

УДК 621.396

О.О. Лаврут

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ У МОДЕЛІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ, ПРЕДСТАВЛЕНІЙ В ТЕНЗОРНОМУ ВИГЛЯДІ

У статті проводиться обґрунтування та вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у моделі військової телекомунікаційної мережі. Показано, що використання запропонованого критерію та сформульованих у тензорному вигляді обмежень дозволить вирішити проблему забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем показників якості QoS. Наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації з використанням запропонованого критерію у моделі військової телекомунікаційної мережі, представленої в тензорному вигляді.

Ключові слова: військова телекомунікаційна мережа, критерій, тензор, інформаційні потоки.

Вступ

Концепції розвитку систем управління збройними силами провідних країн світу однією з головних задач визначають гарантоване управління військами (силами) та зброєю в єдиному інформаційному просторі. В Збройних Силах України необхідність створення єдиного інформаційного простору зумовлена появою нових форм і засобів ведення збройної боротьби, впровадженням мережецентричного управління військами та зброєю, використанням в процесах управління сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Процеси інформатизації та створення єдиного інформаційного простору показують, що одним із основних перспективних пріоритетів є створення нових і модернізація існуючих автоматизованих інформаційних систем управління та зв'язку для Збройних Сил України (систем критичного призначення). Система управління військами спільно з сучасними комплексами розвідки і зв'язку становить технічну основу системи управління збройними силами і значною мірою є елементом, що найбільш динамічно розвивається в сучасних арміях провідних країн світу [1–3]. Транспортною основою вищезгаданої системи буде автоматизована мережа радіозв'язку загального користування, яка має забезпечити обмін інформацією в інтересах всіх військ, що діють в оперативно-тактичній зоні, незалежно від їх підпорядкування і задач, які виконуються [1–5].

Важливою умовою ефективного функціонування військової телекомунікаційної мережі (ТКМ) є максимальна погодженість у вирішенні задач мережного рівня – маршрутизації, управлінні інтенсивністю трафіка тощо.

Аналіз літератури. На сьогодні різноманітність моделей маршрутизації та доступу, які використовуються, ускладнює координацію мережних процесів

і отримання погоджених рішень задач мережного рівня. А це, в свою чергу, є джерелом виникнення в мережі явищ перенавантаження як локального, так і глобального характеру.

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

Однак на сьогодні, під час вирішення 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 оцінки якості управління різнорідними потоками інформації в мультисервісних мережах [6–9].

У сучасних телекомунікаційних системах цивільного призначення в питаннях забезпечення відповідних показників якості обслуговування QoS – швидкості передачі, середньої затримки, джитера та числа загублених пакетів, провідну роль відіграє маршрутизація. Сучасні цивільні телекомунікаційні системи та мережі порівняно з мережами критичного призначення зробили великий крок уперед. Тому подальший розвиток військових ТКМ повинен відбуватися на основі наукових та практичних розробок для ТКМ цивільного призначення з обов'язковим урахуванням стану та перспектив розвитку ТКМ критичного призначення провідних країн світу.

При моделюванні таких систем та рішенні основних мережних задач знайшли своє застосування цілий

ряд підходів, в яких найчастіше задачі структурного і функціонального синтезу розв'язуються незалежно, у кращому випадку, визначаючи один для одного вихідні дані, прийняті як допущення й обмеження [5 – 9].

Рішення задачі маршрутизації та абонентського доступу може бути досягнуте лише за умови цілісного подання мережі, що забезпечить формалізацію процесів управління як мережними ресурсами, так і доступу до мережі [6 – 10]. Тобто актуальним є питання розробки моделі комплексного вирішення задачі маршрутизації та абонентського доступу у військових телекомунікаційних мережах і, відповідно, оцінки якості обслуговування для забезпечення мінімального часу доведення команд (повідомлень).

Таким чином, метою статті є вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у військовій телекомунікаційній мережі, а також проведення розрахунків задачі багатопляхової маршрутизації з використанням запропонованого критерію.

Основна частина

Для вирішення задачі маршрутизації в цілому необхідна достатньо загальна модель, яка здатна математично коректно описати взаємодію, з одного боку, структурних і функціональних параметрів, а з іншого – характеристик трафіка і різнотипних показників якості обслуговування.

Рішенням може бути використання тензорного підходу до опису телекомунікаційної мережі мобільного компоненту тактичної ланки управління перспективної системи зв'язку ЗС України [11], яка описана в [7, 12, 13]. При введенні певних обмежень можна знаходити комплексне рішення задачі доставки повідомлення (команди, розпорядження) за мінімальний час, що вимагається при заданій якості передачі інформації, тобто з контролем показників якості QoS вздовж кожного з розрахованих шляхів.

Для оцінки якості роботи такої системи (яка розглядається в цілому) введемо узагальнені множини часових $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ та ймовірнісних

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_h\}$ показників. Для кожного мережного маршруту і виділимо відповідні множини часткових показників [15]:

$$T^i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_n^i, T_{n+1}^i, \dots, T_m^i\}, \quad (1)$$

$$P^i = \{P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i, P_{k+1}^i, \dots, P_h^i\}, \quad (2)$$

причому деякі з них не можуть перевищувати заданих значень:

$$T_{j_n}^i \leq T_{зад}, \quad j_n \in \overline{1, n}; \quad P_{j_k}^i \leq P_{зад}, \quad j_k \in \overline{1, k}, \quad (3)$$

або бути не менш, ніж задані:

$$T_{j_m}^i \geq T_{зад}, \quad j_m \in \overline{n+1, m}; \quad P_{j_h}^i \geq P_{зад}, \quad j_h \in \overline{k+1, h}. \quad (4)$$

Розглянемо множину можливих варіантів розподілу маршрутів

$$\mathfrak{R} = \{r = \{i_r\} | \xi(i_r) = 1\}, \quad (5)$$

де булева функція $\xi(\cdot) = 1$ тоді і тільки тоді, коли виконуються умови (3) та (4) для часткових показників (1) та (2).

Для розрахунку параметрів (оцінки якості, оперативності тощо) конкретної мережі, як правило, вибираються відповідні (визначені) показники обраної системи. Обравши за показник оптимізації середній час доведення повідомлення (команди) $t_d^{(сеп)}$, введемо відповідний функціонал на заданому розбитті (5):

$$t_d^{(сеп)}(r) = F(T^{i_r}(r), P^{i_r}(r)) \quad \forall i_r \in r. \quad (6)$$

Тоді в якості критерію можна розглянути мінімізацію (6) відносно розбиття (5):

$$t_d^{*(сеп)}(r) = \min_{r \in \mathfrak{R}} F(T^{i_r}(r), P^{i_r}(r)). \quad (7)$$

Також відзначимо необхідність врахування можливостей апаратного обладнання, наприклад, врахування пропускної здатності каналів зв'язку:

$$0 \leq \lambda^{i_r} \leq \omega^{i_r}, \quad \omega^{i_r} \leq \omega_{max}^{i_r}, \quad \forall i_r \in r, \quad \forall r \in \mathfrak{R}, \quad (8)$$

де для маршрутів r -го варіанта розбиття \mathfrak{R} позначено:

λ^{i_r} – інтенсивність трафіка на маршруті i_r ; ω^{i_r} – пропускна здатність та $\omega_{max}^{i_r}$ – максимальна пропускна здатність маршруту i_r .

Приклад розв'язання задачі багатопляхової маршрутизації з використанням запропонованого критерію.

На основі методу, який було детально описано в [7, 12, 13], в рамках дослідження для моделювання було взято за основу фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління Збройних Сил України [3, 11], структура якого наведена топологічною моделлю (рис. 1).

Після геометризації даного фрагмента (рис. 2), елементами у вигляді кола В1-В6 можуть виступати командні пункти різного рангу, окремі підрозділи, військовослужбовці тощо. За основу взято процес передачі повідомлень (команд управління) між двома вузлами даного фрагмента. Структура містить шість вузлів (В1-В6, $m = 6$) і вісім гілок (Г1-Г8, $n = 8$). Розмірність введеного простору n дорівнює восьми [7, 12, 13].

Структура мережі визначає простір, розмірність якого відповідає числу гілок мережі.

При цьому системи координат (СК) утворюють множину базисних контурів і вузлових пар. Перетворення структури мережі зі збереженням числа її гілок може трактуватись як зміна системи координат її розгляду.

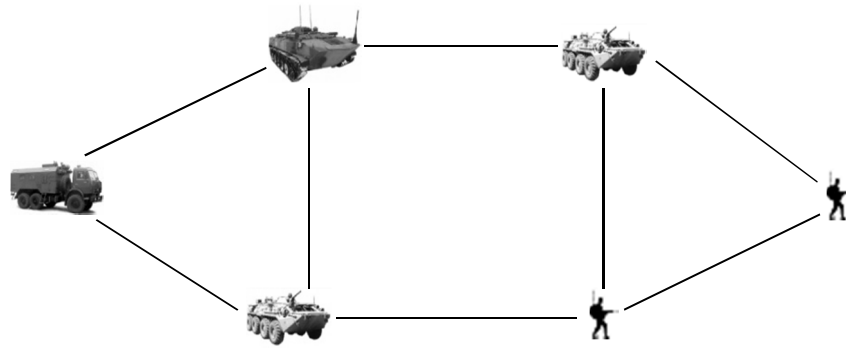


Рис. 1. Фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

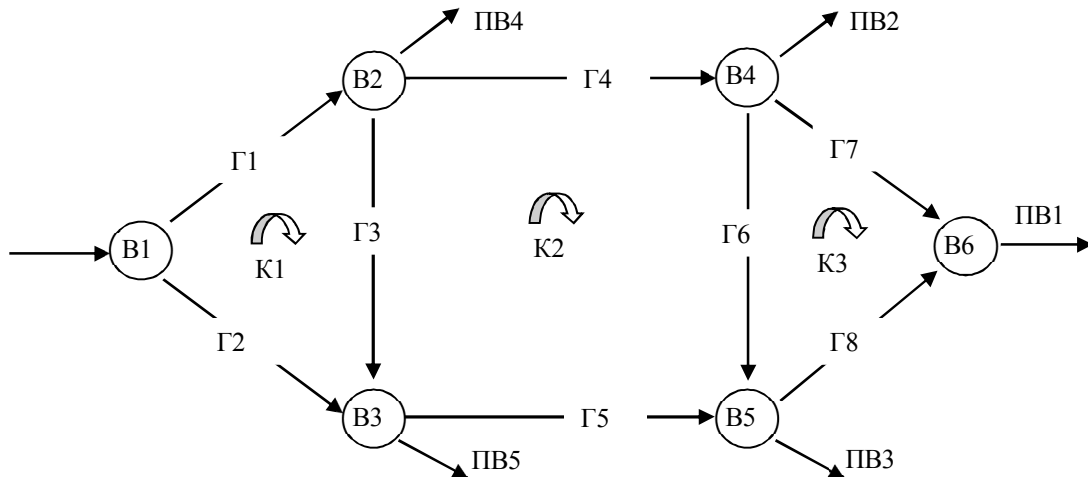


Рис. 2. Геометризація фрагменту мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

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 розраховуються згідно з виразом $r_j^i = s^i t_j$, $(i, j = \overline{1, n})$, а у прямому позначенні $R = S \otimes T$. Кожній структурі мережі відповідає свій набір координат, при цьому кількість координатних шляхів завжди залишається рівною кількості гілок [6, 8, 18-20].

Закони координатного перетворення мають вигляд:

$$S = CS' \text{ і } T = AT'$$

при виконанні умови ортогональності

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

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

$$T = GS; S = MT,$$

де $M = [G]^{-1}$.

Таким чином, тензор відображає інваріантний геометричний об'єкт, координати якого при перетворенні системи координат змінюються за лінійним законом.

Введемо в розгляд дві координатні системи. Перша – система координат гілок мережі, друга – система координат незалежних контурів і пар вузлів мережі, яка відповідає реальній структурі системи, що

моделюється. Подібний вибір СК обумовлений тим, що в системі координат гілок мережі необхідно розрахувати невідомі величини: інформаційне завантаження і величини затримок у кожному тракті передачі системи. У системі координат незалежних контурів і пар вузлів (КПВ) проекції тензорів S і T визначають вихідні дані для розв'язання розрахункових задач: довжину повідомлень і (або) затримку їх передачі [6, 8, 20].

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

$$S_G = CS_{K.n.e}, \quad (9)$$

де S_G , $S_{K.n.e}$ – подані у вигляді векторів розмірності n проекції одновалентного тензора довжин повідомлень S у введених вище координатних системах окремих гілок мережі, а також незалежних контурів і пар вузлів.

У свою чергу, вектори S_G та $S_{K.n.e}$ мають складові [6, 8]

$$S_G = \begin{bmatrix} s_G^1 \\ s_G^i \\ s_G^n \end{bmatrix}; S_{K.n.e} = \begin{bmatrix} S_K \\ S_{n.e} \end{bmatrix};$$

$$S_k = \begin{bmatrix} S_k^1 \\ S_k^j \\ S_k^r \end{bmatrix}; S_{n,e} = \begin{bmatrix} S_{n,e}^1 \\ S_{n,e}^p \\ S_{n,e}^s \end{bmatrix},$$

де s_r^i – довжина повідомлення, що передається по i -й гілці мережі; $S_k, S_{п.в}$ – вектори довжин повідомлень, що виникають у контурах мережі і надходять на її вузли; s_k^j – довжина повідомлення в j -му контурі мережі; $s_{п.в}^p$ – довжина повідомлення, що надходить у мережу (що спадає з мережі) через p -ту пару вузлів.

Проекцію тензора затримок T у системі координат гілок подано вектором T_Γ , а в координатній системі незалежних контурів і пар вузлів – вектором $T_{к.п.в}$. Ці вектори мають розмірність n і таку структуру:

$$T_\Gamma = \begin{bmatrix} t_1^r \\ t_i^r \\ t_n^r \end{bmatrix}; T_{к.п.в} = \begin{bmatrix} T_k \\ T_{n,e} \end{bmatrix}; T_k = \begin{bmatrix} t_j^k \\ t_r^k \end{bmatrix}; T_{n,e} = \begin{bmatrix} t_1^{n,e} \\ t_p^{n,e} \\ t_f^{n,e} \end{bmatrix},$$

де $t_i^r, t_r^{п.в}, t_j^k$ – затримки передачі повідомлень в i -й гілці, в j -му контурі та між p -ю парою вузлів мережі.

Коваріантний характер тензора затримок T обумовлює наступний закон координатного перетворення:

$$T_\Gamma = AT_{к.п.в}. \quad (10)$$

Відповідно до фізики процесів інформаційного обміну, що відбуваються в мережі, компоненти s_i^r і t_i^r векторів S_r і T_Γ пов'язані між собою співвідношенням

$$s_i^r = m_{r,i}^{ii} t_i^r \quad (i = \overline{1, n}), \quad (11)$$

де $m_{r,i}^{ii}$ – частина пропускної здатності i -ї гілки мережі [6, 8].

Відповідно до постулату другого узагальнення Г. Крона, як функціональний інваріант пропонованої моделі виступає тензорне рівняння, що отримане шляхом узагальнення рівняння (11) та зберігає свою форму незмінною незалежно від координатної системи розгляду мережі:

$$S = MT, \quad (12)$$

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

Прийнявши до уваги вирази (9), (10) і (12), можна зробити висновок про те, що тензор M є двічі контраваріантним метричним тензором, проекції якого під час зміни координатної системи перетворюються так:

$$M_\Gamma = CM_{к.п.в}C^t \text{ та } M_{к.п.в} = A^t M_\Gamma A,$$

де $M_\Gamma, M_{к.п.в}$ – проекції тензора M в системах координат гілок мережі та незалежних контурів і пар вузлів відповідно.

Вигляд функціонального рівняння мережі (12) залишається незмінним і в системі координат незалежних контурів і пар вузлів [6, 8]:

$$S_{к.п.в} = M_{к.п.в} T_{к.п.в}. \quad (13)$$

Щоб забезпечувалося існування шуканих розв'язків і однозначна їх інтерпретація, матричне рівняння (13) 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 $T_{к.п.в}$.

До характерної ознаки подібних задач слід віднести наявність умови

$$T_k = 0, \quad (14)$$

що накладається на контурні компоненти вектора $T_{к.п.в}$.

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 (13). Для успішного розв'язання задачі доцільно використовувати спеціальну форму векторів $S_{к.п.в}$ і $T_{к.п.в}$, тобто рівняння (13) зручно подати у вигляді [6, 8]

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

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

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

$$T_{n,e} = [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} S_{п.в} - [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} M_{к.п.в}^{(3)} T_k;$$

$$S_k = M_{к.п.в}^{(1)} T_k + M_{к.п.в}^{(2)} T_{n,e}.$$

Завдяки тензорному опису військової телекомунікаційної мережі у загальному вигляді обмеження на пропускну здатність [6, 10, 13, 14, 16, 17] можна представити як:

$$\vec{\Lambda} \leq \|M\| \vec{T}, \quad (15)$$

де $\vec{\Lambda}$ – вектор інтенсивності трафіка, який обслуговується; \vec{T} – вектор, що формалізує середній час затримки, M – матриця, що описує параметри пропускної здатності та надійності. Виконання наведених умов також гарантує розрахунок множини безпечельних (безконтурних) шляхів доставки пакетів.

Приведені аналітичні вирази (функціонал та обмеження), пов'язують між собою параметри трафіка, показники якості обслуговування та основні мережні параметри. Для знаходження оптимального варіанта відповідно до обраного критерію необхідно вирішити задачу математичного програмування з цільовою функцією (7) та обмеженнями (3), (4), (8) та (15).

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

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

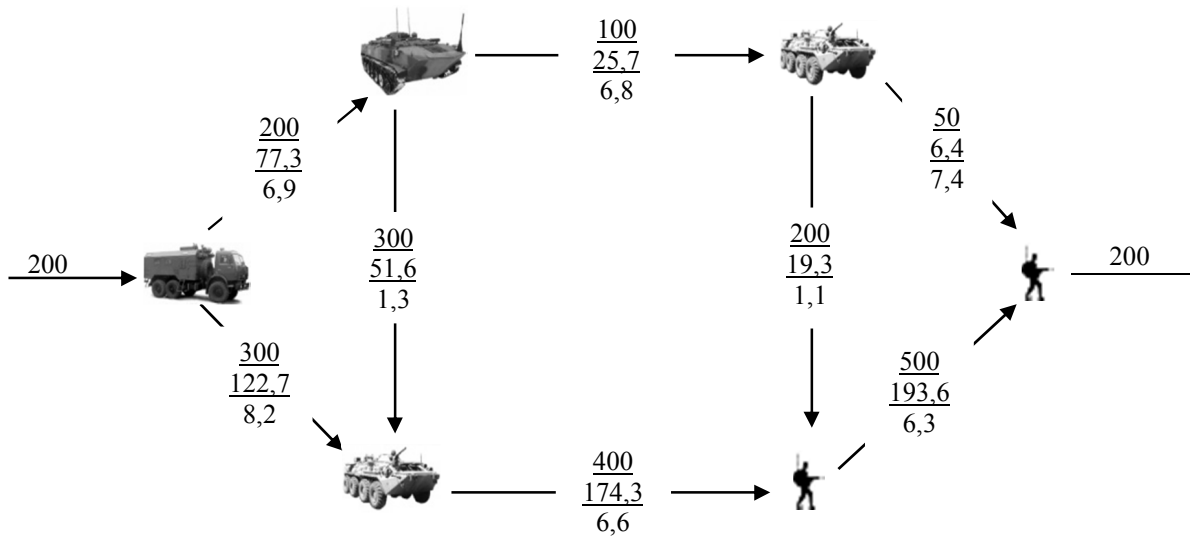


Рис. 3. Результати розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації

В результаті вирішення задачі вхідний трафік розподілюється за чотирма шляхами, причому шлях $\{v_1, v_4, v_7\}$ забезпечив обслуговування трафіка інтенсивністю $7,4$ $1/c$, шлях $\{v_1, v_3, v_5, v_8\} - 1,3$ ($1/c$), шлях $\{v_1, v_4, v_6, v_8\} - 1,1$ ($1/c$) і шлях $\{v_2, v_4, v_8\} - 8,8$ ($1/c$). Затримка передачі пакетів вздовж кожного з розрахованих шляхів склала $21,1$ мс.

У таблиці наведено результати розрахунків для двох основних стратегій маршрутизації – одношляхової та багатошляхової. При одношляховій маршрутизації шлях обслуговування трафіка визначається як найкоротший і результати подані вектором Λ_V^{OSH} . При вирішенні задачі багатошляхової маршрутизації використовувалась запропонована тензорна модель військової телекомунікаційної мережі [7, 12, 13] (рис. 1) і результати розрахунку представлені вектором Λ_V^{BSH} . Для розрахунків були використані чотири варіанти параметрів мережі та трафіків, що обслуговуються. За величиною затримки передачі пакетів трафіка $t_{прд}$ оцінювалась якість прийнятих рішень.

Порівняльний аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

- за невисокої інтенсивності зовнішнього трафіка порівняно з доступними ресурсами (пропускними здатностями) мережі ($\lambda^{3BH} = 100$ $1/c$), реалізація

Як приклад проведемо розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації для мережі (рис. 1) за таких вихідних даних: відправник – вузол 1, одержувач – вузол 6; параметри трафіка наведені величиною його бітової інтенсивності 200 $1/c$ і заданою затримкою передачі пакета $t_{зад} = 22$ мс.

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

багатошляхової маршрутизації дозволяє зменшити затримку в середньому на 12% ;

- при сумірних величинах необхідної та доступної пропускної здатності вииграш багатошляхової маршрутизації складає від 73% ($\lambda^{3BH} = 200$ $1/c$) до 85% ($\lambda^{3BH} = 300$ $1/c$);

- у випадку реалізації одношляхової маршрутизації, за умови нестачі ресурсів, трафік ($\lambda^{3BH} = 500$ $1/c$) отримав би відмову в обслуговуванні, тобто обмеження (8) по жодному 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 ($t_{зад} = 27$ мс);

- в результаті вирішення задачі багатошляхової маршрутизації було забезпечено виконання вимоги (14) [7, 12, 13]. При інтенсивності вхідного трафіка 200 ($1/c$) отримані наступні значення контурних затримок: $t_1 = 6,9 + 1,3 - 8,2 = 0$; $t_2 = 6,8 + 1,1 - 6,6 - 1,3 = 0$; $t_3 = 1,1 + 6,3 - 7,4 = 0$;

- в рамках запропонованої моделі при вирішенні маршрутної задачі середні затримки пакетів вздовж незалежних шляхів були рівні між собою. Наприклад, за інтенсивності вхідного трафіка 200 ($1/c$) (рис. 3) середні затримки при передачі від вузла 1 (відправник) до вузла 6 (отримувач) були однакові і дорівнювали $t_{прд} = 21,1$ мс;

Таблиця

Результати порівняльного аналізу різних стратегій маршрутизації

	Інтенсивність $\lambda^{звн}$ (1/с)											
	100			200			300			500		
	Проп. здатн.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. здатн.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. здатн.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. здатн.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$
v_1	198	46,9	-	200	77,3	-	279	145	-	369	298	-
v_2	251	53,1	100	300	122,7	200	315	155	300	287	202	-
v_3	386	26,8	-	300	51,6	-	217	67	-	331	186	-
v_4	314	20,1	-	100	25,7	-	234	78	-	217	112	-
v_5	412	79,9	100	400	174,3	200	385	222	300	392	388	-
v_6	215	8,4	-	200	19,3	-	179	36	-	275	48	-
v_7	273	11,7	-	50	6,4	-	197	42	-	353	64	-
v_8	438	88,3	100	500	193,6	200	471	258	300	453	436	-
$t_{прд}$	-	11,2	12,7	-	21,1	78,13	-	18,4	122,6	-	27	-

- при вирішенні задачі багатошляхової маршрутизації з гарантованим забезпеченням якості обслуговування було одночасно враховано два основних показники: інтенсивність трафіка, яка вимагається, та середня затримка пакетів. Результати розрахунків показали, що завантаження окремих трактів передачі не перевищувало значень їх пропускних спроможностей, а середня затримка пакетів вздовж кожного із шляхів не перевищувала заданого (того, що вимагалось) значення. Тобто визначені критерієм (7) вимоги було виконано з урахуванням обмежень (3), (4), (8).

Висновки

В роботі показано, що при поданні в тензорному вигляді моделі телекомунікаційної мережі критичного призначення (мобільного компоненту тактичної ланки управління перспективної системи зв'язку ЗС України) є можливість сформулювати критерій та обмеження для комплексної оцінки якості обслуговування інформаційних потоків з контролем показників якості. Результати проведених розрахунків свідчать про доцільність реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації, особливо в умовах дефіциту мережних ресурсів.

Використання запропонованого критерію та сформульованих обмежень дозволило вирішити проблему забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем (забезпеченням) показників якості QoS вздовж кожного із розрахованих шляхів.

Подальший розвиток даного напрямку дослідження полягає у узагальненні запропонованого підходу на випадок багатополосних та багатопродуктових мереж критичного призначення.

Список літератури

1. Слюсар В.І. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий / В.І. Слюсар // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2008. – № 4. – С. 66–71.
2. Слюсар В.І. Концепція перспективної інформаційно-телекомунікаційної системи / В.І. Слюсар, І.В. Тітов,

В.Г. Карев // *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: 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. – Вип. № 4. – С. 7–18.

6. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосев, О.В. Лемешко та ін.: За загальною ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 564 с.

7. Лаврут О.О. Математичне моделювання процесів функціонування фрагменту мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України / О.О. Лаврут, Л.М. Блажко // *Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 8 (98). – С. 170–174.

8. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представления в пространстве с кривизной / А.В. Лемешко // *Праці УНДІРТ.* – 2004. – № 4 (40). – С. 12–18.

9. Лемешко А.В. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева, 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 компоненту 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 компоненту перспективної системи зв'язку в надзвичайних ситуаціях, що змінюються / О.О. Лаврут // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – 2012. – № 1 (7). – С. 94–101.

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

14. 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.

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

16. Лемешко А.В. Разработка и исследование поточковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Доклады Томского государ-

ственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 3 (29). – С. 100–108.

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

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

19. 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. – Харків: ХАІ, 2010. – № 7 (48). – С. 251–256.

Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Литвин, завідувач кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ВОЕННОЙ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ В ТЕНЗОРНОМ ВИДЕ

А.А. Лаврут

В статье проводится обоснование и выбор критерия оценки качества управления потоками информации в модели военной телекоммуникационной сети. Показано, что использование предложенного критерия и сформулированных в тензорном виде ограничений позволит решить проблему обеспечения минимального времени доставки сообщения (команды) между заданными узлами сети с контролем показателей качества QoS. Приведен пример решения задачи многопутевой маршрутизации с использованием предложенного критерия в модели военной телекоммуникационной сети, представленной в тензорном виде.

Ключевые слова: военная телекоммуникационная сеть, критерий, тензор, информационные потоки.

QUALITY RESEARCH OF INFORMATION MANAGEMENT IN THE MODEL OF MILITARY TELECOMMUNICATIONS NETWORK PRESENTED IN TENSOR FORM

O. Lavrut

The article carries out the substantiation and selection of the quality assessment criterion of information management in the model of military telecommunications network. It is shown that the use of the proposed criterion and formulated in tensor form of restrictions will enable to solve the problem of providing a minimum time of the message (command) delivery between given nodes in the network with the control of quality indicators QoS. There is an example of solving the problem of multipath routing using the proposed criterion in the military telecommunications network model presented in tensor form.

Key words: military telecommunications network, the criterion, the tensor, information flows.