

Рекомендації щодо реалізації методу управління потоком даних на основі різних пріоритетів в стаціонарній компоненті системи зв'язку Збройних Сил України

Добришкін Ю. М., Лаппо І. М., Кузнецов В. О., Геращенко М. М.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів, Україна

E-mail: irinalappo@i.ua

Актуальність. Задача підвищення продуктивності стаціонарного компонента системи зв'язку Збройних Сил України (ЗС України) потребує впровадження відповідних нових методів управління потоком даних на основі різних пріоритетів, які в подальшому мають бути реалізовані в сучасних протоколах маршрутизації у відповідності з концепцією мереж наступного покоління. **Метод.** Досліджено метод управління потоком даних на основі різних пріоритетів в інформаційно-телекомунікаційній мережі стаціонарного компонента системи зв'язку Збройних Сил України, який складається з наступних етапів: моніторинг та аналіз вихідних даних; формування вектору шуканих параметрів; формування метрик використання ресурсів мережі; постановка математичної задачі оптимізації; розв'язання задачі оптимізації. За результатами дослідження встановлено, що в рамках методу забезпечується узгоджене розв'язання задач багатопляхової маршрутизації і адаптивного обмеження інтенсивності потоку на границі інформаційно-телекомунікаційної мережі на основі різних пріоритетів. **Результати.** В статті досліджено метод на конкретному прикладі структури мережі з використанням інструментарію "Optimization Toolbox" програмного пакета Matlab. Розроблені практичні рекомендації щодо практичної реалізації методу в стаціонарній компоненті системи зв'язку ЗС України. **Висновки.** За результатами моделювання встановлено, що реалізація методу в сучасних технологічних рішеннях дозволить підвищити продуктивність інформаційно-телекомунікаційної мережі у середньому на (10-20) %, а також якість обслуговування з ймовірністю доставки пакетів на (1-3) %. Запропонований метод відповідає вимогам концепції управління потоком даних Traffic Engineering. Зазначено, що для перевірки адекватності та достовірності удосконаленого методу в подальшому необхідно провести натурний експеримент на реальному мережевому обладнанні.

Ключові слова: маршрутизація; засоби управління потоком; інформаційно-телекомунікаційна мережа; транспортна мережа; якість обслуговування

DOI: [10.20535/RADAP.2021.87.14-21](https://doi.org/10.20535/RADAP.2021.87.14-21)

Вступ

В умовах сьогодення збільшення обсягів потоків даних різних застосунків зі зростаючими вимогами до якості обслуговування призводить до необхідності вдосконалення системи військового управління, в тому числі і однієї із її складових – стаціонарної компоненти системи зв'язку Збройних Сил України (ЗС України). На думку авторів підвищення продуктивності інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України можливо здійснити шляхом реалізації перспективних мережних технологій (протоколів маршрутизації, механізмів боротьби з перевантаженнями) і закладених в їх

основу нових методів та моделей управління потоком даних.

Об'єктом дослідження є процеси управління потоком даних в ІТМ стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України.

Предметом дослідження є метод управління потоком даних в інформаційно-телекомунікаційній мережі ЗС України.

Метою роботи є підвищення продуктивності ІТМ стаціонарного компонента системи зв'язку ЗС України за рахунок розробки рекомендацій щодо практичної реалізації методу управління потоком даних на основі різних пріоритетів.

1 Постановка проблеми

Стаціонарна компонента системи зв'язку ЗС України та її технічна основа – інформаційно-телекомунікаційна мережа знаходиться на кінцевому етапі переоснащення аналогових засобів, які мають обмежені можливості щодо передачі цифрової інформації, на сучасне телекомунікаційне обладнання, що підтримує швидкості 100 Мбіт/с, десятки Гбіт/с.

Крім того, важливо відмітити, що інформаційно-телекомунікаційна мережа військового призначення повинна будуватись по багатозв'язній схемі, що дозволить у випадку виходу з ладу трактів передачі, підвищити її надійність та забезпечити виконання вимог щодо часових показників якості обслуговування (QoS) потоків даних різних пріоритетів (сигнали бойового управління, службовий документообіг та таке інше).

Виконання зазначених заходів призводить до ускладнення стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України, а також окремих її мережних елементів, закладених в їх основу методів і моделей управління потоком даних [1, 2].

2 Огляд літератури

Як показав проведений аналіз, на рівні транспортної мережі управління потоком даних здійснюється з використанням різних протоколів маршрутизації, наприклад, RIP (Routing Information Protocol), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS (Intermediate System to Intermediate System), алгоритмів управління чергами: RED (Random Early Detection), WRED (Weighted RED), ECN (Explicit Congestion Notification) та інші. На рівні доступу управління потоком полягає у формуванні, згладжуванні та обмеженні інтенсивності у випадку порушення договору про рівень сервісу (Service Level Agreement, SLA). Ці завдання вирішуються за допомогою механізмів – TS (Traffic Shaping) і CAR (Committed Access Rate).

На сьогоднішній день при розв'язанні задач управління потоком даних використовуються графові моделі (алгоритми Дійкстри, Беллмана-Форда, Флойда-Уоршела), методи потокового програмування (метод Галлагера та метод Франка-Волфа) та інші.

Варто зазначити, що недоліком вищеописаних засобів управління потоком та механізмів боротьби з перевантаженнями є те, що вони не погоджені між собою, не в повній мірі враховують зміну поточного завантаження маршрутизаторів, ймовірності виходу з ладу вузлів мережі та каналів зв'язку в умовах ведення бойових дій, що в кінцевому випадку впливає на продуктивність ІТМ стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України [3–5].

3 Матеріали та методи

У зв'язку з цим багато вчених активно працюють над вдосконаленням методологічних принципів управління потоком даних. До їх складу варто віднести, перш за все, Поповського В. В., Лемешко О. В., Євсєєву О. Ю. і багато інших [6–13].

В роботах [14, 15] отримали подальшого розвитку математичні моделі управління потоком даних в умовах узгодженої реалізації задач багатошляхової маршрутизації і превентивного обмеження його інтенсивності на границі транспортної мережі на основі абсолютних та відносних пріоритетів. Погоджений характер рішень забезпечувався за рахунок одночасного розрахунку як маршрутних змінних, так і додатково уведених змінних, які характеризували інтенсивність потоку, що отримав відмову в обслуговуванні мережею та які мають переваги, характерні й для ІТМ стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України.

У роботі [16] одержала розвиток математична модель управління потоком з підтримкою гарантій якості обслуговування, новизна якої полягає у введенні системи додаткових, у загальному випадку, нелінійних умов-обмежень на якість обслуговування одночасно за декількома різнорідними показниками. Виконання цих умов у випадку підтримки мультисервісу сучасними і перспективними ІТМ надає процесу обмеження інтенсивності потоку даних, що надходить до ІТМ, адаптивний і диференційований характер. У роботі метрики протоколів (вагові коефіцієнти) були адаптовані під моделі М/М/1/Ν, М/Д/1/Ν та під модель обслуговування самоподібного потоку. При цьому зі зростанням вимог до якості обслуговування забезпечується адаптивне зростання інтенсивності відмов. Однією із особливостей розробленої моделі [16] є той факт, що відмови спостерігаються при неможливості задоволення вимог за часовими показниками якості обслуговування і показниками надійності, а першочергове обмеження стосується потоків даних, які викликають перевантаження з урахуванням пріоритетів відповідно до значень вагових коефіцієнтів.

Запропоновані в роботах [14–16] математичні моделі описують загальні процеси управління потоком в стаціонарній компоненті системи зв'язку ЗС України. В рамках запропонованих моделей визначено взаємозв'язок між характеристиками потоку даних різних застосунків та керуючими змінними. В той же час порядок використання математичних виразів, які покладені в розроблені моделі, може визначити лише відповідний метод.

В зв'язку з чим, в роботі [17] запропоновано метод управління потоком даних на основі різних пріоритетів в ІТМ стаціонарної компоненти системи зв'язку ЗС України (Рис. 1).

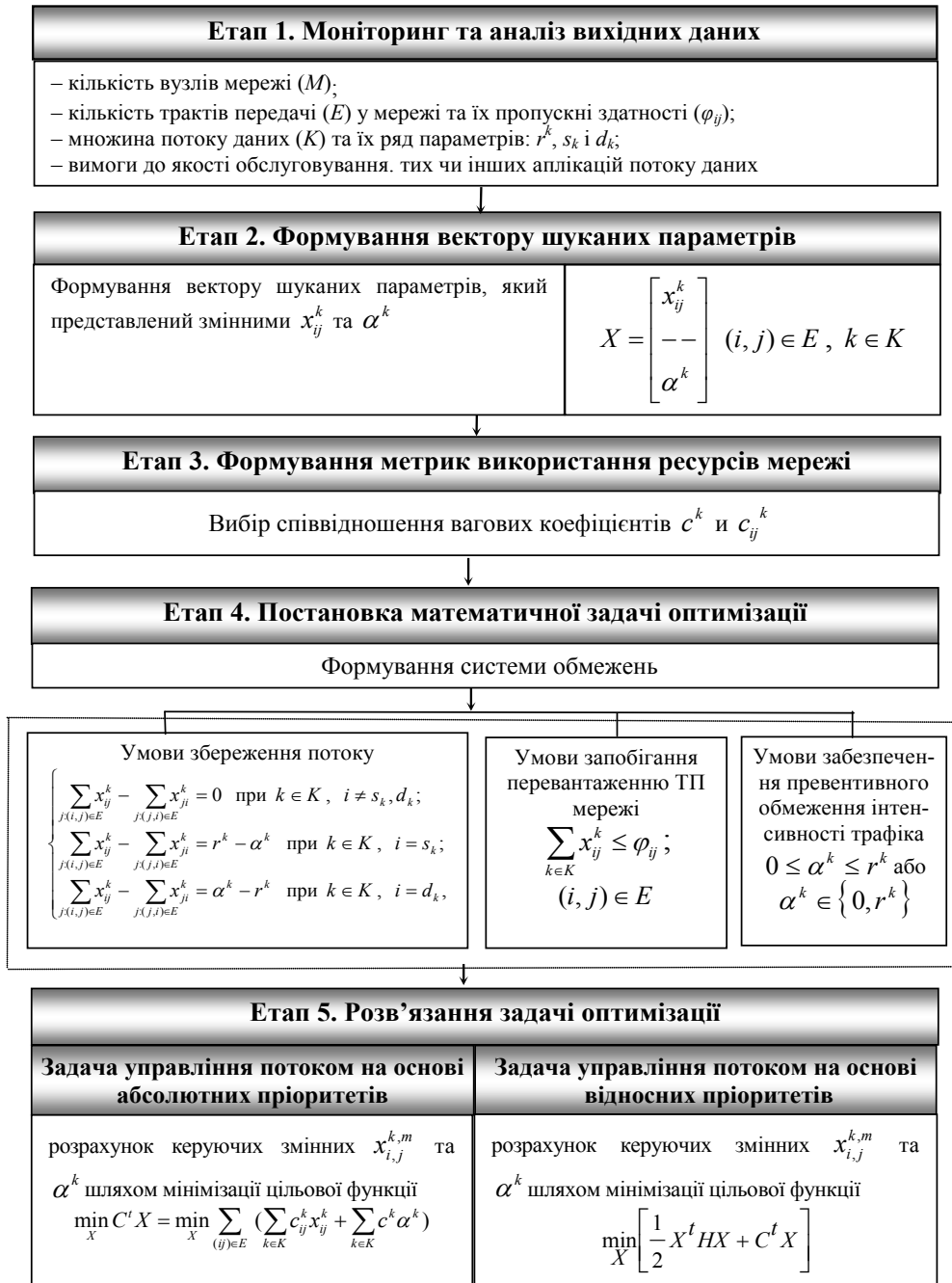


Рис. 1. Структура методу управління потоком даних в стаціонарній компоненті системи зв'язку, де r^k, s_k і d_k – інтенсивність k -го потоку, вузол-джерело й вузол-одержувач відповідно; x_{ij}^k – інтенсивність k -го потоку, що протікає в тракті $(i, j) \in E$; α^k – інтенсивність k -го потоку, що отримав відмову в обслуговуванні мережею; c_{ij}^k, c^k – питомий штраф за завантаженість трактів передачі мережі і за обмеження в обслуговуванні трафіків користувачів

Метод складається з наступних етапів: моніторинг та аналіз вихідних даних; формування вектору шуканих параметрів; формування метрик використання ресурсів мережі; постановка математичної задачі оптимізації; розв'язання задачі оптимізації. З метою розробки практичних рекомендацій щодо реалізації методу управління потоком даних [17] в ІТМ стаціонарного компоненту системи зв'язку

ЗС України виникає необхідність щодо його дослідження для аналізу впливу параметрів на процеси управління потоком з точки зору його маршрутизації та обмеження інтенсивності на границі мережі.

4 Експерименти

Застосування запропонованого в роботі [17] методу проведемо на прикладі, в ході якого проводилося математичне моделювання мережі для структури, представленої на Рис. 2, при спільному обслуговуванні двох потоків даних різних пріоритетів.

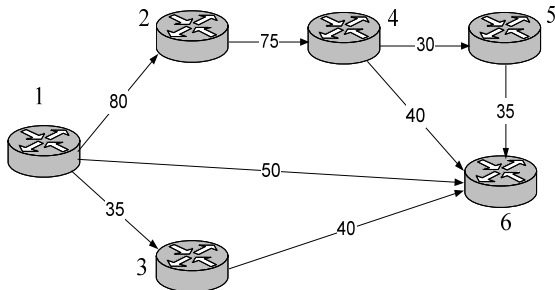


Рис. 2. Приклад структури інформаційно-телекомунікаційної мережі

Етап 1 – моніторинг та аналіз вихідних даних.

Для представленої на Рис. 2 структури в розривах трактів передачі (ТП) вказані їх пропускні спроможності (1/с). Тоді загальне число вузлів-маршрутизаторів мережі дорівнює шести (6), а число ТП – восьми (8).

Нехай перший вузол – вузол-відправник, а шостий – вузол-одержувач. Відповідно з наведеними на Рис. 2 вихідними даними пропускна здатність (ПЗ) напрямку зв'язку від першого вузла до шостого складає 165 1/с (ПЗ вузла $1 \rightarrow$ вузла $2 = 80 \text{ 1/с} +$ ПЗ вузла $1 \rightarrow$ вузла $6 = 50 \text{ 1/с} +$ ПЗ вузла $1 \rightarrow$ вузла $3 = 35 \text{ 1/с}$).

Перший потік даних має більш високий пріоритет, ніж другий.

Етап 2 – формування вектору шуканих параметрів.

Необхідно: визначити порядок розподілу потоку даних уздовж шляхів мережі (Рис. 2) та інтенсивність відмов, тобто розрахувати вектор шуканих параметрів, який, для наведеного прикладу, представлений наступними керуючими змінними: $x_{1,2}^1, x_{1,3}^1, x_{1,6}^1, x_{2,4}^1, x_{3,6}^1, x_{4,5}^1, x_{4,6}^1, x_{5,6}^1, \alpha^1, x_{1,2}^2, x_{1,3}^2, x_{1,6}^2, x_{2,4}^2, x_{3,6}^2, x_{4,5}^2, x_{4,6}^2, x_{5,6}^2, \alpha^2$.

Етап 3 – формування метрик використання ресурсів мережі.

З метою превентивного обмеження інтенсивності потоку даних, що надходить до мережі, високопріоритетному (першому) потоку співвідношення $C = c^1/c_{ij}^1 = 3,8$ встановимо більше, ніж для низькопріоритетного (другого) потоку $\Delta C = c^2/c_{ij}^2 = 3,5$, що при рівних умовних вартостях використання цими потоками каналного ресурсу (c_{ij}^k), дозволить задати вартість відмов першого потоку даних вище, ніж вартість відмов другого. Вибір чисельних значень та відношення вагових коефіцієнтів розглядався в роботах [14, 15]. Відношення вагових

коефіцієнтів впливає на ступінь превентивності інтенсивності відмов потоку даних у випадку перевантаження мережі.

Етап 4 – постановка математичної задачі оптимізації.

Далі формується система умов-обмежень. При цьому необхідно виконати ряд умов, які представлені у вигляді обмежень, рівнянь та нерівностей:

$$Aeq \cdot x = beq, \quad (1)$$

$$A \cdot x \leq b, \quad (2)$$

$$lb \leq x \leq ub. \quad (3)$$

Тоді умови збереження потоку, умови запобігання перевантаження трактів передачі мережі та забезпечення превентивного обмеження інтенсивності трафіка з врахуванням (1)-(3) можна представити в векторно-матричній формі.

5 Результати

Етап 5 – розв'язання задачі оптимізації.

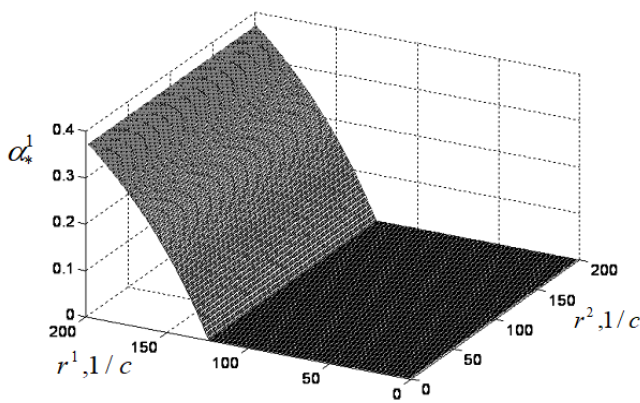
На Рис. 3 представлені результати розв'язання оптимізаційної задачі в рамках запропонованого методу для випадку, коли розв'язується задача управління потоком на основі абсолютних пріоритетів. Оптимізаційна задача щодо розрахунку вектору шуканих параметрів розв'язувалась з використанням інструментарію "Optimization Toolbox" програмного пакету Matlab, який представлено підпрограмою "linprog", що базується на симплекс-методі.

Особливістю методу управління потоку на основі абсолютних пріоритетів є те, що у випадку можливого перевантаження мережі превентивне обмеження буде стосуватись в першу чергу найменш пріоритетного потоку даних – аж до повної відмови в доступі (Рис. 3,б). Потоку з більш високим пріоритетом обмеження не буде стосуватись доти, поки можна відмовити низькопріоритетному (Рис. 3,а). При цьому відмови здійснюються за рахунок послідовного відключення шляхів, починаючи з найбільшої "довжини". Подібна модель обмеження інтенсивності потоку даних багато в чому схожа на модель пріоритетного обслуговування черг на мережних вузлах (Priority Queuing, PQ). Вона добре підходить для обслуговування потоків даних різних категорій терміновості. Наприклад, команди бойового управління передаються за найвищим пріоритетом, підтвердження донесень – за середнім пріоритетом, а дані про повсякденну діяльність військ – за більш низьким пріоритетом.

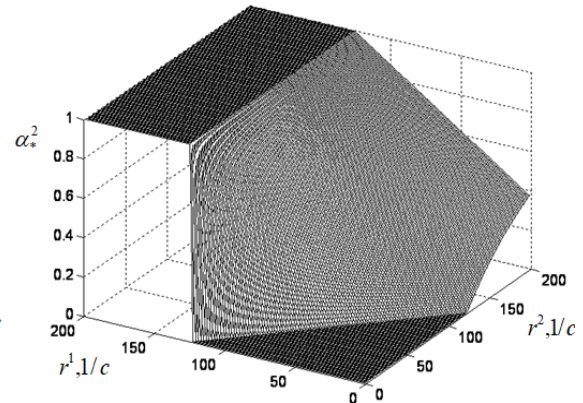
Для наглядної демонстрації запропонованого методу [17] в Таблиці 1 представлені вихідні дані та результати моделювання мережі (Рис. 2) для випадку, коли розв'язується задача управління потоком на основі відносних пріоритетів.

Табл. 1 Вихідні дані та результати моделювання

$r^1, (1/c)$	$r^2, (1/c)$	$\Delta C_1 = 3, 8; \Delta C_2 = 3, 5$		$\Delta C_1 = 3, 8; \Delta C_2 = 1, 5$	
		$\alpha^1(1/c)$	$\alpha^2(1/c)$	$\alpha^1(1/c)$	$\alpha^2(1/c)$
100	100	24	28	13	62
60	60	4	6	0	30
100	20	9	1	4	17
20	100	0	11	0	38
10	10	0	0	0	0



(а)



(б)

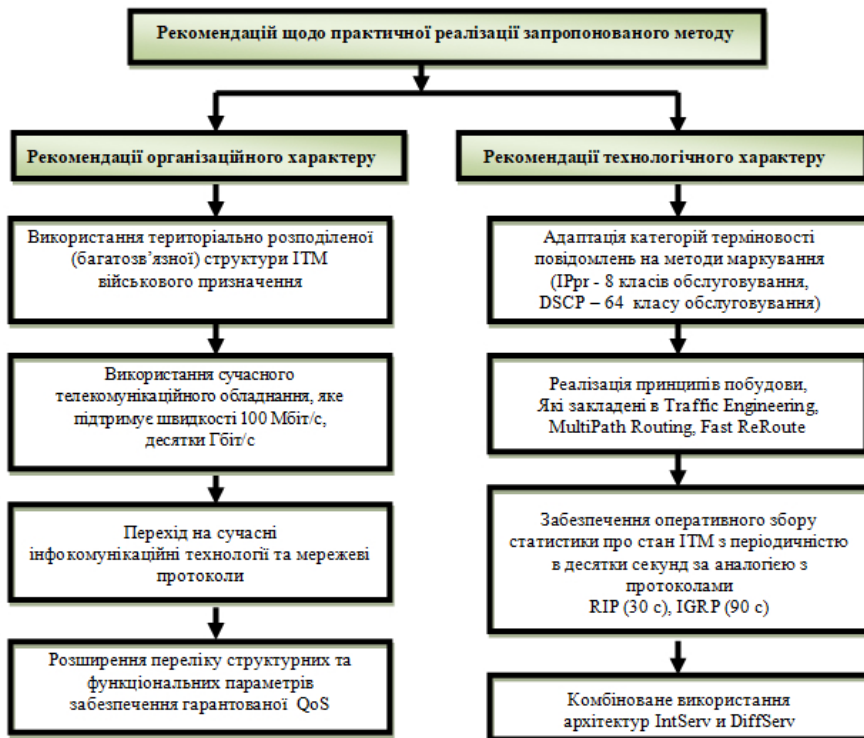
Рис. 3. Залежність частки відмов високопріоритетного (α_1^*) та низькопріоритетного (α_2^*) трафіків від їх інтенсивностей ($r^1; r^2$)

Рис. 4. Рекомендації щодо практичної реалізації методу управління потоком даних

Так, у випадку можливого перевантаження мережі, обмеження буде стосуватись як низькопріоритетного потоку даних, так і високопріоритетного потоку даних. При цьому високопріоритетного в більшій мірі.

З метою практичної реалізації запропонованих рішень в інформаційно-телекомунікаційних мережах стаціонарного компоненту системи зв'язку ЗС України необхідно здійснити організаційні, технологічні та програмні заходи (Рис. 4): розширення переліку структурних та функціональних параметрів забезпечення гарантованої QoS; адаптація категорій терміновості повідомлень на методи маркування (IPPr – 8 класів обслуговування, DSCP – 64 класів обслуговування); забезпечення оперативного збору статистики про стан мережі з періодичністю в десятки секунд; використання територіально розподіленої структури ІТМ військового призначення.

Реалізація методу [17] дозволить удосконалити стаціонарну компоненту системи зв'язку ЗС України та підвищити її продуктивність у середньому на (10-20)%, а також якість обслуговування за ймовірністю доставки пакетів на (1-3) %.

Висновки та пропозиції

В роботі досліджено метод управління потоком даних на основі різних пріоритетів в стаціонарній компоненті системи зв'язку ЗС України, який відповідає технологічним рішенням, що застосовуються в сучасних мережах наступного покоління (Next Generation Network, NGN). За результатами дослідження встановлено, що в рамках методу забезпечується: по-перше, погоджене рішення задач багатошляхової маршрутизації та обмеження інтенсивності потоку на границі транспортної мережі, по-друге, адаптивний характер обмеження інтенсивності потоку даних на основі абсолютних та відносних пріоритетів у випадку перевантаження мережі.

Крім того, в статті розроблені рекомендації щодо практичної реалізації методу управління потоком даних на основі різних пріоритетів в ІТМ стаціонарного компоненту системи зв'язку ЗС України.

З метою перевірки адекватності та достовірності методу управління потоком даних на основі різних пріоритетів в стаціонарній компоненті системи зв'язку ЗС України в подальшому необхідно провести натурний експеримент на реальному мережевому обладнанні. При цьому рекомендується застосовувати встановлений на кінцевих вузлах маршрутизаторах програмний пакет IxChariot. Перевагами даного пакету є те, що його використання дозволяє задавати кількість потоків даних, їх пріоритети й інтенсивності, вузли відправників і одержувачів.

Перелік посилань

1. Lemeshko O. Tensor Based Load Balancing under Self-Similar Traffic Properties with Guaranteed QoS / O. Lemeshko, O. Yeremenko, M. Yevdokymenko, A. M. Hailan // *Advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering (TCSET): Proceedings of the 15th International Conference, IEEE*. – Lviv-Slavske, Ukraine, 25–29 February, 2020. – pp. 293-297. DOI: [10.1109/TCSET49122.2020.235442](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235442).
2. Lemeshko O. Quality of Service Protection Scheme under Fast ReRoute and Traffic Policing Based on Tensor Model of Multiservice Network / O. Lemeshko, M. Yevdokymenko, O. Yeremenko, A. Mersni, P. Segeč, J. Papán // *International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, 2019. – Zilina, Slovakia. – pp. 288-295. DOI: [10.1109/DT.2019.8813675](https://doi.org/10.1109/DT.2019.8813675).
3. Lemeshko O. Fast ReRoute Tensor Model with Quality of Service Protection Under Multiple Parameters / O. Lemeshko, M. Yevdokymenko, O. Yeremenko // In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-centric business and applications. Lecture notes on data engineering and communications technologies*, vol. 48. Springer, Cham. – 2021. DOI: [10.1007/978-3-030-43070-2_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43070-2_22).
4. Lemeshko O. Diakoptical Method of Inter-area Routing with Load Balancing in a Telecommunication Network / O. Lemeshko, A. Ilyashenko, T. Kovalenko, O. Nevzorova // In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-centric business and applications. Lecture notes on data engineering and communications technologies*, vol. 48. Springer, Cham. – 2021. – pp. 747-766. DOI: [10.1007/978-3-030-43070-2_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43070-2_32).
5. Vegesna Srinivas. IP quality of service / Srinivas Vegesna. – Cisco press. – 2001. – 343 p.
6. Lemeshko O. Enhanced method of fast re-routing with load balancing in software-defined networks / O. Lemeshko, O. Yeremenko // *Journal of Electrical Engineering*. – 2017. – № 68(6). – pp. 444-454. DOI: [10.1515/jee-2017-0079](https://doi.org/10.1515/jee-2017-0079).
7. Lemeshko O. Hierarchical Method of Inter-Area Fast Rerouting / O. Lemeshko, O. Yeremenko, O. Nevzorova // *Transport and Telecommunication Journal*. – 2017. – № 18(2). – pp. 155-167. DOI: [10.1515/ttj-2017-0015](https://doi.org/10.1515/ttj-2017-0015).
8. Mersni A. Complex criterion of load balance optimality for multipath routing in telecommunication networks of nonuniform topology / A. Mersni, A. E. Ilyashenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2017. – Vol. 76, Iss. 7. – pp. 579-590. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v76.i7.20](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v76.i7.20).
9. Ageyev D. Design of Information and Telecommunication Systems with the Usage of the Multi-Layer Graph Model / D. Ageyev, A. Inatenko, F. Wehbe // in *Proc. 12th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, Lviv-Polyana, Ukraine. – 2013. – pp. 1-4. <https://arxiv.org/abs/1307.1730>
10. Yeremenko A. S. A two-level method of hierarchical-coordination QoS-routing on the basis of resource reservation / A. S. Yeremenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2018. – № 77(14). – pp. 1231-1247. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v77.i14.20](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v77.i14.20).
11. Barannik V. Technology for protecting video information resources in the info-communication space / V. Barannik, S. Sidchenko, D. Barannik // *ATIT 2020 – Proceedings*:

- 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory. – 2020. – pp. 29-33. DOI: [10.1109/ATIT50783.2020.9349324](https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349324).
12. Vasyuta K. Expedience of application of MIMO systems of digital communication for complex chaotic signal transmission / K. Vasyuta, I. Zakharchenko, S. Ozerov // 2015 International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). DOI:10.1109/ICATT.2015.7136851.
 13. Ageyev D. LTE EPS Network with Self-Similar Traffic Modeling for Performance Analysis / D. Ageyev, N. Qasim // Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T). – 2015. – pp. 275-277. DOI:10.1109/INFOCOMMST.2015.7357335.
 14. Лемешко А. В. Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи / А. В. Лемешко, К. С. Васюта, Ю. Н. Добрышкин // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – № 151. – С. 5-10. <https://openarchive.nure.ua/handle/document/2368>.
 15. Добрышкин Ю. Н. Модель управления трафиком с его превентивным ограничением на основе абсолютных и относительных приоритетов / Ю. Н. Добрышкин // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – № 156. – С. 13-19.
 16. Васюта К. С. Применение MIMO-технологии на хаотических несущих для повышения скрытности функционирования военной системы радиосвязи / К. С. Васюта, С. В. Озеров, О. А. Фещенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 1(14). – С. 137-140. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2014_1_34.
 17. Добрышкин Ю. М. Розробка методу управління потоком даних в стаціонарній компоненті системи зв'язку Повітряних Сил Збройних Сил України / Ю. М. Добрышкин, М. О. Сенькович, Д. І. Марчук, Т. В. Симоненко // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2020. – № 2 (4). – С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.4.2020.04>.
 - [1] Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Hailan A. M. (2020). Tensor Based Load Balancing under Self-Similar Traffic Properties with Guaranteed QoS. *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, pp. 293-297. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235442.
 - [2] Lemeshko O., Yevdokymenko M., Yeremenko O., Mersni A., Segeč P., Papán J. (2019). Quality of Service Protection Scheme under Fast ReRoute and Traffic Policing Based on Tensor Model of Multiservice Network. *International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, pp. 288-295. DOI:10.1109/DT.2019.8813675.
 - [3] Lemeshko O., Yevdokymenko M., Yeremenko O. (2021). Fast ReRoute Tensor Model with Quality of Service Protection Under Multiple Parameters. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Vol. 48, Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-43070-2_22.
 - [4] Lemeshko O., Ilyashenko A., Kovalenko T. and Nevzorova O. (2020). Diakoptical Method of Inter-area Routing with Load Balancing in a Telecommunication Network. *Collection of open chapters of books in transport research*, Vol. 2020. DOI:10.1007/978-3-030-43070-2_32.
 - [5] Vegesna Srinivas (2001). *IP quality of service*. Cisco press, 343 p.
 - [6] Lemeshko O., Yeremenko O. (2017). Enhanced method of fast re-routing with load balancing in software-defined networks. *Journal of Electrical Engineering*, No. 68(6), pp. 444-454. DOI:10.1515/jee-2017-0079.
 - [7] Lemeshko O., Yeremenko O., Nevzorova O. (2017). Hierarchical Method of Inter-Area Fast Rerouting. *Transport and Telecommunication Journal*, No. 18(2), pp. 155-167. DOI:10.1515/ttj-2017-0015.
 - [8] Mersni A., Ilyashenko A. E. (2017). Complex criterion of load balance optimality for multipath routing in telecommunication networks of nonuniform topology. *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 76, Iss. 7, pp. 579-590. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v76.i7.20.
 - [9] Ageyev D., Inatenko A., Wehbe F. (2013). Design of Information and Telecommunication Systems with the Usage of the Multi-Layer Graph Model. *12th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, pp. 1-4.
 - [10] Yeremenko A. S. (2018). A two-level method of hierarchical-coordination QoS-routing on the basis of resource reservation. *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 77, Iss. 14, pp. 1231-1247. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v77.i14.20.
 - [11] Barannik V., Sidchenko S., Barannik D. (2020). Technology for protecting video information resources in the information space. *ATIT 2020 – Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, pp. 29-33. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349324.
 - [12] Vasyuta K., Zakharchenko I., Ozerov S. (2015). Expedience of application of MIMO systems of digital communication for complex chaotic signal transmission. *2015 International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT)*, pp. 1-3. DOI:10.1109/ICATT.2015.7136851.
 - [13] Ageyev D., Qasim N. (2015). LTE EPS Network with Self-Similar Traffic Modeling for Performance Analysis. *Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*, pp. 275-277. DOI:10.1109/INFOCOMMST.2015.7357335.
 - [14] Lemeshko A. V., Vasyuta K. S., Dobryshkin Yu. N. (2007). Adaptive limitation of traffic intensity at border nodes of a multiservice communication network [Adaptivnoe ogranichenie intensivnosti trafika na prigranichnyh uzlah mul'tiservisnoy seti svyazi]. *Radiotekhnika: Vseukr. mezhdved. nauch.-tekhn. sb.*, No. 151, pp. 5-10. [In Russian].
 - [15] Dobryshkin Yu. (2009). Traffic management model with its preventive restriction based on absolute and relative priorities [Model' upravleniya trafikom s ego preventivnym ogranicheniem na osnove absolyutnyh i otnositel'nyh prioritetov]. *Radiotekhnika: Vseukr. mezhdved. nauch.-tekhn. sb.*, No. 156, pp. 13-19. [In Russian].
 - [16] Vasyuta K. S., Ozerov S. V., Feshenco O. A. (2014). Using the MIMO-technology on chaotic carriers to improve the stealthy functioning military radio systems [Primenenie MIMO-tekhnologii na haoticheskikh nesushchih dlya povysheniya skrytnosti funkcionirovaniya voennoy sistemy radiosvyazi]. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, No. 1(14), pp. 137-140. [In Russian].

References

- [17] Dobryshkin Y., Senkovych M., Marchuk D., Symonenko T. (2020). Development of a data flow control method in the stationary component of the Air Force communication system of the Armed Forces of Ukraine [Rozrobka metodu upravlinnia potokom danykh v statsionarnii komponenti systemy zv'iazku Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy]. *Scientific works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, No. 2(4), pp. 28–33. DOI:10.37701/dndivsovt.4.2020.04. [In Ukrainian].

Рекомендации по реализации метода управления потоком данных на основании различных приоритетов в стационарной компоненте системы связи Вооруженных Сил Украины

Добрышкин Ю. Н., Лаппо И. Н., Кузнецов В. А., Герашченко М. М.

Актуальность. Задача повышения производительности стационарного компонента системы связи Вооруженных Сил Украины требует внедрения соответствующих новых методов управления потоком данных разных приоритетов, которые в дальнейшем должны быть реализованы в современных протоколах маршрутизации в соответствии с концепцией сетей следующего поколения.

Метод. Исследован метод управления потоком данных на основании разных приоритетов в стационарной компоненте системы связи Вооруженных Сил Украины, который состоит из следующих этапов: мониторинг и анализ исходных данных; формирование вектора искомых параметров; формирование метрик использования ресурсов сети; постановка математической задачи оптимизации; решение задачи оптимизации. В рамках метода обеспечивается согласованное решение задач многопутевой маршрутизации и адаптивного ограничения интенсивности потока на границе информационно-телекоммуникационной сети на основе разных приоритетов.

Результаты. В статье исследован метод на конкретном примере структуры сети с использованием инструментария «Optimization Toolbox» программного пакета Matlab. Разработаны практические рекомендации по практической реализации метода в стационарной компоненте системы связи Вооруженных Сил Украины.

Выводы. По результатам моделирования установлено, что реализация метода в современных технологических решениях позволит повысить продуктивность информационно-телекоммуникационной сети в среднем на (10-20)%, а также качество обслуживания с вероятностью доставки пакетов на (1-3)%. Предложенный метод соответствует требованиям концепции управления потоком данных Traffic Engineering. Указано, что для проверки адекватности и достоверности усовершенствованного метода в дальнейшем необходимо провести

натурный эксперимент на реальном сетевом оборудовании.

Ключевые слова: маршрутизация; средства управления потоком; информационно-телекоммуникационная сеть; транспортная сеть; качество обслуживания

Recommendations for Implementation of Data Flow Control Method Based on Different Priorities in Stationary Component of Communication System of Armed Forces of Ukraine

Dobryshkin Y. M., Lappo I. M., Kuznetsov V. O., Herashchenko M. M.

Relevance. The task of increasing the productivity of the communication system stationary component of the Armed Forces of Ukraine requires the introduction of appropriate new methods for controlling the data flow of different priorities, which should be further implemented in modern routing protocols in accordance with the concept of next generation networks.

Method. The method of data flow control based on different priorities in the communication system stationary component of the Armed Forces of Ukraine is investigated. The aforementioned method consists of the following stages: monitoring and analysis of initial data; formation of the required parameters vector; formation of metrics for the use of network resources; statement of the mathematical optimization problem; solution of the optimization problem. Within the framework of the method, the coordinated solution of the problems of multipath routing and adaptive limitation of the flow rate at the border of the information and telecommunication network is provided on the basis of different priorities.

Results. The method on a specific example of the network structure using the "Optimization Toolbox" of the Matlab software package is studied in the article. Practical recommendations are developed for the practical implementation of the method in the stationary component of the communication system of the Armed Forces of Ukraine.

Conclusions. Based on the simulation results, it is established that the method implementation in modern technological solutions increases the productivity of the information and telecommunication network by an average of (10-20)%, and the quality of service with the probability of packet delivery by (1-3)%. The proposed method meets the requirements of the Traffic Engineering data flow control concept. It is noted that in order to validate the adequacy and reliability of the improved method in the future, it is necessary to conduct a full-scale experiment on real network equipment.

Keywords: routing; flow control means; information and telecommunication network; transport network; quality of service