

УДК 004.032.6:004.6

МЕТОДИ МІНІМІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ НАДМІРНОСТІ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНВЕРСІЇ ПОТОКОВИХ МЕДІА-РЕСУРСІВ

Шимко Д.І., Левикін І.В.

e-mail: dmytro.shymko@nure.ua, ihor.levykin@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МСТ
м. Харків, Україна

Real-time conversion of dynamic streaming media encounters computational bottlenecks due to the continuous processing of redundant frames. This study proposes a three-tier context-aware adaptive filtering architecture to minimize load during the automated conversion of visual data into structured databases. Media streams are classified into dynamic interaction, passive standby, and target informational states. To eliminate redundancy, the system integrates hardware-driven state transitions, topological blocking with adaptive sampling, and state-predictive delays. These models significantly optimize resource consumption while preserving the semantic integrity of the extracted data.

У контексті розвитку систем автоматизації розробки та конверсії медіа-ресурсів одним з ключових викликів залишається обробка високодинамічних відеопотоків у реальному часі на локальних обчислювальних пристроях. Безперервний покадровий аналіз медіа-даних для їх подальшої конверсії генерує надмірне обчислювальне навантаження, оскільки в реальних умовах переважний обсяг потокового відео містить несуттєві фонові елементи, що не несуть змістового навантаження [1], що призводить до значної обчислювальної та інформаційної надмірності. Відповідно, успішна автоматизація конверсії медіа-ресурсів у структуровані бази даних вимагає переходу від безперервного моніторингу до адаптивних подієво-орієнтованих моделей фільтрації.

З огляду на це, головною метою дослідження є розробка моделей адаптивного керування станами, що забезпечує оптимізацію процесів захоплення візуальних даних та зниження апаратного навантаження під час автоматизованої семантичної конверсії медіа-ресурсів

Для забезпечення універсальності підходу процес генерації та аналізу медіа-ресурсу було класифіковано на три базові логічні стани.

1. Стан динамічної взаємодії: активна фаза зміни медіа-середовища. Необхідність відслідковування даних у цьому стані не є абсолютною і суто залежить від специфіки застосованих алгоритмів та визначених поведінкових патернів.

2. Стан пасивного очікування: перебування системи у стабільних, але нецільових умовах, де ключова інформація тимчасово відсутня.

3. Цільовий інформаційний стан: наявність у кадрі високої щільності цільових інформаційних елементів, які підлягають вилученню та подальшій конверсії у структуровані дані.

Ідентифікація зазначених станів є передумовою для оптимізації обчислювальних процесів. Традиційні підходи до аналізу відеопотоків спираються на статичну інтенсивність сканування, яка не диференціює фази активної динаміки та пасивного очікування, що неминуче призводить до нераціонального споживання апаратних ресурсів. Натомість, урахування поточного візуального контексту дозволяє системі динамічно адаптувати навантаження, концентруючи максимальні обчислювальні потужності виключно на етапі обробки цільового інформаційного стану.

Для програмної реалізації такого контекстно-залежного підходу розроблено логічне ядро, що базується на архітектурі скінченного автомата (Finite State Machine). Цей механізм забезпечує дискретне та асинхронне перемикання між визначеними режимами. На базі цієї моделі станів розроблено трирівневу архітектуру оптимізації, яка динамічно контролює частоту захоплення візуальних даних та їх передачу на етап фінальної семантичної конверсії.

1. Полімодальне керування станами на основі апаратних тригерів: використання пристроїв введення є дієвим методом керування циклом візуальної обробки, що дозволяє уникнути непотрібних операцій збору даних в ексклюзивних (взаємовиключних) контекстах. Замість постійного візуального сканування запропоновано модель, де система динамічно реагує на визначені поведінкові фактори та прямі команди керування. Це дозволяє примусово призупиняти ресурсоемний візуальний аналіз під час специфічних фаз стану динамічної взаємодії або миттєво активувати модулі сканування за ініціативою користувача чи зовнішнього тригера.

2. Топологічне блокування та адаптивний семплінг: зважаючи на ефективність ранньої фільтрації кадрів за допомогою легких просторових метрик [2], для мінімізації навантаження застосовано метод аналізу розріджених масивів контрольних пікселів. У випадку швидкої візуальної ідентифікації Стану пасивного очікування алгоритм призупиняє ресурсоемні процеси розпізнавання та ініціює тимчасове блокування захоплення кадрів на визначений інтервал часу, максимально зберігаючи обчислювальні ресурси до очікуваної зміни візуального контексту.

3. Макро-затримка на основі передбачення станів: збір даних із постійними інтервалами викликає значне накопичення надлишкових даних у періоди повільної зміни цільового об'єкта [3]. Для вирішення цієї проблеми розроблено механізм превентивних затримок обробки. У випадках ідентифікації певних тригерних подій система ініціює пролонговану паузу візуального захоплення. Оскільки кожному ідентифікованому стану програмно зіставлено відповідний інтервал, ця макро-затримка ефективно нівелює обчислювальну надмірність у перехідні періоди між станами.

Практичним наслідком впровадження запропонованої архітектури є радикальне зниження обчислювального навантаження на хост-систему.

Відмова від тотального покадрового семантичного аналізу на користь обробки розріджених піксельних масивів у пасивних станах дозволяє вивільнити значний обсяг ресурсів центрального процесора. Крім того, інтеграція макро-затримок запобігає марному опитуванню системи у періоди відсутності цільових даних. На практиці це зберігає стабільність частоти кадрів основного медіа-потоків та зменшує ризик системних зависань навіть на обчислювальних вузлах зі слабкою апаратною конфігурацією. Таким чином, розроблений алгоритм виконує роль легкового фільтра, який забезпечує точну екстракцію даних без деградації продуктивності цільового середовища.

Результати дослідження підтверджують, що для забезпечення ефективності систем автоматизації конверсії поточкових медіа-ресурсів критично необхідною є інтеграція механізмів фільтрації надлишкових даних. Впровадження систематизованих моделей апаратного переривання, відкладеного трекінгу та адаптивного семплінгу дозволяє універсалізувати підхід до обробки візуальної інформації.

Запропонована архітектура забезпечує кратне зниження кількості циклів візуальної обробки та мінімізує обчислювальне навантаження на периферійні пристрої пропорційно до тривалості визначених станів системи, зберігаючи семантичну цілісність вилучених даних

Список використаних джерел:

1. Левикін, І.В., & Шимко Д.І. (2025). Методи автоматизованої конверсії відеоконтенту в структурований медіаматеріал. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасні тренди: колективна монографія. Т. 2. (с. 27-48). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». DOI: <https://doi.org/10.30837/PMW.2025.T2.027>.
2. Li, Y., Padmanabhan, A., Zhao, P., et al. (2020). Reducto: On-camera filtering for resource-efficient real-time video analytics. Proceedings of the Annual conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM '20). (p. 359-373). DOI: <https://doi.org/10.1145/3387514.3405874>.
3. Jiang, J., Ananthanarayanan, G., Bodik, P. et al. (2018). Chameleon: scalable adaptation of video analytics. Proceedings of the 2018 Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM '18). (p. 253-266). DOI: <https://doi.org/10.1145/3230543.3230574>.