

С. Г. Семенов, О. В. Ліпчанська, М. В. Ліпчанський

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ВІДЕОПОТОКУ ДАНИХ ТА ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ЇХ ПЕРЕДАВАННЯ

Викладені результати аналізу існуючих вимог до якості передавання відеотрафіка у комп'ютеризованих системах критичного застосування з бездротовими каналами зв'язку на базі мережі 4G. Був проведений аналіз методів управління процесом передавання відеотрафіка в мережах 4G. Розглянуті алгоритми контролю навантаження мережі, алгоритми управління чергами та алгоритми управління буферами у терміналах зв'язку та виділені найбільш ефективні для роботи з відеотрафіком в режимі реального часу. Проведений порівняльний аналіз методів математичної формалізації процесів управління відеотрафіком в бездротових мережах 4G. Порівняльний аналіз методів математичної формалізації процесів управління відеотрафіком показав, що доцільно застосовувати системи масового обслуговування для аналізу і моделювання процесів передавання відеотрафіка в бездротових мережах.

**Ключові слова:** відеотрафік, показники якості передавання даних, комп'ютеризована система критичного застосування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті є одним з найбільш пріоритетних завдань, що вирішуються в Міністерстві Інфраструктури України. У нормативних документах [1, 2] зафіксовано, що основним принципом забезпечення безпеки є вдосконалення системи управління безпекою руху поїздів шляхом впровадження сучасних комп'ютерних технологій і засобів. Однією з сучасних комп'ютеризованих систем критичного застосування є цифрова система відеоспостереження реального часу. Оскільки безпека забезпечується в тому числі і на рухомих об'єктах, то необхідно застосовувати бездротові мережі передавання даних. Так як обсяг відеоінформації з відеокамер в режимі реального часу великий, то оптимальним рішення є застосування мережі 4G. У зв'язку з впровадженням і розвитком в Україні мережі 4G актуальними є питання необхідної якості обслуговування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних комп'ютеризованих систем критичного застосування [3, 4] показав, що для забезпечення безпеки руху поїздів ефективно використовуються телеметричні системи, які відповідають безпосередньо за безпеку поїзда, і системи інтервального регулювання руху поїздів, які регулюють відстань між поїздами. Однак не існує системи візуалізації ділянок руху, які б виконували спостереження за небезпечними ділянками руху під час руху рухомого складу. Тому перспективним і актуальним напрямком є використання цифрових систем відеоспостереження реального часу, зокрема безпосередньо у кабіні машиніста, в вантажних відсіках, на залізничних переїздах та інших аварійно-небезпечних ділянках. В даний час ефективно використання систем відеоспостереження реального часу неможливе без забезпечення основних вимог якості послуг передавання відеопотоку даних, які наведені в [5].

**Формулювання мети статті.** Метою статті є: проведення аналізу існуючих вимог до якості передавання відеотрафіка в бездротових мережах і виділення найбільш істотних цільових показників якості передавання відеотрафіка для комп'ютеризованих

систем критичного застосування; аналіз методів управління процесом передавання відеотрафіка в мережах 4G; аналіз алгоритмів завадостійкого кодування в мобільних мережах; порівняльний аналіз методів математичної формалізації процесів управління відеотрафіком.

### Результати досліджень

**Виклад основного матеріалу.** При розробці цифрової системи передавання відеотрафіка в залізничному транспорті можна виділити кілька груп характеристик якості обслуговування [5]. Загальна спрощена схема приведена на рис. 1.

Серед виділених характеристик якості обслуговування при передаванні відеотрафіка по бездротових мережах найбільш пріоритетними є якісні характеристики передавання даних, при цьому одним з основних показників якості передавання є достовірність, яка в свою чергу характеризується ймовірністю втрати пакета і ймовірністю помилкового прийому, що було визначено в результаті аналізу рекомендацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку [6] щодо показників якості передавання відеотрафіка, рис. 2.

На підставі даних, отриманих з [7, 8], виділені основні показники якості передавання різних типів даних в бездротових мережах 4G та наведені у табл. 1.

Аналіз вимог до якості обслуговування показав, що потоковий відеотрафік в режимі реального часу чутливий до затримок, джиттеру і величини ймовірності втрати / спотворення пакетів. Недотримання допустимих значень даних показників тягне за собою падіння достовірності переданих даних, до яких застосовуються гранично високі вимоги.

В даний час у зв'язку зі збільшенням кількості послуг, що надаються в мережах 4G, а також з особливостями структури управління залізницею виникають складнощі із забезпеченням розглянутих вимог до якості передавання відеотрафіка. Дані проблеми пов'язані з недосконалістю протоколів управління і фізичних засобів передавання даних, ненадійністю передавання даних по бездротовій мережі і з нестабільністю характеристик каналу зв'язку під час руху рухомого складу.

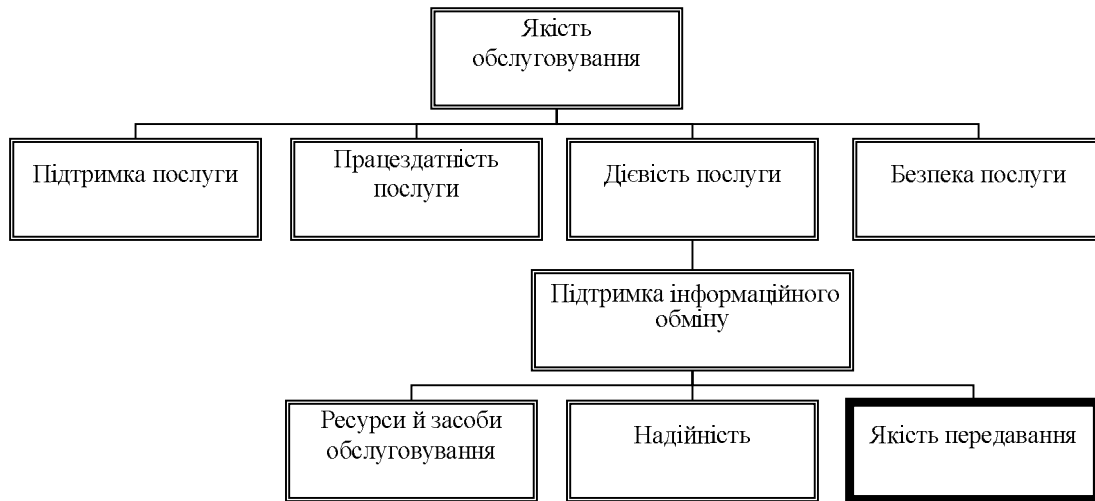


Рис. 1. Спрощена схема характеристик якості обслуговування



Рис. 2. Цільові показники якості передавання відеотрафіка

Таблиця 1. Припустимі значення показників якості передавання різних типів даних

| Приклад послуги                                  | Ймовірність доставки пакета не за адресою, PIR | Ймовірність прийому пакета з помилкою, PER | Типові швидкості передавання даних | Затримка пакета, мс | Джитер затримки, мс | Ймовірність втрати пакета, PLR |
|--|--|--|------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| Розмовне відео (реальне потокове – відеотелефон) | $10^{-3}$                                      | $10^{-7}$                                  | 16 – 384 кбіт/с                    | 150                 | <10                 | $10^{-3}$                      |
| Нерозмовне відео (буферезоване потокове)         | $10^{-6}$                                      | $10^{-6}$                                  | 16 – 384 кбіт/с                    | 300                 | <10                 | $10^{-6}$                      |
| Сигнальний трафік                                | $10^{-6}$                                      | $10^{-6}$                                  |                                    | 100                 | <10                 | $10^{-6}$                      |
| Голос, відео (реальне потокове)                  | $10^{-8}$                                      | $10^{-7}$                                  | 32 – 384 кбіт/с                    | 100                 | –                   | $10^{-3}$                      |
| Інтерактивні ігри                                | $10^{-8}$                                      | $10^{-7}$                                  | <1 кБ                              | 100                 | –                   | $10^{-3}$                      |
| На основі TCP (www, e-mail, чат, FTP та ін.)     | $10^{-6}$                                      | $10^{-7}$                                  | <10 кБ                             | 300                 | –                   | $10^{-6}$                      |

Ефективне вирішення завдання забезпечення заданого рівня достовірності при передаванні відеотрафіка по бездротовому каналу пропонується при спільному використанні і оптимізації методів завадостійкого кодування і методів управління процесом передавання відеотрафіка.

**Алгоритми завадостійкого кодування для мереж мобільного зв'язку.** В якості методів підвищення достовірності передавання даних використовуються згортальні коди [9]; турбокоди: послідовні

каскадні коди на основі алгебраїчних блокових кодів і згортальних кодів, паралельні каскадні коди на основі згортальних кодів; коди з малою щільністю перевірок на парність (LDPC) [10]; блокові коди добуток [11]; полярні коди [12]. У мережах на основі пакетного передавання даних розглянуті коди застосовуються на фізичному, каналному, мережевому і транспортному рівнях. Недоліком даних кодів є відносно висока складність практичної реалізації декодування, а їх основне застосування – вияв-

лення і виправлення помилок в прийнятих пакетах, в той час, як при передаванні мультимедіа даних потрібне відновлення загублених пакетів, на що розглянуті коди не здатні.

Дослідження показали, що на відміну від блокових і згортальних кодів, стираючі коди (Digital Fountain Codes) мають можливість відновлювати втрачені пакети, тому їх застосування дозволяє відправляти дані по ненадійним каналах зв'язку, якими є бездротові канали щодо надійності передавання пакетів [13].

Найпоширенішими кодами даного класу є код Лабі [14], основним недоліком якого є велика затримка сигналу між двома вузлами, що неприйнятно при передаванні відеотрафіка в режимі реального часу, і коди Шокролахі – послідовні каскадні кодові конструкції на основі кодів з фіксованою швидкістю і кодів Лабі – які більш ефективні при передаванні мультимедіа трафіку по бездротових каналах мобільного мережі [15, 16].

**Аналіз методів управління процесом передавання відеотрафіку.** Проведені дослідження дають підставу вважати, що при управлінні трафіком виникає безліч проблем, пов'язаних з гетерогенністю сучасних комп'ютеризованих мереж, з великими навантаженнями на мережі, а також з особливістю сучасних комп'ютеризованих бездротових мереж 4G, які функціонують спільно з провідними мережами [17].

Аналіз алгоритмів контролю навантаження мережі показав, що проблема вирівнювання швидкості передавання даних може бути вирішена за допомогою алгоритмів Token Bucket і Leaky Bucket, принципово відмінністю яких є контрольована (з урахуванням пріоритетів) і неконтрольована втрата пакетів даних.

Алгоритми управління чергами виступають механізмом боротьби з перевантаженнями в мережах, пов'язаними з появою значних черг через пульсуючий характер трафіку. Найбільш використовувані алгоритми: FIFO, алгоритм зважених черг (Weighted Queuing), алгоритм пріоритетних черг (Priority Queing), алгоритм зважених справедливих черг (Weighted Fair Queuing). Порівняльний аналіз алгоритмів керування чергами показав, що алгоритм Priority Queing найбільш підходить для обслуговування відеотрафіка в режимі реального часу, оскільки для трафіку з пріоритетами забезпечує мінімальні затримки.

При розгляді алгоритмів управління буферами були виділені найбільш відомі, такі як алгоритм довільного раннього виявлення переповнення (Random Early Detection) та зважений алгоритм довільного раннього виявлення переповнення (Weighted Random Early Detection). Останній алгоритм є більш ефективним при застосуванні його для передавання відеотрафіка в режимі реального часу, оскільки враховує пріоритетність пакетів.

Для моделювання процесів передавання відеотрафіка в розподілених системах було проведено порівняння методів математичної формалізації процесів управління трафіком [18].

**Методи математичної формалізації процесів управління трафіком.** Як показали дослідження, процеси управління трафіком ефективно формалізуються на базі тензорних моделей, графових моделей, нейронних мереж і мереж масового обслуговування.

Серед достоїнств використання тензорних моделей можна виділити можливість обліку показників, які змінюються в процесі функціонування. При використанні тензорних моделей виникає складність в описі моделі і необхідність її розбиття на прості моделі, що відноситься до недоліків даного методу.

Серед переваг використання графових моделей можна виділити здатність пошуку найкоротшого шляху і здатність оптимізації топології бездротової комп'ютерної мережі; до недоліків відносяться неможливість обліку динамічно змінюваних характеристик потоку вхідних даних і відсутність даних для прогнозування поведінки бездротової комп'ютерної мережі в умовах зовнішніх впливів.

Використання нейронних мереж дає можливість обліку зовнішніх впливів на бездротову комп'ютерну мережу, але має такі недоліки, як тривалість часу навчання мережі і негнучкість щодо динамічних змін в процесі передавання даних. Підхід із застосуванням мереж масового обслуговування має доведену ефективність, є простим у використанні при моделюванні і забезпечує адекватність моделі.

В результаті розглянутих характеристик цих методів можна виділити систему масового обслуговування, як найбільш ефективний інструмент для математичного моделювання процесів передавання відео даних в розподілених системах.

## Висновки

У даній статті в результаті досліджень існуючих вимог до якості передавання відеотрафіка в бездротових мережах було виділено найбільш істотний показник для комп'ютеризованих систем критичного застосування, а саме достовірність, яка характеризується ймовірністю втрати пакетів і ймовірністю прийому пакетів з помилкою. Проведений аналіз методів управління процесом передавання відеотрафіка в мережах 4G показав, що через виявлені недоліки найбільш перспективними для роботи представляються алгоритм управління буферами Weighted Random Early Detection, алгоритм управління чергами Priority Queing і алгоритм контролю за навантаженням Token Bucket (в режимі маркування) з необхідністю їх подальшого удосконалення для обліку високої пріоритетності і підвищених вимог до достовірності передавання відеотрафіка по бездротових мережах в режимі реального часу. Серед розглянутих алгоритмів завадостійкого кодування в мережах мобільного зв'язку були виділені фонтанні коди, застосування яких найбільш ефективно в бездротових мережах. Порівняльний аналіз методів математичної формалізації процесів управління відеотрафіком показав, що доцільно застосовувати системи масового обслуговування для аналізу і моделювання процесів передавання відеотрафіка в бездротових мережах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Верховна Рада України [Електронний ресурс]: наказ про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України. / Міністерство Інфраструктури України. – 2011. – Режим доступу до наказу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11>.
2. Верховна Рада України [Електронний ресурс]: постанова про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. / Кабінет Міністрів України. – 2009. – Режим доступу до постанови: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-%D0%BF>.
3. ИРЗ. [Електронний ресурс]: локомотив. Каталог продукції. – 2014. – С. 22. Режим доступа: [www.irz.ru](http://www.irz.ru).
4. ИРЗ. [Електронний ресурс]: комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У. Режим доступа: <https://www.irz.ru/products/20/70.htm>.
5. ITU-T Recommendation E.800. Definitions of terms related to quality of service. – 2008.
6. ITU-T Recommendation E.802. Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters. – 2007.
7. Alcatel-Lucent Inc. [Електронний ресурс]: The LTE Network Architecture. – 2009. Available: [http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL\\_2013\\_WIRELESS\\_NETWORKS/LTE\\_Alcatel\\_White\\_Paper.pdf](http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf).
8. ETSI TR 103 210 V1.1.1. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); End-to-End Jitter Transmission Planning Requirements for Real Time Services in an NGN context. – 2013.
9. Штомпель Н.А. Тенденции развития методов помехоустойчивого кодирования информации в телекоммуникациях. Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація. – 2017. – С. 35-37.
10. Dahlman E. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G: Third Edition. / E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold // Academic Press. – 2016. – 616 p.
11. Козлов А.В. Подход к построению блочно-перестановочных кодов с малой плотностью проверок на четность. / А.В. Козлов, Е.А. Крук, А.А. Очинников // Вопросы хранения и передачи информации. Изв. Вузов Приборостроение. / Т. 56, №8. – 2013. – С. 9-13.
12. Li J. On the Performance of High-Rate TPC/SPC Codes and LDPC Codes Over Partial Response Channels. / J. Li, R. Narayanan, E. Kurtas, C.N. Georghiadis // IEEE Transactions on Communications. / V.50, N5. – 2002. – P.723-734.
13. MacKay D.J.C.. Fountain codes. Capacity approaching codes design and implementation special section. IEE Proc. Commun., Vol. 152, No. 6. – 2005.
14. Luby M. LT Codes. Proc. of the 43rd Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science (FOCS). – 2002. – P. 271-282.
15. Shokrollahi A. Raptor codes / A. Shokrollahi // IEEE Trans. on Inf. Theory. – 2006. – Vol. 52. – № 6. – P. 2551-2567.
16. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. / W. Stallings // Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey. – 2016. – 544 p.
17. Kuchuk G., Kharchenko V., Kovalenko A., Ruchkov E. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems. East-West Design & Test Symposium (EWDTS). 2016. Pp. 1-6. doi:<https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
18. Ремицкая А. Я. Марковские процессы и простейшие модели теории массового обслуживания. Компьютерное моделирование простейших моделей массового обслуживания. / А.Я Ремицкая, И.А. Суслина // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. / С-Пб: ИТМО – 2007. – С. 239-248.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 28.02.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.04.2018

#### **Анализ методов управления передачей видеопотока данных и требований к качеству их передачи**

С. Г. Семенов, О.В. Липчанская, М.В. Липчанский

В статье изложены результаты анализа существующих требований к качеству передачи видеотрафика в компьютеризированных системах критического применения с беспроводными каналами связи на базе сети 4G. Был проведен анализ методов управления процессом передачи видеотрафика в сетях 4G. Рассмотрены алгоритмы контроля нагрузки сети, алгоритмы управления очередями и алгоритмы управления буферами в терминалах связи и выделены наиболее эффективные для работы с видеотрафиком в режиме реального времени. Проведен сравнительный анализ методов математической формализации процессов управления видеотрафика в беспроводных сетях 4G. Сравнительный анализ методов математической формализации процессов управления видеотрафика показал, что целесообразно применять системы массового обслуживания для анализа и моделирования процессов передачи видеотрафика в беспроводных сетях.

**Ключевые слова:** видеотрафик, показатели качества передачи данных, компьютеризированная система критического применения.

#### **Analysis of video data transmission methods and requirement for the quality of their transmission**

S. Semenov, O. Lipchanska, M. Lipchanskyi

The article presents the results of the analysis of existing requirements to the quality of video transmission in mission-critical computer systems with wireless communication channels based on the 4G network. An analysis was made of the methods for managing the transmission of video traffic in 4G networks. The algorithms of network load control, queue management algorithms and buffer management algorithms in communication terminals are considered and the most effective ones for working with video in real time mode are identified. The comparative analysis of methods of video management processes mathematical formalization in wireless networks 4G is made. Comparative analysis of the methods of mathematical formalization of video traffic control processes has shown that it is expedient to apply mass service systems for analyzing and simulating the transmission of video traffic in wireless networks.

**Keywords:** videotraffic, data transmission quality indicators, mission-critical computer system.