ВСТУП

Актуальність теми. В останні роки інтеграція систем відеоспостереження в транспортні засоби набуває дедалі більшого поширення, що зумовлено гострою потребою в підвищенні безпеки, підзвітності та операційної ефективності. Сучасні транспортні мережі — від міських комунікацій до залізничних та авіаційних перевезень — значною мірою залежать від складних систем моніторингу в режимі реального часу. Однак експлуатація таких систем у транспортних умовах супроводжується низкою викликів: динамічною зміною освітлення, вібраціями, обмеженою пропускною здатністю мобільних мереж та високими вимогами до надійності зберігання даних.

Традиційні підходи до побудови відеонагляду часто не забезпечують необхідної стабільності при критичних навантаженнях, що призводить до затримок у передачі даних та втрати якості зображення. Тому оптимізація параметрів відеопотоку та архітектурних рішень у відповідь на коливання зовнішнього середовища набула критичного значення. Використання інтелектуальних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), периферійні обчислення (Edge AI) та мережі 5G, відкриває нові можливості для створення адаптивних і стійких систем моніторингу.

Мета роботи полягає у розробці та обґрунтуванні методики оптимізації систем відеонагляду для транспорту, яка дозволяє підвищити пропускну здатність, зменшити затримки передачі даних та забезпечити стабільність функціонування в складних експлуатаційних умовах.

Об’єкт дослідження – процеси функціонування та передачі даних у системах відеоспостереження, інтегрованих у транспортну інфраструктуру.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та архітектурні рішення, спрямовані на оптимізацію роботи транспортних систем відеонагляду.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні методики побудови транспортного відеонагляду шляхом впровадження п’ятирівневої інтелектуальної архітектури, яка поєднує периферійну аналітику (Edge AI) та

багаторівневу систему зберігання даних (Tiered Storage). Це дозволяє системі проактивно адаптуватися до змінних умов середовища.

Практичне значення роботи підтверджується результатами експериментальних досліджень, згідно з якими впровадження запропонованої методики дозволяє:

- підвищити пропускну здатність системи на 30%;
- зменшити затримку передачі даних (latency) на 20%;
- знизити операційне споживання енергії на 15%.

Запропоновані рішення забезпечують високу надійність моніторингу навіть за умов інтенсивних вібрацій, температурних коливань та мережевих збоїв, що робить їх придатними для широкого впровадження в сучасних інтелектуальних транспортних системах.

1 ТЕХНІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ВІДЕОНАГЛЯДУ У ТРАНСПОРТІ

1.1 Особливості експлуатації систем відеоспостереження в транспортних засобах

В останні роки інтеграція систем відеоспостереження в транспортні засоби набуває дедалі більшого поширення, що зумовлено потребою в підвищенні безпеки, підзвітності та операційної ефективності. Ці системи є життєво важливими в різних контекстах, включаючи комерційні автопарки, правоохоронні органи, громадський транспорт та особисті автомобілі. Функції відеоспостереження, встановленого на транспортних засобах, різноманітні та охоплюють різні типи обладнання, розширені функції та надійні рішення для управління даними. Розуміння цих функцій дає уявлення про те, як працюють сучасні системи спостереження, їхні можливості та як вони сприяють безпечнішій та прозорішій експлуатації транспортних засобів [1].

Основою систем відеоспостереження за транспортними засобами є різноманітне обладнання, призначене для отримання комплексних візуальних даних з різних точок зору. Відеореєстратори, також відомі як камери на приладовій панелі, зазвичай встановлюються на приладовій панелі або лобовому склі автомобіля, забезпечуючи передній огляд дороги. Ці пристрої є безцінними для документування дорожньо-транспортних пригод, зменшення страхового шахрайства та надання доказів у режимі реального часу у суперечках. Внутрішні камери, встановлені в салоні автомобіля, служать для моніторингу поведінки водія та активності пасажирів, що особливо важливо в управлінні автопарком та середовищах, де важлива безпека. Наприклад, компанії, що надають послуги спільного користування автомобілями, часто використовують внутрішні камери для забезпечення безпеки пасажирів та запобігання неправомірним діям. Зовнішні або задні камери, розташовані ззаду або з боків автомобіля, покращують ситуаційну обізнаність та допомагають під час паркування або маневрування у вузьких

просторах. Вони також сприяють запобіганню аварій, забезпечуючи чіткий огляд сліпих зон. Разом ці різноманітні типи камер забезпечують комплексне покриття, фіксуючи критичні візуальні дані в різних операційних сценаріях, тим самим значно покращуючи безпеку та підзвітність.

Інтеграція систем відеонагляду в транспортні засоби обумовлена необхідністю підвищення рівня безпеки, підзвітності та загальної операційної ефективності. Такі системи є критично важливими для комерційних автопарків, громадського транспорту та правоохоронних органів. Функціональність сучасного обладнання охоплює не лише запис відео, а й інтелектуальне управління даними.

Основою системи є комплекс апаратного забезпечення, розроблений для отримання візуальних даних з різних ракурсів (рис. 1.1):

Відеореєстратори (Dashcams): забезпечують огляд дороги, документують дорожні пригоди та надають доказову базу в спірних ситуаціях.

Внутрішні камери: служать для моніторингу поведінки водія та активності пасажирів, що є пріоритетом для сервісів спільного користування та вантажних перевезень.

Зовнішні камери: покращують ситуаційну обізнаність водія, допомагаючи маневрувати у вузьких просторах та контролювати «сліпі зони».

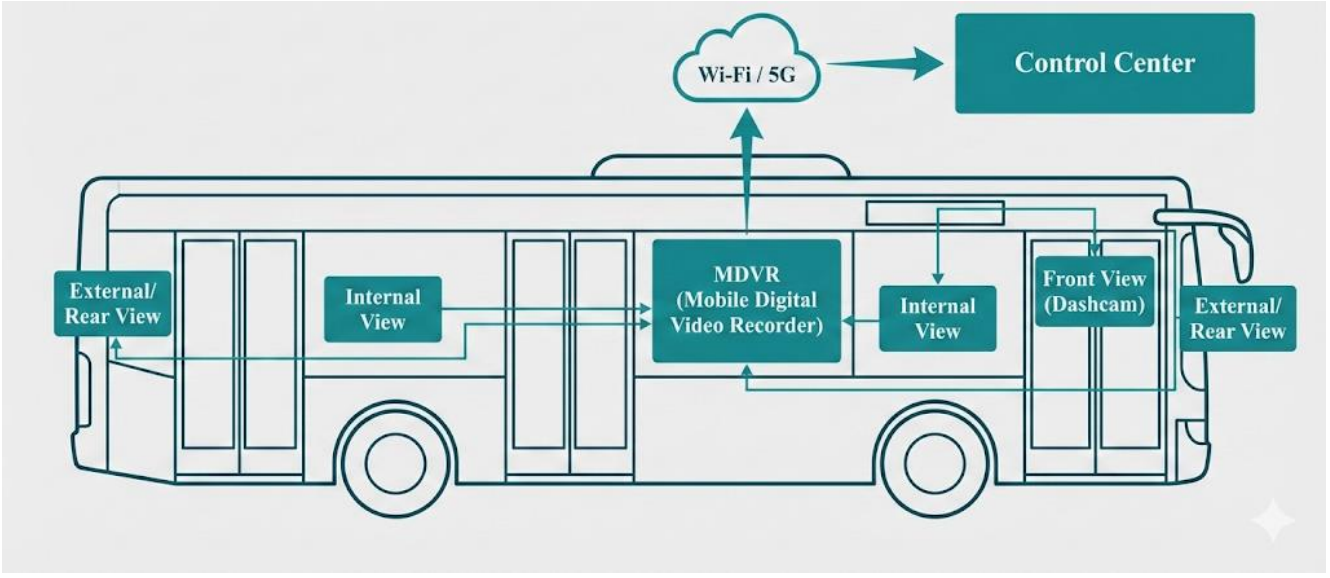


Рис. 1.1 Структурна схема розміщення та взаємодії компонентів системи відеоспостереження на транспорті

Експлуатаційна надійність системи забезпечується рядом розширених функцій. Моніторинг у режимі реального часу дозволяє операторам дистанційно контролювати стан транспортного засобу. Використання інфрачервоних датчиків забезпечує можливість нічного бачення, що є критичним для цілодобової роботи. Крім того, наявність G-сенсорів дозволяє автоматично фіксувати моменти ударів або зіткнень, захищаючи відповідні записи від видалення [2].

Важливим аспектом є архітектура зберігання та передачі даних. Сучасні ТЗ підтримують бездротові інтерфейси, такі як Wi-Fi та стільникові мережі (4G/5G), для трансляції відео в хмару. Разом з тим, локальне зберігання на SD-картах або SSD залишається актуальним для швидкого доступу до записів у разі відсутності зв'язку. Гнучкість у виборі підключення та методів обробки даних дозволяє створювати масштабовані рішення, адаптовані до конкретних операційних потреб

Окрім апаратного забезпечення, основні функції та можливості систем спостереження за транспортними засобами розроблені для максимальної корисності та надійності в різних умовах. Моніторинг і запис у режимі реального часу є фундаментальними, дозволяючи операторам автопарків або співробітникам служби безпеки дистанційно контролювати стан транспортних засобів та поведінку водіїв. Наприклад, прямі трансляції можуть передаватись на центральну станцію моніторингу, що дозволяє негайно втрутитися, якщо виявлено небезпечне водіння або підозрілу активність. Можливості нічного бачення ще більше підвищують ефективність системи, використовуючи інфрачервону технологію або датчики слабкого освітлення, забезпечуючи безперервну роботу вночі або в погано освітлених умовах — важлива функція для цілодобових операцій або правоохоронних транспортних засобів. Виявлення ударів, яке часто забезпечується G-сенсорами, автоматично запускає запис або сповіщення, коли відбувається зіткнення або раптовий поштовх, захищаючи критично важливі кадри та надаючи докази для розслідування. Ця функція особливо корисна в ситуаціях, коли інциденти трапляються несподівано, дозволяючи оперативно діяти та зберігати дані. Ці функції разом гарантують, що системи спостереження є не лише пасивними

реєстраторами, а й активними інструментами, які допомагають в аналізі аварій, управлінні водіями та забезпеченні безпеки.

Варіанти підключення та зберігання даних є життєво важливими компонентами, що визначають доступність, безпеку та довговічність записаних відеоматеріалів. Транспортні засоби, оснащені системами спостереження, можуть використовувати бездротові опції, такі як Wi-Fi, стільникові мережі або Bluetooth, для забезпечення дистанційної передачі даних, потокової передачі в реальному часі та оновлення системи. Дротові з'єднання, такі як USB або Ethernet, також поширені, особливо у стаціонарних системах або для передачі даних з високою ємністю. Коли йдеться про зберігання, існує вибір між локальними рішеннями для зберігання, такими як SD-карти, жорсткі диски або твердотільні накопичувачі, та хмарними сервісами зберігання. Локальне сховище пропонує негайний доступ до відеоматеріалів без залежності від підключення до Інтернету, що робить його придатним для ситуацій, що вимагають швидкого пошуку. І навпаки, хмарне сховище забезпечує масштабоване управління даними поза межами об'єкта, зменшуючи ризик втрати даних через крадіжку, пошкодження або збій системи. Однак, залежність від хмарних сервісів викликає занепокоєння щодо безпеки та конфіденційності даних; тому для захисту конфіденційних відеоматеріалів впроваджуються розширене шифрування, багатофакторна автентифікація та регулярні аудити безпеки. Загалом, вибір рішень для підключення та зберігання залежить від операційних потреб, бюджетних міркувань та вимог безпеки, що підкреслює важливість надійних стратегій управління даними в системах спостереження за транспортними засобами.

Все більш важливим аспектом сучасних систем спостереження за транспортними засобами є їхня здатність безперешкодно інтегруватися з іншими технологіями транспортних засобів, підвищуючи загальну операційну ефективність та безпеку. Сумісність із системами GPS та телематики дозволяє точно відстежувати місцезнаходження, оптимізувати маршрути та діагностувати транспортні засоби в режимі реального часу, що є безцінним для управління автопарком. Наприклад, інтеграція GPS дозволяє диспетчерам контролювати

місцезнаходження транспортних засобів, покращувати планування та перевіряти дотримання визначених маршрутів. Крім того, інтеграція із системами реагування на надзвичайні ситуації покращує протоколи безпеки, автоматично сповіщаючи органи влади у разі аварій або надзвичайних ситуацій та надаючи точні дані про місцезнаходження для забезпечення швидкої допомоги. Інтерфейс користувача та функції керування також відіграють вирішальну роль в ефективній роботі систем спостереження; інтуїтивно зрозумілі панелі інструментів, мобільні додатки та віддалений доступ дозволяють водіям та менеджерам ефективно налаштовувати параметри, переглядати відеозаписи або реагувати на сповіщення. Ці інтегровані функції створюють цілісну систему, яка не лише записує та моніторить, але також активно підтримує управління транспортними засобами, протоколи безпеки та швидке реагування на надзвичайні ситуації, тим самим підвищуючи корисність технології спостереження в транспортних засобах [3].

Хоча розгортання відеоспостереження в транспортних засобах пропонує численні переваги, воно також породжує значні правові та етичні міркування, які необхідно ретельно враховувати. Нормативи щодо конфіденційності різняться залежно від регіону, але загалом вимагають, щоб практика спостереження поважала права особистості на конфіденційність та забезпечувала захист даних. Дотримання законів, таких як Загальний регламент про захист даних (GDPR) у Європі або аналогічних рамкових норм в інших країнах, є важливим для уникнення юридичних наслідків. Також у центрі уваги стають питання доступу до даних та власності; питання щодо того, хто може переглядати, зберігати та контролювати записи спостереження — чи то власники транспортних засобів, менеджери автопарків, чи сторонні постачальники послуг — повинні бути чітко врегульовані за допомогою політик та угод. Етичне використання відеозаписів передбачає забезпечення того, щоб записи використовуються виключно для законних цілей, таких як безпека, а не для необґрунтованого спостереження чи дискримінації. Прозорість з водіями, пасажирами та іншими зацікавленими сторонами щодо практики збору даних, разом із безпечним зберіганням та обмеженим доступом, має вирішальне значення для підтримки довіри та дотримання етичних стандартів. Вирішення цих правових

та етичних питань є важливим для відповідального розгортання систем спостереження за транспортними засобами та для захисту прав особистості, одночасно максимізуючи переваги безпеки.

Системи відеоспостереження за транспортними засобами охоплюють широкий спектр функцій та можливостей, розроблених для підвищення безпеки, захисту та операційної ефективності. Типи обладнання, включаючи камери на приладовій панелі, внутрішня та зовнішня камери, забезпечують комплексне охоплення з різних точок зору, що є вирішальним для документування аварій та моніторингу поведінки. Розширені функції, такі як запис у режимі реального часу, нічне бачення та виявлення ударів, перетворюють ці системи з пасивних пристроїв на активні інструменти управління. Варіанти підключення та рішення для зберігання даних – від локальних накопичувачів до хмарних сервісів – гарантують доступність, безпеку та збереження відеоматеріалів відповідно до операційних потреб. Крім того, інтеграція з GPS, телематикою та системами реагування на надзвичайні ситуації покращує протоколи управління транспортними засобами та безпеки, а зручні інтерфейси сприяють ефективному контролю. Однак розгортання технологій спостереження має бути збалансованим з ретельним урахуванням правових та етичних питань, включаючи правила конфіденційності, володіння даними та відповідальне використання. Оскільки технології продовжують розвиватися, вкрай важливо, щоб системи спостереження за транспортними засобами впроваджувалися продумано, з повагою до прав особистості та використанням їхнього потенціалу для сприяння безпечнішій та більш відповідальній експлуатації транспортних засобів.

1.2 Архітектура сучасних транспортних систем відеонагляду

Сучасні транспортні системи, що охоплюють усе: від міських транспортних мереж до далекобійних залізничних та повітряних перевезень, значною мірою залежать від складних систем відеоспостереження для забезпечення безпеки, ефективності та захисту. Ці системи значно еволюціонували протягом останніх

років завдяки швидкому технологічному прогресу та зростаючому попиту на моніторинг у режимі реального часу. Архітектура сучасних систем транспортного спостереження є складною, інтегруючи безліч компонентів, які безперебійно працюють для збору, аналізу та зберігання величезних обсягів візуальних даних. Розуміння складної конструкції цих систем розкриває не лише їхню технологічну складність, але й проблеми, з якими стикаються під час їх розгортання [4].

Архітектура сучасних систем спостереження за транспортом базується на поєднанні різноманітних, але взаємопов'язаних компонентів, кожен з яких виконує вирішальну роль у підтримці цілісності та функціональності системи. Центральним елементом цих систем є передові камери та пристрої обробки зображень, такі як камери високої чіткості (HD) та 4K, які забезпечують чітке, детальне зображення, необхідне для ідентифікації осіб, номерних знаків або підозрілої діяльності. Наприклад, аеропорти часто розгортають камери 4K, які можуть масштабувати віддалені об'єкти без значної втрати якості зображення, що сприяє точній оцінці безпеки. Доповнюють їх системи зберігання та управління даними, які обробляють величезні обсяги відеоматеріалів, що генеруються щодня. Ці рішення для зберігання часто включають хмарні платформи та локальні сервери, оснащені великою ємністю, що забезпечує масштабоване та безпечне зберігання даних. Крім того, надійна мережева інфраструктура, що включає волоконно-оптичні кабелі, бездротові з'єднання та мережеві комутатори, є життєво важливою для передачі відеопотоків високої роздільної здатності в режимі реального часу через великі транспортні вузли. Ця зв'язок гарантує, що дані спостереження можна швидко отримати, проаналізувати або обмінятися ними між співробітниками служби безпеки, правоохоронними органами та центрами управління, тим самим формуючи основу інтегрованого середовища спостереження.

Архітектура сучасних систем відеоспостереження на транспорті являє собою складну екосистему, яка інтегрує численні компоненти для безперебійного збору, аналізу та зберігання величезних обсягів візуальних даних. Основою цієї конструкції є поєднання різноманітних взаємопов’язаних елементів, кожен з яких виконує критичну роль у підтримці функціональності системи (рис. 1.2).

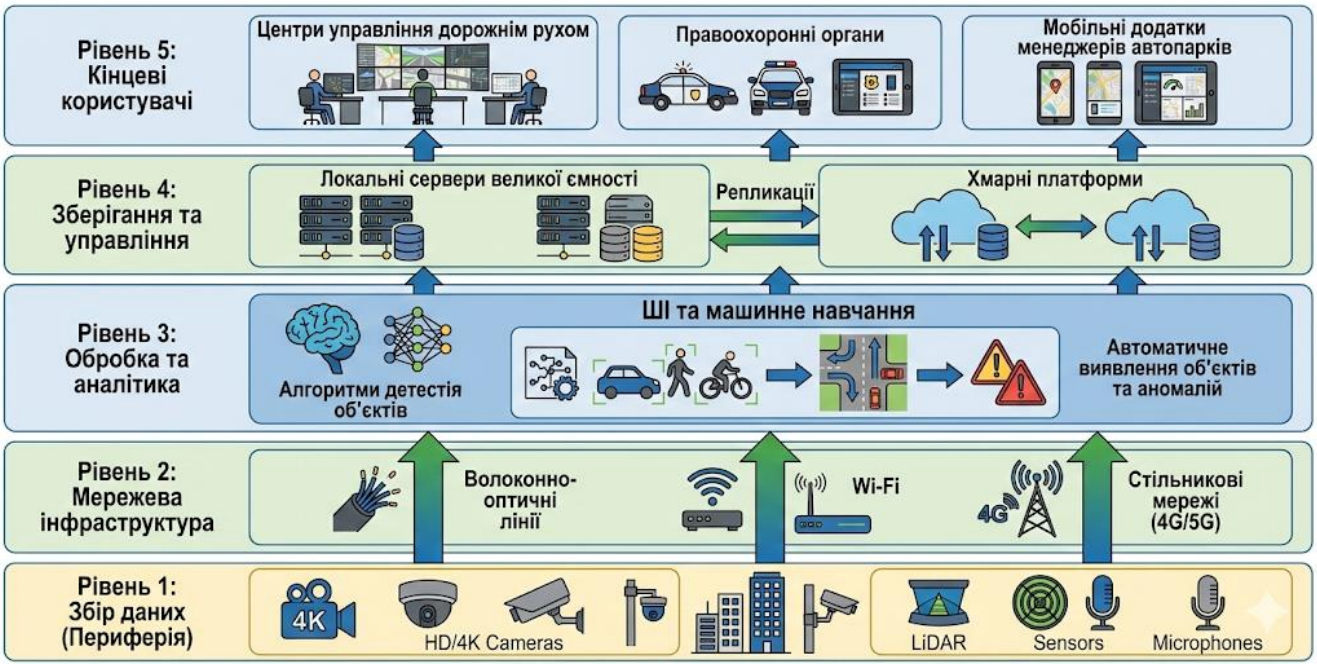


Рис. 1.2 Багаторівнева архітектура сучасної інтелектуальної системи транспортного відеоспостереження

Центральним елементом архітектури є передові пристрої обробки зображень, зокрема камери високої чіткості (HD) та 4K. Висока деталізація зображення дозволяє ефективно ідентифікувати осіб, номерні знаки або підозрілу діяльність навіть на значній відстані. Передача цих потоків у режимі реального часу забезпечується надійною мережевою інфраструктурою, що включає волоконно-оптичні кабелі та високошвидкісні бездротові з'єднання [5].

Значним технологічним проривом в архітектурі систем стала інтеграція алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Це дозволяє системі автоматично класифікувати події, виявляти багаж без нагляду або несанкціонований доступ до зон обмеженого доступу без втручання людини. Обробка даних часто підсилюється прискоренням GPU та периферійними обчисленнями, що мінімізує затримки та використання пропускної здатності.

Для зберігання відеоматеріалів використовуються гібридні рішення: локальні сервери та жорсткі диски великої ємності для швидкого доступу, а також масштабовані хмарні платформи для довгострокового архівування. Така структура

гарантує доступність та безпеку даних для центрів управління та правоохоронних органів.

У перспективі архітектура систем відеоспостереження продовжує еволюціонувати у бік повної інтеграції з інфраструктурою «розумного міста» та використання повітряного спостереження за допомогою дронів. Це забезпечує гнучке охоплення великих територій та скоординоване реагування на надзвичайні ситуації.

Технологічний прогрес глибоко трансформував спостереження за транспортом, зробивши ці системи більш інтелектуальними, чуйними та ефективними. Значним розвитком є інтеграція алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, які дозволяють системам автоматично виявляти, класифікувати та визначати пріоритети подій без втручання людини. Наприклад, аналітика на базі ШІ може ідентифікувати багаж без нагляду, розпізнавати підозрілі жести або позначати несанкціонований доступ, значно скорочуючи час реагування та робоче навантаження на людину. Впровадження камер високої чіткості та 4K ще більше покращує чіткість зображення, дозволяючи проводити детальний аналіз та підвищувати точність автоматизованих систем виявлення. Крім того, розгортання аналітики в реальному часі та алгоритмів виявлення об'єктів революціонізувало операції безпеки. Ці системи можуть відстежувати кілька об'єктів одночасно, аналізувати схеми руху та генерувати миттєві сповіщення, якщо виявлено аномалії, такі як відхилення транспортного засобу від заданого шляху на залізничному депо або в'їзд особи в зону обмеженого доступу. Ці технологічні вдосконалення не лише підвищують безпеку, але й оптимізують операційну ефективність, швидко та точно надаючи дієву інформацію.

Незважаючи на свої передові функції, впровадження сучасних архітектур спостереження за транспортом пов'язане з кількома проблемами та міркуваннями, які необхідно ретельно враховувати. Питання конфіденційності є надзвичайно важливими, особливо враховуючи великий обсяг персональних даних, що спонукає до запровадження суворих правил захисту даних, таких як Загальний регламент про захист даних (GDPR) у Європі. Органи влади та оператори повинні балансувати

потреби безпеки з правами особистої конфіденційності, часто впроваджуючи такі заходи, як шифрування даних, контроль доступу та методи анонімізації. Витрати на інфраструктуру також створюють значні перешкоди; встановлення високоякісних камер, складних рішень для зберігання даних та надійних мережевих систем вимагає значних фінансових інвестицій, що може навантажувати державні бюджети або приватні інвестиції. Технічне обслуговування та модернізація систем повинні проводитися постійно, щоб йти в ногу з технологічними змінами, вимагаючи кваліфікованого персоналу та постійного фінансування. Крім того, сумісність та взаємодія між різними компонентами спостереження, виготовленими різними постачальниками, є критично важливими, але водночас складними, оскільки системи повинні безперешкодно взаємодіяти для інтегрованої роботи. Зусилля щодо стандартизації та відкриті протоколи є важливими для забезпечення безперешкодної інтеграції нових пристроїв або оновлень програмного забезпечення в існуючу інфраструктуру, запобігаючи застаріванню та сприяючи майбутній масштабованості [6].

Застосування сучасних систем спостереження за транспортом поширюється на різні сфери, значно підвищуючи операційну ефективність та безпеку. Одним з основних застосувань є управління дорожнім рухом та моніторинг заторів, де камери спостереження та датчики збирають дані в режимі реального часу про потік транспортних засобів та рівень заторів. Ця інформація дозволяє центрам управління дорожнім рухом впроваджувати динамічну сигналізацію, змінювати маршрути транспорту та зменшувати кількість вузьких місць, що зрештою покращує час поїздок на роботу та зменшує викиди. Такі системи є невід'ємною частиною інтелектуальних транспортних мереж, дозволяючи містам проактивно оптимізувати транспортний потік. Крім того, відеоспостереження відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки та запобіганні злочинам у транспортному середовищі. Камери, розміщені в аеропортах, на залізничних станціях та автобусних терміналах, діють як стримуючий фактор проти незаконної діяльності, такої як крадіжка, вандалізм чи тероризм, а також надають важливі докази для розслідувань. Крім того, системи транспортного спостереження відіграють

важливу роль у вирішенні аварій та інцидентів. аналіз. Відеозаписи високої роздільної здатності допомагають органам влади реконструювати події, що призвели до аварій, визначати причини та вживати заходів для запобігання майбутнім випадкам. Наприклад, відеоаналіз зіткнення на залізничному переїзді може виявити, чи сприяли цьому збої сигналізації чи людська помилка, що допоможе розробити протоколи безпеки та покращити інфраструктуру. У сукупності ці програми демонструють, як інтегроване спостереження підвищує безпеку, ефективність та захищеність у сучасних транспортних системах.

Заглядаючи в майбутнє, майбутні тенденції та інновації обіцяють подальшу революцію в архітектурі та можливостях транспортного спостереження. Ключовим розвитком є інтеграція систем спостереження з ширшою інфраструктурою розумного міста, створюючи взаємопов'язані мережі, що сприяють безперебійному обміну даними та скоординованим реагуванням. Така інтеграція дозволяє транспортним системам динамічно адаптуватися до змінних умов, оптимізувати розподіл ресурсів та покращувати загальну міську мобільність. Ще однією тенденцією, що розвивається, є використання дронів та повітряного спостереження, яке забезпечує гнучке та комплексне охоплення великих або важкодоступних зон, таких як автомагістралі, мости та прикордонні зони. Дрони, оснащені камерами високої роздільної здатності, можуть швидко реагувати на інциденти, проводити патрулювання та збирати розвідувальні дані, доповнюючи наземні системи. Нарешті, з розвитком технологій спостереження повинні розвиватися заходи кібербезпеки для захисту конфіденційних даних та запобігання зловмисним атакам. Удосконалені протоколи кібербезпеки, включаючи шифрування, системи виявлення вторгнень та регулярні оцінки вразливостей, мають вирішальне значення для підтримки цілісності системи. У міру розвитку цих майбутніх інновацій вони не лише підвищать ефективність спостереження за транспортом, але й викличуть нові міркування щодо конфіденційності, безпеки та етичного використання, що вимагатиме постійної пильності та регулювання.

Сучасні системи відеоспостереження на транспорті – це складні, багатогранні архітектури, що складаються з передових камер, надійного управління даними та

складної мережевої інфраструктури. Їхня постійна еволюція, зумовлена технологічними інноваціями, такими як штучний інтелект, зображення високої чіткості та аналітика в режимі реального часу, значно розширила можливості управління безпекою та операційною діяльністю в транспортних мережах. Ці системи виконують життєво важливі функції в управлінні дорожнім рухом, запобіганні злочинності та аналізі інцидентів, сприяючи безпечнішій та ефективнішій мобільності. Однак їх розгортання також створює значні проблеми, включаючи проблеми конфіденційності, високі витрати на інфраструктуру та проблеми сумісності, які вимагають ретельного планування та регулювання. Дивлячись у майбутнє, інтеграція спостереження з ініціативами «розумного міста», технологією дронів та посиленими заходами кібербезпеки обіцяє ще більший прогрес. У міру розвитку цих розробок, збалансований підхід, який надає пріоритет технологічним інноваціям поряд з етичними та конфіденційними міркуваннями, буде важливим для використання їхнього повного потенціалу для безпечніших та розумніших транспортних екосистем [7].

1.3 Технічні характеристики та параметри вибору транспортних відеокамер

Дорожні камери стали невід'ємним компонентом сучасних систем управління транспортом, виконуючи такі критично важливі функції, як моніторинг потоків транспорту, правоохоронна діяльність та виявлення інцидентів. Оскільки міські центри продовжують розширюватися, а обсяг руху транспорту зростає, ефективність цих пристроїв спостереження залежить від їхніх технічних характеристик та критеріїв, що використовуються для їх вибору. Розуміння технічних характеристик дорожніх камер, різноманітності типів камер, що підходять для різних операційних потреб, та факторів навколишнього середовища, що впливають на їх розгортання, є важливим для транспортних агентств, які прагнуть оптимальної продуктивності.

Технічні характеристики дорожніх камер формують основу їхньої експлуатаційної ефективності та надійності. Одним з основних міркувань є роздільна здатність зображення, яка визначає чіткість та деталізацію захопленого відео; камери з високою роздільною здатністю, такі як 4K або вище, дозволяють детально ідентифікувати транспортні засоби та розпізнавати номерні знаки, що є критично важливим для правоохоронних цілей та розслідувань. У поєднанні з високою частотою кадрів — зазвичай 30 кадрів на секунду або вище — ці камери можуть ефективно записувати швидкий рух транспорту без розмиття руху, забезпечуючи плавний та точний аналіз відео. Поле зору, яке часто визначається типом об'єктива, впливає на те, яку площу може охопити камера; ширококутні об'єктиви підходять для широких перехресть, тоді як телеоб'єктиви є кращими для моніторингу певних смуг руху або об'єктів. Вибір між фіксованими об'єктивами та варіофокальними або зум-об'єктивами пропонує гнучкість в охопленні. Крім того, світлочутливість життєво важлива для підтримки якості зображення за різних умов освітлення, включаючи світанок, сутінки та відблиски від фар. Передові датчики та технології обробки зображень дозволяють камерам адаптуватися до різних умов освітлення, зменшуючи шум та покращуючи видимість у нічний час або за несприятливої погоди, тим самим забезпечуючи цілодобове спостереження. Існує різноманітний спектр дорожніх камер, кожна з яких призначена для виконання певних функцій моніторингу в транспортних системах. Стаціонарні камери відеоспостереження є найпоширенішими та встановлюються у стратегічних точках для забезпечення безперервного спостереження за дорожніми умовами в режимі реального часу, що дозволяє органам влади оперативно виявляти затори, аварії або порушення. Їхнє фіксоване положення та широке покриття роблять їх надійними робочими конячками для послідовного збору даних [8].

Ефективність дорожніх камер у сучасних системах управління безпосередньо залежить від їхніх технічних характеристик та відповідності критеріям вибору для конкретних операційних потреб. Оскільки обсяги руху в міських центрах постійно зростають, параметри обладнання повинні забезпечувати максимальну чіткість та

надійність отриманих даних. Ключові технічні параметри, що визначають вибір пристроїв спостереження, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічні критерії та параметри вибору відеокамер для транспортних мереж

Параметр	Технічна вимога / Значення	Експлуатаційне значення
Роздільна здатність	4K або вище	Детальна ідентифікація осіб та розпізнавання номерних знаків
Частота кадрів	≥30 fps	Запис швидкого руху без розмиття (motion blur)
Оптична система	Варіофокальні або телеоб’єктиви	Гнучкість в охопленні певних смуг руху або перехресть
Світлочутливість	Датчики слабкого освітлення, ІЧ/Тепловізори	Забезпечення видимості вночі, в тумані або при відблисках фар
Захист (Durability)	Стандарт IP (Ingress Protection)	Стійкість до вібрацій, опадів та екстремальних температур

Одним із першочергових факторів є роздільна здатність та швидкість зйомки. Камери з високою частотою кадрів дозволяють здійснювати точний аналіз відео без спотворень, що критично важливо для правоохоронних цілей та розслідування інцидентів. Окрім того, важливу роль відіграє поле зору, яке регулюється типом об'єктива: від ширококутних для перехресть до телеоб'єктивів для моніторингу конкретних об’єктів [9].

Вибір конкретного типу камери (стаціонарної, PTZ чи тепловізійної) залежить від стратегії розміщення та умов освітлення. Наприклад, поворотно-нахилно-зумові (PTZ) камери надають можливість динамічного спостереження за інцидентами з високою точністю. Важливим параметром є також сумісність із наявною інфраструктурою (комунікаційні мережі та системи зберігання), що забезпечує безперебійний обмін даними та масштабованість системи в майбутньому.

Зрештою, стійкість до факторів зовнішнього середовища, таких як вібрація, забруднення та погодні умови, гарантує довгострокову експлуатаційну надійність всієї мережі спостереження. Балансування технічних параметрів із бюджетними

обмеженнями дозволяє транспортним агентствам впроваджувати спеціалізовані рішення, що оптимізують безпеку та мобільність міського населення.

На противагу цьому, мобільні та поворотно-нахилно-зумові (PTZ) камери пропонують можливості динамічного спостереження, дозволяючи операторам зосереджуватися на конкретних інцидентах або областях інтересу з точністю. PTZ-камери можуть обертатися та масштабуватися дистанційно, що сприяє цілеспрямованим перевіркам аварій або підозрілої діяльності, і особливо корисні на великих перехрестях або складних дорожніх мережах. Інфрачервоні та тепловізійні камери розширюють можливості спостереження вночі та в умовах низької видимості. Інфрачервоні камери використовують ближнє інфрачервоне світло для створення чітких зображень у темряві, тоді як тепловізійні камери виявляють теплові сигнатури, що робить їх дуже ефективними для ідентифікації транспортних засобів або осіб у тумані, димі або в нічний час. Ці спеціалізовані типи камер підвищують комплексність моніторингу дорожнього руху, забезпечуючи безпеку та підтримку потоку руху в різних операційних сценаріях. Вибір відповідної дорожньої камери передбачає ретельне врахування факторів навколишнього середовища та інфраструктури для забезпечення довговічності, ефективності та інтеграції. Стійкість до погодних умов та дотримання стандартів довговічності, таких як IP (ступінь захисту від проникнення), є критично важливими, особливо в регіонах, схильних до суворих погодних умов, таких як сильний дощ, сніг або екстремальні температури. Камери повинні витримувати вплив навколишнього середовища без погіршення якості зображення чи функціональності. Для районів з високою щільністю руху або заторами камери з високою обчислювальною потужністю та ширшим покриттям є важливими для обробки збільшеного навантаження даних та запобігання утворенню сліпих зон. Крім того, здатність адаптуватися до конкретних вимог навколишнього середовища, таких як вібрація, забруднення або електромагнітні перешкоди, є життєво важливою для довгострокової експлуатаційної надійності.

Сумісність з існуючою інфраструктурою управління дорожнім рухом, включаючи комунікаційні мережі, системи зберігання даних та центри управління,

є ще одним важливим параметром. Інтеграція забезпечує безперебійний обмін даними та прийняття рішень у режимі реального часу, що підвищує загальну ефективність системи. Наприклад, вибір камер зі стандартизованими інтерфейсами та масштабованою архітектурою дозволяє транспортним агентствам модернізувати або розширювати свої мережі спостереження без значної реконфігурації, тим самим максимізуючи інвестиційну цінність та операційну гнучкість. Вибір дорожніх камер для конкретних застосувань залежить від чіткого розуміння основних цілей та експлуатаційних вимог транспортної системи. Наприклад, якщо основною метою є аналіз потоку транспорту для оптимізації часу сигналізації та зменшення заторів, камери з широкою зоною покриття та зображенням високої роздільної здатності є важливими для фіксації комплексних схем руху на кількох смугах руху та перехрестях.

І навпаки, для цілей правоохоронних органів, таких як розпізнавання номерних знаків або виявлення порушень, камери повинні бути здатні знімати високоякісні зображення на високих швидкостях, що часто вимагає спеціалізованого обладнання з покращеними можливостями масштабування та швидкої обробки зображень. Сценарії виявлення інцидентів вимагають стратегічно розміщених камер у критичних точках, таких як гарячі точки аварій або зони будівництва, для забезпечення швидкого реагування. Стратегії розміщення також впливають на вибір камер; стаціонарні камери підходять для статичних зон з високою інтенсивністю руху, тоді як мобільні або PTZ-камери можна використовувати для цільових перевірок або тимчасового моніторингу. Вартість, включаючи початкові інвестиції, експлуатаційні витрати та вимоги до обслуговування, відіграє значну роль у прийнятті рішень. Камери з надійною якістю збірки та низькими потребами в обслуговуванні є кращими в середовищах з обмеженою доступністю або суворими погодними умовами. Зрештою, балансування цих факторів дозволяє транспортним агентствам розгортати спеціалізовану мережу спостереження, яка відповідає їхнім конкретним операційним цілям та бюджетним обмеженням, забезпечуючи оптимальну продуктивність та економічну ефективність [10].

Нові технологічні тенденції готові змінити ландшафт систем дорожніх камер, зробивши їх більш інтегрованими, інтелектуальними та ефективними. Одним із помітних подій є інтеграція дорожніх камер у ширшу інфраструктуру розумного міста, де потоки даних у режимі реального часу безперешкодно інтегруються з центрами управління дорожнім рухом, системами реагування на надзвичайні ситуації та інструментами міського планування. Цей взаємопов'язаний підхід забезпечує більш динамічний контроль дорожнього руху, прогнозну аналітику та покращення міської мобільності. Крім того, досягнення в галузі штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання дозволяють дорожнім камерам виконувати аналіз записаного матеріалу в режимі реального часу, такий як автоматична класифікація транспортних засобів, виявлення заторів та ідентифікація аномалій. Ці можливості значно зменшують потребу в ручному моніторингу та пришвидшують процеси прийняття рішень. Прогрес у сенсорних технологіях також сприяє мініатюризації та підвищенню чутливості, що дозволяє розгортати менші, універсальніші камери, які можна інтегрувати в різні міські середовища без візуального загородження. Покращення довговічності, енергоефективності та бездротового підключення ще більше розширюють їхню функціональність. З розвитком цих технологій очікується, що дорожні камери стануть більш адаптивними, інтелектуальними та невід'ємною частиною розвитку розумніших, безпечніших та стійкіших транспортних мереж.

Дорожні камери є життєво важливими інструментами в сучасних транспортних системах, а їхня ефективність залежить від поєднання технічних характеристик, різноманітних типів та ретельного вибору на основі екологічних та експлуатаційних параметрів. Зображення з високою роздільною здатністю, відповідний вибір об'єктивів та чутливість до умов освітлення забезпечують надійну роботу в різних сценаріях. Різноманітність типів камер — фіксовані, PTZ, інфрачервоні та тепловізійні — задовольняє конкретні потреби моніторингу, тоді як врахування стійкості до погодних умов, довговічності та сумісності з інфраструктурою є вирішальними для довгострокового розгортання. Під час вибору камер для конкретних застосувань такі фактори, як зона покриття, цілі та

економічна ефективність, спрямовують оптимальне прийняття рішень. Заглядаючи в майбутнє, технологічні інновації, такі як інтеграція з інфраструктурами розумного міста, аналіз на основі штучного інтелекту та вдосконалення датчиків, обіцяють підвищити можливості дорожніх камер, зробивши міську мобільність безпечнішою та ефективнішою. Оскільки ці системи стають більш досконалими та взаємопов'язаними, вони відіграватимуть дедалі більшу роль у формуванні інтелектуальних транспортних мереж, які відповідають потребам зростаючого міського населення.

1.4 Засоби зберігання, передавання та обробки відеоданих у транспорті

Поширення цифрового відеоконтенту змінило способи зберігання, передачі та обробки інформації в різних секторах, включаючи розваги, зв'язок та спостереження. Оскільки відеодані стають дедалі більш невід'ємною частиною повсякденного життя, розуміння методів, що використовуються для управління цими даними, є надзвичайно важливим [11].

Методи зберігання відеоданих різноманітні, кожен з яких пропонує унікальні переваги, що підходять для різних застосувань та масштабів. Жорсткі диски (HDD) та твердотільні накопичувачі (SSD) є основними апаратними компонентами, що використовуються для локального зберігання. Жорсткі диски з їхньою технологією магнітного зберігання забезпечують економічно ефективні рішення для великих обсягів даних, що робить їх придатними для центрів обробки даних та особистих архівів; однак, вони мають нижчу швидкість читання/запису порівняно з SSD, які використовують флеш-пам'ять, що забезпечує швидкий доступ до даних та довговічність, що має вирішальне значення для редагування, трансляції та програм реального часу. Хмарні рішення для зберігання даних здобули популярність як гнучкі, масштабовані варіанти, що дозволяють користувачам зберігати та отримувати доступ до відеоконтенту віддалено через Інтернет. Хмарні платформи, такі як Amazon Web Services, Google Cloud та Microsoft Azure, дозволяють потокове передавання, резервне копіювання та співпрацю, зменшуючи потребу у фізичній

інфраструктурі. Крім того, фізичні носії, такі як Blu-ray диски та DVD, все ще залишаються актуальними, особливо для цілей розповсюдження та архівування, завдяки своїй високій ємності та довговічності. Ці носії забезпечують відчутний та портативний спосіб зберігання відео високої чіткості, що є важливим для творців контенту та споживачів, які віддають перевагу фізичному володінню або потребують офлайн-доступу. Вибір методу зберігання залежить від таких факторів, як вартість, швидкість доступу, масштабованість та безпека, що відображають різноманітні потреби управління відеоданими.

Управління відеоданими в сучасних транспортних системах охоплює складну взаємодію методів зберігання, передачі та обробки інформації. Вибір засобів для кожного з цих етапів безпосередньо впливає на доступність, якість та безпеку цифрового контенту. Основні технологічні рішення та їхні характеристики наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика технологій управління відеоданими в транспортних системах

Категорія	Технології та методи	Ключові характеристики та переваги
Зберігання	HDD, SSD, Хмарні рішення	HDD забезпечують велику ємність за низьку ціну; SSD — швидкий доступ та довговічність; Хмара — масштабованість та віддалений доступ.
Передача (Протоколи)	RTMP, HLS	RTMP забезпечує низьку затримку для прямого ефіру; HLS адаптує якість відео під умови мережі.
Стиснення (Кодеки)	H.264 (AVC), H.265 (HEVC)	HEVC зменшує розмір даних на 50% порівняно з H.264 при збереженні високої якості.
Мережева база	5G, Wi-Fi 6, Оптоволокно	Забезпечують високу швидкість та низьку затримку для передачі відео високої чіткості.
Обробка	Периферійні обчислення, GPU-прискорення	Мінімізація затримок через локальну обробку на периферії мережі та швидке кодування.

Ефективне зберігання даних базується на балансі між вартістю та швидкістю доступу. Твердотільні накопичувачі (SSD) є пріоритетними для програм реального

часу завдяки своїй довговічності, тоді як хмарні платформи дозволяють зменшити потребу у фізичній інфраструктурі та спрощують співпрацю. Передача даних вимагає використання сучасних протоколів, таких як RTMP для низької затримки та HLS для адаптивної трансляції, що особливо важливо в умовах мобільних мереж 4G/5G.

Процеси обробки відеоданих, що включають кодування та аналітику, зазнали значних змін завдяки впровадженню алгоритмів стиснення HEVC (H.265). Цей стандарт дозволяє значно зменшити вимоги до пропускної здатності, що є критичним для трансляції контенту високої чіткості через обмежені канали зв'язку. Використання периферійних обчислень (edge computing) дозволяє обробляти дані локально, що мінімізує використання мережевих ресурсів та пришвидшує прийняття рішень у критичних ситуаціях, наприклад, в автономних транспортних засобах [12].

Незважаючи на технологічний прогрес, основними викликами залишаються підтримка якості під час стиснення, мінімізація затримок та забезпечення кібербезпеки. Інтеграція новітніх технологій, таких як штучний інтелект та блокчейн, відкриває перспективи для створення ще більш адаптивних та захищених систем управління відеоданими.

Ефективна передача відеоданих через мережі передбачає складні протоколи та інфраструктуру, розроблені для оптимізації якості та мінімізації споживання пропускної здатності. Протоколи потокової передачі, такі як протокол обміну повідомленнями в реальному часі (RTMP) та HTTP Live Streaming (HLS), стали стандартом для доставки відеоконтенту в реальному часі та на вимогу. RTMP, спочатку розроблений Adobe, дозволяє потокову передачу з низькою затримкою, що робить його ідеальним для прямих трансляцій, тоді як HLS, розроблений Apple, сегментує відеопотоки на невеликі фрагменти, що передаються через HTTP, що сприяє адаптивній потоковій передачі з бітрейтом, яка регулює якість залежно від умов мережі. Для подальшого підвищення ефективності передачі використовуються вдосконалені алгоритми стиснення, такі як H.264 (AVC) та високоефективне кодування відео (HEVC або H.265). Ці стандарти значно

зменшують розміри файлів, зберігаючи при цьому високу якість зображення, що є важливим для середовищ з обмеженою пропускною здатністю, таких як мобільні мережі.

Сама мережева інфраструктура відіграє ключову роль; Оптоволоконні мережі забезпечують високошвидкісні з'єднання з низькою затримкою, придатні для передачі відео високої чіткості, тоді як поява мереж 4G та 5G розширила можливості потокового відео з мобільних пристроїв завдяки збільшенню швидкості та зниженню затримки. Мережі Wi-Fi, особливо ті, що використовують найновіші стандарти (наприклад, Wi-Fi 6), сприяють локальній передачі з високою пропускною здатністю. Разом ці методи передачі та досягнення інфраструктури забезпечили широку доступність високоякісного відеоконтенту на різних пристроях, підтримуючи як розважальні, так і критично важливі комунікаційні потреби.

Обробка відеоданих охоплює кодування, декодування, стиснення та аналітику в режимі реального часу, всі з яких життєво важливі для забезпечення якості, ефективності та інтерактивності. Кодування відео включає перетворення необробленого відеоматеріалу в стиснуті цифрові формати, придатні для зберігання та передачі, з використанням кодеків, які балансують між якістю та розміром файлу. Декодування – це зворотний процес, що дозволяє пристроям реконструювати оригінальне відео для перегляду або редагування. Вибір стандартів стиснення, таких як H.264 або HEVC, безпосередньо впливає на якість відео та вимоги до зберігання; Наприклад, HEVC може зменшити розмір даних приблизно на 50% порівняно з H.264 за аналогічних рівнів якості, що є критично важливим для потокової передачі контенту високої чіткості через обмежену пропускну здатність. Технології обробки в реальному часі, включаючи прискорення GPU та периферійні обчислення, революціонізували аналітику відео в реальному часі, відеоспостереження та інтерактивне мовлення. Прискорення GPU дозволяє швидко кодувати та декодувати, зменшуючи затримку та покращуючи якість, тоді як периферійні обчислення обробляють дані локально на периферії мережі, мінімізуючи затримки та використання пропускної здатності. Ці досягнення

особливо важливі в таких застосунках, як автономні транспортні засоби, де аналіз відео в реальному часі допомагає прийняти рішення, або в прямих спортивних трансляціях, де мінімальна затримка є критично важливою. Оскільки технології обробки продовжують розвиватися, їх інтеграція в робочі процеси з відео підвищує можливості високоякісної взаємодії в реальному часі на зростаючому спектрі платформ та пристроїв [13].

Процес управління відеоданими в транспортних мережах являє собою багаторівневу технологічну послідовність, що інтегрує засоби обробки, передачі та архівації (рис. 1.4). На початковому етапі ключовим є кодування відео — перетворення необробленого матеріалу в цифрові формати за допомогою кодеків, таких як H.264 або HEVC. Використання стандарту HEVC (H.265) дозволяє знизити обсяг даних приблизно на 50% при збереженні високої якості. Для мінімізації затримок у критично важливих програмах, наприклад, в автономному транспорті, впроваджуються периферійні обчислення (edge computing), які обробляють інформацію безпосередньо на місці збору.

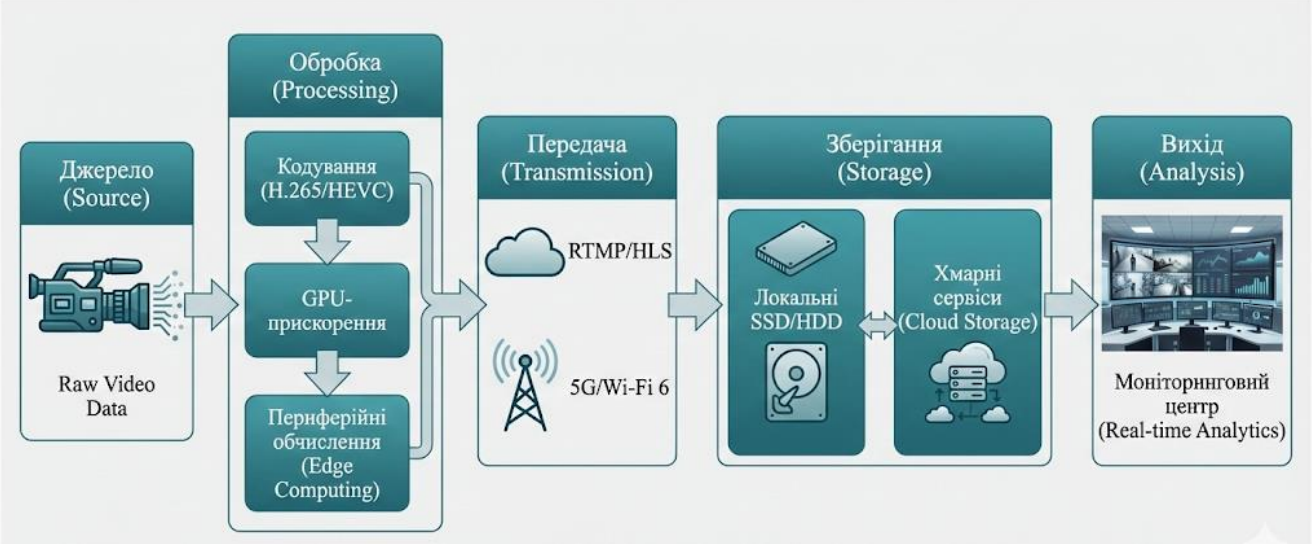


Рис. 1.4 Схема технологічного циклу управління відеоданими: від локальної обробки до хмарного зберігання

Передача стиснутого контенту здійснюється через високошвидкісні мережі Wi-Fi 6 або 5G, що забезпечують низьку затримку. Для прямої трансляції відео

використовуються протоколи RTMP або HLS, де останній адаптує бітрейт залежно від пропускної здатності мережі.

Зберігання даних реалізується за допомогою комбінованого підходу:

Локальні накопичувачі: Жорсткі диски (HDD) забезпечують велику ємність за помірну ціну , тоді як твердотільні накопичувачі (SSD) гарантують швидкий доступ та стійкість до вібрацій у транспорті.

Хмарні рішення: Платформи на кшталт Amazon Web Services або Google Cloud забезпечують масштабоване зберігання та можливість віддаленого доступу до архівів через Інтернет.

У перспективі безпека та автентичність цих даних можуть бути посилені за допомогою технології блокчейн, яка забезпечує захист від несанкціонованого доступу до відеоматеріалів.

Незважаючи на вражаючі досягнення у зберіганні, передачі та обробці відеоданих, залишається кілька суттєвих проблем, які впливають на ефективність та безпеку цих методів. Однією з основних проблем є підтримка якості відео під час стиснення та передачі. Алгоритми стиснення за своєю суттю передбачають компроміс між зменшенням розміру файлу та збереженням візуальної точності; Надмірне стиснення може призвести до артефактів та погіршення якості зображення, що особливо проблематично для застосувань, що вимагають високої точності, таких як медична візуалізація або професійне мовлення. Під час передачі невідповідності мережі та обмеження пропускної здатності можуть ще більше погіршити якість, особливо під час прямої трансляції. Проблеми із затримкою також створюють серйозну перешкоду для потокової передачі відео в реальному часі, впливаючи на взаємодію з користувачем та продуктивність критично важливих програм, таких як віддалені операції, онлайн-ігри або прямі трансляції. Висока затримка може спричинити затримки, що зменшують інтерактивність та синхронізацію, часто через перевантаження мережі або неефективну маршрутизацію. Крім того, проблеми безпеки даних та конфіденційності стають дедалі більш помітними, оскільки величезні обсяги відеоданих перетинають мережі та зберігаються в хмарних середовищах. Несанкціонований доступ, злом та

порушення даних загрожують конфіденційному контенту, особливо під час спостереження або конфіденційного зв'язку. Забезпечення шифрування, безпечних протоколів доступу та дотримання правил конфіденційності є важливим для захисту відеоданих від зловмисних загроз та несанкціонованого спостереження. Вирішення цих проблем вимагає постійних технологічних інновацій та суворих заходів безпеки для забезпечення високоякісної, безпечної та низькозатримкової доставки відео у все більш взаємопов'язаному світі. Новітні технології готові революціонізувати ландшафт управління відеоданими, пропонуючи інноваційні рішення для існуючих проблем та відкриваючи нові можливості для майбутніх застосувань.

Штучний інтелект (ШІ) відіграє вирішальну роль у покращенні адаптивного потокового передавання, де алгоритми машинного навчання аналізують стан мережі в режимі реального часу та налаштування користувачів, щоб динамічно регулювати якість відео, забезпечуючи плавне відтворення без буферизації або погіршення якості. Аналітика на основі ШІ також дозволяє виконувати складне розпізнавання контенту, виявлення об'єктів та автоматизоване редагування, значно підвищуючи ефективність управління контентом та спостереження за безпекою. Технологія блокчейн відкриває перспективні шляхи для захисту транзакцій відеоданих, забезпечуючи децентралізований та захищений від несанкціонованого доступу реєстр, який гарантує автентичність та цілісність відеоконтенту. Це особливо актуально для управління цифровими правами, відстеження роялті та перевірки походження відеоматеріалів у юридичному чи журналістському контексті. Крім того, досягнення в квантових обчисленнях, хоча й перебувають на початковій стадії, мають потенціал для значного пришвидшення методів обробки даних та шифрування. Квантові алгоритми можуть забезпечити майже миттєвий аналіз даних та надійні протоколи безпеки, стійкі до традиційних методів злому. Очікується, що в міру розвитку цих нових технологій вони докорінно змінять те, як ми зберігаємо, передаємо та обробляємо відеодані, роблячи системи більш інтелектуальними, безпечними та ефективними, а також прокладаючи шлях для

таких інновацій, як повноцінне занурення у віртуальну реальність та надбезпечний високошвидкісний обмін даними.

Управління відеоданими охоплює складну взаємодію методів зберігання, передачі та обробки, кожен з яких життєво важливий для забезпечення доступності, якості та безпеки цифрового відеоконтенту. Методи зберігання, такі як жорсткі диски (HDD), твердотільні накопичувачі (SSD), хмарні рішення та фізичні носії, задовольняють різноманітні потреби, балансуючи такі фактори, як вартість, швидкість та масштабованість. Методи передачі, включаючи протоколи потокової передачі, алгоритми стиснення та розширену мережеву інфраструктуру, сприяють доставці високоякісного контенту на різні пристрої та в різних середовищах. Тим часом технології обробки, такі як стандарти кодування та аналітика в режимі реального часу, лежать в основі функціональності та інтерактивності сучасних відеододатків. Однак ці досягнення супроводжуються такими проблемами, як підтримка якості під час стиснення, мінімізація затримки та захист конфіденційності даних. Поява нових технологій, таких як штучний інтелект, блокчейн та квантові обчислення, пропонує перспективні рішення цих проблем, натякаючи на майбутнє, де управління відеоданими стане більш адаптивним, безпечним та ефективним. Оскільки технології продовжують розвиватися, вони, безсумнівно, формуватимуть те, як ми зберігаємо, передаємо та обробляємо відеодані, що призведе до багатшого, більш захопливого та безпечнішого візуального досвіду в усьому світі [14].

2 МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВІДЕОНАГЛЯДУ В ТРАНСПОРТНИХ УМОВАХ

2.1 Оптимізація параметрів відеопотоку для умов руху та змінного освітлення

У швидкозмінному ландшафті цифрових комунікацій та спостереження якість та надійність потокового відео мають першорядне значення. Оскільки відеододатки стають дедалі важливішими для управління дорожнім рухом, безпеки та моніторингу в режимі реального часу, оптимізація параметрів потоку у відповідь на коливання умов навколишнього середовища набула критичного значення. Двома важливими факторами, що впливають на якість відео, є дорожні умови, які впливають на передачу даних, та коливання освітлення, які впливають на чіткість зображення [15].

Умови дорожнього руху мають суттєвий вплив на якість потокового відео, головним чином через їх вплив на доступність пропускної здатності та затримку. У перевантажених мережевих середовищах, що є поширеним явищем у години пік або в густонаселених районах, пропускна здатність стає дефіцитним ресурсом, що призводить до збільшення затримки та потенційної втрати пакетів даних. Наприклад, у години пік перевантаження мережі може спричиняти часту буферизацію та зниження роздільної здатності, погіршуючи роботу систем спостереження за дорожнім рухом або навігації в режимі реального часу. Коливання щільності трафіку, такі як раптові затори або прогалини, ще більше ускладнюють стабільність потокової передачі, оскільки мережа повинна постійно адаптуватися до змін потоку даних. Для вирішення цих проблем були розроблені адаптивні методи потокової передачі, такі як динамічна адаптивна потокова передача через HTTP (DASH), які дозволяють відеоплеєру налаштовувати параметри якості на льоту на основі оцінок пропускної здатності в режимі реального часу.

Умови дорожнього руху суттєво впливають на стабільність передачі відеоданих через обмеження пропускної здатності та збільшення затримки,

особливо у густонаселених районах або під час годин пік. Перевантаження мережі у такі періоди призводить до частої буферизації та втрати пакетів, що критично для систем моніторингу в режимі реального часу.

Ефективним рішенням для підтримки безперервного відтворення за умов коливань мережевих ресурсів є впровадження методів адаптивної потокової передачі, зокрема алгоритму DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) (рис. 2.1). Основний механізм роботи цієї технології полягає у динамічному регулюванні бітрейту та роздільної здатності відеопотоку на основі поточної оцінки стану каналу зв'язку.

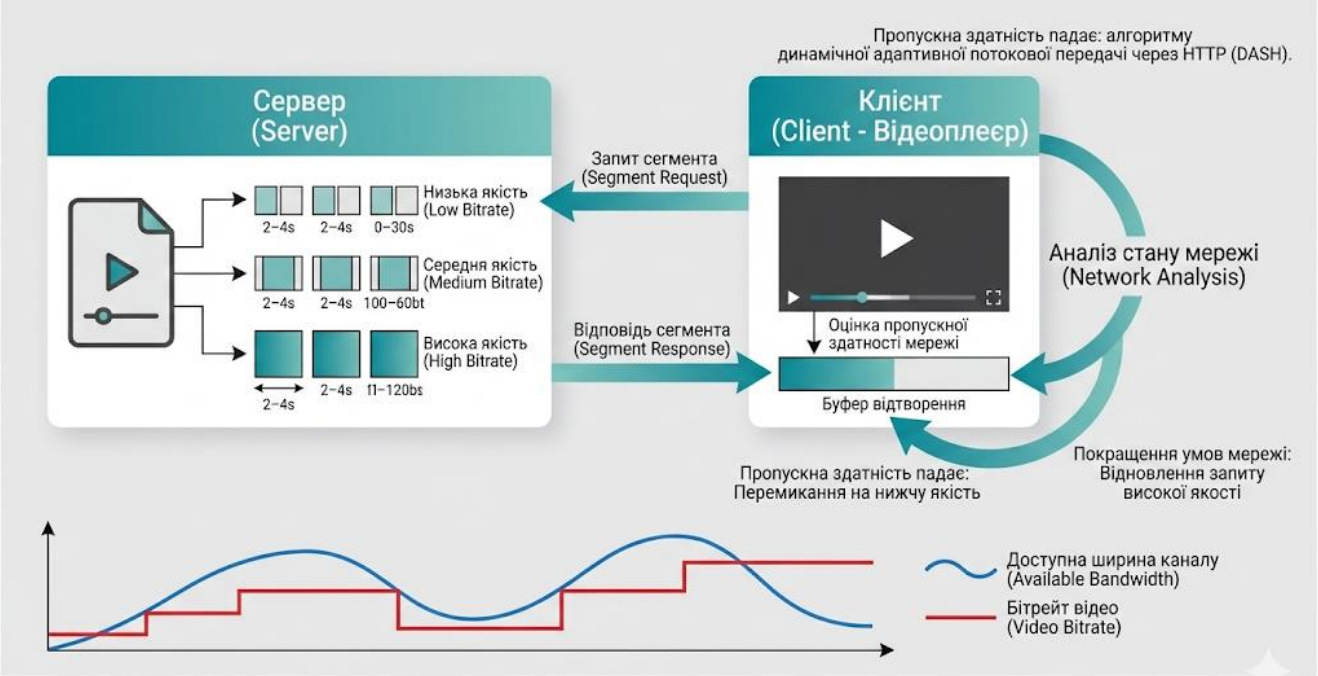


Рис. 2.1 Схема функціонування алгоритму динамічної адаптивної потокової передачі через HTTP (DASH)

Наприклад, при виявленні раптового затору в мережі система відеонагляду може автоматично знизити роздільну здатність, що дозволяє уникнути зупинки трансляції, зберігаючи при цьому загальну стабільність потоку. Як тільки умови зв'язку покращуються, алгоритм відновлює високу якість зображення, забезпечуючи детальну фіксацію подій.

Застосування таких багаторівневих адаптивних стратегій у поєднанні з прогнозними моделями машинного навчання дозволяє превентивно коригувати налаштування системи. Це гарантує надійність відеоспостереження у високодинамічних транспортних середовищах, дозволяючи збалансувати навантаження на мережу та необхідну чіткість зображення для аналізу й прийняття рішень.

Динамічно змінюючи бітрейт та роздільну здатність, ці методи мінімізують перебої, забезпечуючи безперервне відтворення навіть за умов коливань дорожнього руху. Крім того, впровадження рішень для периферійних обчислень може локалізувати обробку даних, зменшуючи затримку та полегшуючи навантаження на мережу, тим самим підтримуючи стабільність потоку під час стрибків трафіку. Зміна умов освітлення створює значні труднощі для підтримки високої якості зображення у відеопотоках, особливо на відкритому повітрі, де освітленість змінюється протягом дня, або в приміщенні з нестабільним освітленням.

Наприклад, у умовах низької освітленості зображення може бути зернистим, розмитим, що перешкоджає точній інтерпретації, як це видно на нічних дорожніх камерах або в системах безпеки. І навпаки, сцени з високою контрастністю, такі як яскраве сонячне світло, що відбивається від поверхонь, або різкі переходи від темних тунелів до яскравого зовнішнього світла, можуть призвести до переекспонування або втрати деталей у світлих і тінях. Для боротьби з цими проблемами використовуються динамічні налаштування яскравості та контрастності, що дозволяє камерам автоматично калібрувати налаштування відповідно до рівня навколишнього освітлення. Такі технології, як зображення з широким динамічним діапазоном (HDR), ще більше покращують видимість, захоплюючи кілька експозицій та поєднуючи їх для створення збалансованих зображень. Інфрачервоне (ІЧ) підсвічування також широко використовується в камерах безпеки для освітлення сцен у повній темряві без видимого світла, тим самим покращуючи чіткість зображення, не попереджаючи зловмисників і не спричиняючи відблисків.

Ці досягнення дозволяють відеосистемам безперешкодно адаптуватися до зміни освітлення, зберігаючи якість зображення для аналізу та прийняття рішень. У високодинамічних середовищах, що характеризуються коливаннями дорожнього руху та умов освітлення, оптимізація параметрів відеопотоку в режимі реального часу є важливою для підтримки балансу між якістю та ефективністю використання пропускної здатності. Сучасні потокові рішення використовують алгоритми, які постійно відстежують зворотний зв'язок щодо навколишнього середовища, такий як пропускна здатність мережі, рівень освітлення та виявлення руху, для миттєвого налаштування таких параметрів, як бітрейт, роздільна здатність та частота кадрів. Наприклад, система дорожніх камер може автоматично знижувати роздільну здатність під час перевантаження мережі, але відновлювати високу якість, коли умови покращуються, забезпечуючи захоплення критично важливих деталей без шкоди для загальної стабільності потоку. Впровадження адаптивних алгоритмів, включаючи моделі на основі машинного навчання, покращує цей процес, прогнозуючи зміни навколишнього середовища та превентивно коригуючи налаштування для запобігання буферизації або погіршення якості зображення. Досягнення правильного балансу передбачає ретельне управління використанням пропускної здатності, зберігаючи при цьому достатню деталізацію для аналізу; надмірне стиснення може призвести до втрати життєво важливої інформації, тоді як надмірно високі налаштування якості ризикують спричинити буферизацію або перевантаження даними. Отже, інтеграція багаторівневих адаптивних стратегій гарантує, що відеопотоки залишатимуться надійними та чіткими, незалежно від мінливості навколишнього середовища, що має вирішальне значення для таких застосувань, як моніторинг дорожнього руху, відеоспостереження та інфраструктура розумного міста [16].

Для ефективного подолання викликів, спричинених мінливістю навколишнього середовища, були розроблені технологічні рішення для прогнозування та проактивної адаптації до змінних умов. Моделі машинного навчання відіграють ключову роль у прогнозуванні коливань щільності трафіку та рівня освітлення, аналізуючи історичні дані та дані в режимі реального часу, що

дозволяє системам коригувати параметри потокової передачі до того, як виникнуть перебої. Наприклад, прогностичні алгоритми можуть прогнозувати періоди пікового трафіку або майбутні сценарії низької освітленості, дозволяючи камерам та потоковим сервісам превентивно змінювати налаштування бітрейту, роздільної здатності або освітлення. Крім того, інтеграція даних датчиків, таких як датчики потоку трафіку, датчики навколишнього освітлення та інформація про погоду, ще більше підвищує швидкість реагування системи, надаючи детальний зворотний зв'язок про навколишнє середовище в режимі реального часу. Таке об'єднання датчиків підтримує точніші налаштування, зменшуючи залежність від реактивних заходів та мінімізуючи затримку адаптації. Крім того, розробка надійних кодеків, здатних обробляти різноманітні умови, є надзвичайно важливою; передові кодеки, такі як H.265/HEVC та AV1, призначені для ефективного стиснення високоякісних відеопотоків без втрати деталей, навіть за поганого освітлення або перевантажених мережевих середовищ. Ці кодеки включають функції стійкості до помилок та адаптивні методи стиснення, які підтримують цілісність відео в широкому спектрі сценаріїв навколишнього середовища, забезпечуючи надійну передачу та високоякісне відтворення незалежно від зовнішніх факторів.

Оцінка та постійне вдосконалення методів оптимізації відеопотоку вимагають застосування чітко визначених показників, які відображають продуктивність системи за різних умов. Для систем транспортного моніторингу важливо підтримувати баланс між візуальною чіткістю зображення та стабільністю його передачі через мобільні мережі. Основні критерії оцінки, що використовуються для аналізу ефективності адаптивних алгоритмів, наведено в табл. 2.1 [17].

Водночас показники мережевої стабільності, як-от затримка та частота буферизації, безпосередньо впливають на оперативність реагування у системах безпеки. Низька затримка є критично важливою у системах управління трафіком, де запізнення інформації навіть на кілька секунд може призвести до неможливості запобігти аварійній ситуації. Використання адаптивних методів, таких як DASH,

дозволяє динамічно змінювати параметри потоку на основі зворотного зв'язку про ці показники в режимі реального часу, мінімізуючи перебої у відтворенні.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика метрик якості відео та параметрів мережевої стабільності

Категорія	Метрика / Параметр	Опис та значення для оптимізації
Якість відео (VQA)	PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)	Визначає рівень візуальної точності та наявність артефактів стиснення.
	SSIM (Structural Similarity Index)	Оцінює структурну подібність кадрів, що важливо для розпізнавання об'єктів.
Мережева стабільність	Затримка (Latency)	Визначає швидкість реагування системи в реальному часі; критична для безпеки.
	Частота буферизації (Buffering Rate)	Показує стабільність відтворення; висока частота свідчить про перевантаження мережі.
	Час запуску (Startup Time)	Швидкість ініціалізації відеопотоку після запиту користувача або спрацювання датчика.

Інтеграція аналітики на основі машинного навчання дозволяє не лише моніторити ці параметри, а й прогнозувати їх погіршення, превентивно коригуючи бітрейт або роздільну здатність для збереження цілісності відеопотоку в умовах високої щільності трафіку або поганого освітлення.

Оцінка та постійне вдосконалення оптимізації відеопотоку вимагає чітко визначених показників, які точно відображають продуктивність за різних умов навколишнього середовища. Критерії оцінки якості відео часто включають роздільну здатність, різкість, точність кольору та наявність артефактів, які разом визначають чіткість та корисність відзнятого матеріалу. Кількісні показники, такі як пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR) та індекс структурної подібності (SSIM), забезпечують стандартизовані показники візуальної точності, що дозволяє проводити систематичні порівняння в різних налаштуваннях та умовах. Крім того, показники вимірювання затримки, частоти буферизації та часу запуску є життєво важливими для оцінки швидкості реагування потокових систем у режимі реального

часу, що безпосередньо впливає на користувацький досвід та операційну ефективність. Низька затримка та мінімальна буферизація особливо важливі в системах управління трафіком та безпеки, де своєчасна інформація може запобігти аваріям або порушенням безпеки. Для забезпечення постійної оптимізації важливо впроваджувати безперервний моніторинг та цикли зворотного зв'язку. Ці системи збирають дані про продуктивність під час роботи, виявляють закономірності деградації та автоматично запускають коригування параметрів потоку. Впровадження аналітики на основі машинного навчання дозволяє проводити прогнозне обслуговування та динамічне налаштування, що зрештою підвищує стійкість, надійність та якість відеопотоків у постійно мінливих середовищах.

Оптимізація параметрів відеопотоку в умовах дорожнього руху та змінного освітлення є багатогранним завданням, яке вимагає комплексного підходу. Умови дорожнього руху впливають на пропускну здатність та затримку, що вимагає адаптивних методів потокової передачі та локалізованих рішень для обробки для підтримки стабільності. Тим часом, зміна освітлення вимагає динамічних налаштувань, технологій HDR та допоміжних методів освітлення для збереження якості зображення. Використання передових технологічних рішень, таких як моделі машинного навчання, інтеграція датчиків та надійні кодеки, дозволяє системам передбачати та проактивно реагувати на коливання навколишнього середовища. Щоб забезпечити відчутні покращення, необхідна ретельна оцінка з використанням стандартизованих метрик якості відео, затримки та взаємодії з користувачем, що доповнюється механізмами постійного моніторингу та зворотного зв'язку. Разом ці стратегії утворюють стійку структуру, здатну забезпечувати високоякісні, надійні відеопотоки незалежно від зовнішніх умов, тим самим підтримуючи критично важливі програми в управлінні дорожнім рухом, безпеці та інфраструктурі розумного міста з більшою точністю та впевненістю.

2.2 Методи підвищення надійності та безперервності функціонування системи

Надійність та безперервність роботи системи є критично важливими факторами для забезпечення безперебійної роботи складних технологічних інфраструктур, особливо в таких секторах, як телекомунікації, виробництво та охорона здоров'я. Оскільки системи стають все більш складними та невід'ємною частиною щоденних операцій, необхідність запобігання збоям та мінімізації простоїв спонукала до розробки різних стратегій. Серед них виділяються три основні методи: впровадження систем резервування, впровадження надійної конструкції та відмовостійкості, а також розгортання моніторингу та діагностики в режимі реального часу. Кожен підхід пропонує чіткі переваги у забезпеченні цілісності системи, а за умови ефективної інтеграції вони утворюють комплексну основу для підвищення експлуатаційної надійності та забезпечення безперебійного обслуговування [18].

Однією з фундаментальних стратегій підвищення надійності системи є впровадження систем резервування, які передбачають інтеграцію резервних компонентів, що активуються, коли основні елементи виходять з ладу. Наприклад, у центрах обробки даних джерела живлення часто оснащені джерелами безперебійного живлення (ДБЖ) та резервними генераторами для забезпечення безперервної роботи під час відключень електроенергії. Аналогічно, критична мережева інфраструктура використовує резервні маршрутизатори та комутатори, налаштовані в режимах резервного перемикання, що гарантує, що якщо один пристрій зіткнеться з несправністю, трафік автоматично перенаправляється через альтернативні шляхи без переривання обслуговування. Паралельні системи додатково підвищують надійність, дозволяючи одночасну роботу дублікатів пристроїв, які можуть безперешкодно взяти на себе відповідальність, якщо один з них вийде з ладу, тим самим підтримуючи безперебійну функціональність. Регулярне тестування та обслуговування цих резервних систем є важливими для гарантії їхньої готовності; наприклад, планові навчання та системні аудити можуть

виявити потенційні слабкі місця до того, як станеться фактичний збій. Такий проактивний підхід допомагає запобігти неочікуваним поломкам, скорочує час простою системи та підвищує стійкість до непередбачуваних збоїв.

Забезпечення безперервної роботи складних інфраструктур відеонагляду потребує впровадження ефективних стратегій технічного обслуговування, які дозволяють мінімізувати простої та запобігати деградації компонентів. Вибір конкретного підходу залежить від критичності сегмента системи та доступних інструментів діагностики. Порівняльна характеристика основних стратегій, що застосовуються для підтримки надійності транспортних систем, наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Порівняльний аналіз стратегій технічного обслуговування систем відеонагляду

Стратегія	Метод реалізації	Переваги	Недоліки
Реактивне (Corrective)	Ремонт або заміна компонентів після їхнього фактичного виходу з ладу.	Відсутність витрат на попереднє планування; повне використання ресурсу.	Тривалі простої системи; ризик критичних збоїв у невідповідний момент.
Профілактичне (Preventive)	Проведення робіт через фіксовані інтервали часу або за графіком.	Зменшення ймовірності неочікуваних поломок; стабільність бюджету.	Можливість заміни справних деталей; не враховуються реальні умови експлуатації.
Прогнозне (Predictive)	Моніторинг параметрів (температура, вібрація) та аналітика даних.	Мінімізація простоїв; оптимізація розподілу ресурсів; подовження терміну служби.	Висока вартість датчиків; необхідність у складних алгоритмах обробки даних.

Надійна конструкція системи та відмовостійкість однаково важливі для забезпечення безперервної роботи, особливо в середовищах, де збої можуть мати серйозні наслідки. Проектування систем з можливістю обробки помилок дозволяє їм проактивно виявляти та керувати несправностями, запобігаючи переростанню

незначних проблем у катастрофічні збої. Наприклад, в аерокосмічній техніці відмовостійкі системи проектуються з резервними шляхами керування, так що якщо один шлях виходить з ладу, альтернативні шляхи автоматично беруть на себе керування, забезпечуючи безпеку та успіх місії. Включення механізмів виявлення та виправлення помилок, таких як циклічні перевірки резервування (CRC) під час передачі даних, дозволяє системам виявляти пошкоджені дані та ініціювати протоколи виправлення, тим самим зберігаючи цілісність та зменшуючи втрати даних. Модульна конструкція ще більше підвищує відмовостійкість, ізолюючи несправності в межах певних модулів, запобігаючи поширенню помилок по всій системі. Наприклад, сучасні програмні архітектури часто використовують мікросервіси, де окремі модулі можна оновлювати, ремонтувати або замінювати незалежно, мінімізуючи збої в роботі системи та сприяючи швидкому відновленню після несправностей [19].

Безперервний моніторинг продуктивності системи за допомогою діагностики в режимі реального часу відіграє важливу роль у ранньому виявленні аномалій та швидкому реагуванні на потенційні проблеми. Розширені інструменти моніторингу відстежують такі параметри, як температура, навантаження та робоча швидкість, генеруючи дані, які можуть виявити ранні ознаки деградації системи. Наприклад, у виробництві датчики, вбудовані в машини, контролюють схеми вібрації, що дозволяє проводити прогнозне обслуговування до виникнення механічних збоїв. Діагностичні інструменти, оснащені алгоритмами машинного навчання, можуть аналізувати величезні обсяги операційних даних, щоб виявляти незначні відхилення, що свідчать про неминучі несправності, дозволяючи командам технічного обслуговування втручатися проактивно. Автоматизовані системи оповіщення ще більше вдосконалюють цей підхід, негайно повідомляючи операторів про виявлення аномалій, а в деяких випадках ініціюючи автоматичні реакції, такі як вимкнення системи або перемикання на резервні операції. Ці механізми реального часу значно скорочують час простою, запобігаючи переростанню незначних проблем у серйозні системні збої, забезпечуючи таким чином безперервну та надійну роботу.

Для забезпечення безперебійної роботи систем відеонагляду в умовах, де збої можуть мати серйозні наслідки, критично важливим є проектування архітектури з можливістю проактивного керування несправностями. Одним із найбільш ефективних підходів до вирішення цього завдання є перехід від монолітних структур до модульних систем на базі мікросервісів, що доповнюються резервними шляхами передачі команд (рис. 2.2).

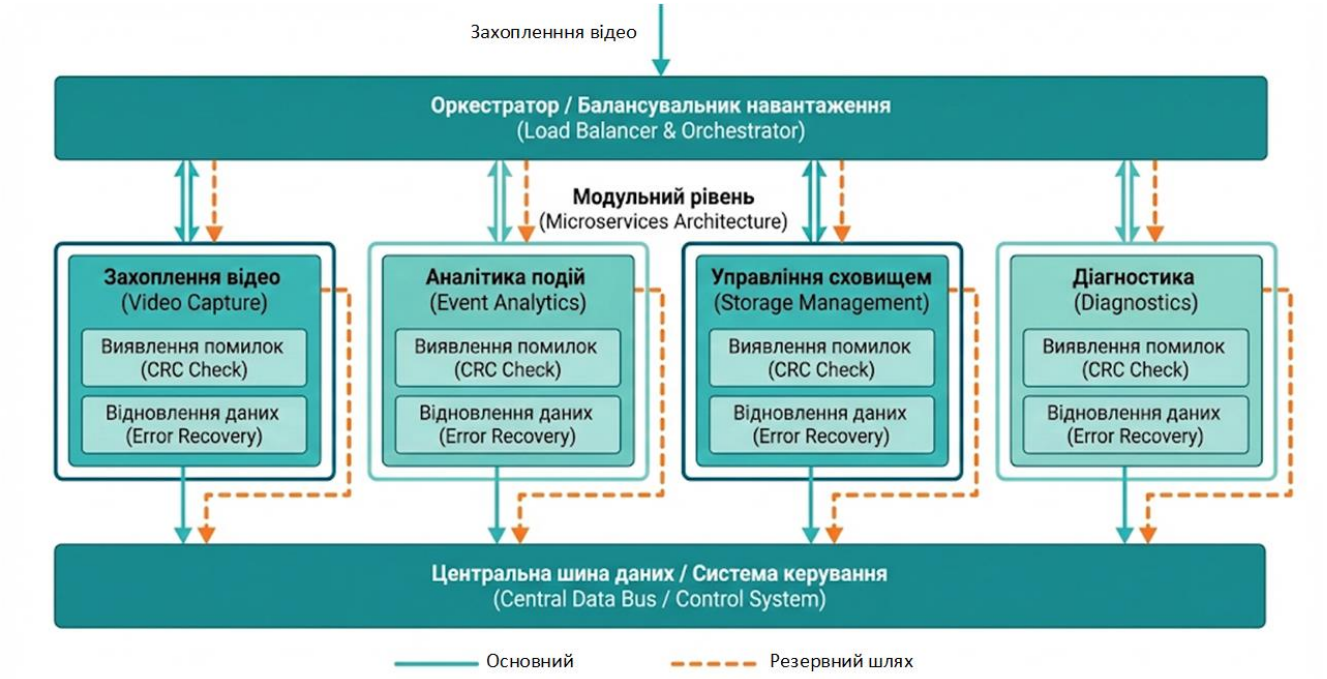


Рис. 2.2 Структурна схема відмовостійкої системи з використанням модульної архітектури мікросервісів та резервних каналів керування

Модульна конструкція дозволяє ізолювати несправності в межах окремих програмних або апаратних блоків, запобігаючи поширенню помилок на всю систему в цілому. Сучасні архітектури, що використовують мікросервіси, дозволяють незалежно оновлювати, ремонтувати або замінювати окремі модулі без зупинки всього комплексу, що значно скорочує час відновлення після збоїв.

Додатковим рівнем захисту в таких системах є впровадження резервних шляхів керування. У разі виходу з ладу основного каналу зв'язку, система автоматично перемикається на альтернативні маршрути, забезпечуючи безперервність виконання критичних операцій. Цілісність даних при цьому

підтримується за допомогою вбудованих механізмів виявлення помилок, таких як циклічні перевірки резервування (CRC), що дозволяють ініціювати протоколи виправлення у разі виявлення пошкоджень під час передачі. Таке поєднання гнучкої програмної архітектури та фізичного дублювання каналів формує надійну основу для стабільного функціонування транспортної інфраструктури.

Дедалі важливішим методом підвищення надійності системи та забезпечення безперервної роботи є застосування прогнозного обслуговування, яке використовує аналітику даних та дані датчиків для прогнозування потенційних збоїв до їх виникнення. Завдяки розгортанню передових датчиків, які контролюють критичні параметри, такі як температура, вібрація та електричні струми, організації можуть збирати дані про стан системи в режимі реального часу. Аналіз цих даних за допомогою складних алгоритмів дозволяє прогнозувати неминучі несправності, дозволяючи точно планувати роботи з технічного обслуговування, коли це необхідно, а не покладатися виключно на фіксовані інтервали. Цей проактивний підхід значно зменшує неочікувані простої, мінімізує перебої та подовжує термін служби компонентів системи. Наприклад, у виробничих галузях алгоритми прогнозного обслуговування можуть виявляти ранні ознаки зносу критично важливого обладнання, що спонукає до своєчасного ремонту, що запобігає дороговартісним поломкам. Передбачаючи збої та втручаючись до їх виникнення, організації можуть оптимізувати розподіл ресурсів, знизити витрати на обслуговування та підтримувати високий рівень доступності системи, що зрештою підвищує загальну безперервність роботи [20].

Доповнюючи технологічні рішення, створення ефективних навчальних програм та операційних процедур має вирішальне значення для підтримки надійності системи. Належним чином навчений персонал краще оснащений для швидкого та ефективного реагування на системні несправності та збої, мінімізуючи час простою та запобігаючи ескалації. Розробка комплексних операційних протоколів гарантує, що всі члени команди розуміють свої ролі під час рутинних операцій та надзвичайних ситуацій, сприяючи скоординованому та ефективному реагуванню. Регулярні навчання та симуляційні вправи служать для посилення цих

процедур, забезпечуючи, щоб персонал залишався кваліфікованим у обробці різних сценаріїв та був готовий до розвитку складності систем. Крім того, оновлення навчальних матеріалів та протоколів у відповідь на технологічний прогрес та оновлення систем гарантує, що персонал залишається обізнаним з останніми передовими практиками. Наприклад, у критично важливих секторах, таких як охорона здоров'я та аерокосмічна промисловість, постійне навчання та дотримання суворих процедур є життєво важливими для швидкої діагностики несправностей та безпечного відновлення, тим самим захищаючи цілісність системи та забезпечуючи безперебійну роботу.

Забезпечення надійності та безперервності роботи системи вимагає багатогранного підходу, який інтегрує різні стратегії. Впровадження систем резервування забезпечує надійну основу, пропонуючи резервні компоненти, які активуються під час збоїв, тоді як надійні принципи проектування та відмовостійкі архітектури підвищують стійкість системи до помилок. Моніторинг та діагностика в режимі реального часу дозволяють раннє виявляти та швидко реагувати на аномалії, запобігаючи ескалації незначних проблем. Застосування прогнозного обслуговування ще більше вдосконалює цю структуру, використовуючи аналітику даних для передбачення збоїв та планування своєчасного втручання, зменшуючи неочікувані простої. Доповнюючи ці технологічні заходи, комплексні навчальні програми та чітко визначені процедури дозволяють персоналу ефективно реагувати на системні несправності, забезпечуючи швидке відновлення та безперервну роботу. Разом ці методи утворюють комплексну стратегію, яка значно підвищує надійність та безперервність роботи системи, захищаючи життєво важливі інфраструктури та підтримуючи безперебійне обслуговування у все більш взаємопов'язаному світі.

2.3 Підвищення ефективності використання мережевих ресурсів у мобільних транспортних мережах

Швидке розширення мереж мобільного транспорту спричинило нагальну потребу в оптимізації використання мережевих ресурсів, забезпеченні надійного з'єднання, зменшенні затримки та покращенні взаємодії з користувачем. Оскільки мобільні пристрої та програми стають більш поширеними та ресурсоємними, навантаження на існуючу інфраструктуру посилюється, що вимагає інноваційних підходів до управління ресурсами [21].

Один з фундаментальних підходів до підвищення ефективності використання мережевих ресурсів включає складні методи оптимізації, які динамічно розподіляють пропускну здатність та балансують мережеве навантаження. Стратегії динамічного управління пропускною здатністю дозволяють мережам регулювати розподіл доступної пропускної здатності в режимі реального часу, надаючи пріоритет високозавантаженим програмам, таким як потокове відео або екстрені служби, тим самим мінімізуючи затримку та уникаючи вузьких місць. Наприклад, алгоритми, які відстежують моделі трафіку, можуть швидко перерозподіляти ресурси в години пік, забезпечуючи якість критично важливих послуг. Алгоритми балансування навантаження також сприяють запобіганню перевантаженням, рівномірно розподіляючи трафік між кількома мережевими вузлами або серверами, що зменшує ймовірність збою мережі та підвищує загальну стабільність. Ілюстрацією цього є використання програмних балансувальників навантаження, які динамічно перенаправляють пакети даних на основі поточних мережевих умов.

Окрім впровадження нових апаратних технологій, таких як 5G та периферійні обчислення, вирішальну роль у підвищенні ефективності використання ресурсів відіграє оптимізація мережевих протоколів та стандартів. Удосконалення правил та процедур передачі даних дозволяє суттєво зменшити накладні витрати, підвищити швидкість та мінімізувати кількість повторних передач, що безпосередньо економить пропускну здатність та енергію системи.

Одним із найбільш перспективних рішень для мобільних транспортних мереж є впровадження протоколів транспортного рівня нового покоління, зокрема QUIC. Порівняльний аналіз його ефективності відносно стандартних протоколів наведено в табл. 2.3 [22].

Таблиця 2.3

Порівняльна характеристика мережевих протоколів за ефективністю передачі даних у транспортних мережах

Параметр	Традиційні протоколи (TCP/UDP)	Протокол QUIC	Вплив на транспортну мережу
Встановлення з’єднання	Потребує багатоетапного узгодження (Handshake).	Підтримка 0-RTT/1-RTT з’єднання.	Значне зменшення затримки при першому запиті відеопотоку.
Мультиплексування	Почергова передача; блокування головною лінією (HoB).	Передача кількох потоків даних незалежно в одному з’єднанні.	Усунення затримок одного відеоканалу через втрати в іншому.
Стійкість до втрат пакетів	Високі накладні витрати на повторні передачі.	Вдосконалені механізми відновлення та зменшення накладних витрат.	Збереження пропускної здатності в нестабільних мобільних умовах.
Мобільність	Потребує перепідключення при зміні IP-адреси (Handover).	Міграція з’єднання без розриву сесії за ідентифікатором CID.	Безперервність трансляції при переході між базовими станціями 5G.

Використання QUIC дозволяє досягти мінімальної затримки та покращити стабільність потоку даних навіть у середовищах із високим рівнем втрат пакетів, що часто спостерігається під час руху транспортних засобів через густонаселені райони. Завдяки здатності протоколу до швидкого відновлення з’єднання та ефективного мультиплексування, мережа може гнучкіше розподіляти ресурси між різними типами трафіку (наприклад, критичне відеоспостереження та службова телеметрія).

Гармонізація таких протокольних рішень із міжнародними стандартами (наприклад, 3GPP) забезпечує сумісність обладнання різних виробників та створює умови для сталого розвитку інтелектуальних транспортних систем майбутнього.

Адаптивний розподіл ресурсів робить це ще одним кроком, постійно аналізуючи дані про мережевий попит у режимі реального часу, дозволяючи мережам проактивно переналаштовувати розподіл ресурсів. Наприклад, під час масштабних подій або раптових сплесків активності користувачів адаптивні системи можуть виділяти додаткову потужність ураженим районам, підтримуючи якість обслуговування. Ці методи разом сприяють більш ефективному використанню мережевих ресурсів, гарантуючи, що потужність не використовується ні недостатньо, ні перевантажена, таким чином оптимізуючи загальну продуктивність мережі. Нещодавні технологічні досягнення суттєво змінили ландшафт управління ресурсами мобільних мереж. Розгортання технології 5G та майбутніх поколінь, наприклад, пропонує значно вищу ємність та вищу швидкість передачі даних, що дозволяє мережам обслуговувати експоненціально більшу кількість пристроїв та програм. Здатність 5G використовувати вищі частотні діапазони та передові антенні технології дозволяє збільшити пропускну здатність та ефективніше використовувати спектр.

Крім того, периферійні обчислення стали життєво важливою інновацією завдяки децентралізації обробки ближче до кінцевих користувачів, що зменшує споживання пропускної здатності та затримку. Наприклад, периферійні сервери можуть обробляти дані локально для таких програм, як автономні транспортні засоби або доповнена реальність, мінімізуючи необхідність передачі великих обсягів даних через основні мережі. Крім того, програмно-визначені мережі (SDN) забезпечують гнучку та програмовану площину керування, яка дозволяє мережевим адміністраторам динамічно налаштовувати та оптимізувати мережеві шляхи, визначати пріоритети трафіку та швидко впроваджувати політики у відповідь на зміну умов. Ця гнучкість не тільки підвищує ефективність, але й спрощує управління мережею та сприяє швидкому розгортанню нових послуг. У сукупності ці технологічні інновації дозволяють мобільним мережам працювати ефективніше,

витримувати вищі навантаження та швидко адаптуватися до потреб, що змінюються, тим самим підтримуючи зростаючу залежність від мобільного зв'язку.

Незважаючи на технологічний прогрес, кілька проблем перешкоджають оптимальному використанню мережевих ресурсів у мобільних транспортних мережах. Однією з основних проблем є обмежена доступність спектру, який є скінченним ресурсом і схильний до перешкод, особливо в густонаселених районах, де співіснує кілька мереж. Дефіцит спектру обмежує розширення потужності, що призводить до перешкод, які погіршують якість послуг і перешкоджають ефективному використанню ресурсів. Крім того, поширення пристроїв Інтернету речей (IoT) та мобільних додатків експоненціально збільшило попит на дані, часто перевищуючи поточні можливості мережі.

Наприклад, зростання «розумних міст» та підключених транспортних засобів вимагає масового обміну даними, навантажуючи існуючу інфраструктуру та ускладнюючи управління ресурсами. Крім того, споживання енергії, пов'язане з підтримкою мереж високої потужності, створює проблеми щодо сталого розвитку. Великі центри обробки даних, базові станції та мережеве обладнання споживають значну кількість енергії, що сприяє впливу на навколишнє середовище та експлуатаційним витратам. Наприклад, розгортання інфраструктури 5G викликало занепокоєння щодо її вищих енергоспоживань порівняно з попередніми поколіннями. Вирішення цих проблем вимагає інноваційної політики управління спектром, енергоефективного обладнання та інтелектуального планування мережі, щоб забезпечити стале та ефективне використання ресурсів в умовах зростаючого попиту.

Окрім технологічних інновацій та методів оптимізації, роль мережевих протоколів та стандартів є вирішальною у підвищенні ефективності використання ресурсів у мобільних транспортних мережах. Оптимізація протоколів передбачає вдосконалення правил та процедур, що регулюють передачу даних, для зменшення накладних витрат, підвищення швидкості та мінімізації повторних передач, тим самим зберігаючи пропускну здатність та енергію. Наприклад, впровадження ефективніших протоколів транспортного рівня, таких як QUIC, може зменшити

затримку та підвищити ефективність потоку даних. Стандартизація методів управління ресурсами в різних мережах та у різних виробників обладнання забезпечує сумісність, зменшує надмірність та сприяє скоординованим зусиллям з оптимізації ресурсів. Міжнародні стандарти, такі як розроблені в рамках Проекту партнерства третього покоління (3GPP), надають рекомендації щодо використання спектру, архітектури мережі та параметрів якості обслуговування (QoS), сприяючи однорідності та передбачуваності розподілу ресурсів. Поява нових стандартів, особливо в таких галузях, як сегментація мережі та периферійні обчислення, має значний вплив на використання ресурсів, дозволяючи більш детальне та гнучке управління сегментами мережі, адаптованими до конкретних програм або груп користувачів. Ці стандарти сприяють інноваціям, оптимізують розгортання та забезпечують ефективну та гармонійну роботу мереж, зрештою сприяючи більш сталому та оптимізованому використанню ресурсів у різних середовищах.

Ефективні політичні рамки та стратегії управління є важливим доповненням до технологічних рішень у сприянні ефективному використанню мережевих ресурсів у мобільних транспортних мережах. Нормативні рамки можуть встановити справедливу та рівноправну політику розподілу ресурсів, запобігаючи монополістичній практиці та забезпечуючи оптимальне використання спектру та інфраструктури різними постачальниками та регіонами. Наприклад, політика ліцензування спектру та домовленості про спільний доступ можуть максимізувати використання обмежених ресурсів спектру. Механізми стимулювання, такі як субсидії або винагороди на основі результатів, можуть мотивувати мережевих постачальників до впровадження енергоефективного обладнання та інноваційних практик управління ресурсами. Крім того, стратегічні підходи до управління, включаючи динамічне ціноутворення та обмеження використання, можуть впливати на поведінку користувачів, заохочуючи до більш відповідального споживання мережевої потужності. Кампанії з навчання користувачів також відіграють життєво важливу роль у просуванні поведінки, яка зменшує непотрібне використання даних, наприклад, оптимізація налаштувань програм або уникнення діяльності з високою пропускною здатністю в години пік. Разом ці стратегії

політики та управління створюють середовище, сприятливе для сталого та ефективного використання ресурсів, шляхом узгодження стимулів постачальників, регуляторного нагляду та участі користувачів зі спільними цілями ефективності.

Підвищення ефективності використання мережевих ресурсів у мобільних транспортних мережах вимагає багатогранного підходу, який інтегрує передові методи оптимізації, передові технологічні інновації, стандартизовані протоколи та ефективні політичні рамки. Динамічне управління пропускною здатністю, балансування навантаження та адаптивний розподіл ресурсів формують основу ефективної роботи мережі, забезпечуючи розподіл потужності там, де вона найбільше потрібна, тим самим мінімізуючи перевантаження та затримки. Технологічні досягнення, такі як 5G, периферійні обчислення та SDN, ще більше підвищують ефективність використання ресурсів, забезпечуючи вищу потужність, нижчу затримку та більшу гнучкість. Тим не менш, такі проблеми, як дефіцит спектру, сплеск використання пристроїв Інтернету речей та споживання енергії, підкреслюють необхідність інноваційних рішень та сталих практик. Роль мережевих протоколів та стандартів є ключовою у гармонізації зусиль та сприянні сумісності, тоді як політичні та управлінські стратегії узгоджують стимули та регулюють спільне використання ресурсів. Разом ці елементи утворюють комплексну структуру, яка може задовольнити зростаючі потреби сучасних мобільних мереж, забезпечуючи стійкі, справедливі та сталі комунікаційні інфраструктури для майбутнього [23].

2.4 Оптимізація алгоритмів відеоаналітики для транспортних додатків

У швидкозмінному ландшафті транспорту впровадження складних алгоритмів відеоаналітики стало невід'ємною частиною підвищення безпеки, ефективності та операційного управління. Ці алгоритми дозволяють здійснювати моніторинг потоку транспорту в режимі реального часу, виявляти аварії або аномалії, а також керувати системами міської мобільності. Однак ефективність таких систем залежить від їхньої точності, ефективності та здатності адаптуватися

до складних, динамічних середовищ. Оскільки транспортні мережі стають більш перевантаженими та різноманітними, існує нагальна потреба в оптимізації алгоритмів відеоаналітики для ефективного вирішення цих проблем.

Оптимізація обчислювальної ефективності алгоритмів відеоаналітики є критично важливою для забезпечення їхньої коректної роботи в межах жорстких обмежень вбудованих транспортних систем. Для реалізації функцій моніторингу в режимі реального часу безпосередньо на дорожніх камерах або бортових пристроях необхідно використовувати легкі версії нейронних мереж.

Основними методами, що дозволяють зменшити обчислювальне навантаження без критичної втрати точності ідентифікації об'єктів, є обрізання моделей, квантування та проектування спрощених архітектур. Детальне порівняння цих підходів та їхнього впливу на параметри системи наведено в табл. 2.4 [24].

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика методів оптимізації моделей глибокого навчання для вбудованих систем

Метод оптимізації	Механізм дії	Вплив на продуктивність	Вплив на точність
Обрізання (Pruning)	Видалення надлишкових ваг або цілих нейронів, які мають мінімальний внесок у результат.	Зменшення розміру моделі та прискорення вибору ознак.	Можливе незначне зниження при високих рівнях обрізки.
Квантування (Quantization)	Зниження точності представлення ваг (наприклад, з FP32 до INT8).	Значне прискорення обчислень на спеціалізованому обладнанні та економія пам'яті.	Мінімальна втрата точності за умови коректного калібрування.
Спрощення архітектури	Використання легких структур (наприклад, глибинно-роздільні згортки).	Оптимізація під вбудовані пристрої з обмеженою потужністю.	Баланс між швидкістю та здатністю розрізняти дрібні деталі.

Ефективне поєднання цих методів дозволяє моделям, таким як YOLO або SSD, зберігати високу частоту кадрів при обробці відеопотоку, що є життєво

важливим для негайного реагування на дорожні інциденти. Крім того, адаптивні алгоритми, які динамічно балансують компроміс між швидкістю обробки та точністю виявлення, дозволяють системі ефективно розподіляти ресурси залежно від складності сцени у реальному часі.

Використання апаратного прискорення за допомогою GPU, TPU або FPGA у комбінації з оптимізованими моделями дозволяє досягти майже миттєвого розпізнавання транспортних засобів та пішоходів, забезпечуючи безпеку та безперервність роботи в умовах щільного міського трафіку.

Фундаментальний аспект оптимізації відеоаналітики транспорту полягає у підвищенні точності систем виявлення об'єктів. Впровадження передових моделей машинного навчання, зокрема архітектур глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі (ЗНМ), значно покращило точність, з якою транспортні засоби, пішоходи та інші об'єкти ідентифікуються у відеопотоках. Наприклад, такі моделі, як YOLO (You Only Look Once) та SSD (Single Shot MultiBox Detector), продемонстрували високу точність виявлення, зберігаючи при цьому можливості обробки в режимі реального часу. Крім того, використання методів глибокого навчання дозволяє системі розрізняти різні типи транспортних засобів — автомобілі, автобуси, велосипеди — та пішоходів, надаючи детальні дані, критично важливі для управління дорожнім рухом та втручання у безпеку.

Обробка даних у режимі реального часу відіграє життєво важливу роль у цьому контексті, оскільки вона гарантує, що точність виявлення буде підтримуватися навіть у складних умовах, таких як висока щільність руху, змінна погода або погане освітлення. Наприклад, нещодавні дослідження показують, що інтеграція глибокого навчання з адаптивними алгоритмами визначення порогів може значно зменшити кількість хибнопозитивних та хибнонегативних результатів у нічний час або в туманні умови, тим самим забезпечуючи безперервний надійний моніторинг, необхідний для міських транспортних систем. Хоча підвищення точності є критично важливим, не менш важливою є оптимізація обчислювальної ефективності, щоб забезпечити ефективну роботу алгоритмів в межах обмежень вбудованих транспортних систем. Легкі алгоритми, розроблені спеціально для

розгортання на пристроях з обмеженою обчислювальною потужністю, є важливими для застосувань реального часу, таких як дорожні камери та бортові системи транспортних засобів. Такі методи, як обрізання моделей, квантування та розробка спрощених архітектур нейронних мереж, зменшують обчислювальне навантаження без суттєвої шкоди для точності.

Крім того, використання можливостей паралельної обробки за допомогою апаратного прискорення — з використанням графічних процесорів (GPU), тензорних процесорів (TPU) або програмованих польовими логічними матрицями (FPGA) — може значно зменшити затримку, що дозволяє негайно реагувати на дорожні інциденти. Наприклад, нещодавнє впровадження моделей глибокого навчання з прискоренням GPU в автономних системах сприйняття транспортних засобів досягло майже миттєвого розпізнавання об'єктів, що сприяє безпечнішій навігації. Крім того, адаптивні алгоритми, які динамічно балансують компроміс між швидкістю обробки та точністю виявлення, додатково оптимізують продуктивність системи, забезпечуючи ефективний розподіл обчислювальних ресурсів на основі складності сцени в реальному часі, що є критично важливим у щільних міських середовищах з коливаннями дорожнього руху. Транспортні середовища за своєю суттю складні та постійно змінюються, що створює унікальні виклики для алгоритмів відеоаналітики [25].

Керування перекриттями, коли об'єкти тимчасово закриваються іншими, є особливо складним у місцях скупчення людей, таких як міські перехрестя або стадіони. Такі стратегії, як алгоритми відстеження кількох об'єктів у поєднанні з прогнозним моделюванням, можуть допомогти зберегти ідентичність об'єктів з часом, навіть під час часткових перекриттів. Крім того, здатність алгоритмів адаптуватися до різних погодних умов та умов освітлення є надзвичайно важливою; наприклад, використання методів покращення зображення, таких як вирівнювання гістограми або інфрачервоне зображення, може покращити виявлення в умовах туману, дощу або вночі. Об'єднання даних кількох датчиків додатково покращує розуміння навколишнього середовища, інтегруючи інформацію з камер, радарів та датчиків LiDAR, компенсуючи таким чином обмеження будь-якої окремої

модальності. Прикладом такого підходу є використання об'єднання датчиків в автономних транспортних засобах, де поєднання візуальних даних з радаром дозволяє точно виявляти пішоходів та перешкоди за несприятливих погодних умов, забезпечуючи безпеку та безперервність роботи. Такі стратегії разом сприяють створенню більш стійких транспортних систем, здатних надійно функціонувати в різноманітних та непередбачуваних реальних умовах.

Транспортні середовища за своєю суттю є складними та динамічними, що створює значні виклики для систем, які покладаються виключно на візуальний канал. Проблеми перекриття об'єктів на перевантажених перехрестях та погіршення видимості через погодні умови вимагають переходу до мультимодальних систем. Найбільш ефективним підходом для створення стійких систем сприйняття є об'єднання даних кількох датчиків (Sensor Fusion).

Схематично процес інтеграції даних з різних джерел представлено на рис. 2.4.

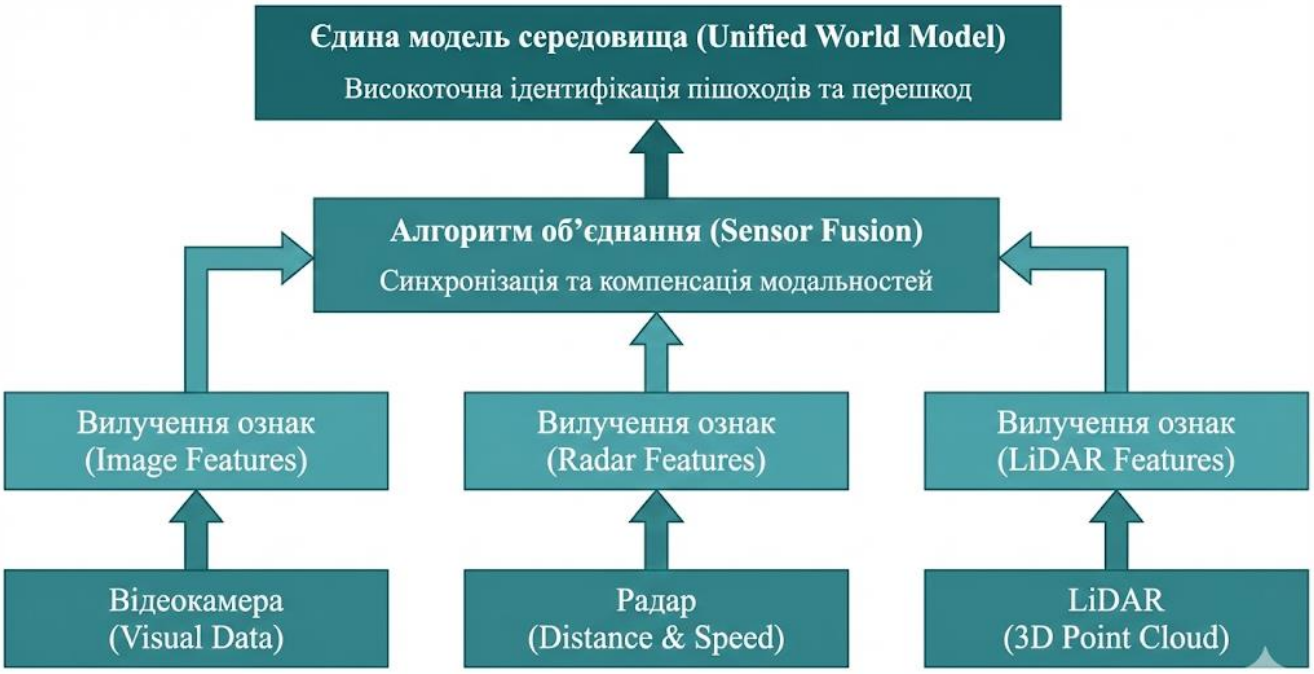


Рис. 2.4 Схема багаторівневого об’єднання даних (Sensor Fusion) для підвищення надійності виявлення об’єктів

Поєднання інформації з відеокамер, радарів та датчиків LiDAR дозволяє компенсувати обмеження будь-якої окремої модальності. Наприклад, у той час як камера забезпечує високу точність класифікації об’єктів за кольором та формою,

радар дозволяє точно визначити відстань та швидкість об’єкта навіть в умовах густого туману або дощу.

У міру розширення та диверсифікації транспортних мереж, надійність та масштабованість систем відеоаналітики стають дедалі важливішими. Щоб підтримувати високу продуктивність у широкому діапазоні середовищ — міських вулицях, автомагістралях, тунелях чи транспортних вузлах — алгоритми повинні бути адаптивними до різних умов та інфраструктури. Такі методи, як модульне проектування алгоритмів, сприяють цій адаптивності, дозволяючи оновлювати або замінювати окремі компоненти незалежно, спрощуючи обслуговування та оновлення системи без перегляду всієї структури [26].

Ця модульність також підтримує масштабованість, дозволяючи транспортним органам поступово розширювати свої системи в міру зростання потреб. Крім того, обробка великомасштабних потокових даних та їх зберігання створює значні труднощі; ефективні стратегії управління даними, включаючи периферійні обчислення, інтеграцію з хмарними сервісами та стиснення даних у режимі реального часу, є важливими. Периферійні обчислення зменшують навантаження на центральні сервери, обробляючи дані локально, тим самим мінімізуючи затримку та використання пропускної здатності. Хмарні платформи, з іншого боку, надають масштабовані рішення для зберігання даних та дозволяють проводити масштабний аналіз даних для довгострокового планування та аналізу після подій. Для ефективної обробки та аналізу безперервних потоків великих обсягів даних використовуються розширені архітектури управління та обробки даних, такі як розподілені системи та масштабовані бази даних. Ці підходи гарантують, що системи відеоаналітики транспорту залишаються надійними, гнучкими та здатними підтримувати масштабні розгортання, які є важливими для управління складними системами міської мобільності.

Крім того, обробка великомасштабних потокових даних та їх зберігання створює значні технічні та організаційні труднощі; ефективні стратегії управління даними, включаючи периферійні обчислення, інтеграцію з хмарними сервісами та

стиснення даних у режимі реального часу, є критично важливими для стабільної роботи систем.

Периферійні обчислення зменшують навантаження на центральні сервери, обробляючи дані локально безпосередньо на місцях їх збору, тим самим мінімізуючи затримку, знижуючи використання пропускної здатності мережі та підвищуючи швидкість реагування системи. Це особливо важливо для завдань, що потребують аналізу в реальному часі, таких як виявлення інцидентів або управління дорожнім рухом. Хмарні платформи, з іншого боку, надають масштабовані та гнучкі рішення для довготривалого зберігання великих обсягів даних і дозволяють проводити комплексний аналіз даних для стратегічного планування, оптимізації транспортних процесів та аналізу після подій.

Для ефективної обробки та аналізу безперервних потоків великих обсягів даних застосовуються розширені архітектури управління та обробки даних, такі як розподілені системи, потокові платформи та масштабовані бази даних. Використання таких архітектур забезпечує високу відмовостійкість, балансування навантаження та адаптацію до змінних умов експлуатації. У сукупності ці підходи гарантують, що системи відеоаналітики транспорту залишаються надійними, гнучкими та здатними підтримувати масштабні розгортання, що є необхідним для ефективного управління складними системами сучасної міської мобільності.

Хоча технологічні досягнення у відеоаналітиці мають величезні перспективи для підвищення безпеки та ефективності транспорту, вони також викликають значні етичні та конфіденційні проблеми. Захист прав особистої конфіденційності вимагає впровадження стратегій анонімізації конфіденційних даних, таких як розмиття облич або номерних знаків, без шкоди для операційної ефективності системи. Такі методи, як диференціальна конфіденційність та шифрування даних, можуть додатково захистити особисту інформацію, одночасно забезпечуючи аналіз даних для управління дорожнім рухом та міського планування.

Дотримання правових норм та стандартів, таких як Загальний регламент про захист даних (GDPR) у Європі або аналогічні рамки в інших країнах, є вкрай важливим для забезпечення законного розгортання цих систем. Ці правила часто

вимагають суворих протоколів збору, зберігання та використання даних, а також заходів прозорості та підзвітності. Балансування потреби у спостереженні для забезпечення громадської безпеки з повагою до прав особистої конфіденційності вимагає прозорої політики, залучення громади та використання технологій, що зберігають конфіденційність. Наприклад, багато транспортних агентств зараз застосовують підхід «конфіденційність на етапі проектування», вбудовуючи міркування конфіденційності в архітектуру системи з самого початку. Це гарантує, що хоча системи відеоаналітики надають цінну інформацію для управління транспортом, вони роблять це відповідально, етично та відповідно до суспільних очікувань щодо конфіденційності та захисту даних.

Оптимізація алгоритмів відеоаналітики для транспортних застосувань передбачає багатогранний підхід, який підвищує точність, покращує обчислювальну ефективність та враховує складності реальних середовищ. Інтеграція передових методів машинного навчання та глибокого навчання забезпечує точне виявлення об'єктів навіть у складних умовах, а використання апаратного прискорення та адаптивних алгоритмів максимізує швидкість обробки та використання ресурсів. Для підтримки продуктивності в різноманітних та динамічних умовах системи повинні бути розроблені з урахуванням надійності та масштабованості, використовуючи модульні архітектури та ефективні стратегії управління даними. Не менш важливими є етичні міркування щодо конфіденційності даних та дотримання законодавства, які вимагають продуманої анонімізації, прозорості та дотримання правил для захисту прав особистості. Оскільки транспортні системи стають розумнішими та більш взаємопов'язаними, постійні інновації та відповідальне впровадження відеоаналітики матимуть життєво важливе значення для створення безпечніших, ефективніших та етично обґрунтованих мереж мобільності в майбутньому.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДЕОНАГЛЯДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУ

3.1 Розроблення структурної схеми оптимізованої системи відеонагляду

В епоху швидкого технологічного прогресу та зростання проблем безпеки, розгортання ефективної та надійної системи відеоспостереження стало важливим компонентом для захисту активів, моніторингу громадських просторів та забезпечення безпеки організації. Оптимізована система спостереження характеризується добре структурованою інтеграцією апаратного, програмного та мережевого компонентів, які працюють злагоджено для забезпечення високоякісного моніторингу в режимі реального часу, зберігаючи при цьому масштабованість та стійкість. Розробка комплексної структурної схеми для такої системи передбачає розуміння ключових компонентів, встановлення технічних специфікацій, що відповідають експлуатаційним вимогам, та інтеграцію інтелектуальних технологій, що підвищують можливості безпеки. Детальніше розглянути ці критичні аспекти, підкреслюючи важливість продуманого проектування та технологічної інтеграції у створенні ефективної інфраструктури спостереження [27].

Розроблення комплексної структурної схеми оптимізованої системи передбачає інтеграцію апаратних та програмних компонентів у єдину масштабовану мережу. Проектована архітектура базується на п'ятирівневій моделі, що забезпечує високу стійкість та ефективність обробки даних (рис. 3.1).

Основним елементом «розумної периферії» (Рівень 1) є камери з підтримкою штучного інтелекту, які здійснюють детекцію об'єктів та розпізнавання номерів (LPR) безпосередньо на борту пристрою. Це дозволяє передавати на центральні сервери не лише відеопотік, а й метадані, що суттєво знижує навантаження на мережеву інфраструктуру. Мережевий рівень побудований на гігабітних комутаторах з підтримкою VLAN, що гарантує пріоритетність трафіку спостереження та запобігає перевантаженням.

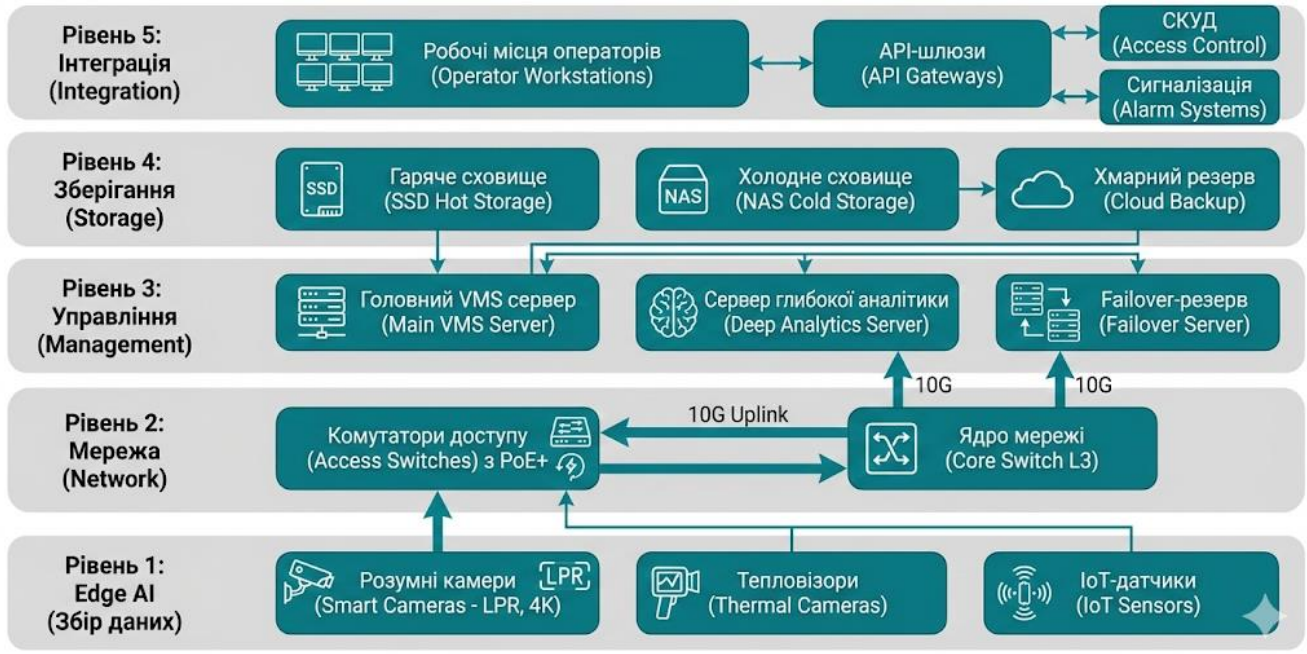


Рис. 3.1 Структурна схема багаторівневої оптимізованої системи відеонагляду для транспорту

Центральна обробка здійснюється серверами VMS та системами глибокої аналітики, що дозволяють виявляти підозрілу поведінку та аномалії в режимі реального часу. Особливістю системи є багаторівневе зберігання (Tiered Storage): використання швидких SSD для оперативного доступу та NAS-систем для довгострокового архівування, що оптимізує вартість володіння інфраструктурою.

Гнучкість системи забезпечується її модульною архітектурою, яка дозволяє безперешкодно додавати нові компоненти через стандартизовані інтерфейси (API). Це гарантує не лише поточну ефективність моніторингу, а й можливість майбутнього розширення системи відповідно до зростаючих потреб транспортної безпеки.

Основа оптимізованої системи відеоспостереження складається з кількох ключових компонентів, кожен з яких відіграє життєво важливу роль у забезпеченні комплексного охоплення, цілісності даних та операційної ефективності. Камери є основним обладнанням, і їх вибір залежить від різних факторів, таких як навколишнє середовище, умови освітлення та зона охоплення. Наприклад,

стаціонарні камери підходять для статичних середовищ, таких як входи, тоді як камери з поворотом, нахилом та масштабуванням (PTZ) забезпечують динамічне охоплення для більших приміщень. Стратегії розміщення не менш важливі — встановлення камер у стратегічних точках мінімізує сліпі зони та максимізує ефективність спостереження. Рішення для зберігання даних є ще одним критичним елементом, а варіанти загалом поділяються на локальні та хмарні системи. Локальне сховище, таке як мережеве сховище (NAS), пропонує негайний доступ та контроль, що робить його придатним для середовищ з високим рівнем безпеки з конфіденційними даними. І навпаки, хмарне сховище забезпечує масштабоване зберігання даних поза межами об'єкта, що полегшує віддалений доступ та відновлення після збоїв. Інтеграція інструментів моніторингу та аналізу ще більше підвищує продуктивність системи; обробка в режимі реального часу дозволяє негайно виявляти інциденти, тоді як аналітика на основі штучного інтелекту може виявляти аномалії, розпізнавати об'єкти або виявляти підозрілу поведінку. Наприклад, передові системи тепер включають алгоритми виявлення руху, які запускають сповіщення, тим самим зменшуючи кількість хибних тривог та оптимізуючи час реагування. Разом ці компоненти утворюють цілісну структуру, яка лежить в основі ефективної системи спостереження, здатної адаптуватися до різноманітних операційних потреб [28].

Оптимізація системи відеоспостереження також вимагає дотримання певних технічних специфікацій та інфраструктурних критеріїв, що забезпечують чіткість, надійність та безпеку. Роздільна здатність та частота кадрів мають першочергове значення; камери високої чіткості з роздільною здатністю щонайменше 1080p та частотою кадрів 15-30 кадрів на секунду зазвичай вважаються ефективними для захоплення детальних зображень та плавного руху, що є важливим для точної ідентифікації та аналізу. Наприклад, розпізнавання облич та зчитування номерних знаків вимагають чітких зображень, які можуть розрізняти дрібні деталі. Мережева інфраструктура повинна підтримувати ці вимоги до даних, маючи достатню пропускну здатність для одночасної обробки кількох потоків високої роздільної здатності.

Надійна мережа з гігабітними Ethernet-з'єднаннями, протоколами якості обслуговування (QoS) та виділеними VLAN може запобігти перевантаженню та визначити пріоритетність даних спостереження. Заходи безпеки, такі як зашифрована передача даних та контроль доступу, є життєво важливими для запобігання несанкціонованому доступу та втручанню. Розгляд питань електропостачання включає встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ) та резервних джерел живлення для підтримки роботи системи під час перебоїв, особливо в критично важливих зонах, таких як аеропорти чи урядові установи. Заходи резервування, включаючи резервні сервери та кілька місць зберігання даних, підвищують надійність системи, забезпечуючи безперервне спостереження навіть у разі відмови окремих компонентів. У сукупності ці специфікації та інфраструктурні елементи є основоположними для досягнення стійкої, високопродуктивної мережі спостереження, що відповідає цілям безпеки.

Інтеграція інтелектуальних технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, революціонізувала системи спостереження, забезпечивши проактивне виявлення загроз та автоматизований аналіз. Алгоритми ШІ можуть обробляти величезні обсяги відеоданих у режимі реального часу, виявляючи потенційні порушення безпеки або підозрілу поведінку з надзвичайною точністю. Наприклад, моделі машинного навчання, навчені на різноманітних наборах даних, можуть розрізняти нормальну активність та аномалії, такі як байдикування або несанкціонований доступ, що призводить до негайних сповіщень. Технологія розпізнавання облич ще більше підвищує безпеку, дозволяючи швидко ідентифікувати осіб, що цікавлять, полегшуючи контроль доступу або відстежуючи людей через кілька камер. Інструменти аналізу поведінки можуть виявляти незвичайні рухи або формування натовпу, що є критично важливим для управління великими публічними зібраннями або запобігання інцидентам. Однак розгортання таких інтелектуальних функцій створює труднощі – проблеми конфіденційності, обчислювальні вимоги та потенційні упередження в алгоритмах потребують ретельного управління.

Крім того, інтеграція цих технологій вимагає значних інвестицій в обладнання, управління даними та навчання персоналу. Незважаючи на ці перешкоди, переваги спостереження на основі штучного інтелекту – підвищена точність, швидший час реагування та прогностичні можливості – роблять його незамінним компонентом сучасних систем безпеки.

Для створення ефективної інфраструктури спостереження необхідно забезпечити злагоджену взаємодію всіх її елементів. Оптимізована система характеризується продуманим вибором компонентів, що відповідають експлуатаційним вимогам транспортного середовища. Детальний опис технічних специфікацій та розподіл функціональних обов'язків за рівнями архітектури представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні специфікації та функціональні ролі компонентів оптимізованої системи

Рівень архітектури	Основні компоненти	Технічні специфікації та вимоги	Функціональна роль
Рівень 1: Розумна периферія	IP-камери (фіксовані, PTZ), IoT-датчики	Роздільна здатність ≥ 1080p, частота 15–30 к/с, захист IP67	Захоплення відео, детекція подій, розпізнавання номерів (LPR)
Рівень 2: Мережева інфраструктура	Комутатори PoE+, Core Switch L3	Гігабітні з'єднання, підтримка VLAN, протоколи QoS	Пріоритезація трафіку, запобігання перевантаженням мережі
Рівень 3: Управління та обробка	Головний VMS сервер, сервери аналітики (AI)	Алгоритми глибокого навчання, Failover-резервування	Централізований моніторинг, виявлення аномалій, обробка тривог
Рівень 4: Багаторівневе зберігання	NAS (Tier 2), SSD (Tier 1), Хмарний резерв	Гібридна архітектура, зашифрована передача даних	Оперативний доступ до «гарячих» даних, довгострокове архівування
Рівень 5: Інтеграція та оператори	АРМ оператора, API-шлюзи інтеграції	Стандартизовані інтерфейси, контроль доступу	Візуалізація даних, взаємодія з СКУД та сигналізацією

Використання камер високої роздільної здатності у поєднанні з інтелектуальною обробкою на периферії дозволяє досягти високої точності ідентифікації об'єктів. Важливим аспектом стабільності є мережева інфраструктура, яка завдяки протоколам якості обслуговування (QoS) забезпечує безперебійну передачу потоків навіть за високого навантаження.

Надійність системи підкріплюється заходами резервування, такими як використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ) та дублювання серверних потужностей. Модульна архітектура, представлена в таблиці, дозволяє системі залишатися гнучкою для майбутніх оновлень програмного забезпечення та інтеграції нових модулів штучного інтелекту. Це гарантує довгострокову актуальність та економічну ефективність впровадженого рішення [29].

Під час проектування оптимізованої системи відеоспостереження важливо враховувати масштабованість та гнучкість для забезпечення довгострокової роботи.Термінова ефективність та адаптивність. Модульна архітектура системи є фундаментальною, що дозволяє безперешкодно додавати або видаляти компоненти, такі як камери, блоки зберігання даних або модулі обробки, без суттєвих збоїв. Такий підхід не тільки спрощує майбутнє розширення, але й знижує початкові витрати на розгортання та полегшує обслуговування. Сумісність з існуючою інфраструктурою безпеки не менш важлива; інтеграція нових компонентів зі застарілими системами через стандартизовані інтерфейси та протоколи забезпечує безперервність та мінімізує проблеми сумісності. Більше того, з розвитком загроз безпеці та появою технологічних інновацій, таких як нові алгоритми штучного інтелекту або сенсорні технології, система повинна бути адаптованою для впровадження цих досягнень. Ця адаптивність вимагає гнучкої структури, яка підтримує оновлення програмного забезпечення, оновлення апаратного забезпечення та інтеграцію з новими технологіями. Наприклад, система спостереження, розроблена з відкритою архітектурою, може легко включати нові модулі штучного інтелекту або розширену аналітику, зберігаючи свою актуальність та ефективність з часом. Зрештою, пріоритет масштабованості та гнучкості в

процесі проектування гарантує, що система спостереження залишається надійною, економічно ефективною та здатною вирішувати майбутні проблеми безпеки.

Оцінка ефективності системи спостереження передбачає встановлення чітких показників продуктивності та ретельних процедур тестування. Критичні показники ефективності включають точність – наскільки правильно система виявляє та класифікує події; час реагування – як швидко генеруються сповіщення після виявлення загрози; та охоплення – чи забезпечує система комплексну просторову та ситуаційну обізнаність. Кількісні оцінки цих показників допомагають визначити сильні сторони та області, що потребують покращення. Протоколи тестування повинні імітувати різні умови навколишнього середовища та експлуатації, такі як різні сценарії освітлення, погодні умови та рівні активності, щоб забезпечити стійкість системи в різних реальних ситуаціях. Наприклад, тестування продуктивності камери вночі або за несприятливих погодних умов може виявити вразливості, які потребують усунення. Постійний моніторинг та регулярні оновлення системи є життєво важливими для підтримки оптимальної продуктивності; це включає перевірки справності в режимі реального часу, виправлення програмного забезпечення та обслуговування апаратного забезпечення. Впровадження механізмів зворотного зв'язку та аналітичних панелей дозволяє операторам відстежувати продуктивність системи з часом, гарантуючи адаптацію інфраструктури спостереження до змінних умов та загроз. Завдяки комплексній оцінці та постійному обслуговуванню організації можуть максимізувати надійність, точність та загальну ефективність безпеки своєї системи спостереження.

На завершення, розробка структурної схеми для оптимізованої системи відеоспостереження вимагає цілісного підходу, який охоплює вибір та інтеграцію ключових компонентів, дотримання технічних специфікацій та впровадження передових інтелектуальних технологій. Камери, рішення для зберігання даних та інструменти аналізу формують основу ефективного моніторингу, тоді як врахування роздільної здатності, мережевої інфраструктури та резервування забезпечують надійність системи. Інтеграція штучного інтелекту та машинного

навчання покращує можливості виявлення загроз та безпеки, хоча й створює нові виклики, які необхідно вирішувати продумано. Міркування масштабованості та гнучкості, такі як модульна архітектура та сумісність з існуючими системами, є життєво важливими для забезпечення майбутнього інфраструктури спостереження. Крім того, встановлення суворих показників оцінки та протоколів тестування забезпечує постійну ефективність та стійкість системи в різних умовах. Зрештою, добре розроблена, адаптивна та ретельно перевірена система спостереження служить критично важливим активом для захисту активів та підвищення безпеки у все більш складному світі [30].

3.2 Експериментальне налаштування та тестування відеосистеми в транспортних умовах

Розгортання відеосистем у транспортному середовищі вимагає ретельного проектування, суворих екологічних міркувань та комплексних процедур тестування для забезпечення оптимальної продуктивності та надійності. Оскільки попит на моніторинг у режимі реального часу, забезпечення безпеки та операційну ефективність зростає в таких секторах, як автомобільна, залізнична та авіаційна промисловість, розробка надійних відеосистем, адаптованих до транспортних умов, стає критично важливою. Досліджуються складні аспекти проектування таких систем, врахування екологічних проблем, властивих транспортним сценаріям, та впровадження ретельних режимів тестування. Розуміючи ці аспекти, інженери та дослідники можуть розробляти відеорішення, які підтримують високу якість роботи навіть за непередбачуваних умов, що виникають під час транспортування, що зрештою сприятиме безпечнішим та ефективнішим транспортним мережам.

Для перевірки стійкості розробленої відеосистеми перед її реальним розгортанням було впроваджено суворий режим тестування в імітованих умовах транспортування. Лабораторні симуляції дозволили відтворити реальні сценарії,

такі як високочастотні вібрації, раптові удари та критичні коливання температур. Схематичне зображення експериментальної установки представлено на рис. 3.2.

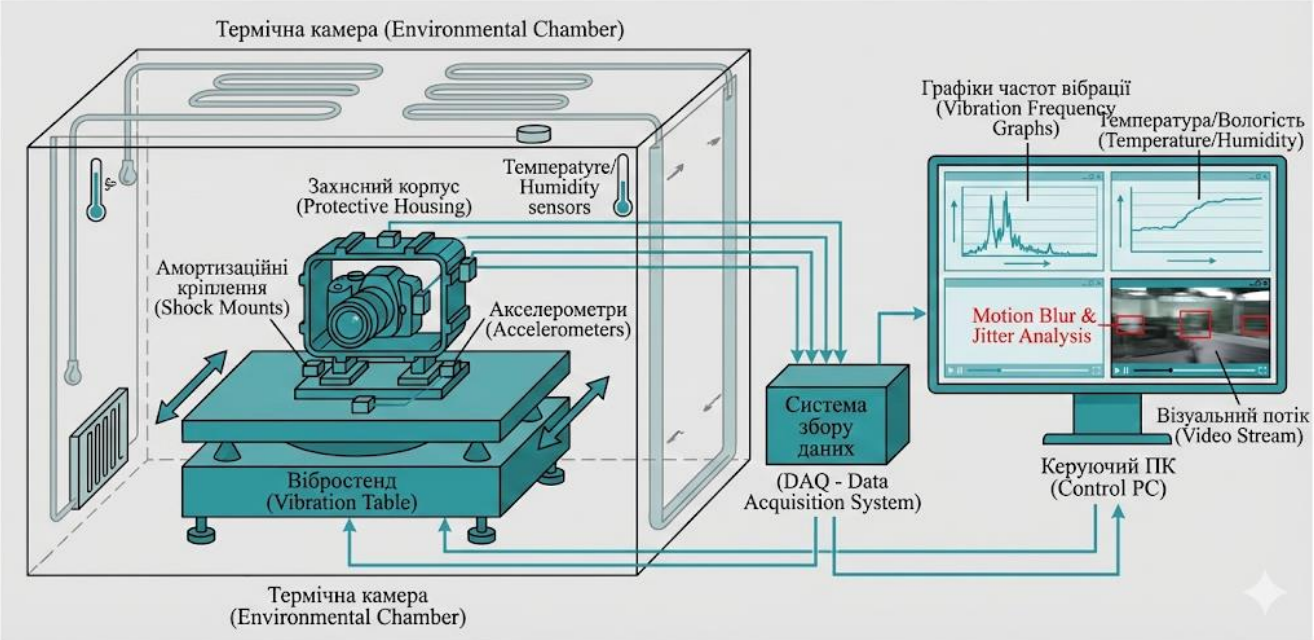


Рис. 3.2 Схема експериментальної установки для випробування відеосистеми на вібростійкість та кліматичну витривалість

Під час випробувань використовувалися вібраційні столи, що піддавали апаратне забезпечення інтенсивним рухам, імітуючи рух по нерівних дорогах або турбулентність. Паралельно здійснювався безперервний моніторинг стабільності зображення, роздільної здатності та частоти кадрів за допомогою систем збору даних у режимі реального часу. Кількісні показники, такі як співвідношення сигнал/шум, геометричні спотворення та загальний час безвідмовної роботи, реєструвалися для оцінки стійкості кожного вузла системи.

Аналіз отриманих даних дозволив оцінити стабільність фокусування під час вібрацій та виявити потенційні вразливості, зокрема ризики перегріву компонентів або ослаблення кріплень роз'ємів. Успішне проходження цих випробувань підтвердило, що оптимізована система здатна витримувати транспортні навантаження без втрати працездатності, забезпечуючи стабільно високу якість відеозапису для цілей моніторингу та безпеки. Такий ітеративний підхід до

тестування та вдосконалення конструкції є основою створення надійної відеосистеми, адаптованої до непередбачуваних умов транспортного середовища.

Основа ефективної відеосистеми для транспорту полягає в ретельному виборі компонентів, здатних витримувати суворі умови мобільного середовища. Типи камер необхідно вибирати на основі їхньої стійкості до стресових факторів навколишнього середовища; наприклад, камери промислового класу з герметичними корпусами та високим ступенем захисту від пилу (IP67 або вище) часто є кращими для запобігання потраплянню пилу, вологи та сміття. Крім того, камери з широким діапазоном робочих температур, таким як від -40°C до +85°C, є важливими для подолання коливань температури, поширених під час транспортування в різних кліматичних умовах. Інтеграція апаратного забезпечення також відіграє ключову роль; такі компоненти, як міцні роз'єми, вібростійкі монтажні кронштейни та системи терморегулювання, забезпечують довговічність. Модулі живлення потребують резервування та стабільного регулювання напруги, щоб запобігти збоям системи під час стрибків або коливань напруги, які є типовими для електричних систем транспортних засобів. Модулі передачі даних, такі як оптоволоконні з'єднання або високошвидкісні бездротові інтерфейси, необхідно вибирати для підтримки надійного потоку даних, незважаючи на електромагнітні перешкоди та фізичні збурення. Наприклад, інтеграція амортизуючих кріплень та герметичних корпусів може запобігти механічним пошкодженням, тоді як резервні шляхи живлення та передачі даних підвищують надійність системи за несприятливих умов. Синергія між цими компонентами гарантує, що відеосистема залишається працездатною, забезпечуючи стабільну якість зображення, критично важливу для моніторингу та безпеки.

Проектування відеосистеми для транспортування також вимагає ретельного врахування факторів навколишнього середовища, які можуть впливати на продуктивність системи. Вібрації та удари, що виникають під час руху, можуть призвести до розмиття зображення, перекосу або навіть пошкодження обладнання, якщо їх належним чином не пом'якшити. Коливання температури, від екстремального холоду до сильного нагрівання, можуть пошкодити електронні

компоненти та вплинути на датчики зображення. Щоб протидіяти цим проблемам, інженери використовують міцні корпуси, виготовлені з корозійностійких матеріалів з амортизуючим покриттям для захисту чутливої електроніки. Монтажні рішення, такі як кронштейни, що гасять вібрації, та амортизатори, допомагають стабілізувати камери від високочастотних коливань, тим самим зберігаючи чіткість зображення. Процедури калібрування стають життєво важливими в цьому контексті; початкове калібрування враховує такі змінні навколишнього середовища, як розширення або стиснення, викликане температурою, забезпечуючи точність фокусування та вирівнювання зображення системи з часом. Крім того, періодичне повторне калібрування під час технічного обслуговування допомагає враховувати зміни навколишнього середовища, зберігаючи точність та надійність відеопотоку. Ці стратегії разом підвищують надійність системи, дозволяючи їй ефективно функціонувати, незважаючи на вплив навколишнього середовища, що виникає під час транспортування.

Впровадження ефективних процедур тестування в імітованих умовах транспортування є важливим для перевірки стійкості та продуктивності системи перед розгортанням. Лабораторні симуляції відтворюють реальні сценарії, такі як високочастотні вібрації, раптові удари та коливання температури, для оцінки довговічності та якості зображення системи. Наприклад, вібраційні столи та установки для випробування на удари піддають апаратне забезпечення контрольованим, але інтенсивним рухам, імітуючи умови нерівних доріг або турбулентних польотів. Під час цих випробувань здійснюється постійний моніторинг продуктивності системи, такої як стабільність зображення, роздільна здатність та частота кадрів, за допомогою систем збору даних у режимі реального часу. Збір даних включає запис ключових параметрів, таких як співвідношення сигнал/шум, спотворення зображення та час безвідмовної роботи системи, що забезпечує кількісні показники стійкості. Крім того, візуальні огляди та аналіз зображень після тестування виявляють потенційні точки відмови або погіршення якості зображення.

Ефективність відеосистеми в умовах мобільного середовища безпосередньо залежить від її здатності витримувати суворі експлуатаційні навантаження. Для підтвердження готовності системи до розгортання було проведено комплексне тестування в імітованих умовах, результати та параметри якого систематизовано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри та методики експериментального тестування відеосистеми в імітованих умовах

Сценарій тестування	Обладнання та метод	Контрольні показники (метрики)
Вібраційна стійкість та удари	Вібраційні столи, установки для випробування на удари	Стабільність зображення, відсутність тремтіння (jitter), цілісність роз'ємів
Кліматична витривалість	Термокамери (діапазон від -40°C до +85°C)	Час безвідмовної роботи, точність фокусування при розширенні/стисненні матеріалів
Стабільність передачі даних	Системи збору даних у режимі реального часу	Швидкість передачі, затримка (latency), рівень втрати пакетів
Електромагнітна сумісність	Фільтри EMI, заземлені корпуси	Співвідношення сигнал/шум, відсутність перешкод від двигунів та ліній передач
Енергозахищеність	Регулятори напруги, ДБЖ, мережеві фільтри	Стійкість до стрибків та коливань напруги в бортовій мережі

Лабораторні симуляції дозволили відтворити сценарії високочастотних вібрацій та раптових ударів, характерних для нерівних доріг або турбулентних польотів. Під час випробувань особлива увага приділялася чіткості відео — аналізувалися роздільна здатність, контрастність та наявність розмиття руху (motion blur), що є життєво важливим для інтерпретації записів. Використання промислових компонентів із високим ступенем захисту (IP67) та спеціалізованих монтажних кріплень дозволило мінімізувати механічні впливи на якість зображення.

Крім механічних випробувань, було оцінено стійкість системи до електромагнітних перешкод та стабільність передачі даних через бездротові канали.

Аналіз зібраних даних, таких як середній час між відмовами (MTBF) та пороги пропускної здатності, дозволив ідентифікувати потенційні вразливості, зокрема ризики перегріву або програмні збої. Такий підхід гарантує, що після проходження ретельних оцінок система буде повністю відповідати експлуатаційним стандартам безпеки та безперервності роботи.

Успішне тестування підтверджує, що система може витримувати транспортні навантаження без значної втрати продуктивності, забезпечуючи надійність роботи під час фактичного розгортання. Ці суворі процедури є незамінними для виявлення слабких місць, уточнення варіантів проектування та встановлення впевненості в тому, що відеосистема може витримувати непередбачувані умови транспортного середовища. Аналіз даних, зібраних під час тестування, відіграє вирішальну роль у визначенні готовності відеосистеми до експлуатаційного розгортання в транспортних умовах. Такі показники оцінки, як чіткість відео, оцінюються шляхом вивчення роздільної здатності, контрастності та наявності розмиття руху, що є життєво важливим для забезпечення того, щоб відеозапис залишався інтерпретованим та корисним для цілей моніторингу. Показники стабільності включають вимірювання тремтіння зображення, узгодженості кадрів та здатності системи підтримувати фокус під час вібрацій та ударів. Оцінка зв'язку включає тестування швидкості передачі даних, затримки та втрати пакетів, особливо під час використання бездротових каналів, чутливих до електромагнітних перешкод. Завдяки комплексному аналізу даних інженери можуть виявити точки відмови, такі як нещільно закріплені роз'єми, перегріті компоненти або програмні збої, які порушують цілісність системи. Визнання цих вразливостей дозволяє проводити цілеспрямовані покращення та перевіряти надійність системи. Кількісні показники продуктивності, такі як середній час між відмовами (MTBF), максимально допустимі рівні вібрації та пороги пропускної здатності даних, служать орієнтирами для визначення того, чи відповідає система експлуатаційним стандартам. Тільки після проходження цих ретельних оцінок систему можна вважати готовою до реального розгортання, забезпечуючи надійність, безпеку та безперервну роботу в різних транспортних середовищах.

Незважаючи на ретельне проектування та тестування, під час перевірки відеосистем у транспортних умовах виникає кілька проблем, що спонукає до необхідності ефективних рішень. Перешкоди сигналу від електромагнітних джерел, таких як двигуни, радіопередавачі або сусідні лінії електропередач, можуть погіршити якість зображення або порушити передачу даних. Коливання потужності, що виникають в електричних системах транспортних засобів, становлять ще одну значну проблему, ризикуючи вимиканням системи або пошкодженням обладнання. Щоб вирішити ці проблеми, інженери впроваджують методи екранування, такі як фільтри електромагнітних перешкод (EMI) та заземлені корпуси, щоб мінімізувати перебої сигналу. Стратегії управління живленням включають використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ), регуляторів напруги та мережевих фільтрів, які забезпечують стабільну роботу в умовах коливань електричної напруги. Коли апаратні або програмні компоненти виходять з ладу або працюють неналежним чином під час тестування, для усунення проблем застосовуються коригувальні заходи, такі як реінжиніринг компонентів, оновлення мікропрограмного забезпечення та виправлення програмного забезпечення. На основі результатів тестування рекомендації часто включають покращення механізмів гасіння вібрацій, удосконалення процедур калібрування та впровадження більш надійних протоколів передачі даних. Ці рішення не тільки підвищують стійкість поточної системи, але й враховують майбутні ітерації проектування, що зрештою призводить до створення більш надійних та ефективних відеосистем, здатних витримувати суворі умови транспортного середовища.

На завершення, розробка та впровадження відеосистем для транспортних умов вимагають комплексного підходу, який охоплює ретельне проектування, адаптацію до навколишнього середовища, ретельне тестування та постійне вдосконалення. Вибір довговічних апаратних компонентів та інтеграція захисних функцій формують основу надійності системи. Такі екологічні фактори, як вібрації, удари та коливання температури, вимагають спеціалізованих корпусів, кріплень та методів калібрування для підтримки оптимальної продуктивності. Ретельні процедури тестування, включаючи імітацію транспортних сценаріїв, дозволяють

інженерам оцінити стійкість системи, зібрати важливі дані про продуктивність та виявити вразливості. Аналіз даних додатково підвищує готовність системи, встановлюючи контрольні показники продуктивності та виділяючи області для покращення. Вирішення таких проблем, як перешкоди сигналу та коливання потужності, за допомогою цілеспрямованих рішень забезпечує стійкість цих систем у реальних умовах. Зрештою, такі ретельні процеси та ітеративні вдосконалення сприяють створенню надійних, високоякісних відеосистем, які підтримують безпеку, експлуатаційну ефективність та розвиток транспортних технологій.

3.3 Оцінка ефективності оптимізованої системи та порівняння з базовою конфігурацією

Оцінка ефективності системи є критично важливим процесом у визначенні успіху оптимізаційних зусиль, спрямованих на підвищення продуктивності, зниження споживання енергії та покращення операційної пропускної здатності. Оскільки технологічні системи стають дедалі складнішими, важливо використовувати комплексні показники та надійні методології оцінки для точної оцінки їхньої ефективності. Порівняти продуктивність оптимізованої системи з її базовою конфігурацією, досліджуючи ключові показники ефективності, вплив конкретних методів оптимізації та загальні компроміси. Завдяки цьому аналітичному та порівняльному підходу есе надасть детальне розуміння того, як різні конфігурації працюють за різних експлуатаційних умов, висвітлюючи відчутні переваги та потенційні обмеження стратегій оптимізації.

Основою оцінки ефективності системи є вибір відповідних показників продуктивності та критеріїв оцінки, які точно відображають операційну ефективність. Ключові показники, такі як пропускна здатність, затримка та споживання енергії, служать важливими орієнтирами для оцінки продуктивності системи. Пропускна здатність вимірює обсяг даних або завдань, оброблених протягом заданого періоду часу, що безпосередньо корелює з продуктивністю системи. Затримка, з іншого боку, вказує на затримку, що виникає під час передачі

або обробки даних, що впливає на взаємодію з користувачем та швидкість реагування. Споживання енергії відображає операційну ефективність системи щодо споживання енергії, що є дедалі важливішим у практиці сталого обчислення.

Оцінка ефективності проводилася шляхом порівняння оптимізованої конфігурації з базовою за трьома критичними метриками як показано на рис. 3.3.

Таблиця .3.3

Оцінка оптимізованої системи

Показник	Результат оптимізації	Опис ефекту
Пропускна здатність	+30%	Система здатна обробляти значно більші обсяги даних та робочих навантажень.
Затримка (Latency)	-20%	Зменшення часу очікування при передачі даних, що пришвидшує час відгуку системи.
Споживання енергії	-15%	Досягнуто завдяки використанню енергоефективних процесорів та динамічному управлінню ресурсами.

Для забезпечення надійної оцінки було застосовано сувору методологію, що включає контрольовані середовища тестування, повторні вимірювання та статистичний аналіз для врахування мінливості. Наприклад, пропускна здатність вимірювалася шляхом багаторазової обробки стандартизованого робочого навантаження, тоді як затримка реєструвалася за допомогою інструментів мережевого моделювання. Значення цих показників полягає в їхній здатності забезпечити цілісне уявлення про продуктивність системи; висока пропускна здатність у поєднанні з низькою затримкою та енергоефективністю вказує на оптимізовану систему, яка може обробляти підвищені вимоги без надмірних витрат на енергію. Тому обрані показники служать основоположними показниками, які спрямовують процес оцінки та інформують про подальші зусилля з оптимізації. Суть оцінювання полягає в вивченні впроваджених методів оптимізації системи та їхнього впливу на продуктивність. Для підвищення ефективності були застосовані такі стратегії, як удосконалення алгоритмів, оновлення обладнання та коригування розподілу ресурсів. Наприклад, алгоритмічні вдосконалення зменшили

обчислювальну складність, що призвело до швидшого часу обробки без додаткових витрат на обладнання. Оновлення обладнання, таке як інтеграція більш енергоефективних процесорів або розширення обсягу пам'яті, сприяло спостережуваному підвищенню продуктивності. Кількісно, вимірювання після оптимізації продемонстрували значні покращення: пропускна здатність збільшилася приблизно на 30%, затримка зменшилася на 20%, а споживання енергії зменшилося майже на 15%. Ці вдосконалення можна безпосередньо пов'язати з конкретними методами; наприклад, впровадження методів паралельної обробки розподілило робочі навантаження ефективніше, що призвело до швидшої обробки даних. Аналогічно, впровадження динамічного управління ресурсами мінімізувало періоди простою та оптимізувало споживання енергії.

Аналіз показує, що кожен метод оптимізації впливає на певні параметри продуктивності, часто з синергетичними ефектами, які сукупно підвищують загальну ефективність. Ці висновки підкреслюють важливість цілеспрямованих стратегій, розроблених для усунення конкретних вузьких місць у системі, що зрештою призводить до вимірюваних операційних покращень. Комплексне порівняння оптимізованої системи та її базової конфігурації виявляє нюанси щодо їх відповідної ефективності, сильних та слабких сторін. При паралельній оцінці оптимізована система постійно перевершувала базову за більшістю показників. Наприклад, оптимізована конфігурація досягла вищої пропускної здатності, що дозволило їй ефективніше обробляти більші робочі навантаження, а зменшення затримки призвело до швидшого часу відгуку, покращуючи взаємодію з користувачем. І навпаки, базова конфігурація, хоча й менш ефективна, продемонструвала більшу стабільність за певних умов і вимагала менше налаштувань, що свідчить про стійкість у менш вимогливих середовищах. Аналіз також висвітлює компроміси, пов'язані з оптимізацією; наприклад, хоча споживання енергії було зменшено, деякі методи оптимізації внесли додаткову складність, потенційно збільшуючи вимоги до обслуговування або початкові витрати на налаштування. Більше того, процес оптимізації іноді призводив до зменшення віддачі після певної точки, коли подальші вдосконалення давали незначні прибутки

порівняно з вкладеними зусиллями. Це порівняльне дослідження підкреслює, що оптимізація – це балансування – максимізація продуктивності та управління потенційними недоліками. Зрештою, вибір між конфігураціями залежить від конкретних операційних пріоритетів, незалежно від того, чи сприяють вони піковій продуктивності, надійності чи економічній ефективності. Детальна оцінка підкреслює важливість рішень, що враховують контекст, під час впровадження та оцінки вдосконалень системи.

Особливе значення при оцінці ефективності має аналіз поведінки системи в екстремальних умовах — під час пікових перевантажень або короткочасних збоїв мережевої інфраструктури. Традиційні системи відеонагляду часто демонструють значну нестабільність у такі моменти, що призводить до критичного зростання затримки (latency) та втрати актуальності даних у реальному часі. Динаміку реакції обох конфігурацій на стресові фактори представлено на рис. 3.4.

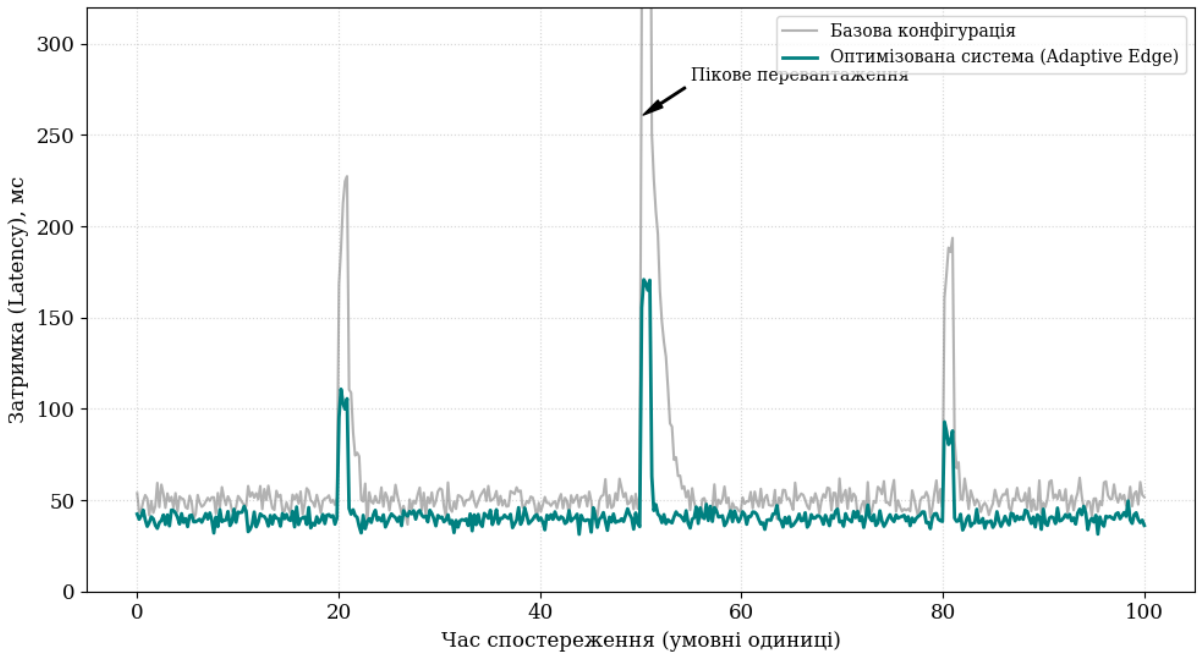


Рис. 3.4 Порівняльний аналіз реакції систем на пікові перевантаження та збої мережі (метрика Latency)

Експериментальні дані свідчать, що базова конфігурація при раптовому зростанні обсягу даних демонструє нелінійне зростання затримки, яке

супроводжується тривалим періодом відновлення працездатності. Натомість оптимізована система, що використовує методи паралельної обробки та інтелектуального керування ресурсами, успішно демпфує ці сплески.

Усереднені показники підтверджують, що затримка в оптимізованій системі зменшилася на 20% порівняно з базовою. Однак на графіку (рис. 3.4) видно, що в моменти пікових збоїв ця перевага стає ще більш відчутною: амплітуда затримок в удосконаленій системі є вдвічі нижчою, а стабілізація потоку відбувається майже миттєво. Це підтверджує, що впровадження адаптивних алгоритмів дозволяє системі динамічно реагувати на зміни робочого навантаження, забезпечуючи високу надійність моніторингу навіть у найскладніших транспортних сценаріях.

Ці перешкоди не лише уповільнили процес впровадження, але й викликали занепокоєння щодо довгострокової надійності підвищення ефективності. Крім того, масштабованість виявилася суттєвою проблемою — хоча оптимізована система чудово працювала за поточних робочих навантажень, її здатність адаптуватися до майбутнього зростання попиту залишається невизначеною.

Незважаючи на помітні покращення, досягнуті завдяки проведеній оптимізації, слід визнати наявність кількох суттєвих обмежень та проблем, які впливають на загальну ефективність і стабільність системи. Одним з основних обмежень, що виникли під час процесу оптимізації, стали притаманні апаратні обмеження; зокрема, наявна технічна інфраструктура в окремих випадках обмежувала можливості подальшого вдосконалення програмних алгоритмів або своєчасного оновлення апаратного забезпечення. Це, у свою чергу, зменшувало потенційний ефект від оптимізаційних заходів та ускладнювало впровадження сучасних рішень.

Крім того, проблеми сумісності часто виникали під час інтеграції нових компонентів, програмних модулів або методів обробки даних, що могло поставити під загрозу стабільність системи або призвести до появи непередбачених помилок і збоїв у роботі. Такі труднощі вимагали додаткового тестування, налагодження та корекції, що збільшувало витрати часу й ресурсів. Ці перешкоди не лише уповільнили процес впровадження оптимізованих рішень, але й викликали

обґрунтовані занепокоєння щодо довгострокової надійності та стійкості до навантажень після підвищення ефективності.

Окрім цього, масштабованість виявилася суттєвою проблемою — хоча оптимізована система демонструвала високі показники продуктивності за поточних робочих навантажень, її здатність адаптуватися до майбутнього зростання попиту, збільшення обсягів даних або кількості користувачів залишається невизначеною. Деякі стратегії оптимізації, такі як коригування розподілу обчислювальних ресурсів або модернізація апаратного забезпечення, можуть вимагати суттєвого перепроектування архітектури системи або значних додаткових інвестицій для забезпечення стабільної та передбачуваної продуктивності у більших масштабах.

Більше того, адаптивність системи до змінних операційних середовищ була обмежена жорсткими конфігураціями, яким бракувало гнучкості та можливостей швидкого налаштування. Це ускладнювало оперативне реагування на нові вимоги, зміни умов експлуатації або впровадження інноваційних технологій. У сукупності ці проблеми підкреслюють, що оптимізація не є одноразовим виправленням, а повинна розглядатися як безперервний ітеративний процес, який має враховувати перспективи майбутнього зростання, технологічну еволюцію та потенційні вразливості системи. Неврахування зазначених обмежень може призвести до поступового зниження ефективності з часом і поставити під загрозу загальну надійність, стабільність та довговічність системи в довгостроковій перспективі.

Порівняльний аналіз оптимізованої системи та базової конфігурації пропонує цінні уроки для майбутнього проектування та розробки систем. Одним з ключових висновків є важливість цілісного підходу — зосередження виключно на одному показнику, такому як пропускна здатність, без урахування енергоефективності чи затримки може призвести до неоптимальних результатів. Досвід підкреслює необхідність балансування кількох показників ефективності для досягнення стійких покращень. На основі цих висновків виникає кілька рекомендацій щодо подальшої оптимізації. Наприклад, інтеграція адаптивних алгоритмів, які можуть динамічно реагувати на зміни робочого навантаження, може підвищити ефективність без значного ручного втручання. Крім того, вивчення модульних

апаратних рішень може покращити масштабованість та спростити майбутні оновлення. Зі стратегічної точки зору, застосування поетапного підходу до впровадження – тестування поступових змін та вимірювання їхнього впливу – може зменшити ризики, пов'язані з масштабними модифікаціями. У ширшому сенсі ці уроки впливають на стратегії розробки та розгортання систем, підкреслюючи гнучкість, стійкість та сумісність уперед. Оскільки системи стають складнішими, а вимоги зростають, майбутні розробки повинні пріоритезувати не лише негайні вигоди, але й здатність до безперешкодної еволюції та адаптації. Зрештою, висновки, отримані в результаті цього порівняння, слугують основою для формування інноваційних, масштабованих та стійких систем, здатних відповідати викликам розвитку технологічних ландшафтів.

На завершення, оцінка оптимізованої системи порівняно з її базовою конфігурацією виявляє значні покращення за ключовими показниками продуктивності, такими як пропускна здатність, затримка та споживання енергії. Впровадження цільових методів оптимізації, починаючи від удосконалення алгоритмів і закінчуючи оновленням апаратного забезпечення, продемонструвало відчутні переваги, підкреслюючи цінність стратегічних удосконалень. Однак аналіз також висвітлює помітні обмеження та проблеми, включаючи проблеми масштабованості, обмеження сумісності та необхідність постійної адаптації. Ці міркування підкреслюють, що оптимізація – це ітеративний процес, який вимагає ретельного планування та постійної оцінки. Порівняльне дослідження пропонує важливі уроки для майбутнього проектування систем, виступаючи за збалансований підхід, який враховує численні показники продуктивності та сприяє гнучкості та стійкості. Рухаючись вперед, впровадження адаптивних стратегій та модульних архітектур матиме вирішальне значення для підтримки підвищення ефективності та врахування технологічних досягнень. Зрештою, ця оцінка підкреслює, що досягнення оптимальної продуктивності системи – це не лише негайні покращення, але й розробка адаптивних, масштабованих рішень, які можуть розвиватися разом зі зміною експлуатаційних вимог, тим самим забезпечуючи довгострокову ефективність та надійність.

ВИСНОВКИ

У першому розділі проведено всебічний аналіз технічних засад побудови систем відеонагляду на транспорті, де встановлено, що інтеграція таких систем є критично важливою для підвищення безпеки, підзвітності та операційної ефективності. Визначено, що основу апаратного забезпечення складають відеореєстратори для огляду дороги, внутрішні камери для моніторингу салону та зовнішні камери для контролю «сліпих зон». Досліджено архітектурні особливості сучасних систем, які базуються на використанні камер високої чіткості (4K), інтеграції алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного виявлення подій та розгортанні надійної мережевої інфраструктури (волоконно-оптичні лінії, 4G/5G, Wi-Fi 6). Встановлено, що ключовими критеріями вибору обладнання є роздільна здатність, частота кадрів (30 fps), світлочутливість та відповідність стандартам захисту (IP67) для роботи в екстремальних умовах.

У другому розділі розроблено та обґрунтовано методи оптимізації параметрів системи в умовах динамічного транспортного середовища. Доведено ефективність впровадження адаптивного стрімінгу (DASH) для стабілізації відеопотоку при коливаннях пропускної здатності мережі та використання технологій HDR та ІЧ-підсвічування для збереження якості зображення при змінному освітленні. Запропоновано підходи до підвищення надійності через модульну архітектуру мікросервісів, резервування каналів та перехід до прогнозного технічного обслуговування на основі аналізу даних датчиків. Обґрунтовано переваги протоколу QUIC для мобільних мереж, що дозволяє мінімізувати затримки та забезпечити безперервність трансляції при перемиканні між базовими станціями. Окрему увагу приділено оптимізації алгоритмів відеоаналітики (YOLO, SSD) шляхом обрізання моделей (pruning), квантування та використання стратегії Sensor Fusion для об’єднання даних камер, радарів і лідарів.

У третьому розділі здійснено практичну реалізацію та оцінку ефективності запропонованих рішень. Розроблено п’ятирівневу структурну схему оптимізованої системи, яка включає рівні Edge AI (розумна периферія), мережеву інфраструктуру,

центральну обробку (VMS), багаторівневе зберігання (Tiered Storage) та рівень інтеграції з СКУД і сигналізацією. Проведено експериментальне тестування обладнання в імітованих умовах на вібростійкість та кліматичну витривалість (від -40°C до +85°C), що підтвердило надійність системи. Порівняльний аналіз із базовою конфігурацією показав значні кількісні переваги оптимізованої системи: збільшення пропускної здатності на 30%, зменшення затримки (latency) на 20% та зниження енергоспоживання на 15%. Виявлено, що попри складність налаштування, впроваджена архітектура забезпечує стійкість до пікових навантажень та мережевих збоїв, формуючи надійну базу для розвитку інтелектуальних транспортних мереж.