

МЕТОД ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ З КОНТРОЛЕМ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропоновано метод динамічного управління потоками інформації з контролем якості передачі у фрагменті мобільного компонента перспективної системи зв'язку. Показано, що його використання можливе як при нароццуванні структури (її реорганізації), так і в критичних умовах. Наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління із забезпеченням мінімального часу доставки повідомлення (команди управління) між заданими вузлами мережі з контролем показників якості QoS на основі фрагмента мобільного компонента перспективної системи зв'язку України в критичних умовах.

Постановка проблеми. Необхідність створення єдиного інформаційного простору Збройних Сил (ЗС) України зумовлена появою нових форм і способів ведення збройної боротьби і відповідних способів управління нею, наприклад, мережецентричного управління військами та зброєю; використанням у процесах управління сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій; підвищенням вимог до ЗС України в умовах їх оновлення та модернізації [1–5].

Система управління військами спільно із сучасними комплексами розвідки і зв'язку становить технічну основу системи управління ЗС і значною мірою є елементом, що найбільш динамічно розвивається в сучасних арміях провідних країн світу. Транспортною основою згаданої вище системи є автоматизована мережа радіозв'язку загального користування, яка забезпечує обмін інформацією в інтересах всіх військ, що діють в оперативно-тактичній зоні, незалежно від їх підпорядкування і виконуваних завдань [1–5].

Важливою умовою ефективного функціонування військової телекомунікаційної мережі (ТКМ) є максимальна погодженість у вирішенні завдань мережного рівня: маршрутизації, управління інтенсивністю трафіка тощо.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У сучасних військових телекомунікаційних мережах, які є мультисервісними, достатньо гостро стоїть проблема надання гарантій та здійснення контролю якості зв'язку QoS (*Quality of Service*) одночасно за декількома швидкісними та ймовірно-часовими показниками. Застосування багатошляхової маршрутизації є способом задоволення суперечливих вимог щодо забезпечення гарантованого QoS та збалансованого навантаження ресурсів будь-якої телекомунікаційної мережі [6].

Однак на сьогодні в ході розв'язання маршрутних задач коректно математично описати процеси динаміки стану, забезпечення мультисервісу та гарантованої якості зв'язку більш ніж за двома показниками класичним методом практично неможливо.

Складним залишається і питання оцінювання якості управління різнорідними потоками інформації в мультисервісних мережах [6–10].

Структура мобільного компоненту перспективної системи зв'язку ЗС України є динамічною і може змінюватись з перебігом часу під впливом різноманітних факторів. Тому постає питання вирішення завдання управління потоками інформації з гарантованим забезпеченням показників якості в таких системах, особливо в умовах, які швидко змінюються.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розробка методу динамічного управління потоками інформації з контролем показників якості передачі в ТКМ мобільного компонента перспективної системи зв'язку ЗС України.

Виклад основного матеріалу. У рамках дослідження для моделювання було взято за основу фрагмент мобільного компонента перспективної системи зв'язку ЗС України (рис. 1а) [8, 11–14] і проведено його геометризацию (рис. 1б). Елементами у вигляді кола В1-В6 можуть виступати командні пункти різного рангу, окремі підрозділи, військовослужбовці тощо. За основу взято процес передачі повідомлення між двома вузлами даного фрагмента. За приклад пропонуємо використати тензорний підхід до розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління в запропонованій мережі для вирішення завдання розробки динамічного методу управління потоками інформації.

При моделюванні розглянемо дві координатні системи: перша – система координат (СК) гілок (n) мережі, якій відповідає структура з окремими не з'єднаними із собою гілками; друга – СК незалежних контурів і пар вузлів (m) мережі, яка відповідає реальній структурі системи, що моделюється. Подібний вибір обумовлений тим, що в СК гілок мережі необхідно розрахувати невідомі величини: інформаційне завантаження і величини затримок у кожному тракті передачі системи. У СК незалежних контурів і пар вузлів (КПВ) проекції тензорів визначають вихідні дані для розв'язання розрахункових задач, наприклад, довжину повідомлень і (або) затримку їх передачі [6–9, 12, 13, 15,16].

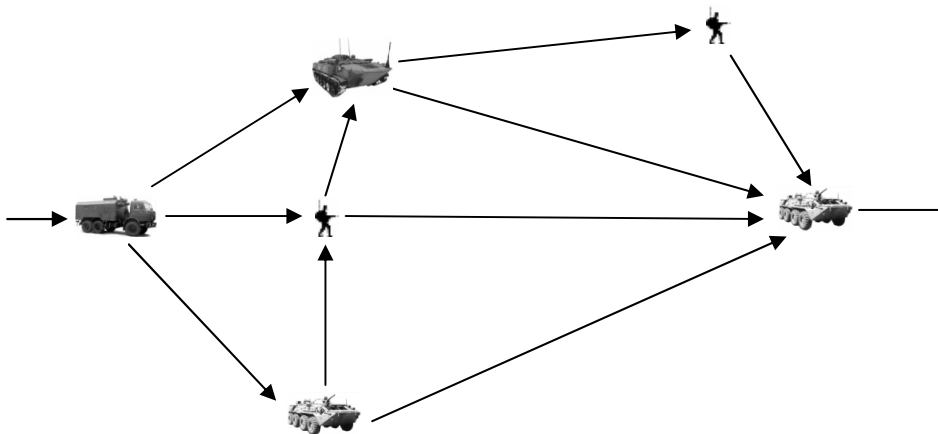


Рис. 1а. Фрагмент мобільного компонента перспективної системи зв'язку України

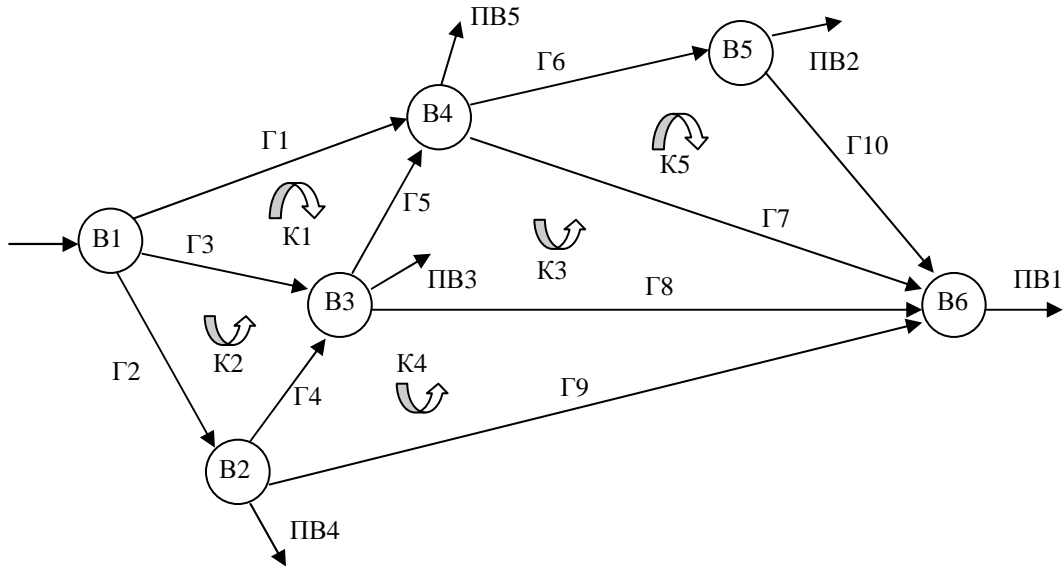


Рис. 16. Геометризація фрагмента мобільного компонента перспективної системи зв'язку

Зміна порядку з'єднання гілок мережі (рис. 1) визначає в загальному випадку кінцевий набір структур, у кожній з яких інваріантом є кількість гілок, а кількість незалежних контурів і пар вузлів може певним чином змінюватися [7–9, 12, 13].

У введеному просторі виконаємо тензорний опис системи за допомогою одновалентного тензора довжин повідомлень S з компонентами s^i , одновалентного тензора затримок передачі T з компонентами t_j , а також тензора другої валентності R , координати якого розраховують згідно з виразом $r_j^i = s^i t_j, (i, j = \overline{1, n})$, а в прямому позначенні $R = S \otimes T$. Кожній структурі мережі відповідає свій набір координат, при цьому кількість координатних шляхів завжди залишається рівною кількості гілок [6–9, 12, 13, 17].

Закони координатного перетворення мають такий вигляд:

$$S = CS' \text{ і } T = AT' \tag{1}$$

при виконанні умови ортогональності

$$C^t = [A]^{-1}. \tag{2}$$

Взаємозв'язок коваріантних і контраваріантних компонентів тензора можна формалізувати в прямому записі так:

$$T = GS ; S = MT, \tag{3}$$

де $M = [G]^{-1}$. (4)

Таким чином, тензор відображає інваріантний геометричний об'єкт, координати якого при перетворенні СК змінюються за лінійним законом [6–9, 12, 13, 17, 18].

Через однакову розмірність введених координатних систем існують однозначні правила перетворення координат будь-яких геометричних об'єктів з однієї СК в іншу. Шукана матриця контраваріантного перетворення S визначається зі співвідношення

$$S_{\Gamma} = CS_{к.п.в}, \quad (5)$$

де $S_{\Gamma}, S_{к.п.в}$ подані у вигляді векторів розмірності n проєкції одновалентного тензора довжин повідомлень S у введених вище координатних системах окремих гілок мережі, а також незалежних КПВ.

Відповідно до фізики процесів інформаційного обміну, що відбуваються в мережі, компоненти s_{Γ}^i і t_i^{Γ} векторів S_{Γ} і T_{Γ} пов'язані між собою співвідношенням

$$s_{\Gamma}^i = m_{\Gamma t_i}^{ii} \quad (i = \overline{1, n}), \quad (6)$$

де m_{Γ}^{ii} – частина пропускної здатності i -ї гілки мережі [6–9, 12, 13, 17, 18].

Відповідно до постулату другого узагальнення Г. Крона, функціональним інваріантом пропонуваної моделі є тензорне рівняння, отримане шляхом узагальнення рівняння (6), що зберігає свою форму незмінною незалежно від координатної системи розгляду мережі:

$$S = MT,$$

де M – тензор пропускних здатностей координатних шляхів мережі, проєкції якого в кожній частковій системі координат набувають вигляду матриці розміру $n \times n$.

Вигляд функціонального рівняння мережі (6) залишається незмінним і в системі координат незалежних контурів і пар вузлів [6–9, 12, 13, 17, 18]:

$$S_{к.п.в} = M_{к.п.в} T_{к.п.в}. \quad (7)$$

Щоб забезпечувалося існування шуканих розв'язків і однозначна їх інтерпретація, матричне рівняння (7) має бути системою з n скалярних рівнянь з n невідомими. Залежно від характеру розв'язуваної задачі з розрахунку шуканих параметрів n невідомих можуть довільно перерозподілятися між складовими векторів $S_{к.п.в}$ та $T_{к.п.в}$ [6–9, 12, 13, 17, 18].

Під час розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації до відомих контурних компонентів вектора $T_{к.п.в}$ додаються відомі компоненти вектора $S_{к.п.в}$ – координати вектора $S_{п.в}$, що визначають, у свою чергу, довжину повідомлень, які надходять або вибувають з вузлів мережі. Подібні вихідні дані виключають можливість безпосереднього розрахунку невідомих компонентів векторів $S_{к.п.в}$ і $T_{к.п.в}$ шляхом розв'язання функціонального рівняння, заданого у формі (7). Для успішного розв'язання задачі доцільно використовувати спеціальну форму векторів $S_{к.п.в}$ і $T_{к.п.в}$, тобто рівняння (7) зручно подати в такому вигляді [6–9, 12, 13, 17, 18]:

$$\begin{bmatrix} S_k \\ S_{п.в} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{к.п.в}^{(1)} & M_{к.п.в}^{(2)} \\ M_{к.п.в}^{(3)} & M_{к.п.в}^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_k \\ T_{п.в} \end{bmatrix}, \quad \text{де} \quad \begin{bmatrix} M_{к.п.в}^{(1)} & M_{к.п.в}^{(2)} \\ M_{к.п.в}^{(3)} & M_{к.п.в}^{(4)} \end{bmatrix} = M_{к.п.в},$$

що дозволяє через наявність відомих $S_{n.6}$ і T_k одержати такі дві системи рівнянь:

$$T_{n.6} = [M_{к.п.6}^{(4)}]^{-1} S_{n.6} - [M_{к.п.6}^{(4)}]^{-1} M_{к.п.6}^{(3)} T_k; \tag{8}$$

$$S_k = M_{к.п.6}^{(1)} T_k + M_{к.п.6}^{(2)} T_{n.6}. \tag{9}$$

Для наочної демонстрації отриманих результатів, як приклад, проведемо розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації для мережі (рис. 1) за таких вихідних даних: відправник – вузол 1, одержувач – вузол 6, відповідно $S_{n.6} = 0$ (повідомлення не виходить з інших вузлів); повідомлення має довжину 100 байт; затримка в контурах дорівнює нулю $T_k = 0$.

Для структури, зображеної на рис. 1, множина всіх безконтурних шляхів між вузлами В1 і В6, тобто шляхів, які не містять петель, можна подати у вигляді системи рівнянь [8, 12, 13]. Тобто, згідно з орієнтацією гілок, базисних контурів та вузлових пар координати тензорів S і T у різних СК розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\left\{ \begin{array}{l} s_{\Gamma}^1 = s_{\kappa}^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_{\kappa}^2 + s_{n.6}^4; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_{\kappa}^1 - s_{\kappa}^2 + s_{n.6}^1 + s_{n.6}^3 + s_{n.6}^5; \\ s_{\Gamma}^4 = s_{\kappa}^2 - s_{\kappa}^4; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_{\kappa}^1 - s_{\kappa}^3 + s_{n.6}^1 + s_{n.6}^5; \\ s_{\Gamma}^6 = s_{\kappa}^5 + s_{n.6}^2; \\ s_{\Gamma}^7 = -s_{\kappa}^3 - s_{\kappa}^5 + s_{n.6}^1; \\ s_{\Gamma}^8 = s_{\kappa}^3 - s_{\kappa}^4; \\ s_{\Gamma}^9 = s_{\kappa}^4; \\ s_{\Gamma}^{10} = s_{\kappa}^5; \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} t_1^{\Gamma} = t_1^k + t_5^{n.6}; \\ t_2^{\Gamma} = t_4^{n.6}; \\ t_3^{\Gamma} = t_3^{n.6}; \\ t_4^{\Gamma} = t_2^k + t_3^{n.6} - t_4^{n.6}; \\ t_5^{\Gamma} = -t_3^{n.6} + t_5^{n.6}; \\ t_6^{\Gamma} = t_2^{n.6}; \\ t_7^{\Gamma} = t_1^{n.6} - t_5^{n.6}; \\ t_8^{\Gamma} = t_3^k + t_1^{n.6} - t_3^{n.6}; \\ t_9^{\Gamma} = t_2^k + t_3^k + t_4^k + t_1^{n.6} - t_4^{n.6}; \\ t_{10}^{\Gamma} = t_5^k + t_1^{n.6} - t_2^{n.6} - t_5^{n.6}; \end{array} \right.$$

а матриці коваріантного і контраваріантного перетворення A та C з виконанням умови ортогональності (2) мають такий вигляд:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad C = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Тоді відповідно до виразів (8) і (9) маємо

$$T'_{n.6} = [0,979 \ 0,164 \ 0,512 \ 0,499 \ 0,568]; S'_k = [34,1 \ 24,97 \ 61,38 \ 23,99 \ 9,86].$$

Розв'язок задачі отримують з розрахунку компонентів вектора S'_r , які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі:

$$S'_r = [34,095 \ 24,97 \ 40,935 \ 0,984 \ 4,525 \ 9,86 \ 28,76 \ 37,394 \ 23,986 \ 9,86].$$

Отриманий розв'язок обумовлений існуванням таких незалежних маршрутів передачі повідомлення від першого вузла до шостого, які не містять петель (циклів): перший маршрут (Г1-Г6-Г10) забезпечує передачу 34,095 байта; другий (Г3-Г5-Г7) – 40,935 байта; третій (Г2-Г4-Г8) – 0,984 байта; четвертий (Г2-Г9) – 23,986 байта. Незалежність маршрутів у даному випадку інтерпретується як наявність у кожному з них гілки, що не входить до жодного іншого маршруту. Час передачі частин повідомлення уздовж кожного з розрахованих маршрутів відповідає затримці між вузлами В1 і В6 (ПВ1), тобто першій координаті вектора $T'_{n.6}$, і дорівнює 0,979 с.

У критичних умовах з перебігом часу структура мобільного компонента однозначно буде зазнавати змін (передислокація, фізичне знищення, нарощування). Тому параметри n (кількість трактів передачі) та m (кількість вузлів) необхідно розглядати в динаміці як функцію від часу $m = f(t)$ та $n = f(t)$. Вихідний стан структури можна визначити як $U = f(m, n, t)$. У даному випадку будемо аналізувати t як дискретну величину з кроком 1. Через час $t + 1$ з імовірністю P_1 структура мережі перейде із одного стану в інший. У наступний момент часу стан мережі можна описати як $U_1 = f(m_1, n_1, t + 1)$.

Наприклад, фрагмент мобільного компонента в момент часу $t + 1$ виглядає таким чином (знищено один з вузлів і втрачено три лінії зв'язку) (рис. 2).

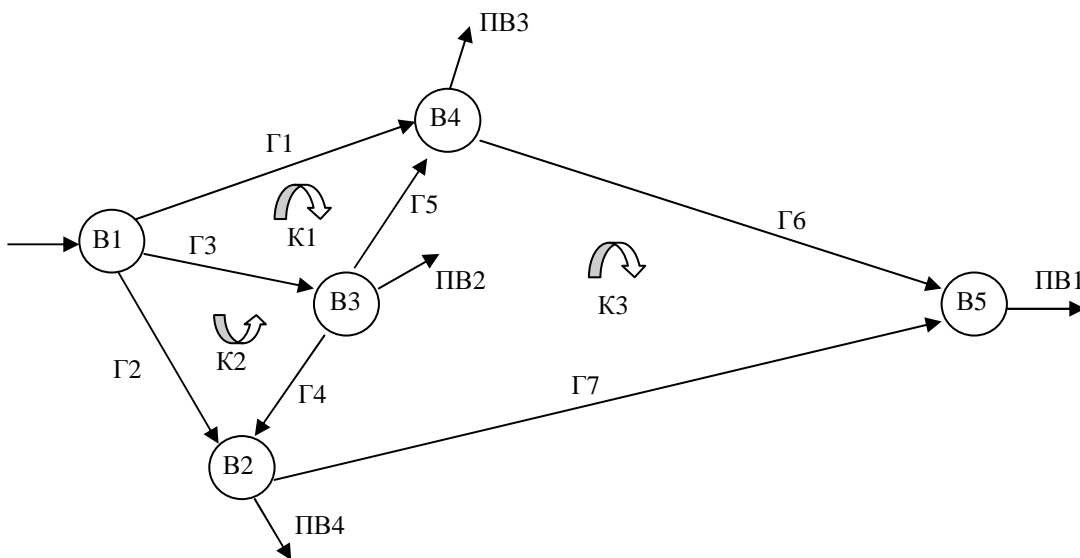


Рис. 2. Геометризація фрагмента мобільного компонента в момент часу $t + 1$

Алгоритм розрахунку залишається незмінним. У такому випадку координати тензорів S і T у різних системах координат розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_{\kappa}^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_{\kappa}^2; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_{\kappa}^1 - s_{\kappa}^2 + s_{n.6}^1 + s_{n.6}^2 + s_{n.6}^3 + s_{n.6}^4; \\ s_{\Gamma}^4 = -s_{\kappa}^2 + s_{\kappa}^3 + s_{n.6}^4; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_{\kappa}^1 - s_{\kappa}^3 + s_{n.6}^1 + s_{n.6}^3; \\ s_{\Gamma}^6 = -s_{\kappa}^3 + s_{n.6}^1; \\ s_{\Gamma}^7 = s_{\kappa}^3; \end{cases} \quad \begin{cases} t_1^{\Gamma} = t_1^k + t_3^{n.6}; \\ t_2^{\Gamma} = t_2^k + t_4^{n.6}; \\ t_3^{\Gamma} = t_2^{n.6}; \\ t_4^{\Gamma} = -t_2^{n.6} + t_4^{n.6}; \\ t_5^{\Gamma} = -t_2^{n.6} + t_3^{n.6}; \\ t_6^{\Gamma} = t_1^{n.6} - t_3^{n.6}; \\ t_7^{\Gamma} = t_3^k + t_1^{n.6} - t_4^{n.6}. \end{cases}$$

Значення компонентів вектора S_{Γ} , які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі: $S^t_{\Gamma} = [38,273 \ 29,163 \ 32,564 \ 14,097 \ 18,467 \ 56,74 \ 43,26]$.

У даному випадку перший маршрут (Г1-Г6) забезпечує передачу 38,273 байта; другий (Г3-Г5-Г6) – 18,467 байта; третій (Г3-Г4-Г7) – 14,097 байта; четвертий (Г2-Г7) – 29,163 байта. Час передачі частин повідомлення дорівнює 1,448 с.

Для забезпечення гарантованої якості обслуговування при обчисленнях необхідно враховувати критерій і обмеження, які було отримано завдяки поданню системи в тензорному вигляді [6, 7, 10, 14, 18–20]. У загальному вигляді обмеження на пропускну здатність можна подати як

$$\vec{\Lambda} \leq \|M\| \vec{T}, \tag{10}$$

де $\vec{\Lambda}$ – вектор інтенсивності трафіка, який обслуговується;

\vec{T} – вектор, що формалізує середній час затримки;

M – матриця, що описує параметри пропускну здатності та надійності.

Виконання наведених умов також гарантує розрахунок множини безпечельних (безконтурних) шляхів доставки пакетів.

Наведені аналітичні вирази пов'язують між собою параметри трафіка, показники якості обслуговування та основні мережні параметри.

Використання тензорних моделей дозволяє забезпечити, насамперед, надання послуг зв'язку гарантованої якості одночасно за кількома показниками QoS уздовж кожного із розрахованих шляхів.

Використовуючи критерій, запропонований у [14], можна вирішити основну проблему – забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем (забезпеченням) показників якості QoS уздовж кожного із розрахованих шляхів.

Як приклад розв'яжемо задачу багатошляхової маршрутизації з контролем показників якості для мережі (рис. 1) за таких вихідних даних: відправник – вузол 1, одержувач – вузол 6; параметри трафіка наведені величиною його бітової інтенсивності 200 1/с і заданою затримкою передачі пакета $t_{зад} = 28$ мс.

Результати розрахунку мережі наведено на рис. 3, при цьому над кожною гілкою вказано (зверху донизу) її пропускну здатність, інтенсивність трафіка, що передається, та затримка передачі.

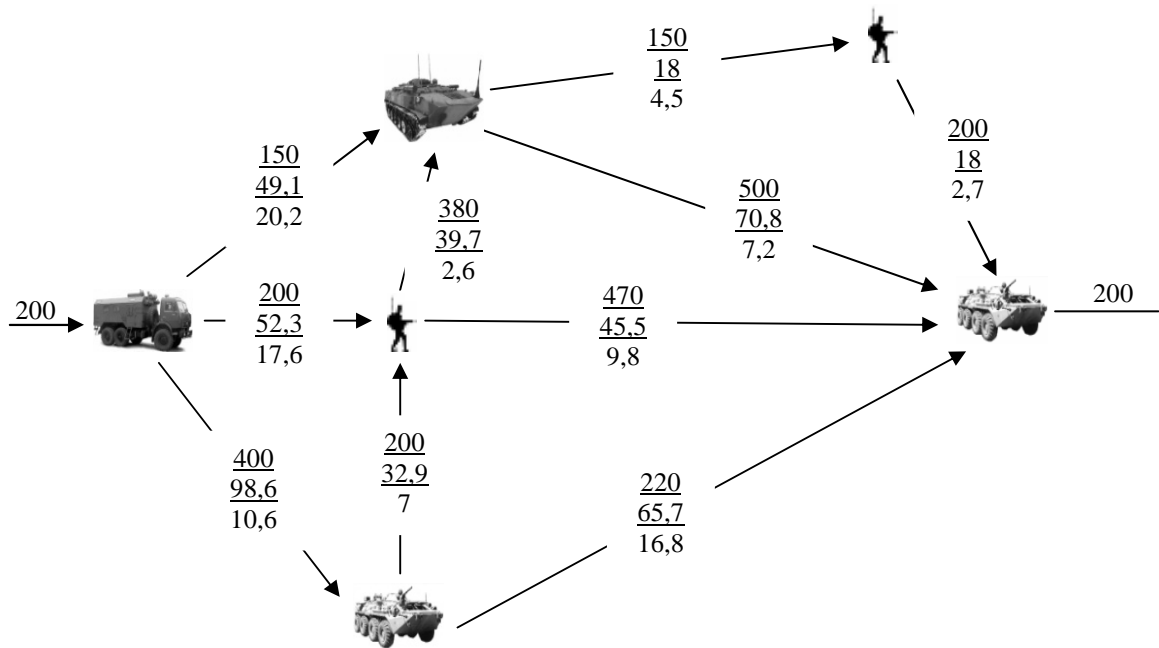


Рис. 3. Результати розв’язання задачі багатошляхової маршрутизації

У результаті розв’язання задачі вхідний трафік розподілився за чотирма шляхами, при цьому шлях $\{v_1, v_6, v_{10}\}$ забезпечив обслуговування трафіка інтенсивністю $20,2$ 1/с, шлях $\{v_3, v_5, v_7\}$ – $17,6$ (1/с), шлях $\{v_2, v_4, v_8\}$ – $9,8$ (1/с) і шлях $\{v_2, v_9\}$ – $16,8$ (1/с). Затримка передачі пакетів уздовж кожного з розрахованих шляхів становила $27,4$ мс.

У табл. 1 наведено результати розрахунків для двох основних стратегій маршрутизації: одношляхової та багатошляхової. При одношляховій шлях обслуговування трафіка визначається як найкоротший, результати подані вектором Λ_v^{opt} . Для розв’язання задачі багатошляхової маршрутизації використовували запропоновану тензорну модель військової телекомунікаційної мережі [8, 12, 13] (рис. 1), результати розрахунку подані вектором Λ_v^{bi} . Для обчислень були застосовані чотири варіанти параметрів мережі та трафіків, що обслуговуються. За величиною затримки передачі пакетів трафіка $t_{прд}$ оцінено якість прийнятих рішень.

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу різних стратегій маршрутизації

	Інтенсивність $\lambda^{зн}$ (1/с)											
	100			200			300			500		
	Проп. здатн.	Λ_v^{bi}	Λ_v^{opt}	Проп. здатн.	Λ_v^{bi}	Λ_v^{opt}	Проп. здатн.	Λ_v^{bi}	Λ_v^{opt}	Проп. здатн.	Λ_v^{bi}	Λ_v^{opt}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
v_1	130	16	–	150	49,1	–	130	55,3	–	200	115,2	–
v_2	380	48,3	100	400	98,6	200	370	175,3	300	480	263,5	–
v_3	230	35,7	–	200	52,3	–	190	69,4	–	210	121,3	–
v_4	220	25,9	100	200	32,9	–	310	116,9	300	280	121,8	–
v_5	400	33,4	100	380	39,7	–	350	73,5	–	410	113,5	–
v_6	150	15,8	–	150	18	–	130	26,5	–	170	64,8	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
v_7	470	33,6	100	500	70,8	–	480	102,3	–	520	163,9	–
v_8	370	28,2	–	470	45,5	–	450	112,8	300	490	129,6	–
v_9	200	22,4	–	220	65,7	200	190	58,4	–	320	141,7	–
v_{10}	180	15,8	–	200	18	–	170	26,5	–	250	64,8	–
t_{npd}	–	12,3	14	–	27,4	101,6	–	23,9	159,4	–	37,8	–

Порівняльний аналіз дозволяє зробити такі висновки:

за невисокої інтенсивності зовнішнього трафіка порівняно з доступними ресурсами (пропускними здатностями) мережі ($\lambda^{36h} = 100$ 1/с) реалізація багатошляхової маршрутизації дозволяє зменшити затримку в середньому на 12%;

при сумірних величинах необхідної та доступної пропускної здатності вираш багатошляхової маршрутизації становить від 73% ($\lambda^{36} = 200$ 1/с) до 85% ($\lambda^{36h} = 300$ 1/с);

у випадку реалізації одношляхової маршрутизації, за умови нестачі ресурсів, трафік ($\lambda^{36h} = 500$ 1/с) отримав би відмову в обслуговуванні, тобто обмеження (10) для жодного з шляхів від вузла В1 до В6 не виконується. Разом з тим, багатошляхова стратегія маршрутизації дозволила в рамках запропонованої моделі обслужити даний трафік із заданими показниками якості зв'язку ($t_{зад} = 40$ мс);

у результаті вирішення завдання багатошляхової маршрутизації було забезпечено виконання вимоги $T_k = 0$ [8, 12, 13]. При інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) отримано такі значення контурних затримок: $t_1 = 17,6 + 2,6 - 20,2 = 0$; $t_2 = 10,6 + 7 - 17,6 = 0$; $t_3 = 2,6 + 7,2 - 9,8 = 0$; $t_4 = 7 + 9,8 - 16,8 = 0$; $t_5 = 4,5 + 2,7 - 7,2 = 0$;

у рамках запропонованої моделі в ході розв'язання маршрутної задачі середні затримки пакетів вздовж незалежних шляхів були рівні між собою. Наприклад, за інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) (рис. 3) середні затримки при передачі від вузла 1 (відправник) до вузла 6 (отримувач) були однакові й дорівнювали $t_{npd} = 27,4$ мс;

для розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації з гарантованим забезпеченням якості обслуговування було одночасно враховано два основні показники: інтенсивність трафіка, яка вимагається, та середня затримка пакетів. Результати розрахунків показали, що завантаження окремих трактів передачі не перевищувало значень їх пропускних здатностей, а середня затримка пакетів вздовж кожного із шляхів не перевищувала заданого (того, що вимагалось) значення. Тобто визначені критерієм вимоги [14] було виконано з урахуванням обмежень, зазначених в [10, 14, 18–20].

Висновки. У роботі запропоновано метод динамічного управління потоками інформації з контролем якості передачі в ТКМ мобільного компонента перспективної системи зв'язку ЗС України. Наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління на основі фрагмента мобільного компонента перспективної системи зв'язку з використанням запропонованого методу. Результати проведених розрахунків свідчать про доцільність реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації, особливо в умовах дефіциту мережних ресурсів. У ході розв'язання задачі забезпечена мінімально однакова затримка передачі частин повідомлення вздовж кожного з розрахованих маршрутів. Використання сформульованих обмежень, які стало можливим отримати тільки після подання системи в тензорному вигляді, дозволило вирішити

проблему забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем (забезпеченням) показників якості QoS уздовж кожного із розрахованих шляхів.

Показано, що використання запропонованого методу можливе як при нарощуванні структури (її реорганізації), так і в критичних умовах. Результати розрахунку та імітаційного моделювання підтвердили адекватність запропонованого методу та доцільність його реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слюсар В. И. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий / В. И. Слюсар // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2008. – № 4. – С. 66–71.
2. Слюсар В.И. Концепція перспективної інформаційно-телекомунікаційної системи / В. И. Слюсар, І. В. Тітов, В. Г. Карєв // *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення : матеріали IV наук.-практ. сем. (22–23 жовт. 2008 р.).* – К., 2008. – С. 76–80.
3. Лаврут О. О. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України / О. О. Лаврут, О. К. Климович, Т. В. Лаврут // *Системи обробки інформації.* – Х. : ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 116–120.
4. Кондратьев А. Е. Исследования “сетевых концепций” в вооруженных силах ведущих зарубежных стран / А. Е. Кондратьев // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – № 12. – С. 3–9.
5. Паршин С. Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общие различия / С. Паршин, Ю. Кожанов // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – № 4. – С. 7–18.
6. Лемешко А. В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной / А. В. Лемешко // *Праці УНДІРТ.* – 2004. – № 4 (40). – С. 12–18.
7. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В. В. Поповський, С. О. Сабурова, В. Ф. Олійник та ін. ; за загальною ред. В. В. Поповського. – Х. : ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 564 с.
8. Лаврут О. О. Математичне моделювання процесів функціонування фрагмента мобільного компонента системи зв'язку ЗС України / О. О. Лаврут, Л. М. Блажко // *Системи обробки інформації.* – Х. : ХУПС, 2011. – Вип. 8 (98). – С. 170–174.
9. Лемешко А. В. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации / А. В. Лемешко, О. Ю. Евсева, О. А. Дробот // *Праці УНДІРТ.* – 2006. – № 4 (48). – С. 69–74.
10. Лемешко А. В. Вероятностно-временная модель QoS-маршрутизации с предвычислением путей в условиях отказов элементов телекоммуникационной сети / А. В. Лемешко // *Радиотехника.* – 2005. – № 142. – С. 11–20.
11. Малярчук М. В. Архітектура мобільного компонента перспективної системи зв'язку і автоматизації тактичної ланки управління Збройних Сил України з використанням

опорної мережі на радіорелейних станціях / М. В. Малярчук, С. П. Колачев, А. А. Швець // Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2009. – Вип. 3. – С. 45–50.

12. Лаврут О. О. Метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компонента перспективної системи зв'язку в надзвичайних ситуаціях, що змінюються / О. О. Лаврут // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : наук.-техн. журнал. – 2012. – № 1 (7). – С. 94–101.

13. Лаврут О. О. Динамічний метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компонента перспективної системи зв'язку в критичних умовах / О. О. Лаврут // Радіоелектронні і комп'ютерні системи : наук.-техн. журнал. – 2012. – № 6 (58). – С. 202–207.

14. Лаврут О. О. Вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у телекомунікаційній мережі мобільного компонента перспективної системи зв'язку Збройних Сил України / О. О. Лаврут // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 3(16). – С. 113–115.

15. Лаврут О. О. Тензор – можлива модель опису системи супутникового зв'язку як складного динамічного об'єкта / О. О. Лаврут, О. Ю. Стрюк, К. О. Польщиков // Системи озброєння і військова техніка. – Х., 2009. – Вип. 4(20). – С. 131–134.

16. Лаврут О. О. Описание системы спутниковой связи как сложного динамического объекта при помощи метода Крона / О. О. Лаврут, Т. В. Лаврут, А. М. Мартиненко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х. : ХАІ, 2010. – № 7 (48). – С. 251–256.

17. Лемешко А. В. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации / А. В. Лемешко, О. Ю. Евсева, О. А. Дробот // Праці УНДІРТ. – 2006. – № 4(48). – С. 69–74.

18. Лемешко А. В. Разработка и исследование потоковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки / А. В. Лемешко, Т. В. Вавенко // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 3 (29). – С. 100–108.

19. Лемешко А. В. Модель многопутевой QoS-маршрутизации в мультисервисной телекоммуникационной сети / А. В. Лемешко, О. А. Дробот // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2006. – Вып. 144. – С. 16–22.

20. Лемешко А. В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей [Электронный ресурс] / А. В. Лемешко, О. Ю. Евсева // Проблемы телекоммуникацій. – 2012. – № 4 (9). – С. 16–31. – Режим доступа : http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_lemeshko_tensor.pdf.

Подано 03.02.2015

А. А. Лаврут

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ С КОНТРОЛЕМ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Предложен метод динамического управления потоками информации с контролем качества передачи во фрагменте мобильной компоненты перспективной системы связи.

Показано, что использование предложенного метода возможно как при наращивании структуры (ее реорганизации), так и в критических условиях. Приведен пример расчета задачи многопутевой маршрутизации команды управления с обеспечением минимального времени доставки сообщения (команды управления) между заданными узлами сети с контролем показателей качества QoS на основе фрагмента мобильной компоненты перспективной системы связи Украины в критических условиях.

O. O. Lavrut

THE METHOD OF DYNAMIC INFORMATIONAL THREADS MANAGEMENT WITH CONTROL OF TRANSMISSION QUALITY IN MILITARY TELECOMMUNICATION NETWORK

Method of dynamic informational threads management with control of transmission quality within the fragment of a mobile component of a perspective network is proposed. It is shown that the usage of the proposed method is possible both while building the structure (its reorganization) and in critical conditions. An article represents the example of solving a problem of many ways routing of control command providing the minimal time for sending it between network parts with QoS quality control within the fragment of a mobile component of a perspective communication network in Ukraine in critical condition.