

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 621.396

О.О. Лаврут

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
Національного технічного університету України "КПІ", Київ*

МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ У ФРАГМЕНТІ МОБІЛЬНОГО КОМПОНЕНТУ ПЕРСПЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ЩО ЗМІНЮЮТЬСЯ

Запропоновано динамічний метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компонента перспективної системи зв'язку. Показано, що використання запропонованого методу можливе як при нарощуванні структури (її реорганізації), так і в надзвичайних ситуаціях. Наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління з мінімальною затримкою на основі фрагменту мобільного компонента перспективної системи зв'язку України.

Ключові слова: метод управління, тензорний аналіз мереж, система зв'язку.

Вступ

В епоху "інформаційної ери" на перше місце виходять нові інформаційні технології, які, на думку багатьох закордонних експертів, дозволяють здійснити революцію у військовій справі. Їх впровадження у військову сферу також спрямовано на підвищення бойових можливостей формувань, але уже не лише за рахунок підвищення вогневих, маневрових та інших індивідуальних характеристик, а і за рахунок скорочення циклу управління в операції [1-4].

Забезпечення всебічної інтеграції, підвищення рівня взаємодії, а також досягнення синергетичного ефекту за рахунок реалізації принципів нових мережоцентричних концепцій та інтеграції систем управління, зв'язку, розвідки та поразки стає все більш актуальним та пріоритетним напрямком реформування збройних сил більшості країн світу.

Поняття "мережоцентрична війна", або "ведення бойових дій в єдиному інформаційно-комунікаційному просторі", розглядає збройні сили як пристрої, що під'єднані до мережі. В залежності від вибору мережевої архітектури та її типу засобами мережі можуть бути кораблі, літаки, засоби поразки, управління, зв'язку, розвідки та спостереження, група військовослужбовців або окремі солдати, а також комбінації тих чи інших. Можливості таких бойових формувань визначаються не стільки індивідуальними характеристиками, скільки можливостями всієї групи під'єднаних до мережі засобів як єдиного цілого [1 – 4].

Всі мережоцентричні концепції провідних закордонних країн будуються на можливості організа-

ції взаємодії та об'єднання всіх розрізнених бойових елементів у підсистеми, а потім і всіх сформованих підсистем в єдину структуру через розгортання "системи мереж".

При всіх існуючих перевагах "мережоцентричних принципів", ефективного математичного апарата кількісної оцінки впливу нової концепції на підвищення бойових здатностей та ефективності дії військ до цих пір не існує [1 – 4].

У зв'язку з цим одним із можливих способів вивчення мережевих архітектур перспективних мережоцентричних концепцій є тензорні моделі і методи аналізу. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження американського вченого Г. Крона та його розробки в галузі тензорного аналізу та діакоптики, що базуються на використанні інваріантних величин – тензорів, які, в свою чергу, подібно каркасу зв'язують перетворення структури складних систем [5, 6]. Можливість сумісного дослідження структури складної системи та процесів, що в ній протікають, є головною перевагою тензорної методології досліджень, основою на об'єднанні можливостей диференціальної геометрії з можливостями комбінаторної топології. Поряд з аналізом функціональних рівнянь системи, в рамках її тензорного подання графо-топологічний опис є додатковим джерелом інформації для ефективного складання та вирішення подібних рівнянь [5 – 8].

З точки зору мережецентричних принципів структура мобільного компонента перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління є динамічною, що може змінюватись з перебігом часу під впливом різноманітних факторів особливо в критич-

ний час. Тому постає питання вирішення задачі управління потоками інформації в таких системах, особливо в критичних умовах, які змінюються.

Метою статті є розробка динамічного методу управління потоками інформації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління Збройних Сил в критичних умовах

Основна частина

Методологія тензорного підходу до аналізу складної системи полягає у наступному:

- геометризація системи: введення понять простору, систем координат і правил їх перетворення.
- інваріантне подання рівнянь поведінки системи, її основних властивостей і характеристик. Визначення інваріантів, коваріантних і контраваріантних величин.

– обґрунтування і вибір множини систем координат, у рамках яких можна здійснити розрахунок шуканих параметрів системи [5, 6].

В рамках дослідження для моделювання було взято за основу фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління Збройних Сил України [9] (рис. 1) і проведено його геометризацію (рис. 2). 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 фрагменту. Як приклад, пропонується використати тензорний підхід до розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління в запропонованій мережі для вирішення задачі розробки динамічного методу управління потоками інформації.

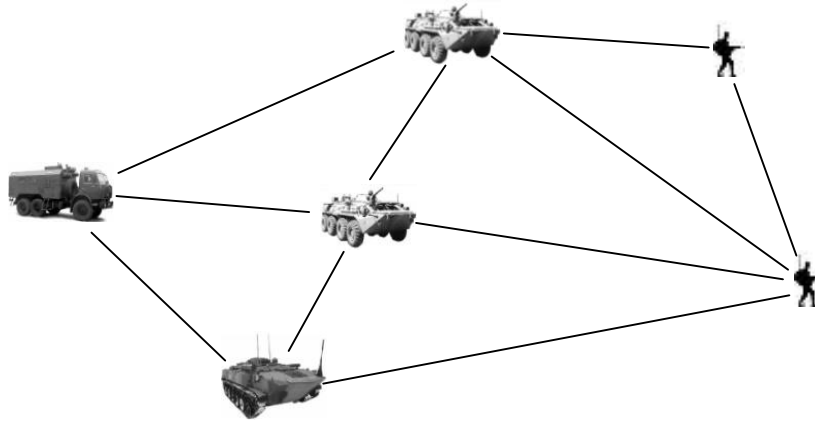


Рис. 1. Фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку України

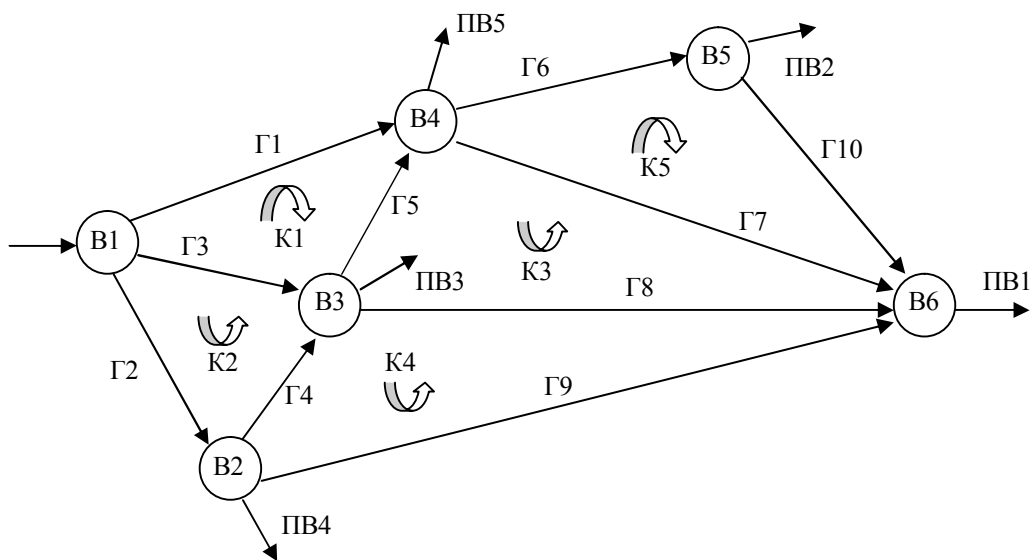


Рис. 2. Геометризація фрагменту мобільного компоненту перспективної системи зв'язку України

При моделюванні будемо розглядати анізотропний простір-структуру, тому що об'єктом тензорного аналізу є дискретні простори, утворені сукупністю замкнених і розімкнених шляхів (контурів і

пар вузлів). Розмірність такого простору, будучи структурним інваріантом, визначається загальною кількістю гілок (окремих трактів передачі) у мережі, і дорівнює n . У зв'язку з цим множина структур, що

відповідають різним варіантам з'єднань n гілок, може трактуватися як множина часткових систем координат у введеному n -вимірному просторі. Перетворення ж структури мережі зі збереженням початкової кількості гілок або перехід від однієї сукупності незалежних шляхів до іншої трактується як перетворення системи координат. Таким чином, кожний шлях через свою незалежність визначає в рамках розглянутого простору-структури координатну вісь. Орієнтація контурів і вузлових пар можуть задаватися в загальному випадку довільно [5, 7, 10].

Відомо, що кількість гілок у будь-якій одновимірній мережі, що подається на площині у вигляді графа, чисельно дорівнює сумі незалежних розімкнених і замкнених шляхів (контурів) r , а чисельність незалежних розімкнених шляхів (вузлових пар) s визначається різницею кількості вузлів m у мережі і кількістю незв'язних підмереж α [5, 7, 10]. Загальна кількість базисних (координатних) шляхів, кожний з яких у частковій системі координат визначає координатну вісь, може перерозподілятися між кількістю незалежних контурів r і кількістю незалежних вузлових пар у мережі s [5, 7, 10], тобто має місце тотожність

$$n = r + s, s = m - \alpha, r = n - s. \quad (1)$$

При багатоаспектному описі системи в n мірному дискретному просторі-структурі можуть розглядатись декілька систем координат. Основною вимогою при виборі є інформативність цих СК. Тобто в них повинні бути відомі проєкції різних компонент тензора R , або ті, що необхідно знайти, спираючись на які можна розрахувати необхідні компоненти в той чи іншій системі координат.

Введемо в розгляд дві координатні системи. Перша – система координат гілок мережі, якій відповідає структура з окремими не з'єднаними з собою гілками. 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) проєкції тензорів S і T визначають вихідні дані для розв'язання розрахункових задач: довжину повідомлень і (або) затримку їх передачі [7, 8, 10, 11].

Для прикладу здійсимо вибір координатних шляхів у мережі (рис. 2). До вузлів мережі належать (В1-В6, $m=6$), до гілок ($\Gamma 1-\Gamma 10$, $n=10$), а до пар вузлів – шляхи ПВ1, ПВ2, ПВ3, ПВ4 і ПВ5. Розмірність введеного простору-структури n дорівнює десяти. Внаслідок справедливості виразів (1) кількість незалежних пар вузлів s дорівнює п'яти, і кількість незалежних контурів r – п'яти, що визначає в сумі загальну кількість гілок у мережі. Вузол 1, щодо якого ви-

значаються інші пари вузлів, називається опорним. Шляхи К1-К5 і ПВ1-ПВ5 визначають у n -вимірному просторі базис системи координат, що відповідає структурі мережі, зображеної на рис. 2. Через цей базис можна виразити будь-який інший шлях мережі, при чому алгебраїчна сума шляхів — це шлях, що проходить по всіх доданках суми відповідно до їх орієнтації. Наприклад, шлях з В1 у В2 можна подати у вигляді алгебраїчної суми шляхів К2 та ПВ4.

Зміна порядку з'єднання гілок мережі (рис. 2) визначає у загальному випадку кінцевий набір структур, у кожній з яких інваріантом є кількість гілок, а кількість незалежних контурів і пар вузлів може певним чином змінюватися [5, 7, 10].

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 [5, 7, 8, 10-12].

Закони координатного перетворення мають вигляд:

$$S = CS' \text{ і } T = AT' \quad (2)$$

при виконанні умови ортогональності

$$C^t = [A]^{-1}. \quad (3)$$

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

$$T = GS; S = MT, \quad (4)$$

де $M = [G]^{-1}$. (5)

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

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 [7, 8, 11]

$$S_\Gamma = CS_{к.п.в}, \quad (6)$$

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 контурів і пар вузлів.

Коваріантний характер тензора затримок T обумовлює такий закон координатного перетворення:

$$T_{\Gamma} = A T_{K.P.B.} \quad (7)$$

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

$$s_{\Gamma}^i = m_{\Gamma}^{ii} t_{\Gamma}^i \quad (i = \overline{1, n}), \quad (8)$$

де m_{Γ}^{ii} — частина пропускної здатності i -ї гілки мережі [7, 8, 11].

Відповідно до постулату другого узагальнення Γ . Крона, як функціональний інваріант пропонованої моделі виступає тензорне рівняння, що отримане шляхом узагальнення рівняння (8) та зберігає свою форму незмінною незалежно від координатної системи розгляду мережі:

$$S = M T, \quad (9)$$

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

Прийнявши до уваги вирази (6), (7) і (9), можна зробити висновок про те, що тензор M є двічі контраріантним метричним тензором, проєкції якого під час зміни координатної системи перетворюються так:

$$M_{\Gamma} = C M_{K.P.B.} C^t \text{ та } M_{K.P.B.} = A^t M_{\Gamma} A, \quad (10)$$

де M_{Γ} , $M_{K.P.B.}$ — проєкції тензора M в системах координат гілок мережі та незалежних контурів і пар вузлів відповідно.

Вигляд функціонального рівняння мережі (8) залишається незмінним і в системі координат незалежних контурів і пар вузлів [7, 8, 11]:

$$S_{K.P.B.} = M_{K.P.B.} T_{K.P.B.} \quad (11)$$

Щоб забезпечувалося існування шуканих розв'язків і однозначна їх інтерпретація, матричне рівняння (11) 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 $S_{K.P.B.}$ та $T_{K.P.B.}$ [7, 8, 11].

Під час розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації до відомих контурних компонентів вектора $T_{K.P.B.}$ додаються відомі компоненти вектора $S_{K.P.B.}$ — координати вектора $S_{P.B.}$, що визначають, у свою чергу, довжину повідомлень, що надходять або вибувають з вузлів мережі. Подібні вихідні дані виключають можливість безпосереднього розрахунку невідомих компонентів векторів $S_{K.P.B.}$ і $T_{K.P.B.}$ шляхом розв'язання функціонального рівняння, заданого у формі (11). Для успішного розв'язання задачі доцільно використовувати спеціальну форму векторів

$S_{K.P.B.}$ і $T_{K.P.B.}$, тобто рівняння (11) зручно подати у вигляді [7, 8, 11]:

$$\begin{bmatrix} S_K \\ S_{P.B.} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{K.P.B.}^{(1)} & M_{K.P.B.}^{(2)} \\ M_{K.P.B.}^{(3)} & M_{K.P.B.}^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_K \\ T_{P.B.} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\text{де } \begin{bmatrix} M_{K.P.B.}^{(1)} & M_{K.P.B.}^{(2)} \\ M_{K.P.B.}^{(3)} & M_{K.P.B.}^{(4)} \end{bmatrix} = M_{K.P.B.},$$

що дозволяє через наявність відомих $S_{P.B.}$ і T_K одержати такі дві системи рівнянь:

$$T_{P.B.} = [M_{K.P.B.}^{(4)}]^{-1} S_{P.B.} - [M_{K.P.B.}^{(4)}]^{-1} M_{K.P.B.}^{(3)} T_K; \quad (13)$$

$$S_K = M_{K.P.B.}^{(1)} T_K + M_{K.P.B.}^{(2)} T_{P.B.} \quad (14)$$

Для наочної демонстрації отриманих результатів, як приклад, проведемо розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації для мережі (рис. 2) за таких вихідних даних: відправник — вузол 1, одержувач — вузол 6, відповідно $S_{P.B.}=0$ (повідомлення не вибуває з інших вузлів); повідомлення має довжину 100 байт; затримка в контурах дорівнює нулю $T_K=0$; пропускні здатності гілок, виділені для обслуговування даного трафіка, задані у вигляді діагональних елементів матриці пропускних здатностей

$$M_{\Gamma} = \begin{bmatrix} 60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 60 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 80 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}.$$

Для структури, що зображена на рис. 2, множина всіх безконтурних шляхів між вузлами $B1$ і $B6$, тобто шляхів які не містять петель, можна подати у вигляді системи рівнянь [7, 10]. Тобто, згідно орієнтації гілок, базисних контурів та вузлових пар координати тензорів S і T у різних системах координат розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_K^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_K^2 + s_{P.B.}^4; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_K^1 - s_K^2 + s_{P.B.}^1 + s_{P.B.}^3 + s_{P.B.}^5; \\ s_{\Gamma}^4 = s_K^2 - s_K^4; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_K^1 - s_K^3 + s_{P.B.}^1 + s_{P.B.}^5; \\ s_{\Gamma}^6 = s_K^5 + s_{P.B.}^2; \\ s_{\Gamma}^7 = -s_K^3 - s_K^5 + s_{P.B.}^1; \\ s_{\Gamma}^8 = s_K^3 - s_K^4; \\ s_{\Gamma}^9 = s_K^4; \\ s_{\Gamma}^{10} = s_K^5; \end{cases} \begin{cases} t_{\Gamma}^1 = t_1^k + t_5^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^2 = t_4^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^3 = t_3^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^4 = t_2^k + t_3^{P.B.} - t_4^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^5 = -t_3^{P.B.} + t_5^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^6 = t_2^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^7 = t_1^{P.B.} - t_5^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^8 = t_3^k + t_1^{P.B.} - t_3^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^9 = t_2^k + t_3^k + t_4^k + t_1^{P.B.} - t_4^{P.B.}; \\ t_{\Gamma}^{10} = t_5^k + t_1^{P.B.} - t_2^{P.B.} - t_5^{P.B.}; \end{cases}$$

а матриці коваріантного і контраваріантного перетворення A та C з виконанням умови ортогональності (3) мають наступний вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Спираючись на заданий у рамках початкових умов матриці M_r , закон координатного перетворення компонент метричного тензора (10), а також на отриману матрицю контраваріантного перетворення (15), можна стверджувати, що матриця пропускових здатностей $M_{к.п.в}$ має такий зміст та структуру:

$$M_{к.п.в} = \begin{pmatrix} M_{к.п.в}^{(1)} & M_{к.п.в}^{(2)} \\ M_{к.п.в}^{(3)} & M_{к.п.в}^{(4)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 0 & 130 & 50 & 50 & 0 & 50 & 0 & 80 & -130 & 0 \\ 0 & 50 & 130 & 50 & 0 & 130 & 0 & -80 & -50 & 0 \\ 0 & 50 & 50 & 50 & 0 & 50 & 0 & 0 & -50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 40 & -40 & 0 & 0 & -40 \\ 0 & 50 & 130 & 50 & 40 & 240 & -40 & -80 & -50 & -110 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -40 & -40 & 100 & 0 & 0 & 40 \\ 0 & 80 & -80 & 0 & 0 & -80 & 0 & 320 & -80 & -80 \\ 0 & -130 & -50 & -50 & 0 & -50 & 0 & -80 & 180 & 0 \\ 60 & 0 & 0 & 0 & -40 & -110 & 40 & -80 & 0 & 250 \end{pmatrix}$$

Тоді відповідно до виразів (13) і (14)

$$T_{п.в}^t = [0,979 \ 0,164 \ 0,512 \ 0,499 \ 0,568];$$

$$S_k^t = [34,1 \ 24,97 \ 61,38 \ 23,99 \ 9,86].$$

Розв'язок задачі визначають з розрахунку компонентів вектора S_r , які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі:

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

Отриманий розв'язок обумовило існування наступних незалежних маршрутів передачі повідом-

лення від першого вузла до шостого, які не містять петель (циклів). Перший маршрут (Г1-Г6-Г10) забезпечує передачу 34,095 байт; другий (Г3-Г5-Г7) – 40,935 байт; третій (Г2-Г4-Г8) – 0,984 байт; четвертий (Г2-Г9) – 23,986 байт. 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 $T_{п.в}$, і дорівнює 0,979 с.

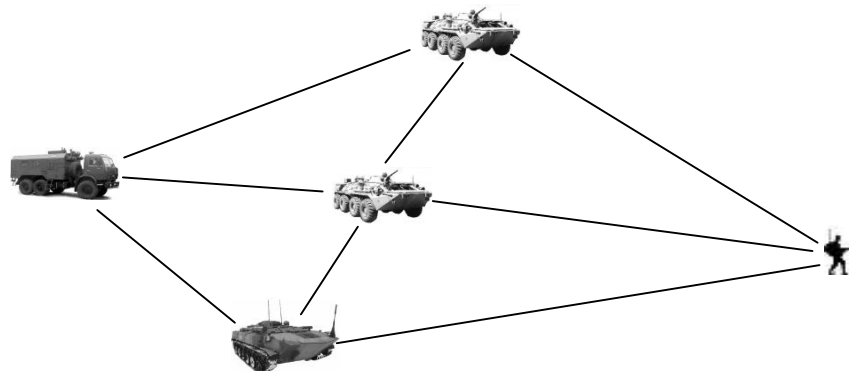


Рис. 3. Фрагмент мобільного компоненту в момент часу $t+1$

В надзвичайних ситуаціях з перебігом часу структура мобільного компоненту однозначно буде зазнавати змін (передислокація, фізичне знищення, нарощування). Під надзвичайною ситуацією будемо

розглядати зміну умов навколишнього середовища, а саме: виникнення землетрусів, повеней, пожеж та інших впливів. 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 $U=f(m,n,t)$. В даному випадку будемо розглядати t як дискретну величину з шагом 1. Через час $t+1$ з імовірністю P_1 структура мережі перейде із одного стану до іншого. В наступний момент часу стан мережі можна описати як

$U_1=f(m_1,n_1,t+1)$. Наприклад, фрагмент мобільного компоненту в момент часу $t+1$ виглядає наступним чином (знищено один з вузлів, а відповідно і втрачено дві лінії зв'язку) (рис. 3). Геометризація фрагменту в момент часу $t+1$ подана на рис. 4. Алгоритм розрахунку залишається незмінним.

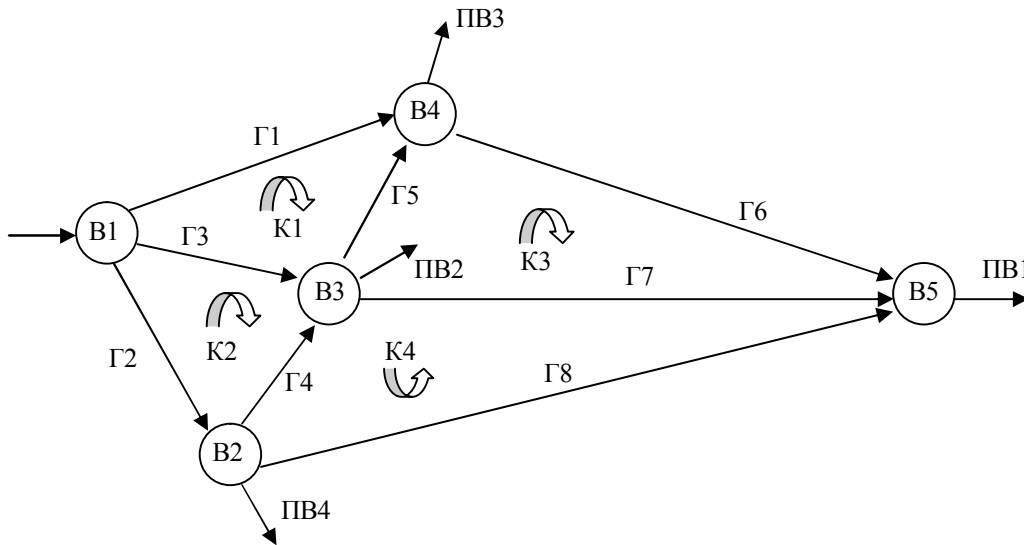


Рис. 4. Геометризація фрагменту мобільного компоненту в момент часу $t+1$

В такому випадку координати тензорів S і T у різних системах координат розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_K^1 + s_{П.В.}^3; \\ s_{\Gamma}^2 = -s_K^2 + s_{П.В.}^1 + s_{П.В.}^2 + s_{П.В.}^4; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_K^1 + s_K^2 + s_{П.В.}^2; \\ s_{\Gamma}^4 = -s_K^2 - s_K^4 + s_{П.В.}^1 + s_{П.В.}^2; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_K^1 + s_K^3; \\ s_{\Gamma}^6 = s_K^3; \\ s_{\Gamma}^7 = -s_K^3 - s_K^4 + s_{П.В.}^1; \\ s_{\Gamma}^8 = s_K^4; \end{cases} \begin{cases} t_{\Gamma}^1 = t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^2 = t_4^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^3 = t_2^k + t_2^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^4 = -t_2^k + t_2^{П.В.} - t_4^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^5 = -t_1^k - t_2^k - t_2^{П.В.} + t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^6 = t_1^k + t_2^k + t_3^k + t_1^{П.В.} - t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^7 = t_2^k + t_1^{П.В.} - t_2^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^8 = t_4^k + t_1^{П.В.} - t_4^{П.В.} \end{cases}$$

Тоді відповідно до виразів (13) і (14)

$$T_{П.В.}^t = [1,027 \ 1,042 \ 0,541 \ 0,517];$$

$$S_K^t = [32,455 \ 74,153 \ 34,029 \ 25,505].$$

Розв'язок задачі визначають з розрахунку компонентів вектора S_r , які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі:

$$S_r^t = [32,455 \ 25,847 \ 41,698 \ 0,342 \ 1,575 \ 34,029 \ 40,466 \ 25,505].$$

В даному випадку перший маршрут (Г1-Г6) забезпечує передачу 32,455 байт; другий (Г3-Г5-Г6) – 41,698 байт; третій (Г2-Г4-Г7) – 0,342 байт; четвертий (Г2-Г8) — 25,505 байт. Час передачі частин повідомлення дорівнює 1,027 с.

В наступний момент часу $t+2$ з імовірністю P_2 стан мережі можна описати як $U_2=f(m_2,n_2,t+2)$.

Наприклад, фрагмент мобільного компоненту в

момент часу $t+2$ виглядає наступним чином (пошкоджено одну з ліній зв'язку) (рис. 5). Геометризація фрагменту в момент часу $t+2$ зображена на рис. 6.

В такому випадку координати тензорів S і T у різних системах координат розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_K^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_K^2; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_K^1 - s_K^2 + s_{П.В.}^1 + s_{П.В.}^2 + s_{П.В.}^3 + s_{П.В.}^4; \\ s_{\Gamma}^4 = -s_K^2 + s_K^3 + s_{П.В.}^1; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_K^1 - s_K^3 + s_{П.В.}^1 + s_{П.В.}^3; \\ s_{\Gamma}^6 = -s_K^3 + s_{П.В.}^1; \\ s_{\Gamma}^7 = s_K^3; \end{cases} \begin{cases} t_{\Gamma}^1 = t_1^k + t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^2 = t_2^k + t_4^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^3 = t_2^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^4 = -t_2^{П.В.} + t_4^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^5 = -t_2^{П.В.} + t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^6 = t_1^{П.В.} - t_3^{П.В.}; \\ t_{\Gamma}^7 = t_3^k + t_1^{П.В.} - t_4^{П.В.} \end{cases}$$

Тоді відповідно до виразів (13) і (14)

$$T_{П.В.}^t = [1,448 \ 0,407 \ 0,638 \ 0,583];$$

$$S_K^t = [38,273 \ 29,163 \ 43,26].$$

Розв'язок задачі визначають з розрахунку компонентів вектора S_r , які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі:

$$S_r^t = [38,273 \ 29,163 \ 32,564 \ 14,097 \ 18,467 \ 56,74 \ 43,26].$$

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

Таким чином, суть динамічного методу управління потоками полягає у розрахунку задачі багатошля-

хової маршрутизації при передачі команд управління у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку за допомогою тензорної моделі. Запропонована тензорна модель виступає інваріантом, який подібно каркасу зв'язує перетворення структури складної системи. Це, у свою чергу, дає можливість сумісно досліджувати структуру системи і процеси інфор-

маційного обміну, що в ній протікають. При чому, при переході від однієї структури до іншої, в розрахунках з перебігом часу змінюються тільки координати тензорів (рівняння) і відповідно матриці ко- і контраваріантного перетворення в залежності від структури на даний момент, а сам алгоритм розрахунку залишається незмінним.

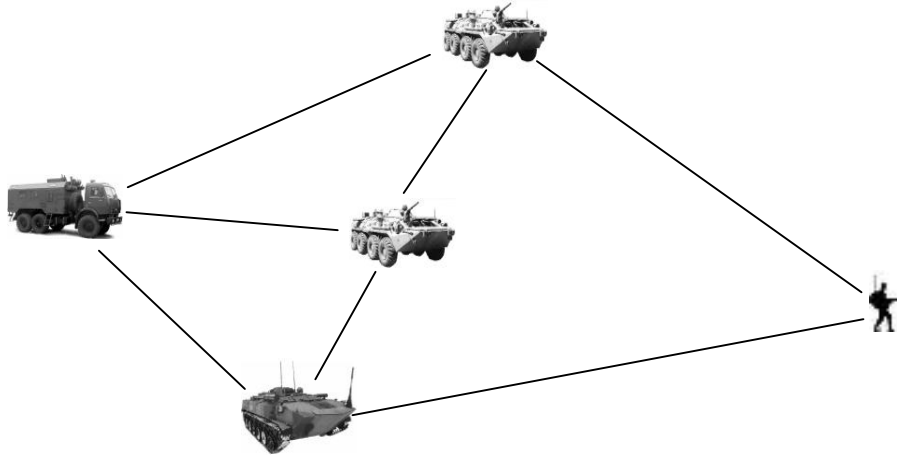


Рис. 5. Фрагмент мобільного компоненту в момент часу $t+2$

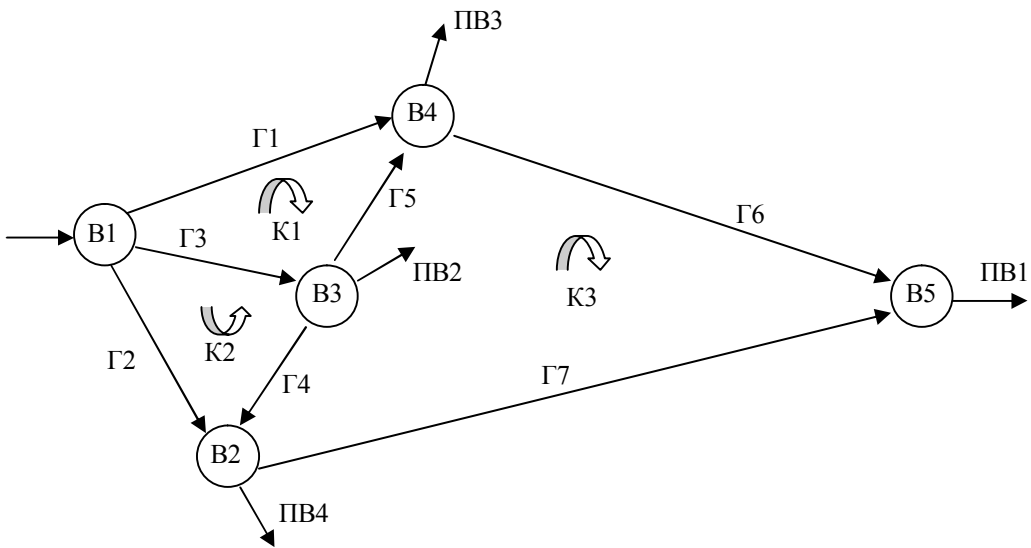


Рис. 6. Геометризація фрагменту мобільного компоненту в момент часу $t+2$

Висновки

Показано, що в рамках тензорного аналізу мереж існує можливість сумісного дослідження структури системи і процесів інформаційного обміну, що в ній протікають, яка базується на об'єднанні можливостей диференційної геометрії з можливостями комбінаторної топології. При цьому додатковим джерелом інформації при виборі шуканої координатної системи служить топологічний опис реальної системи.

Запропоновано динамічний метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку в критичних

умовах. А також наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації команди управління на основі даного фрагменту з використанням запропонованого методу. В ході розв'язання задачі забезпечена мінімально однакова затримка передачі частин повідомлення уздовж кожного з розрахованих маршрутів.

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

Подальший розвиток запропонованого підходу до тензорного моделювання процесів функціонування складної системи, наприклад, мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України, полягає в узагальненні поданої моделі на випадок передачі інформації не тільки між двома вузлами мережі, а, наприклад, циркулярно. А також при передачі команд управління використовуючи різні типи трафіка. Тобто в забезпеченні можливості одночасного вирішення і задач розрахунку маршрутів, і задач розподілу ресурсів мережі між трафіками даних різних користувачів.

Список літератури

1. Слюсар В. И. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий / В. И. Слюсар // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2008. – Вып. – № 4. – С. 66–71.
2. Слюсар В. И. Концепция перспективной информационно-телекоммуникационной системы / В. И. Слюсар, Г. В. Титов, В. Г. Карев // *Приоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: IV-й наук.-практ. сем., 22–23 жовт. 2008 р.* – К., 2008. – С. 76–80.
3. Кондратьев А. Е. Исследования “сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых архитектур” концепций в вооруженных силах ведущих зарубежных стран / А. Е. Кондратьев // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – Вып. – № 12. – С. 3–9.
4. Кондратьев А. Е. Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых архитектур концепций ведущих зарубежных стран / А. Е. Кондратьев // *Военная мысль.* – 2008. – Вып. – № 12. – С. 63–73.
5. Крон Г. Тензорный анализ сетей / Крон Г. – М.: Сов. радио, 1978. – 719 с.
6. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика / Крон Г. – М.: Наука, 1972. – 452 с.
7. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [Поповський В. В., Сабурова С. О., Лемешко О. В. та ін.]; під ред. В. В. Поповського. – Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 564 с.
8. Лаврут О. О. Математичне моделювання процесів функціонування фрагменту мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України / О. О. Лаврут, Л. М. Блажко // *Системи обробки інформації.* – 2011. – Вып. № 8 (98). – С. 170–174.
9. Мальярчук 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. Мальярчук, С. П. Колачев, А. А. Швець // *Зб. наук. праць ВІПі НТУУ “КПІ”.* – 2009. – Вып. № 3. – С. 45–50.
10. 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. – Вып. – № 4 (48). – С. 69–74.
11. Лемешко А. В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, предоставления в пространстве с кривизной / А. В. Лемешко // *Праці УНДІРТ.* – 2004. – Вып. – № 4 (40). – С. 12–18.
12. Лаврут О. О. Возможность реализации динамического изменения режима функционирования системы спутниковой связи при помощи использования тензорного анализа / О. О. Лаврут // *Системи обробки інформації.* – 2009. – Вып. № 6 (80). – С. 67–71.

Надійшла до редколегії 1.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.А. Краснобаев, Полтавський національний технічний університет, Полтава.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ ВО ФРАГМЕНТЕ МОБИЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

А.А. Лаврут

Предложен динамический метод управления потоками информации во фрагменте мобильной компоненты перспективной системы связи. Показано, что использование предложенного метода возможно как при наращивании структуры (реорганизации), так и в чрезвычайных ситуациях. Приведен пример расчета задачи многопутевой маршрутизации команды управления с минимальной задержкой на основе фрагмента мобильной компоненты перспективной системы связи Украины.

Ключевые слова: метод управления, тензорный анализ сетей, система связи.

METHOD OF MANAGEMENT BY THE STREAMS OF INFORMATION IN THE FRAGMENT OF MOBILE COMPONENTS OF PERSPECTIVE COMMUNICATION NETWORK IN CHANGING EXTRAORDINARY SITUATIONS

O.O. Lavrut

The dynamic method of management by the streams of information in the fragment of mobile components of perspective communication network is offered. It is shown that the use of the offered method, possibly both at the increase of structure (reorganizations) and in critical terms. The example of calculation of task of multipath routing of management command is resulted with the minimum delay on the basis of fragment of mobile components of perspective communication network of Ukraine.

Keywords: management method, tensor analysis of networks, communication network.