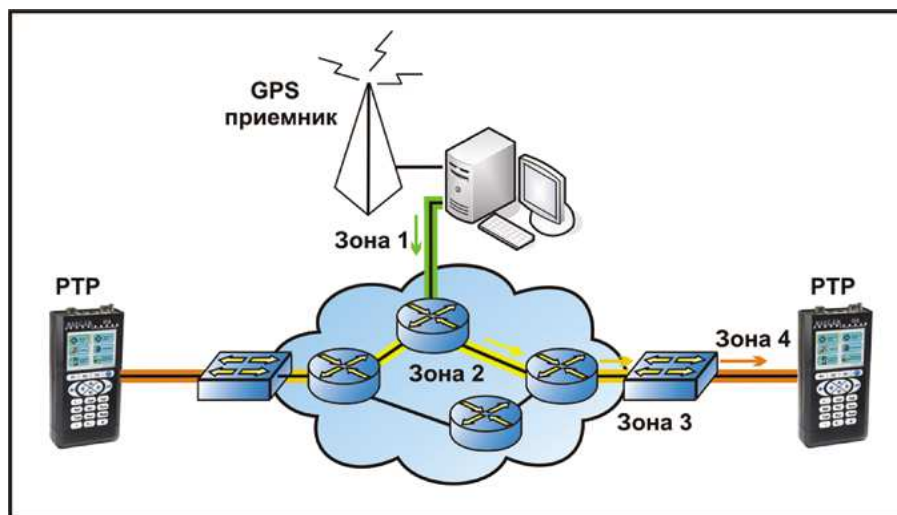


Рисунок 7.8 - Измерения по протоколу PTP

Крім верифікації самого протоколу PTP за допомогою цього алгоритму можна здійснювати вимірювання параметрів асиметричних ліній, таких як затримка і варіація затримки. Для асиметричних ліній стандартні вимірювання цих параметрів, описані за рекомендаціями RFC2544 і RFC3393, що не завжди дають коректний результат. Тому вимірювання даних параметрів на основі протоколу PTP перекривають відсутню ланку. При цьому слід врахувати, що генерація і зчитування часових міток йдуть на нижньому рівні моделі IP, що дає високу точність визначення часових параметрів.

В останні роки мережі з пакетною комутацією стають універсальним транспортним середовищем для передачі різних типів трафіку, в тому числі і для сервісів чутливих до параметрів мережевої синхронізації, наприклад, такі популярні телекомунікаційні технології як Wi-Max, W-CDMA, LTE вимагають підтримки часової синхронізації з точністю близько 1 мкс. Таким чином, для повноцінної оцінки якості роботи телекомунікаційних мереж з комутацією пакетів необхідно поряд з вимірюванням параметрів описуваних рекомендаціями **RFC-2544** і **RFC-3393** або **Y.1564** перевіряти параметри **синхронізації обладнання вузлів мережі**.