

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МЕРЕЖІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В даний час для оперативно-тактичної ланки управління розробляється цифрова автоматизована мережа радіозв'язку (АМР). Дана мережа буде перебувати з наступних основних елементів:

- базових вузлів зв'язку (БВЗ), що складаються з багатоканальних станцій радіодоступу (СР) для забезпечення зони обслуговування мобільним користувачам і радіорелейних станцій (РС), об'єднаних у базову мережу обміну даними;
- мобільних користувачів, оснащених радіотерміналами (РТ);
- центру управління (ЦУ) АМР.

Центр управління повинен забезпечити ефективне управління мережею в умовах частой зміни обстановки (оперативної, тактичної, зв'язку), впливи засобів поразки і радіоелектронної протидії супротивника. У цих умовах управління мережею тільки за рахунок функціонування алгоритмів маршрутизації і управління потоками даних не завжди дозволяє забезпечити необхідну якість обслуговування повідомлень. У той же час перебудова топології мережі при істотних змінах ситуації на мережі має більш значний ефект, ніж при адаптивній маршрутизації.

Під оперативним управлінням топологією АМР мають на увазі управління, що змінює її топологію (розміщення елементів мережі на місцевості і зв'язності між ними за рахунок розподілу мережевих ресурсів – апаратних, частотних, тимчасових, енергетичних) у процесі функціонування, виходячи з планів зміни топології, ситуації на мережі з метою забезпечення максимальної пропускнув спрможності (ПС) мережі.

Постановка задачі.

Задано множину елементів АСР  $N = \{N_{\text{БВЗ}}, N_{\text{СР}}, N_{\text{РС}}, N_{\text{РТ}}\}$ ; число пріоритетів повідомлень, що циркулюють,  $P$ ; матриці інформаційного тяжіння (обсяг повідомлень  $p$ -го пріоритету  $|\lambda_{ij}^p|$ ,  $i, j = \overline{1, N}$ ,  $p = \overline{1, P}$ ;) географічні координати місць-кандидатів на розміщення елементів мережі на місцевості; мінімально припустима зв'язність  $C_{\text{пр}}$  (кількість маршрутів між виділеною парою вершин, що не перетинаються по вершинах); максимально припустиме число транзитів  $d_{\text{пр}}$ ; середній обсяг повідомлень  $p$ -го пріоритету; метод поділу каналів (частотний, часовий, кодовий); протокол доступу до каналу (випадковий, із контролем несучої, сегментування тощо); прийнятий алгоритм маршрутизації; технічні характеристики устаткування (діапазон потужності

передавача, чутливість приймача, використана смуга частот і ін.), ресурс  $R = \{R_{\text{БВЗ}}, R_{\text{СР}}, R_{\text{РС}}, R_{\text{РТ}}\}$ .

Потрібно на заданій множині вершин побудувати (або змінити) топологію АМР, що дозволяє максимізувати пропускну спроможність мережі

$$S(X) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_{ij}(x_{ij}),$$

де  $s_{ij}(x_{ij})$  – ПС каналу  $i-j$ ,  $x_{ij}$  – булева змінна.

Математична модель.

Задача формулюється у виді задачі лінійного програмування - у визначений фіксований момент часу необхідно відшукати матрицю зв'язності  $X^*$

$$X^* = \underset{x \in \Omega}{\text{Arg max}} S(X) \quad (1)$$

при виконанні обмежень  $\Omega$  на середню затримку  $\bar{T}_{ij}^p$  доставки повідомлень  $p$ -го пріоритету по  $m$ -му маршруту передачі

$$\bar{T}_m^p = \sum_{m \in M} \bar{T}_{ij}^p \leq \bar{T}_{\text{пр}}^p$$

і/або імовірність доставки повідомлення  $p$ -го пріоритету за час, що не перевищує заданого  $t_3^p$

$$P_m^p(t \leq t_3^p) \geq P_{\text{пр}}^p,$$

зв'язність мережі

$$C_m \geq C_{\text{пр}},$$

довжину маршруту

$$d_m \leq d_{\text{пр}},$$

наявність  $i$ -х ресурсів

$$R_i \leq R_{\text{пр}}.$$

Задача, яка формулюється у виді (1) відноситься до класу NP-повних. Застосування для її рішення класичних методів приводить до експоненціальної складності. Одержання точного рішення для мережі, що нараховує сотні елементів, зв'язано зі значними тимчасовими витратами. Тому для скорочення перебору пропонується використовувати базу знань [1], що складається з множини правил (евристик), які дозволяють модифікувати зв'язність мережі для поліпшення її характеристик. Це дозволяє одержати близькі до оптимальних рішень за прийнятний час і використовувати їх у процесі оперативного управління АМР.

База знань є складовою частиною експертної системи (ЕС) управління АМР [2], яку пропонується використовувати в якості спеціального програмного забезпечення на ЦУ мережею. База знань містить наступні основні компоненти: знання про АМР, знання про цілі функціонування АМР і цілі управління, знання про способи досягнення цілей. Розкриємо основний зміст даних компонент.

1. Знання про АМР і закономірності її функціонування характеризуються сукупністю фактів про склад і структуру мережі, що описуються у виді множини понять, відношень між ними і правил, що відбивають закономірності управління.

2. Структура цілей управління і правила цілевизначення дозволяють виробляти гіпотези про можливі в даній ситуації цілях управління, реалізація яких забезпечує переведення поточного стану АМР у стан, який задовольняє цільовим вимогам.

3. Ці знання являють собою правила виводу рішень, за допомогою яких здійснюється перевірка досяжності цілей управління з обліком наявності ресурсів і обмежень, що накладаються на процес управління. Рекомендації виводу рішень є рекомендацією по управлінню.

Застосування бази знань містить у собі ітераційну процедуру (яка складається з модулів БАЗА ЗНАНЬ , АНАЛІЗ, КОНТРОЛЬ), що працює в такий спосіб (рис.1).

1. Аналіз поточного стану мережі і розрахунок її характеристик за допомогою аналітичних моделей [3, 4] – модуль АНАЛІЗ.

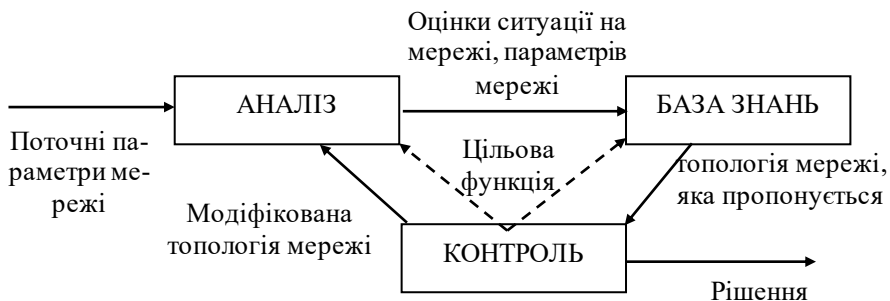


Рис.1. Процедура застосування бази знань

2. Модуль БАЗА ЗНАНЬ містить правила, що, використовуючи отримані характеристики з модуля АНАЛІЗ, забезпечують спрямований пошук зміни зв'язності АМР. Правила продукційного типу, що перебувають із двох компонент: умова і дія. Умова описує придатність правила в кількісному вираженні, а дія використовується для задоволення умови. Дія описує зміну зв'язності мережі, що веде до збільшення її пропускнув спроможності (системна оптимізація) або задоволенню вимог по оперативності доставки повідомлень - мінімізація часу доставки повідомлень (користувальна оптимізація). Умови застосування правил – виникнення визначених ситуацій на мережі (час доведення перевищує граничне значення, можлива максимізація пропускнув

спроможності при мінімальному рівні якості обслуговування, перевантаження визначеної ділянки мережі тощо).

Процес пошуку рішень можна представити у вигляді дерева станів, де кожній вершині відповідає визначена топологія мережі, ребрам – переходи з одного стану в інший. В корені дерева знаходиться початкова топологія. На  $k+1$  рівні розміщені усі можливі топології мережі, які отримані з початкової, при використанні  $k$ -правил.

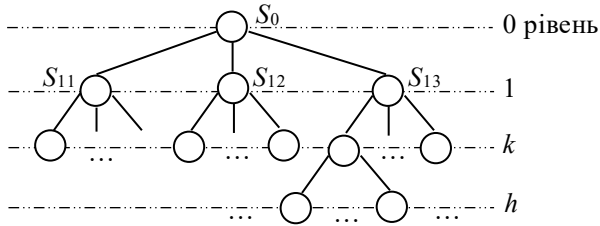


Рис.2. Дерево пошуку рішень

Для скорочення перебору при пошуку рішення застосується метод гілката меж. Для змінення ширини дерева пошуку замість усіх можливих комбінацій обмежумось єдиною структурною зміною – додаванням або виключенням одного каналу (в припущенні порогової моделі радіоканалу).

Глибина пошуку обмежена обмеженнями, які задані в виразі (1).

3. Модуль КОНТРОЛЬ визначає момент закінчення застосування правил і містить метаправила, що визначають перевагу використання того або іншого правила в залежності від його “ваги” і цільової функції управління (правило, що найбільшою мірою поліпшує необхідні характеристики АМР має більшу вагу). Використання метаправил дозволяє значно зменшити перебір структур мережі.

Формування управляючих впливів реалізується комплексом алгоритмів управління топологією мережі. Суть запропонованого підходу полягає в оцінці обраних характеристик мережі при її функціонуванні і визначенні місць зміни зв'язаності, що дозволяють максимізувати приріст пропускної спроможності.

Схема одного циклу узагальненого алгоритму управління АМР подана на рис. 3.

Процес управління варто вважати ефективним, якщо відхилення деякого показника якості функціонування мережі  $\Delta E$  не перевищить припустимого величини.

Визначення  $\Delta E$  є результатом рішення складної задачі оцінки стану АМР. Оцінка стану мережі полягає у визначенні ступеня задоволення вимог по

обслуговуванню користувачів при виділеному ресурсі (перевірка виконання обмежень у виразі (1)).

У тому випадку, коли зміна  $\Delta E$  не знаходиться в області припустимих значень, то ЕС управління мережею аналізує причини виникнення даної ситуації, визначає можливість відновлення необхідної якості обслуговування за допомогою застосування алгоритмів управління потоками (наприклад, обмеження доступу в мережі повідомлень нижчих пріоритетів) і видає управляючі впливи.



Рис. 3. Алгоритм оперативного управління топологією АМР

Якщо неможливо домогтися відновлення необхідної якості обслуговування за допомогою алгоритмів управління потоками, то приймається рішення про необхідність зміни топології мережі. Для цього визначається ділянка мережі, на якій необхідно робити перебудову мережі, аналізуються ресурси і з використанням бази знань формується рішення про зміну зв'язаності мережі.

Для реалізації даного алгоритму програмне забезпечення ЦУ повинен містити [5]: експертну систему; моделі оцінки характеристик мережі, радіоканалів, моделі розрахунку зон обслуговування, електронну карту місцевості.

На теперішній час створений прототип експертної системи управління АМР, що містить базу знань для управління топологією, комплекс програм аналітичного й імітаційного моделювання оцінки характеристик мережі, проводяться дослідження з вибору оптимальних варіантів побудови топології мережі при різних протоколах доступу до каналу й алгоритмах управління мережею.

На рис.4 показаний один із варіантів рішення для мережі, що містить 20 елементів, випадковим способом розташованих на місцевості. Потенційна ПС отриманої топології на 12% вище початкової. Рішення отримане з використанням бази знань за одиниці секунд (на ПЕОМ з процесором Pentium із тактовою частотою 200 МГц).

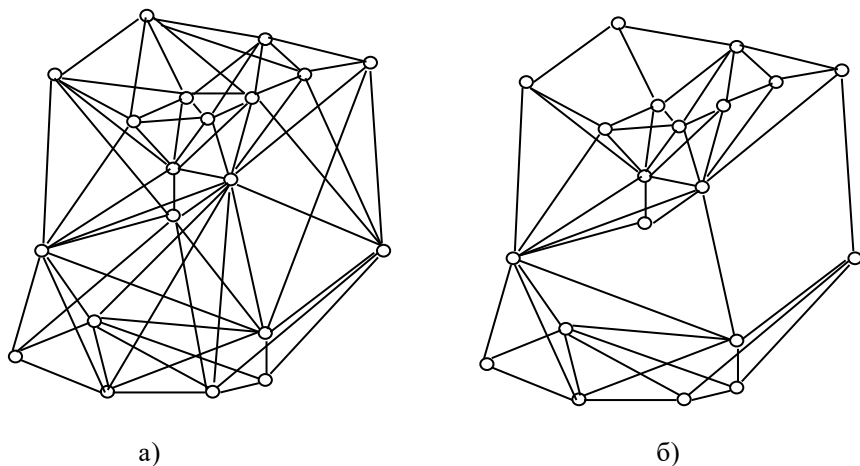


Рис. 4. Рішення для мережі з 20 елементів:  
а) початкова топологія ( $C=9.0, S=0.95$ );  
б) кінцева топологія ( $C=5.3, S=1.07$ ).

Результати дослідження показані в табл. 1.

Таблиця 1

Число елементів мережі	Ступінь зв'язності		Пропускна спроможність		Виграш	Відхилення від оптимальної
	початкова	кінцева	початкова	кінцева		
20	7.00	6.05	0.88	1.06	20%	0%
	8.00	5.35	0.98	1.05	7%	2%
	9.00	5.35	0.95	1.07	12%	1%
	10.0	5.30	0.98	1.04	6%	0%
	12.00	7.3	0.94	1.00	6%	4%
40	5.00	6.15	1.09	1.34	23%	3%
	7.00	4.45	1.28	1.38	8%	0%
	9.00	4.56	1.27	1.38	9%	2%
	6.65	9.78	0.86	1.21	40%	5%
60	7.00	7.80	1.27	1.65	29%	2%
	9.00	5.35	1.45	1.69	16%	1%
	14.00	5.85	1.41	1.66	18%	2%

Таким чином, запропонована методика може бути застосована в реальних АМР для оперативного управління топологією даних мереж.

#### Література

1. Романюк В.А. Применение базы знаний для управления структурой автоматизированной сети радиосвязи // Збірник наукових праць. – К.: КВІУЗ. – 1998. – № 4. – С. 54 – 60.
2. Міночкін А.І., Романюк В.А. Експертна система управління автоматизованою мережею радіозв'язку // Збірник наукових праць. – К.: КВІУЗ. – 1999. – №1. – С.46 – 49.
3. Табаги Ф.А. Моделирование и анализ характеристик многопролетных пакетных радиосетей // ТИИЭР. – 1987. – Т.75. – № 1. – С.162 – 199.
4. Романюк В.А., Шацко П.В. Алгоритм оценки пропускной способности пакетных радиосетей с произвольной структурой // Сборник научно-методических материалов НИЦ. – К.: НИЦ при КВІУС. – 1992. – № 3. – С. 109 – 116.
5. Kenneth H. Brockel NPT – A Success Story Evolving from Teamwork and Innovation // IEEE MILCOM '93. – 1993. – p. 874 – 878.