

ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЯМИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ

Проведена класифікація задач управління топологіями мереж зв'язку тактичної ланки управління. Визначені цільові функції управління. Запропонована узагальнений алгоритм управління топологією цього класу мереж.

Романюк В.А., Степаненко Є.А. Задачи управления топологиями сетей связи тактического звена управления. Проведена классификация задач управления топологией сетями связи тактического звена управления. Определены целевые функции управления. Предложен обобщенный алгоритм управления топологией данного класса сетей.

V. Romaniuk, E. Stepanenko. The tasks of managing the topology of the tactical communication networks. Classification of problems control topology military mobile ad-hoc communication networks is carried out. Targeted control functions are defined. A generalized algorithm for control the topology given of networks class is developed.

Ключові слова: управління топологією мережі, мобільна компонента.

Постановка завдання в загальному вигляді. Передові країни світу приділяють значну увагу розвитку мережецентричного принципу побудови системи оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження (C4ISR).

Більшість фахівців розглядає застосування самоорганізованих радіомереж (mobile ad-hoc networks) в якості основи побудови перспективної мобільної компоненти тактичної ланки управління (ТЛУ) [1]. Мобільна компонента (сукупність мереж, що володіють здатністю самоорганізації, переміщення, згортання і розгортання вузлів) покликана забезпечити інформаційний обмін в інтересах усіх військ, які діють в тактичній зоні незалежно від їх підпорядкування і завдань, які вони виконують.

Передбачається, що перспективна архітектура мобільної компоненти (МК) буде неоднорідною та буде складатися з декількох рівнів [1, 2] (наприклад, зараз в США проводяться випробування 3-ї версії багаторівневої тактичної інформаційної системи полю бою – системи WIN-T [3]) (рис. 1):

1-й рівень – радіомережі низового рівня управління – бойові радіомережі, солдатські мережі (розмірність сотні абонентів, динаміка змін топології дуже висока).

2-й рівень – мережа мобільних базових станцій (МБС), яка створює мобільну високошвидкісну транспортну мережу, формує зони радіодоступу мобільним абонентам та надають їм необхідні сервіси. Розмірність мережі – десятки МБС, динаміка змін топології – середня, можливо розподіл на підмережі. Наприклад, в системі WIN-T кожна МБС повинна обслуговувати близько 200 військовослужбовців та 10-30 бойових машин).

3-й рівень – повітряна транспортна мережа, яка створює додаткову високошвидкісну транспортну мережу, формує зони радіодоступу мобільним абонентам та реалізована на телекомунікаційних аероплатформах (безпілотних літальних апаратах, дронах тощо). Динаміка топології – може бути високою або низькою.

4-й рівень – може складати супутникова мережа (наприклад, WIN-T використовує низькоорбітальну групування супутників).

Завдання кожного наступного рівня МК – забезпечення доступу мобільних абонентів (МА) та покращення якості інформаційного обміну (надання відповідних сервісів).

Додатковий рівень МК можуть складати різномірні сенсорні мережі, які призначені для збору та передачі розвідувальної інформації.

Основна особливість сучасних поглядів на створення мобільної компоненти – можливість забезпечення зв'язком з заданою якістю обслуговування в русі абонентів при умові переміщення всіх її елементів, тобто топологія всіх мереж МК може постійно змінюватися, вона динамічна, що дозволить забезпечити її високу живучість. В умовах

швидкої зміни оперативної обстановки, вогневої протидії та впливу РЕБ супротивника, постійного переміщення користувачів та всіх елементів системи зв'язку ТЛУ ефективне функціонування даних мереж неможливе без відповідної системи управління.

В [4] розглянуті основні функції та завдання системи управління МК тактичної ланки управління. Функціональна модель системи управління складається з наступних основних підсистем управління: радіоресурсом, топологією, маршрутизацією, навантаження, безпеки тощо. Однією з основних задач управління МК є управління її топологією. *Топологія визначає потенційні показники функціонування мережі (зв'язність, пропускна здатність, живучість тощо) по передачі інформаційних потоків та якості обслуговування користувачів.*

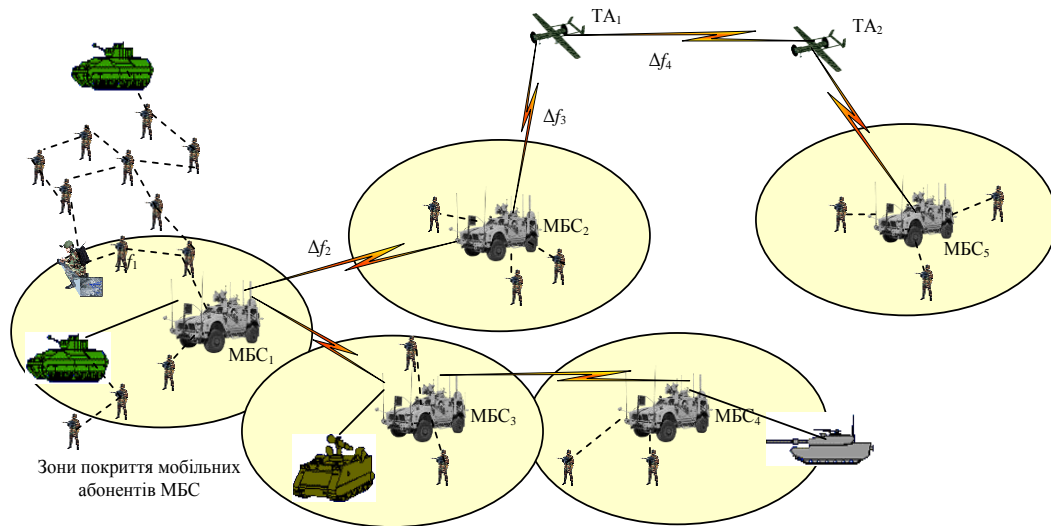


Рис. 1. Архітектура перспективної мобільної компоненти

Аналіз останніх публікацій. Аналізу завдань управління топологією радіомереж присвячено значна кількість робіт. Побудова транспортної мережі (починається з побудови топології), яка гарантує ефективну передачу інформації серед усіх вузлів в умовах частоті зміни топології, має фундаментальне значення для процесу розповсюдження інформації. Розглянемо основні публікації з цієї тематики.

В [5] розглянуті способи побудови транспортної (backbone) мережі у 3-х рівневих мережах полю бою: солдатської, гелікоптерів та телекомунікаційних аероплатформ. Для побудови транспортної мережі пропонується використовувати низку правил знаходження домінуючих множин теорії графів. На думку авторів це дає певну гнучкість (дозволяє враховувати діаметр мережі, різні радіуси передачі, інтерференцію тощо) в порівнянні з методами кластеризації). Робиться висновок, що методи, основані на кластеризації, не завжди є придатні для мереж полю бою внаслідок високої мобільності вузлів та відповідно значної частоти переclusterизації в багаторівневих мережах.

В [6] авторами розглянута методика управління топологією радіомереж з самоорганізацією, визначені цільові функції управління. Для скорочення перебору можливих варіантів топологій запропоновано використовувати базу правил, яка дозволяє отримувати близькі до оптимальних рішення в реальному масштабі часу при реалізації конкретної цільової функції управління.

В [7] на етапі планування розглянуті особливості оптимізації транспортної мережі стільникового зв'язку та наведені результати вирішення завдання вибору оптимальної топології транспортної мережі з урахуванням сукупності показників якості (коефіцієнта неготовності та вартості мережі) на основі методів багатокритеріальної оптимізації.

У [8] задача реконструкції транспортної мережі (ТМ) декомпозована на ряд взаємопов'язаних підзадач: синтез структури (топологічний і потоковий) ТМ; реконструкція структури ТМ; оцінка впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів на структуру ТМ;

розподіл вузлових і лінійних ресурсів в ТМ; оцінка часових і матеріальних ресурсів, потрібних для реалізації сформованої структури ТМ.

В [9] розроблено методу формування топологічного ресурсу радіомережі рухомих об'єктів при змінних умовах ведення зв'язку з використанням геоінформаційних систем.

В [10] для безпроводних сенсорних мереж задача пошуку топології зведена до багатокритеріальної оптимізації по критеріям: максимум дальності передачі вузлів, мінімум витрат енергії батарей, мінімальна кількість активних вузлів при підтримці зв'язності. Для пошуку рішення запропонований відповідний генетичний алгоритм.

В [11] визначені основні цільові функції управління при використанні повітряної телекомунікаційної магістралі. Запропоновані евристики для пошуку рішення по знаходженню необхідної топології.

Таким чином в більшості публікацій науковцями розглядаються побудова статичної транспортної мережі для обслуговування МА, обмежена кількість задач управління топологією, формуються відповідні цільові функції з обраними критеріями, пропонуються різні математичні методи вирішення завдання пошуку оптимальної топології.

Метою статті є визначення множини задач, цільових функцій управління топологією неоднорідних мереж з високою їх динамікою (неоднорідних MANET-мереж) та можливих методів (підходів) до її рішення.

Викладення основного матеріалу. Проведемо класифікацію задач управління топологією мереж зв'язку ТЛУ.



Рис. 2. Класифікація задач управління топологією

За етапами задачі управління топологією діляться на задачі планування, розгортання (організаційний спосіб реалізації), відновлення, нарощення і оперативного управління (організаційно-технологічний спосіб) [12].

Етап планування здійснюється центром управління МК. Змістом планування є (виходячи із прогнозованої обстановки та наявних ресурсів):

1. Планування топології МК (здійснюється централізовано).

Включає окреме планування топології мереж кожного рівня МК та узагальнене планування МК в цілому: знаходження оптимальної кількості сил та засобів (МБС, ТА, апаратних, радіозасобів тощо, визначення місця їх розташування або переміщення на місцевості, в просторі), що реалізують певну мету управління МК виходячи з вимог до параметрів мобільного компонента (розмірність, вхідне навантаження, параметри діючих каналів тощо) та вимог щодо передачі певних видів трафіка.

2. Розподіл ресурсів (апаратних, частотних, енергетичних, просторових) МК, вибір конкретних параметрів і режимів роботи технічних засобів (методів та алгоритмів управління навантаженням, маршрутизації, управління доступу до каналів, частоти, потужності передач тощо).

3. Складання графіка розгортання.

Етап розгортання полягає в реалізації етапу планування та розгортанні мереж в заданому районі: переміщення підрозділів зв'язку, мобільних базових станцій, елементів системи зв'язку та їх розгортання, запуску заданої кількості ТА і управління їхнім польотом у

задані райони баражування. При цьому задачі етапу розгортання (перепланування топології) можуть виконуватися й на етапі оперативного управління при значних змінах МК (його ушкодження, введенні нових угруповань військ та ін.). Контроль за етапом розгортання мережі здійснюється із центру управління мережею.

Етап відновлення топології здійснюється в разі суттєвого знищення та виходу з ладу багатьох елементів МК за рахунок наявних сил та засобів, встановлення нових параметрів та конфігурацій елементів мережі.

Етап нарощування топології (збільшення розмірності мережі) здійснюються з метою забезпечення зв'язком органів управління при їх переміщенні за бойовими порядками військ.

На етапі оперативного управління за прийнятими критеріями ефективності постійно оцінюється стан мереж і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) з утримання показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх системна (користувальницька) оптимізація.

Задачі оперативного управління (на відмінність задач планування) вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово їх повторюють. Цикл управління мережі здійснюється органом управління (особою, що приймає рішення) та включає [12]:

- *збір інформації про стан мережі* (при цьому необхідно приймати рішення за об'ємом, типом, рівнями, функціями збору службової інформації);
- *аналіз даної інформації* – визначаються: ступінь виконання мережею своїх функцій, необхідність управляючого впливу, цілі управління з подальшою деталізацією їх на підцілі;
- *прийняття рішення* (реконфігурація мережі, перерозподіл каналів транспортної мережі та мереж радіодоступу, маршрутизація та обмеження потоків, оновлення елементів мережі тощо з урахуванням обмежень на ресурси);
- *виконання рішення* (видача та доведення управляючих команд, розсилання службової інформації, резервування ресурсу, налаштування обрання, встановлення потужності передавачів, спрямованість антен тощо);
- контроль виконання рішень у задані часові інтервали.

За обхватом управління топологією може бути здійснено в масштабах всієї МК, рівня МК, її зони, окремої мережі, напряму, маршруту, каналу, окремих абонентів.

За мету управління топології може мати забезпечення: зв'язності, якості маршрутів передачі, продуктивності, зони покриття, потужності передачі радіозасобів тощо.

За специфікою задачі можуть поділятися на: розміщення (переміщення МБС), район баражування (польоту ТА) для забезпечення зон покриття МА, територіально-частотного планування, телекомунікаційні (маршрутизація, розподіл трафіка та ін.) тощо.

За типом управління вони поділяються на централізовані, децентралізовані та змішані.

За математичною постановкою вони можуть бути: однокритеріальними та багатокритеріальними, в чіткій або нечіткій постановці, статичні або динамічні, загальні або часткові тощо.

Під час функціонування мережі та впливу противника на неї, найбільш вірогідним варіантом стану мережі буде незв'язна топологія. Для відновлення, в першу чергу, необхідно отримати мінімальну зв'язність топології, а далі при наявності резерву сил і засобів нарощувати пропускну здатність і стійкість напрямів та всієї мережі.

Постановка задач синтезу топології мережі (МК).

Залежно від мети управління Z_i , $i=1\dots k$ можна виділити наступні варіанти постановки задач синтезу топології мереж МК [11 – 13] – знайти (побудувати, відновити, наростити, конфігурувати):

Z_1 – зв'язну (ν -зв'язну) топологію мережі при заданих обмеженнях. Зв'язність виступає як основна вимога до мереж зв'язку. Тому, першочерговою метою управління топологією є забезпечення зв'язності всіх елементів МК, її певних зон або пріоритетних мобільних абонентів;

Z_2 – зв'язну топологію при мінімізації ресурсів (апаратні, ТА, МБС, радіо засоби, телекомунікаційне обладнання тощо) при заданих обмеженнях на якість передачі даних (пропускна здатність, час затримки повідомлень тощо);

Z_3 – зв'язну топологію мережі за мінімальний час при визначених обмеженнях;

Z_4 – зв'язну топологію транспортної мережі (МБС або ТА), яка забезпечить оптимум зон покриття (зон обслуговування) мобільних абонентів;

Z_5 – зв'язну топологію мережі, яка задовольняє (оптимізує) показники якості обслуговування користувачів у мережі в цілому (або її зони, напряму, маршруті) при заданих обмеженнях;

Z_i – зв'язну топологію, яка забезпечить найбільший час функціонування мережі в умовах оснащення абонентів (сенсорних вузлів) акумуляторними батареями;

Z_k – задовольнити задані вимоги якості зв'язку між окремими вузлами (наприклад, для забезпечення заданого рівня живучості та/або пропускної здатності, мати декілька маршрутів передачі в найважливіших напрямках тощо).

Таким чином, задача пошуку топології мережами зв'язку є багатокритеріальною, більшість задач залежать одна від одної та мають певну їх ієрархію виконання.

Математичну постановку завдання пошуку необхідної топології мережі можна представити наступним чином.

Необхідно: знайти в режимі реального часу матрицю зв'язності C^* , яка забезпечить виконання цільових функцій $Z_k, k = 1 \dots K$

$$C_k^* = \arg \underset{U \in \Omega}{opt} Z_k(C), \quad (1)$$

при обмеженнях $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \Omega_3$:

на множину керуючих впливів $\Omega_1: \{t_{pi} \leq t_{pi\text{доп}}\}; K_i \leq K_{i\text{макс}}, T_{pri} \leq T_{pri\text{доп}}\}$,

ресурси мережі $\Omega_2: \{g_{ij} \leq s_{ij}(C_{ij}), s_{ij}(C_{ij}) \geq s_{\text{мін}}, r_i \leq r_{i\text{макс}}\}$,

вимог до інформаційного обміну $\Omega_3: \{G = |g_{ab}|, t_3 \leq t_{3\text{доп}}; g_{ij} \leq s_{ij}(C_{ij}), s(m_{ab}) \geq s_{\text{доп}}, l_{ab} \leq l_{\text{доп}}\}$,

де t_{pi} – час розгортання i -го елемента мережі; K_i – кількість i -го обладнання (апаратних, радіозасобів) зв'язку; T_{pri} – час прийняття та реалізації рішень по побудові або відновленню; $|G|$ – матриця вхідного навантаження; t_3 – затримка передачі; g_{ij} – інтенсивність потоків за шляхами m_{ab} , які проходять скрізь канал $(i, j) \in m_{ab}$ – маршрут відправником a та адресатом b ; s_{ij} – пропускна здатність каналу (i, j) ; r_i – радіус передачі; l – довжина маршруту; $a, b, i, j \in V$ – множина вузлів.

Необхідно відзначити, що синтез топології мереж великої розмірності наштовхується на ряд труднощів, пов'язаних з великою розмірністю МК, багатоекстремальністю розв'язуваної задачі та недовершеністю існуючих методів оптимізації. Перераховані труднощі викликають необхідність використання декомпозиційного підходу: загальна задача синтезу топології розбивається на ряд під задач за певними пріоритетами критеріїв ефективності. Зазначені часткові задачі синтезу не є незалежними. Для цього на етапі проектування мережі будується граф у вигляді мережі цілей, вершинами якого позначені цілями, а дуги відображають вплив досягнення підцілі (часткові задачі управління) у ціль (основна задача) [12].

Складність та результат рішення C^* залежить від цільової функції управління Z_k та розмірності мережі. Скорочення простору пошуку можливих рішень по управлінню мережею пропонується здійснювати на основі введення ієрархії цілей управління та пошуку можливих рішень у визначеній групі варіантів (рис. 3).

Синтез топології МК являє собою складну задачу. Тому пропонується провести її декомпозицію на окремі, пов'язані одна з одною підзадачі.

1. Синтез топології бойових радіомереж – частковій задачі: розподіл радіоресурсу, розрахунок потужностей передач, побудова та підтримка маршрутів передачі, розподіл потоків за маршрутами тощо. Здійснюються в основному децентралізовано кожним вузлом мережі [1]. Принцип роботи мережі – MANET.

2. Синтез топології високошвидкісної транспортної мережі на МБС здійснюється з урахуванням існуючої топології першого рівня та необхідної потреби в швидкісному радіо доступі мобільних абонентів. Часткові задачі: розрахунок маршруту переміщення МБС, розрахунок та формування зон обслуговування МА, розподіл радіоресурсу (задача динамічного частотно-територіального планування), визначення та побудова маршрутів передачі та розподілом вхідного трафіка за маршрутами тощо. Частина задач вирішується центром управління, друга частина – децентралізовано. Принцип роботи мережі – MANET.

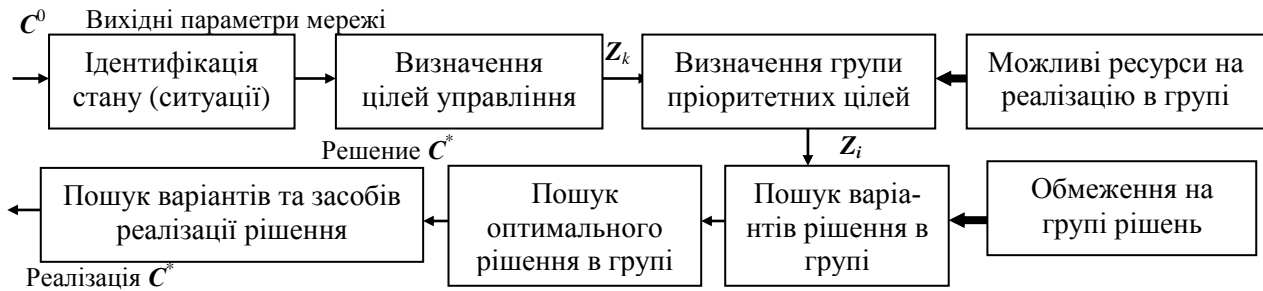


Рис. 3. Схема отримання рішення з блоком ідентифікації групи рішень

3. Синтез топології високошвидкісної повітряної мережі на ТА здійснюється з урахуванням існуючих топологій першого та другого рівнів, необхідної потреби в швидкісному радіодоступі мобільних абонентів, які не отримали доступ до мережі МБС. Часткові задачі: розрахунок маршруту польоту, зон баражування для забезпечення зон покриття, розподіл радіоресурсу (задача динамічного частотно-територіального планування), визначення та побудова маршрутів передачі, розподіл трафіка. Завдання вирішуються змішаним централізованим/децентралізованим способом. Принцип роботи мережі – MANET.

Загальний алгоритм управління топологією мережі.

Цикл управління топологією мережі включає в себе наступні етапи:

1. Збір інформації про стан та параметри її функціонування мережі (зони, напрямку, маршруту, елементів мережі тощо) та зовнішні впливи.

2. Розрахунок та оцінка параметрів її функціонування (контроль стану).

3. У випадку відхилень параметрів від визначених – знаходження нової топології, яка реалізує певну ціль управління (або сукупність цілей) та має необхідні (оптимальні) показники функціонування.

4. Оцінка нової топології в умовах:

– впливу зовнішніх впливів дестабілізуючих факторів.;

– обмеженості часових, частотних, матеріальних, технологічних ресурсів, необхідних для реалізації сформованої топології.

У випадку незадоволення вимог, перехід на крок 3, інакше крок 4.

5. Знаходження рішення щодо перерозподілу маршрутів та потоків даних згідно нової топології.

6. Реалізація прийнятого рішення.

Важливою особливістю задач управління є динамічний характер мереж МК. Тому доцільно розглядати мережу як систему, що розвивається – побудова мережі представляє багатоетапний процес її розвитку з деякої початкової топології в кінцеву ($G_0 \rightarrow G_1 \rightarrow \dots \rightarrow G_k$) рис. 4. Звідси впливає постановка задачі динамічного програмування. Наприклад, задана загальна кількість ресурсів (МБС, ТА тощо) на операцію. Потрібно розподілити їх за етапами

(число в загальному випадку невідомо) таким чином, щоб забезпечити оптимум прийнятого критерію ефективності.

Показниками оцінки ефективності результату процесу управління МК можуть виступати ступінь досягнення й час виконання i -ої задачі (мети) управління.

Моделі представлення топології мережі.

Найбільш поширеним є представлення однорідної мережі у вигляді графу $G = (V, E)$, де V – множина вершин (вузлів), та E – множина ребер графу (каналів, які мають безпосередній зв'язок між вузлами без ретрансляцій) (рис. 4), $G_k = (V_k, E_k)$ – граф мережі в момент k .

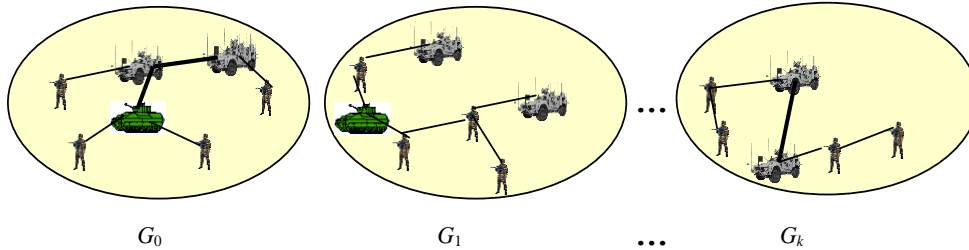


Рис. 4. Процес представлення топології мережі у вигляді послідовності графів

Поведінка гетерогенної мобільної мережі, вузли якої мають різну дальність передачі, можливо моделювати за допомогою орієнтованого графа. Вагомий граф дозволяє моделювати мережу з різними можливостями вузлів та пропускними здатностями каналів. Ваги можуть надаватися як вузлам так и каналам. Вагомий граф може бути орієнтованим або неорієнтованим.

В реальній мережі наявність ребра визначається характером розповсюдження радіохвиль та інтерференцією сигналів. В загальному випадку, моделі, які описують розповсюдження радіовоєн, є доволі складними и будуються для конкретної області простору. Зазвичай для аналізу функціонування мережі будуються спрощені моделі, які, наприклад, враховують тільки обмежену кількість променів (зазвичай два) при багатопроменевому розповсюдженні радіохвиль. Моделі інтерференції зазвичай накладаються на моделі зв'язності або розглядаються паралельно.

Для знаходження транспортної мережі можливо використовувати декілька способів з теорії графів: остовне дерево, домінуючі множини, дерево Штейнера тощо (рис. 5).

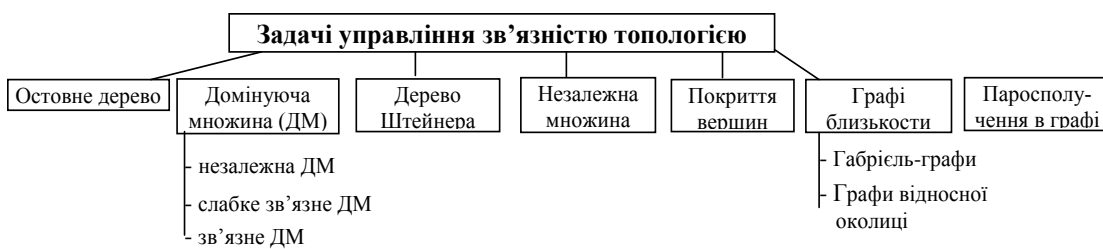
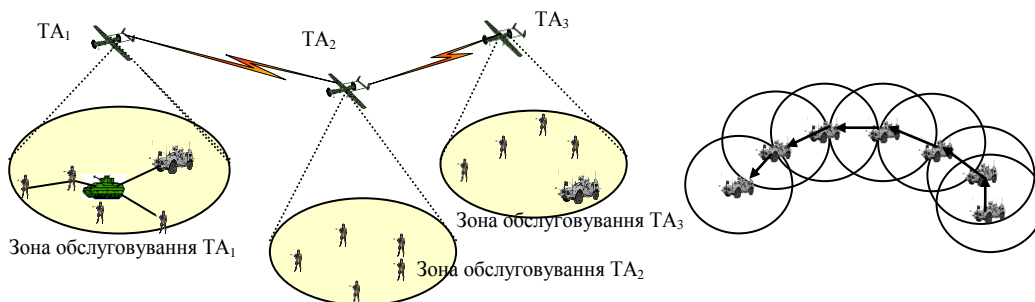


Рис. 4. Класифікація графових моделей забезпечення зв'язності



а) зони обслуговування ТА б) створення зон обслуговування в русі МБС

Рис. 5. Варіанти кластеризації мережі

Можливі різноманітні варіанти її побудови. Найбільш прийнятним є модель домінуючої множини. Накладення моделі домінуючої множини на модель зв'язності, яка враховує геометрію мережі (геометричний випадковий граф з логнормальною радіо моделлю та прокольною моделлю інтерференції) дозволяє зі значним ступенем точності відобразити фізичні властивості реальної мережі.

Взаємне переміщення вузлів накладає додаткові особливості на моделі представлення функціонування мереж. Розрізняють наступні моделі переміщення вузлів: модель випадкового переміщення, модель випадкового напрямку, модель Гаусса-Маркова та інші.

Задача частотно-територіального планування.

Через специфіку частотного діапазону, обмеженості частотного ресурсу, слабкої спрямованості антен, переміщення МБС, польот ТА це завдання істотно відрізняється від завдань частотно-територіального планування мереж рухомого та фіксованого радіозв'язку [14]. Крім цього в умовах бою, переміщення МБС (ТА) цю функцію необхідно здійснювати багаторазово, тобто мова йде про формування динамічного частотно-територіального плану.

Рішення завдання частотно-територіального планування означає визначення розташування (маршруту переміщення) МБС (ТА), достатньої висоти антен (МБС) і потужності передавачів для задоволення вимог до радіопокриття, а також формування частотного плану мережі, що забезпечує необхідну каналну ємність. Під радіопокриттям розуміється забезпечення необхідного перевищення рівня сигналу над сумарним рівнем перешкод для прямого і зворотного напрямків в певній галузі навколо МБС (ТА). В ході розподілу частотних ресурсів необхідно враховувати щільність абонентів, зони покриття антен, рівень сигналу і вплив перешкод.

Основою для формування частотно-територіального плану є вихідні дані, що включають в себе: відомості про місцезнаходження, маршрут (польот) МБС (ТА), можливості використання антенного обладнання, вимоги до показників якості та параметри обладнання абонентських і базових станцій, відомості про організацію зв'язку, конфігурації обладнання, режимів роботи станцій мережі. Для проведення розрахунків необхідно використовувати геоінформаційні системи.

Заключним рішенням є сукупність частотно-територіальних планів, що включають в себе маршрути переміщення радіоелектронних засобів, їх характеристики і призначені їм частоти та режими роботи.

В основі принципу загальної оцінки радіопокриття при частотно-територіальному плануванні лежить розрахунок і оцінка на відповідність заданим вимогам рівня сигналу в прямому і зворотньому напрямку в кожній точці заданої області. Облік перешкод проводиться для всіх базових станцій мережі. Таким чином, в прямій постановці виходить складна і трудомістка процедура розрахунку, яка вимагає особливої організації обчислень і спеціалізованого програмного забезпечення.

Для кількісної оцінки якості планування використовується узагальнений показник радіопокриття, який відображає вимоги до МК і характеризує радіопокриття з урахуванням перешкод та проведених частотних призначень. В якості такого показника використовується відсоток точок, в яких виконується умова радіопокриття. Для його розрахунку здійснюється дискретизація необхідної області радіопокриття, в околиці кожної точки розрахунковим шляхом перевіряється умова забезпечення радіопокриття.

Таким чином в статті проведена класифікація задач управління мережами зв'язку, які будуть складати перспективну мобільну компоненту тактичної ланки управління. Визначені цілі управління топологією мереж та розроблений загальний алгоритм управління топологією. Задача формування топології МК в статті представлена у вигляді рішення послідовності підзадач: синтез структури кожного рівня з урахуванням можливостей наявної топології мережі нижчого рівня. Планування, розгортання, відновлення, оперативне управління топологією кожного рівня МК повинна здійснюватися:

- у відповідності з цільовими функціями управління;
- з оцінкою впливу на неї зовнішніх дестабілізуючих факторів;

з оцінкою часових, матеріальних та технологічних ресурсів;
з рішенням задач частотно-територіального планування.

Напрямок подальшого дослідження є розробка часткових методик синтезу топології мереж різних рівнів МК з вирішенням завдання вибору оптимальної топології транспортної мережі з урахуванням сукупності показників якості на основі методів багатокритеріальної оптимізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бунин С.Г. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”. – 444 с.: ил.
2. Романюк В.А. Мобільні радіомережі (MANET) – основа побудови тактичних мереж зв’язку / В.А. Романюк // IV Науково-практичний семінар ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 5 – 18.
3. <https://gdmissionsystems.com/c4isr/warfighter-information-network-tactical-win-t/>
4. Міночкін А.І. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв’язку військового призначення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2005. – С. 51 – 60.
5. Papakosta D. Backbone Formation in Military Multi-Layer Ad Hoc Networks Using Complex Network Concepts / D. Papakosta, P. Baras, D. Katsaros, L. Tassioulas // IEEE Military Communications Conference, MILCOM, 2016.
6. Минович А.И. Управление топологией мобильной радиосети / А.И. Минович, В.А. Романюк // Зв’язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
7. Чеботарёва Д. В. Выбор оптимальной топологии транспортной сети мобильной связи с учетом противоречивых показателей качества / Д. В. Чеботарёва // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 124 – 131.
8. Столярова М.И. Реконструкция структуры транспортной сети телекоммуникационной системы специального назначения / М.И. Столярова // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 3 (37). – С. 13 – 18.
9. Будко П. А. Формирование топологии радиосети подвижных объектов на основе геоинформационных систем / П. А. Будко, А. В. Мухин / Вестник Ставропольского государственного университета. – 2009. – № 63. – С. 118 – 125.
10. Jameii S.M. Multiobjective Optimization for Topology and Coverage Control in Wireless Sensor Networks / Seyed Mahdi Jameii, Karim Faez, Mehdi Dehghan // International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2015, Article ID 363815.
11. Міночкін А.І. Задачі управління топологією мережі безпілотних летальних апаратів мобільного компоненту мереж зв’язку військового призначення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2005. – С. 83 – 90.
12. Бовда Е.М. Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв’язком військового призначення / Е.М. Бовда, Ю.А. Плуговий, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2016. – № 1. – С. 6 – 18.
13. Романюк В.А. Літаючі самоорганізуючі радіомережі / В.А. Романюк, Є.О., Степаненко, І.В. Панченко, О.І. Восколович // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2017. № 1. – С. 104 – 114.
14. Дмитриев В.Н. Принципы организации частотного планирования в сетях мобильной связи на основе мобильных базовых станций / В.Н. Дмитриев, О.Н. Пищин, А.А. Сорокин // Вестник Астраханского государственного университета, 2007. – №4 (39). – С. 207 – 211.