

УДК 621.396

В.В. Воротніков, канд. техн. наук, доцент*(Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова Національного авіаційного університету)***М.І. Сичевський** *(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ

Створення єдиної автоматизованої системи управління ЗС України, ефективної як у мирний, так і у воєнний час, є одним із пріоритетів їх розвитку. До них належить й перехід на цифрові методи передачі, прийому і обробки інформації, автоматизація процесу управління військами. Переваги безпроводних інформаційно-телекомунікаційних мереж спричинили їх швидке поширення та розвиток нових й удосконалення існуючих стандартів, в збройних силах також. Серед важливих проблем застосування таких технологій є проблеми вибору типу бездротової технології і топології мережі. В статті розглянуто можливість використання комбінаторного алгоритму для розв'язку топологічної задачі бездротової ІКМ при наявних обмеженнях на час затримки і надійності передачі повідомлень в мережі з метою її оптимізації.

Ключові слова: бездротова ІКМ, топологічна задача, оптимізація, алгоритм Дейкстри.

Постановка проблеми. Сучасні збройні конфлікти (в Афганістані, Іраці, Грузії) свідчать про те, що система управління міжвидовими угруповуваннями не здатна забезпечити інтеграцію усіх джерел радіолокаційної, навігаційної, гідроакустичної та розвідувальної інформації у єдину інформаційну систему забезпечення бойових дій міжвидових компонентів збройних сил.

На сучасному етапі розвитку збройних сил відбувається новий якісний стрибок в управлінні військами. Створення нових систем управління військами на основі бездротових інформаційно-телекомунікаційних мереж з метою об'єднання всіх видів інформації до єдиного інформаційного простору є актуальною науковою і однією із основних задач визначених Міністром оборони України в плані розвитку збройних сил України [4,5].

Огляд останніх досліджень і публікацій. На сьогодні широко розглянуті теоретичні основи побудови стільникових структур [1-3,8]. Ця досить складна задача, складається з декількох важливих і не простих у розв'язку підзадач: маршрутизація у мережі комутаторів мобільного зв'язку, вибір точки радіодоступу, перемаршрутизація – зміна структури при русі рухомого об'єкта, зміна стану мережі, вибір топології мережі, пропускних здатностей каналів зв'язку, пошук оптимальних маршрутів проходження пакетів даних по мережі тощо.

Задача синтезу топологічної структури є однією з основних у проектуванні комп'ютерної мережі і складається з вибору оптимальної схеми з'єднання вузлів комутації і концентрації. Вибір топологічної структури здійснюється за цільовим критерієм за наявності обмежень, як правило, на час затримки передачі інформації. Вимога щодо надійності забезпечується введенням обмежень на зв'язність мережі (кількість незалежних маршрутів з вузла джерела у вузол адресата і кількості переприйомів в маршруті – кількість проміжних вузлів). На початковій проектній стадії топологічна задача, важлива тому, що для її розв'язку не враховуються вимоги щодо інформаційних потоків.

В наукових роботах [4,5] проведено розробку структури інтегрованої інформаційної системи управління міжвидовими угруповуваннями, де визначені категорії джерел інформації.

Аналіз останніх досліджень [1-3, 5] свідчить, що для розв'язку топологічної задачі, ІКМ подається у вигляді кінцевого графа без петель і кратних ребер, вершини якого відповідають вузлам мережі, а ребра лініям зв'язку. Для вирішення цієї задачі використовуються точні (метод простого перебору; метод гілок та границь; метод січних; метод Ньютона; метод Літла тощо) або наближені методи: метод випадкових перестановок; генетичні алгоритми; метод «комашиних колоній» тощо [6]. Проте, точні методи мають велику обчислювальну складність $O(N!)$, для N вершин, а наближені методи не гарантують оптимального рішення.

Використання методу перерозрахунку графів для розв'язку задачі топологічної оптимізації, що відносять до комбінаторних алгоритмів, застосовується все більше. Це пов'язане із підвищенням швидкодії ЕОМ; розробкою нових алгоритмів генерації графів із заданими властивостями; із набуттям досвіду розробки і експлуатації мереж, який дає змогу достатньо обґрунтовано формулювати вимоги до проектованої мережі, що зменшує клас можливих з'єднань.

Формулювання завдання та цілей статті. Метою роботи є оптимізація топології бездротової ІКМ при наявних обмеженнях на час затримки і надійності передачі повідомлень в мережі.

Виклад основного матеріалу. Для пошуку найкоротшого маршруту пропонується використати алгоритм SPF (Shortest Path First), розроблений Е. Дейкстрою [7].

Для великих гетерогенних мереж реалізацією алгоритму SPF є протокол OSPF (Open Shortest Path First) [8]. У OSPF процес побудови таблиці маршрутизації розбивається на два основні етапи. На першому етапі кожен маршрутизатор будує граф зв'язків мережі, в якому вершинами графа є маршрутизатори і IP-мережі, а ребрами – інтерфейси маршрутизаторів. Всі маршрутизатори для цього обмінюються зі своїми сусідами тією інформацією про стан мережі, яку вони мають в своєму розпорядженні на даний моменту часу. Другий етап полягає в знаходженні оптимальних маршрутів за допомогою отриманого графа. Кожен маршрутизатор вважає себе центром мережі і шукає оптимальний маршрут до кожної відомої йому мережі. У кожному знайденому таким чином маршруті запам'ятовується тільки один крок – до наступного маршрутизатора, відповідно до принципу однокрокової маршрутизації. Дані про цей крок і потрапляють в таблицю маршрутизації.

Алгоритм SPF використовує базу даних стану зв'язків та обчислює найкоротші шляхи між заданою вершиною S графа і рештою всіх вершин. Результатом роботи алгоритму є таблиця, де для кожної вершини V графа вказаний список ребер, що сполучають задану вершину S з вершиною V по найкоротшому шляху.

Постановка задачі. Приймемо, що кількість переприємів не більше двох і мережа будується двозв'язною, тобто кожна пара джерело-адресат, пов'язані, щонайменше, двома маршрутами, які не мають спільних вузлів і каналів.

Нехай мережа описується графом $G_0(V, E_0)$, де $N = |V|$ – число вершин, $M_0 = |E_0|$ – число ребер графа G (рис. 1).

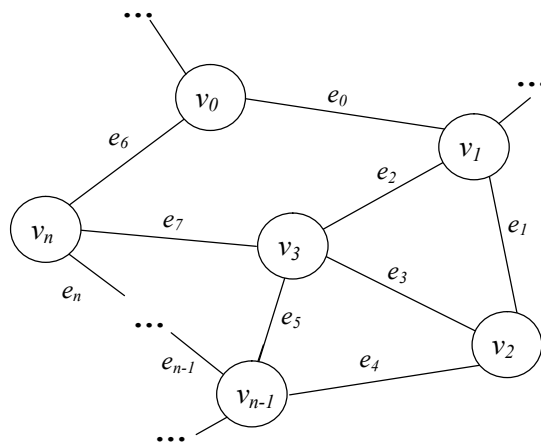


Рис. 1. Подання мережі за допомогою графа

Розглянемо остовий граф $G(V, E)$, для якого визначено $D(G)$ – діаметр графа G , а $D(G-e)$ і $D(G-v)$ – діаметри графів $G-e$ і $G-v$, отриманих з G видаленням довільного ребра e або довільної вершини v . Всі ребра графа мають невід'ємні ваги, що дорівнюють вартості каналу зв'язку між парою вузлів комутації. Під вартістю графа G визначимо суму ваг

ребер, які входять у граф G . Позначимо через X - множину усіх остових підграфів графа G_0 . Тоді задача синтезу топологічної структури ІКМ має вигляд:

– необхідно знайти такий підграф G^1 , що

$$C(G^1) = \min\{C(G)\}, \quad (1)$$

За таких умов:

$$D(G) \leq d_1; \quad (2)$$

$$D(G-e) \leq d_2, \text{ для будь-якого } e \in E; \quad (3)$$

$$D(G-x) \leq d_2, \text{ для будь-якого } v \in V. \quad (4)$$

Умова (2) з визначення діаметра графа еквівалентна обмеженню на довжину найкоротшого шляху між кожною парою вершин. Умови (3), (4) обмежують довжини шляхів при видаленні ребра чи вершини в графі G . В цілому, задача (1-4) є складною NP-задачею дискретного програмування. Для полегшення її розв'язку потрібно розрахувати нижню оцінку вартості мережі. З одного боку вона дає змогу затрати оцінити витрати на створення мережі, з другого – буде використовуватись як важливий етап в комбінаторному алгоритмі розв'язку топологічної задачі.

Позначимо число ребер M і визначимо нижню оцінку вартості мережі з M ребрами. Для її знаходження умови (2-4) не використовуються, а умова двозв'язності графа замінюється на необхідну умову:

$$\deg(v \in V(G)) \geq 2, \quad (6)$$

Крім цього, введемо нову умову наявності в мережі M ребер

$$\sum_{v \in V(G)} \deg v = 2M, \quad (7)$$

Поставлена задача знаходження оптимальної топологічної структури формулюється таким чином:

Необхідно знайти мінімальну вартість G^1

$$C(G^1) = \min_{G \in X} \{C(G)\}, \quad (8)$$

для якого виконуються умови (6-7).

Для рішення цієї задачі задамося початковими умовами: нехай задані C_{ij} – ваги ребер, інцидентні вершинам i, j . Тоді кроками алгоритму будуть наступні:

1. Сортування рядків матриці $C_{i,j}$. Рядки матриці $C_{i,j}$ упорядковуються в порядку збільшення вартості. Тобто, для кожного вузла i в i -ому рядку матриці $C_{i,j}$ знаходяться вартості з'єднання i -ого вузла з іншими вузлами у порядку зростання.

2. Для кожного рядка матриці $C_{i,j}$ виберемо два перші елементи, тобто покладемо,

$$\text{що } C_1^* = \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^2 C_{ij}$$

3. Інші $N^2 - 2N$ елементів матриці розташуємо у порядку зростання їх вартостей, тобто сформуємо вектор $\bar{C} = \{Cr\} : C_i \leq C_j$, для $i < j$.

4. Виберемо перші $2M - 2N$ елементів вектора \bar{C} , тобто припустимо, що

$$C_2^* = \sum_{r=1}^{2M-2N} Cr.$$

5. Знаходимо розв'язок задачі: визначаємо нижню оцінку вартості мережі з M ребрами: $C^* = C_1^* + C_2^*$ (оцінка ділиться навпіл тому, що розв'язок містить $2M$ ребер).

Обчислювальна складність розглянутого алгоритму становить $O(N^{2 \log N})$.

Для узагальнення отриманих результатів для випадків коли число ребер M невідоме, необхідно визначити максимальне число ребер, при якому виконуються умови (2-4).

Таким чином, для перегляду множини рішень потрібно визначити нижню границю числа ребер M_{\min} . Для заданого числа вузлів N та числа ребер $M = M_{\min}$ досліджуються всі графи, які є двозв'язними та задовольняють обмеженням (2-4). Серед цих графів вибираємо той, для якого сума ваг мінімальна. Якщо у процесі аналізу з'ясовано, що на деякому графі досягнуто нижньої оцінки вартості, робимо висновок, що знайдено оптимальне рішення. Якщо всі графи з M ребрами дослідженні, то збільшуємо число ребер $M = M + 1$. Після чого всі етапи повторюємо.

Машинні експерименти синтезу топологічної структури мереж з числом вузлів комутації не більше 10 показали одну важливу властивість комбінаторного алгоритму: для знаходження оптимального рішення необхідно 5% від загального числа ітерацій. Наступні ітерації потрібні для доказу оптимальності рішення.

Точність рішення задачі (1-4) базується на алгоритмах конструктивного перерозрахунку графів із заданою надійністю. Головним недоліком цих алгоритмів є те, що їх застосування для мереж великої розмірності ускладнюється тому, що число генерованих графів зростає експоненціально із збільшенням ребер графа. Для зменшення рекурсивних викликів застосовують нижню оцінку ребер графів та більш оптимальні алгоритми генерації. В процесі генерації для кожного графа перевіряються наступні необхідні та достатні умови двозв'язності.

Теорема 1. (критерій двозв'язності): граф $G(V, E)$ двозв'язний тоді і тільки тоді, коли для будь-якої вершини $x \in V$

$$\text{deg}(x) + m(G - x) = M - N + 2,$$

де $\text{deg}(x)$ – степінь вершини x ; $m(G - x)$ – цикломатичне число графа $G - x$.

Наслідок 1. Якщо $G'(V, E')$ – остовий граф двозв'язного графа $G(V, E)$, то для будь-якої вершини $x \in V$ виконується нерівність

$$\text{deg}'(x) + m(G' - x) \leq M - N + 2$$

Наслідок 2. Якщо $G(V, E)$ – двозв'язний граф, то для будь-якої вершини $x \in V$ виконується нерівність

$$\text{deg}(x) \leq M - N + 2$$

Якщо граф задовольняє умовам, то він є двозв'язним з діаметром $d \leq 3$, якщо ні – за допомогою методу пошуку з поверненням генерується новий граф.

Працездатність розглянутого алгоритму розглянуто на такому прикладі. Заданий граф із кількістю вершин $n=9$, матриця суміжностей задана у таблиці 2, матриця ваг ребер задана у таблиці 1.

Табл. 1. Матриця ваг ребер

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	267	224	199	160	124	114	191	176
2	267	0	398	434	416	391	364	433	386
3	224	398	0	108	157	238	285	342	365
4	199	434	108	0	62	157	215	257	294
5	160	416	157	62	0	95	155	194	233
6	124	391	238	157	95	0	63	104	138
7	114	364	285	215	155	63	0	77	80
8	191	433	342	257	194	104	77	0	69
9	176	386	365	294	233	138	80	69	0

Табл. 2. Матриця суміжностей

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	0	0	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	1	1	0	1	1	0	1	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	1	0	0	1	0	0	1	1	1
7	0	1	0	0	0	1	0	1	0
8	0	0	0	1	0	1	1	0	1
9	0	1	0	1	0	1	0	0	0

В результаті роботи побудовано оптимальний граф (рис.2).

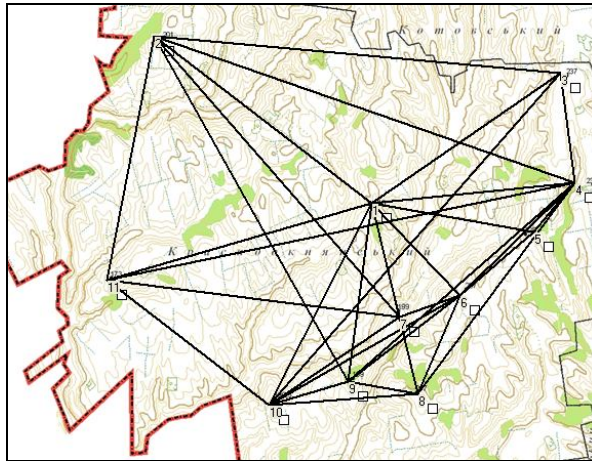


Рис. 2. Приклад генерації графа ІКМ

Висновки. Аналіз результатів використання алгоритму свідчить про те, що:

1. Оптимальність управління мережею в умовах перевантажень визначає ефективність використання мережі. Для знаходження оптимального рішення необхідно не більше 5-7% від загального числа ітерацій. Наступні ітерації потрібні для доказу оптимальності рішення.
2. Ситуація перевантаження вузлів, які знаходяться поруч із точкою доступу для мереж з великою кількістю абонентів, може бути вирішена встановленням декількох точок доступу в радіусі дії.
3. Математичне дослідження комп'ютерних мереж зв'язку під управлінням протоколом випадкового множинного доступу, дає змогу мережеві параметри так, щоб забезпечити стабільне функціонування мережі.

Список літератури:

1. **Байчаров С.** Выбор технологии беспроводного обмена данными // Беспроводные технологии. 2007. – №2. – С. 59-61.
2. **Мусяненко М.П. Томенко В.И.** Выбор беспроводной технологии в автоматизированных системах передачи данных // «Вісник Черкаського державного технологічного університету». – 2007. – №3-4.
3. **Комашинский В.И., Максимов А.В.** Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. Основы моделирования. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 176 с.
4. **Гузько О.М.** Основні шляхи розвитку систем управління військами та зброєю на сучасному етапі/ О.М. Гузько, Ю.Ф. Кучеренко // Системи озброєння і військової техніки: Науковий журнал. – Харків: ХУПС, 2008. – Вип.4(16). – С. 73-76.
5. **Марущенко М.П.** Перспективи впровадження бездротової локально-обчислювальної мережі в структурі управління окремої механізованої бригади / М.П.Марущенко, В.Л. Живчук, В.Я.Криховецький // Збірник наук.праць – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2008. – №3. – С. 100-106.
6. **Смирнов А.В.** Многокритериальный анализ эффективности алгоритмов динамического управления капиталом. Смирнов А.В., Гурьянова Т.В. Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2009. – Вып. 10(153). – С. 320-323.
7. **Dijkstra E.** Cooperating Sequential Processes / Dijkstra E. - Technological University, Eindhoven, The Netherlands, 1965. – 345 P.
8. **Олифер В.Г.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: монография / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

Создание единой автоматизированной системы управления ВС Украины, эффективной как в мирное, так и в военное время, является одним из приоритетов их развития. К ним принадлежат и переход на цифровые методы передачи, приема и обработки информации, автоматизация процесса управления войсками. Преимущества беспроводных информационно-телекоммуникационных сетей привели к их быстрому распространению, развитию новых и усовершенствованию существующих стандартов, в вооруженных силах также. Среди важных проблем применение таких технологий есть проблемы выбора типа беспроводной технологии и топологии сети. В статье рассмотрена возможность использования комбинаторного алгоритма для решения топологической задачи беспроводной ИКМ при имеющихся ограничениях на время задержки и надежности передачи сообщений в сети с целью ее оптимизации.

Ключевые слова: беспроводная ИКМ, топологическая задача, оптимизация, алгоритм Дейкстры.

V. V. Vorotnikov, M.I.Sychevskyj

OPTIMIZATION OF TOPOLOGICAL WIRELESS NETWORK STRUCTURE

Elaboration of single CAS of the armed services of Ukraine management, effective both in peaceful and in military time, is one of priorities of their development. This also includes introducing digital methods of transmission, reception and treatment of information, and automation of troops management process. Advantages of wireless information and telecommunication networks entailed their rapid spread and development of new standards along with improvement of existing ones, it can also be observed in the armed services. Among important issues while applying such technologies is the choice of type of wireless technology and network topology. Possibility to implement the combinatorial algorithm is considered for the accomplishment of topological task of wireless PCM at present limitations for the time of delay and reliability of message transmission in a network with the aim of its optimization.

Key words: wireless PCM, topological task, optimization, Dijkstra's algorithm.

