

УДК 621.396

О.О. Лаврут¹, Л.М. Блажко²¹ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
Національного технічного університету України “КПІ”, Київ² Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, Полтава

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФРАГМЕНТУ МОБІЛЬНОГО КОМПОНЕНТУ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ЗС УКРАЇНИ

В статті показано, що використовуючи ідею тензорного аналізу мереж для моделювання процесів інформаційного обміну в складних системах можливо одночасно враховувати як структурні так і функціональні параметри системи, зберігаючи цілісність її розгляду. Запропонована тензорна модель багатошляхової маршрутизації команди управління між різними вузлами мережі на основі фрагменту мобільного компонента перспективної системи зв'язку. Показана можливість і доцільність реалізації запропонованої моделі.

Ключові слова: математичне моделювання, інформаційна взаємодія, тензорний аналіз мереж.

Вступ

У сучасних умовах високий рівень інформаційного забезпечення бойових дій військ стає визначальним чинником досягнення стратегічної і оперативно-тактичної переваги над супротивником.

У зв'язку з цим найбільш пріоритетним стає забезпечення всебічної інтеграції бойових формувань та підвищення рівня їх взаємодії за рахунок реалізації принципів нових “мережецентричних” концепцій та інтеграції систем управління, зв'язку, розвідки та поразки [1 – 3].

При розгляді поняття “мережецентрична війна”, або “ведення бойових дій в єдиному інформаційно-комунікаційному просторі”, бойові формування розглядаються як своєрідні пристрої, що під'єднані до єдиної мережі. В залежності від вибору мережевої архітектури та її типа такими пристроями можуть бути супутники, літаки, засоби поразки, управління, зв'язку, розвідки, група військовослужбовців або ж окремі солдати, а також їх комбінації [1 – 3].

При всіх існуючих перевагах “мережецентричних принципів”, ефективного математичного апарата кількісної оцінки впливу нової концепції на підвищення бойових здатностей та ефективності дії військ до цих пір не існує [1 – 3].

На сьогодні при моделюванні таких систем та рішенні основних мережевих 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.

Виходячи з цього метою статті є пошук альтернативного підходу до математичного моделювання процесів інформаційної взаємодії військових формувань, шляхом створення і вивчення найбільш загаль-

них способів опису і методів розрахунку цих систем, враховуючи одночасно, як структуру, так і процеси що протікають ній.

Основна частина

Одним із підходів до вивчення складних систем є тензорні моделі і методи аналізу. Тензорний аналіз – це узагальнення векторного аналізу і розділ тензорного обчислення. Він, завдяки своїм можливостям, є логічним способом опису реальних об'єктів в їх багатоаспектності і протиріччі. Тензорне подання має максимальну цілісність, дозволяючи сконцентрувати основну увагу на самій системі незалежно від можливих координатних систем її розгляду [4 – 6].

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження американського вченого Г. Крона та його розробки в галузі тензорного аналізу та діакоптики, які базуються на використанні інваріантних величин – тензорів, які, в свою чергу, подібно каркасу зв'язують перетворення структури складних систем. 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 [4 – 6].

В рамках дослідження для моделювання було взято за основу фрагмент мобільного компонента перспективної системи зв'язку (рис. 1) [7] і проведено його геометризацию (рис. 2), де елементами у вигляді кола В1-В6 можуть виступати командні пункти різного рангу, окремі підрозділи, військово-

службовці тощо. За основу взято процес передачі повідомлення між двома вузлами даного фрагменту. Як приклад, пропонується використати тензорний

підхід до розв'язання задачі багатопляхової маршрутизації команди управління в запропонованій мережі.

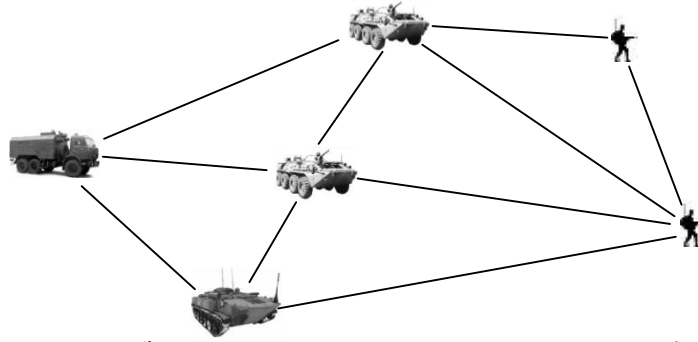


Рис. 1. Фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

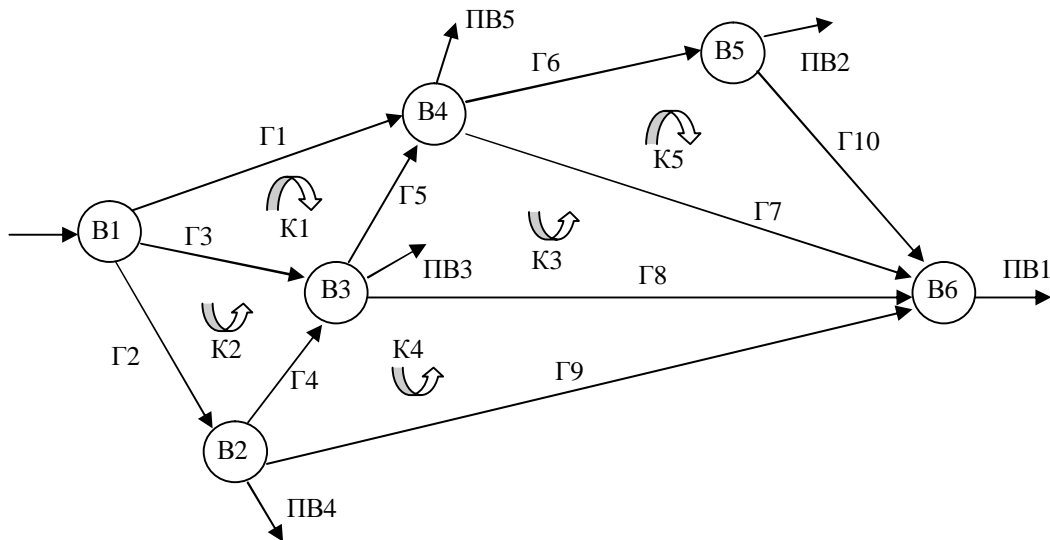


Рис. 2. Геометризація фрагменту мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

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.

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 [4 – 6, 8, 9].

Закони координатного перетворення мають вигляд:

$$S = CS' \text{ і } T = AT' \quad (1)$$

при виконанні умови ортогональності

$$C^t = [A]^{-1} \quad (2)$$

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

$$T = GS; S = MT, \quad (3)$$

де

$$M = [G]^{-1}. \quad (4)$$

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) проєкції тензорів S і T визначають вихідні дані для розв'язання розрахункових задач: довжину повідомлень і (або) затримку їх передачі [6, 8, 9].

Через однакову розмірність введених координатних систем існують однозначні правила перетво-

рення координат будь-яких геометричних об'єктів з однієї системи координат в іншу. Шукана матриця контраваріантного перетворення S визначається зі співвідношення

$$S_{\Gamma} = CS_{K,П.В}, \quad (5)$$

де S_{Γ} , $S_{K,П.В}$ — подані у вигляді векторів розмірності n проєкції одновалентного тензора довжин повідомлень S_{Γ} введених вище координатних системах окремих гілок мережі, а також незалежних контурів і пар вузлів.

У свою чергу, вектори S_{Γ} та $S_{K,П.В}$ мають складові [6, 8]

$$S_{\Gamma} = \begin{bmatrix} s_{\Gamma}^1 \\ s_{\Gamma}^i \\ s_{\Gamma}^n \end{bmatrix}; S_{K,П.В} = \begin{bmatrix} S_K \\ S_{П.В} \end{bmatrix};$$

$$S_K = \begin{bmatrix} s_K^1 \\ s_K^j \\ s_K^r \end{bmatrix}; S_{П.В} = \begin{bmatrix} s_{П.В}^1 \\ s_{П.В}^p \\ s_{П.В}^s \end{bmatrix},$$

де s_{Γ}^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 -тупару вузлів.

Проєкцію тензора затримок T_{Γ} системи координат гілок подано вектором T_{Γ} , а в координатній системі незалежних контурів і пар вузлів — вектором $T_{K,П.В}$. Ці вектори мають розмірність p і таку структуру:

$$T_{\Gamma} = \begin{bmatrix} t_{\Gamma}^r \\ t_{\Gamma}^i \\ t_{\Gamma}^n \end{bmatrix}; T_{K,П.В} = \begin{bmatrix} T_K \\ T_{П.В} \end{bmatrix};$$

$$T_K = \begin{bmatrix} t_K^k \\ t_K^j \\ t_K^r \end{bmatrix}; T_{П.В} = \begin{bmatrix} t_{П.В}^1 \\ t_{П.В}^p \\ t_{П.В}^i \end{bmatrix},$$

де t_{Γ}^r , $t_{П.В}^p$, t_K^k — затримки передачі повідомлень в i -й гілці, в j -му контурі та між p -ю парою вузлів мережі.

Коваріантний характер тензора затримок T_{Γ} обумовлює такий закон координатного перетворення:

$$T_{\Gamma} = AT_{K,П.В}. \quad (6)$$

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

$$s_{\Gamma}^i = m_{\Gamma}^{ii} t_{\Gamma}^i \quad (i = \overline{1, n}), \quad (7)$$

де m_{Γ}^{ii} — частина пропускну здатності i -ої гілки мережі [6, 8].

Відповідно до постулату другого узагальнення Г. Крона, як функціональний інваріант пропонованої моделі виступає тензорне рівняння, що отримане шляхом узагальнення рівняння (7) та зберігає свою форму незмінною незалежно від координатної системи розгляду мережі:

$$S = MT, \quad (8)$$

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

Прийнявши до уваги вирази (5), (6) і (8), можна зробити висновок про те, що тензор M є двічі контраваріантним метричним тензором, проєкції якого під час зміни координатної системи перетворюються так:

$$M_{\Gamma} = CM_{K,П.В}C^t \text{ та } M_{K,П.В} = A^t M_{\Gamma} A, \quad (9)$$

де M_{Γ} , $M_{K,П.В}$ — 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 [6, 8]:

$$S_{K,П.В} = M_{K,П.В} T_{K,П.В}. \quad (10)$$

Щоб забезпечувалося існування шуканих розв'язків і однозначна їх інтерпретація, матричне рівняння (10) має бути системою з p скалярних рівнянь з p невідомими. Залежно від характеру розв'язуваної задачі з розрахунку шуканих параметрів, p невідомих можуть довільно перерозподілятися між складовими векторів $S_{K,П.В}$ та $T_{K,П.В}$.

До характерної риси подібних задач слід віднести наявність умови

$$T_K = 0, \quad (11)$$

що накладається на контурні компоненти вектора $T_{K,П.В}$.

Під час розв'язання задачі багатознакової маршрутизації до відомих контурних компонентів вектора $T_{K,П.В}$ додаються відомі компоненти вектора $S_{K,П.В}$ — координати вектора $S_{П.В}$, що визначають, у свою чергу, довжину повідомлень, що надходять або вибувають з вузлів мережі. Подібні вихідні дані виключають можливість безпосереднього розрахунку невідомих компонентів векторів $S_{K,П.В}$ і $T_{K,П.В}$ шляхом розв'язання функціонального рівняння, заданого у формі (10). Для успішного розв'язання задачі доцільно використовувати спеціальну форму векторів $S_{K,П.В}$ і $T_{K,П.В}$, тобто рівняння (10) зручно подати у вигляді [6, 8]

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

$$\text{де } \begin{bmatrix} M_{K,П.В}^{(1)} & M_{K,П.В}^{(2)} \\ M_{K,П.В}^{(3)} & M_{K,П.В}^{(4)} \end{bmatrix} = M_{K,П.В}, \quad (12)$$

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

$$T_{п.в} = [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} S_{п.в} - [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} M_{к.п.в}^{(3)} T_{к}; \quad (13)$$

$$S_{к} = M_{к.п.в}^{(1)} T_{к} + M_{к.п.в}^{(2)} T_{п.в}. \quad (14)$$

Як приклад проведемо розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації для мережі (рис. 1) за таких вихідних даних: відправник — вузол 1, одержувач — вузол 6; повідомлення має довжину 100 байт; пропускні здатності гілок, виділені для обслуговування даного трафіка, задані у вигляді діагональних елементів матриці пропускних здатностей

$$\begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_{к}^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_{к}^2 + s_{п.в}^4; \\ s_{\Gamma}^3 = -s_{к}^1 - s_{к}^2 + s_{п.в}^1 + s_{п.в}^3 + s_{п.в}^5; \\ s_{\Gamma}^4 = s_{к}^2 - s_{к}^4; \\ s_{\Gamma}^5 = -s_{к}^1 - s_{к}^3 + s_{п.в}^1 + s_{п.в}^5; \\ s_{\Gamma}^6 = s_{к}^5 + s_{п.в}^2; \\ s_{\Gamma}^7 = -s_{к}^3 - s_{к}^5 + s_{п.в}^1; \\ s_{\Gamma}^8 = s_{к}^3 - s_{к}^4; \\ s_{\Gamma}^9 = s_{к}^4; \\ s_{\Gamma}^{10} = s_{к}^5; \end{cases}$$

Визначимо відповідно до виразів (5) і (6) вид матриць коваріантного і контраваріантного перетворення A та C :

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

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

Спираючись на заданий у рамках початкових умов матриці $M_{г}$, закон координатного перетворення компонент метричного тензора (9), а також на отриману матрицю контраваріантного перетворення (15),

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

Координати тензорів S і T у різних системах координат розгляду мережі пов'язані між собою в такий спосіб:

$$\begin{cases} t_{1}^{\Gamma} = t_{1}^k + t_{5}^{п.в}; \\ t_{2}^{\Gamma} = t_{4}^{п.в}; \\ t_{3}^{\Gamma} = t_{3}^{п.в}; \\ t_{4}^{\Gamma} = t_{2}^k + t_{3}^{п.в} - t_{4}^{п.в}; \\ t_{5}^{\Gamma} = -t_{3}^{п.в} + t_{5}^{п.в}; \\ t_{6}^{\Gamma} = t_{2}^{п.в}; \\ t_{7}^{\Gamma} = t_{1}^{п.в} - t_{5}^{п.в}; \\ t_{8}^{\Gamma} = t_{3}^k + t_{1}^{п.в} - t_{3}^{п.в}; \\ t_{9}^{\Gamma} = t_{2}^k + t_{3}^k + t_{4}^k + t_{1}^{п.в} - t_{4}^{п.в}; \\ t_{10}^{\Gamma} = t_{5}^k + t_{1}^{п.в} - t_{2}^{п.в} - t_{5}^{п.в}. \end{cases}$$

можна стверджувати, що матриця пропускних здатностей $M_{к.п.в}$ має такий зміст та структуру:

$$M_{\hat{e},i,\hat{a}} = \begin{pmatrix} M_{\hat{e},i,\hat{a}}^{(1)} & M_{\hat{e},i,\hat{a}}^{(2)} \\ M_{\hat{e},i,\hat{a}}^{(3)} & M_{\hat{e},i,\hat{a}}^{(4)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 0 & 130 & 50 & 50 & 0 & 50 & 0 & 80 & -130 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 130 & 50 & 0 & 130 & 0 & -80 & -50 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 50 & 50 & 0 & 50 & 0 & 0 & -50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 40 & -40 & 0 & 0 & -40 & -40 \\ 0 & 50 & 130 & 50 & 40 & 240 & -40 & -80 & -50 & -110 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -40 & -40 & 100 & 0 & 0 & 0 & 40 \\ 0 & 80 & -80 & 0 & 0 & -80 & 0 & 320 & -80 & -80 & 0 \\ 0 & -130 & -50 & -50 & 0 & -50 & 0 & -80 & 180 & 0 & 0 \\ 60 & 0 & 0 & 0 & -40 & -110 & 40 & -80 & 0 & 250 & 0 \end{pmatrix}$$

Тоді відповідно до виразів (13) і (14)

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

$$S_{к}^t = [34,1 \ 24,97 \ 61,38 \ 23,99 \ 9,86].$$

Розв'язок задачі визначають з розрахунку компонентів вектора $S_{г}$, які характеризують довжини частин повідомлення в кожній гілці мережі: $S_{г}^t = [34,095 \ 24,97 \ 40,935 \ 0,984 \ 4,525 \ 9,86 \ 28,76 \ 37,394 \ 23,986 \ 9,86]$.

Отриманий розв'язок обумовило існування чотирьох незалежних маршрутів передачі повідомлення від першого вузла до шостого, які не містять пе-

тель (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.

Висновки

Використовуючи ідею тензорного аналізу для моделювання процесів функціонування (інформаційного обміну) системи, як складного об'єкту, можливо одночасно враховувати різні параметри системи (структурні і функціональні), зберігаючи цілісність її розгляду.

Результати розрахунку підтвердили можливість і доцільність реалізації запропонованої тензорної моделі багатопляхової маршрутизації команди управління між різними вузлами мережі на основі фрагменту мобільного компоненту перспективної системи зв'язку.

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.

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. Концепция перспективной информационно-телекоммуникационной системы / В.И. Слюсар, И.В. Тимов, В.Г. Карев // *IV-й научно-практический семинар “Приоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”, 22-23 жовтня 2008 року.* – К.: ВИТИ НТУУ “КПІ”, 2008. – С. 76 – 80.

3. Кондратьев А. Исследования “сетевых” концепций в вооруженных силах ведущих зарубежных стран // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – № 12. – С. 3–9.

4. 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.* – 2009. – № 4(20). – С. 131 – 134.

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

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

7. 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 // *Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”.* – 2009. – Вип. 3. – С. 45 – 50.

8. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представление в пространстве с кривизной // *Праці УНДІРТ.* – 2004. – Вип. (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. – Вип. 4(48). – С. 69 – 74.

Надійшла до редколегії 14.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФРАГМЕНТА МОБИЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ВС УКРАИНЫ

А.А. Лаврут, Л.Н. Блашко

В статье показано, что применяя идею тензорного анализа сетей для моделирования процессов информационного обмена в сложных системах возможно одновременно учитывать как структурные так и функциональные параметры системы, сохраняя целостность ее рассмотрения. Предложена тензорная модель многопутевой маршрутизации команды управления между разными узлами сети на основе фрагмента мобильной компоненты перспективной системы связи. Показана возможность и целесообразность реализации предложенной модели.

Ключевые слова: математическое моделирование, информационное взаимодействие, тензорный анализ сетей.

MATHEMATICAL DESIGN OF FUNCTIONING PROCESSES OF COMPONENTS MOBILE FRAGMENT OF NETWORK COMMUNICATION OF UKRAINE ARMY

A.A. Lavrut, L.N. Blazhko

It is shown in the article, that applying the idea of tensor analysis of networks for the design of the processes of informative exchange in the difficult systems it is possible simultaneously to take into account as functional parameters of the system so as structural, saving integrity of its consideration. The tensor of multipath routing of management command is offered between the different knots of network on the basis of fragment of mobile components of perspective communication network. Possibility and expedience of realization of the offered model is shown.

Keywords: mathematical design, informative co-operation (interaction) tensor analysis of networks.