

ПРОБЛЕМА МАРШРУТИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ключовою проблемою управління мережами зв'язку військового призначення (МЗВП) є маршрутизація інформаційних повідомлень [1]. Аналіз існуючих протоколів маршрутизації, застосовуваних у мережі Internet, дозволив зробити висновок про неможливість їх застосування у МЗВП [2]. Так протокол RIP (Routing Information Protocol), заснований на алгоритмі Белмана-Форда, викликає зациклення маршрутів, не вирішує проблему збіжності. Протокол OSPF (Open Shortest Path First), який відноситься до класу Дійкстри, вимагає знання повної інформації про стан мережі і викликає значний службовий трафік в умовах динаміки топології мережі.

Методи маршрутизації $\{U_\rho\}$, $\rho = \overline{1, P}$ у МЗВП повинні відповідати умовам функціонування мережі (динамічна топологія, випадковий характер вхідного навантаження, різномірний трафік, значна розмірність, обмежена енергетична можливість частини вузлів, асиметричність і обмеженість пропускної здатності радіоканалів, можливість використання системи позиціонування, обмежена безпека та ін.) і прагнути задовольнити наступні основні вимоги $\{TR_q\}$, $q = \overline{1, Q}$: розподілене функціонування; швидка збіжність і відсутність зациклення маршрутів; мінімальне завантаження мережі службовою інформацією; одержання маршруту в міру необхідності (режим «мовчання» мережі); забезпечення декількох маршрутів доставки інформації до адресата; забезпечення маршрутів заданої якості; підтримка односпрямованих каналів; мінімізація потужності передач вузлів, які оснащені батареями; безпека процесів маршрутизації.

Усі методи маршрутизації, запропоновані для застосування у МЗВП, можна класифікувати за наступними ознаками (рис. 1) [2]: за способом побудови й підтримки маршрутів (табличні, зондові і гібридні); за числом одержувачів (однокористувальницькі, групові та хвильові); за наявністю устаткування позиціонування (координатні і графові); за кількістю параметрів у метриці вибору маршруту (однопараметричні і багатопараметричні); за організацією (ієрархічні й однорівневі).

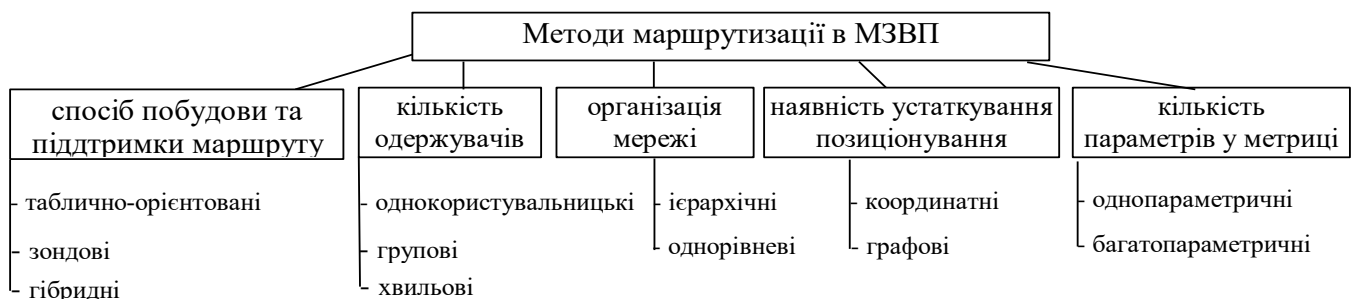


Рис. 1. Класифікація методів маршрутизації у МЗВП

Синтез динамічних методів маршрутизації (ММ) у МЗВП включає розробку основних функцій і алгоритмів їхньої реалізації $U_\rho = \{U_\rho^3, U_\rho^x, U_\rho^o, U_\rho^p\}$, $\rho = \overline{1, P}$ (рис. 2.):

U_ρ^3 – збір маршрутної інформації: глибина, тип, спосіб розсилання; формат маршрутних повідомлень (зондів), що визначає перелік контрольованих параметрів мережі; процедури обробки маршрутної інформації у вузлах мережі тощо;

U_p^x – збереження маршрутної інформації: кількість і склад маршрутних таблиць, місце їхнього збереження;

U_p^o – обчислення маршрутів: алгоритми обчислення найкоротших маршрутів Белмана-Форда і Дікстри, зондуванням мережі, на основі координат вузлів;

U_p^p – ретрансляція (передача) пакета: послідовна, “джерел”, багатошляхова, хвильова.



Рис. 2. Синтезовані функції методів маршрутизації

Ціль – оптимізація мережеских характеристик на основі розробки нових методів маршрутизації. При цьому варто розрізняти користувальницьку й системну оптимізацію [3]. Користувальницька оптимізація заснована на алгоритмах обчислення (U_p^o , $\rho = \overline{1, P}$) маршруту мінімальної “вартості” – m^* :

$$m_p^* = \arg \min_{m \in M} \Xi C_\eta(m) = \arg \min_{m \in M} \Xi C_\eta(\Pi_\rho),$$

де $C(m)$ – вартість маршруту m , $\eta = \overline{1, N}$ – його метрика, M – множина усіх можливих маршрутів від i -го відправника k -му адресату, ΞC_η – згортка η -х метрик, $\Pi_\rho(t) = \|\pi_{ij}^{(k)}(t)\|$ – матриця маршрутних змінних розмірності $N \times N \times N$, $k = \overline{1, N}$, (i, j) – радіоканал; $\pi_{ij}^{(k)}(t) = \{0, 1\}$ – відсутність (наявність) маршруту m^* від відправника i до адресата k через сусідній вузол $j \in N_i$.

Оптимальним набором маршрутних змінних (системною оптимізацією) будемо називати набір $\Pi^* = \{\pi_{ij}^{(k)}\}$, що задовольняє одній з умов

$$S(\Pi^*) = \max_{\pi \in \Psi} S(\Pi) \text{ при } t_3(\Pi^*) \leq t_{3\text{пр}}, P(\Pi^*) \leq P_{\text{пр}},$$

$$\overline{t_3}(\Pi^*) = \min_{\pi \in \Psi} \overline{t_3}(\Pi), \text{ при } S(\Pi^*) \geq S_{\text{пр}}, P(\Pi^*) \leq P_{\text{пр}},$$

$$\overline{P}(\Pi^*) = \min_{\pi \in \Psi} \overline{P}(\Pi) \text{ при } t_3(\Pi^*) \leq t_{3\text{пр}}, S(\Pi^*) \geq S_{\text{пр}},$$

де $S(\Pi)$, $\overline{t_3}(\Pi)$, $P(\Pi)$ – пропускна здатність мережі, середня затримка передачі пакетів і середня споживана потужність вузлами при Π -му маршрутному рішенні, Ψ – множина припустимих маршрутних змінних.

Система управління маршрутизацією у МЗВП включає два рівні: $U(t) = \langle U_T(t), U_M(t) \rangle$, де $U_T(t)$ – управління топологією, а $U_M(t)$ – управління побудовою і підтримкою маршрутів при заданій топології, $U = \{U^s, U^x, U^o, U^p\}$. Тоді ціль управління маршрутизацією полягає в максимізації пропускної здатності мережі S

$$U^*(t) = \arg \max_{U_T(t) \in \Omega_T} \max_{U_M(t) \in \Omega_M} S(\Gamma^\xi(t), v(t), N(t), E^\delta(t), U_T(t), U_M(t))$$

при обмеженнях $\Omega = \Omega_T \times \Omega_M$, що накладаються на вибір управління

$$\Omega = \{t_3^\xi(U(t)) \leq t_{3\text{зпр}}^\xi, r(U(t)) \leq r_{\text{imax}}, U(t) \in \{\text{TP}_q\}, q = \overline{1, Q}\}$$

і обмеженнях на ресурси мережі

$$e_i^\delta \leq e_{i\text{imax}}^\delta, v_i \leq v_{\text{imax}}, s_{ij} \leq s_{ij\text{imax}}, |N| \leq N_{\text{max}},$$

де $t_3(U(t)) = (t_{31}(U(t)), \dots, t_{3m}(U(t)))$ – вектор середнього часу доведення пакетів між m кореспондуючими парами абонентів; $\Gamma^\xi(t) = \|g_{ik}^\xi(t)\| = [0 \dots g_{\text{imax}}^\xi]$ – інтенсивність вхідних потоків ξ -типу; $v(t) = [0 \dots v_{\text{imax}}]$ – інтенсивність зміни топології мережі; $v(t) = \|v_i(t)\|$ – мобільність вузлів; $E^\delta(t) = \|e_i^\delta(t)\|$ – ємності батарей вузлів; s_{ij} – пропускна здатність каналу (i, j) ; $i, j, k \in N$ – множина вузлів мережі.

На рис. 3 представлена схема системного аналізу й синтезу методів маршрутизації у МЗВП.



Рис. 3. Схема системного аналізу й синтезу СУМ у МЗВП

Аналізуючи задачі системного аналізу і синтезу, варто вказати на ряд труднощів, що виникають при їх, рішенні: відсутність повної формалізації опису МЗВП через їхню складність і динамічність як об'єкта дослідження, висока розмірність

розв'язуваних задач синтезу, а також відсутність загальної теорії динамічних алгоритмів маршрутизації. Це приводить до необхідності використання при дослідженні МЗВП не тільки аналітичних методів теорій марковських випадкових процесів, масового обслуговування, математичного програмування, але і методів імітаційного моделювання на ЕОМ. Тому користувальницька оптимізація здійснюється з використанням аналітичних методів, системна – на основі імітаційного моделювання. Синтез єдиного методу маршрутизації, що здійснює користувальницьку й системну оптимізацію, задовольняє всім умовам функціонування МЗВП і усім вимогам $\{TP_q\}$, $q = \overline{1, Q}$ не представляється можливим. Тому рішення проблеми маршрутизації декомпонується на задачі – нові методи маршрутизації необхідно розробляти по класах, кожен із яких задовольняє визначеному виду трафіка, наявному устаткуванню у вузлах чи умовам функціонування МЗВП. Їхня коротка характеристика, новизна й достоїнства в порівнянні з раніше запропонованими ММ представлені в табл. 1.

Проведені дослідження (відповідно до методики оцінки ефективності методів маршрутизації у МЗВП [4]) показали, що кожний з них ефективний (досягається оптимум одного чи декількох показників ефективності функціонування мережі – пропускної здатності, середньої затримки передачі повідомлення тощо) при визначеній ситуації в мережі (динаміка зміни топології, інтенсивність вхідного трафіка, розмірність тощо). Наприклад, при низькій мобільності вузлів ефективні табличні ММ, при високій – зондові, при дуже високій – хвильові. В умовах значного вхідного навантаження кращі табличні ММ, низького – зондові. Аналогічні залежності отримані для методів групової маршрутизації. Так при високій динаміці топології необхідно використовувати методи, що будують групові маршрути у вигляді підмережі, при низькій – у вигляді дерева. Для мереж значної розмірності ефективні методи ієрархічної маршрутизації. Застосування методів координатної маршрутизації при використанні устаткування позиціонування у вузлах мережі дозволяє значно знизити обсяг службового трафіка. Таким чином, *єдиного методу маршрутизації, що задовольняє всім перерахованим вище вимогам і забезпечує оптимізацію показників ефективності функціонування мережі при різних умовах її роботи, не існує.*

Для рішення даної проблеми пропонується реалізувати так звану “активну” маршрутизацію, що передбачає: функціонування в мережі множини ММ; динамічне формування метрик вибору маршруту; управління топологією мережі як складовою частиною маршрутизації; інтелектуалізація процесів ухвалення рішення по маршрутизації [5]. Тобто, на додаток до традиційних функцій маршрутизації активна маршрутизація дозволяє здійснювати мережеву і користувальницьку оптимізацію за рахунок адаптації до поточної ситуації на мережі, типу інформації і підвищення рівня обґрунтованості прийнятих маршрутних рішень.

Проведений аналіз можливих атак супротивника на протоколи маршрутизації дозволив запропонувати можливі рішення по безпечній маршрутизації у МЗВП [6].

Таким чином, розробка сукупності методів маршрутизації і їх реалізація в програмне забезпечення вузлів перспективної МЗВП дозволить значно підвищити ефективність її функціонування: побудувати архітектуру мережі, що самоорганізується, підвищити її пропускну здатність, зменшити обсяг переданої службової інформації, одержувати маршрути заданої якості, підвищити надійність і зменшити час доставки інформації і збільшити “час життя” мережі.

Таблиця 1

Нові ММ	Клас	Існуючі	Сутність (новизна) запропонованого ММ	Достоїнства (переваги)
Хвильовий [7]	Х	Хвильовий	Правила вибору вузлів для ретрансляції пакетів	Зменшення числа ретрансляцій пакетів
Табличний НТОММ [8]	О, ТО, БШ	DARPA, PRNET, DSDV, WRP, OLSR	Введення додаткової інформації про маршрут – вузол, що передує адресату; оптимізація інтервалу розсилки службових повідомлень	Відсутність зациклення маршрутів, рішення проблеми збіжності, мінімальний обсяг службового трафіка при малій динаміці топології
Зондовий НЗММ [9]	О, З, БШ	DSR, AODV, ABR, SSR, NSR	Побудова й підтримка кожним вузлом вагової маршрутної мережі	Мінімальний службовий трафік при значній динаміці топології мережі, кілька маршрутів передачі
Гібридний R-зоновий ММ [10]	О, ТО+З	Zone Routing	Кожен вузол підтримує маршрутну інформацію на глибину R-ретрансляцій; маршрутизація усередині зони – НТОММ, за межами – НЗММ	Адаптація обсягу (глибини) збору службової інформації до величини динаміки топології мережі
Груповий НМГМ [11, 12]	Г, З	MAODV, ODMRP, AMRoute, AMRIS, CAMP	Підтримка тільки групових маршрутів передачі; виділення додаткових вузлів розсилання групової інформації; оптимізація періоду розсилки службових повідомлень	Мінімальний обсяг службового трафіка в умовах динаміки топології мережі та групового трафіка
Ієрархічний НІММ [13, 14]	О, І, ТО,	HSR, ZHLS	Ваговий алгоритм кластеризації мережі, динамічна адресація абонентів, механізми маршрутизації всередині зони та між зонами	Мінімізація зонового і міжзонового службового трафіка
МКМ [15, 16]	О, З, К	DREAM, LAR, GEDIR	Правила вибору вузлів-ретрансляторів; методика управління топологією мережі	Оптимізація характеристик мережі в залежності від цілі управління
ММІТ [17]	О, З, БП, БШ	QoS Routing	Резервування ресурсів вузлів та каналів при побудові маршрутів	Побудова й підтримка маршрутів заданої якості
ММУП [18]	О, ТО, БП	PARO, MTPR, MBCR	Потужність передачі і ємність батареї – метрики вибору маршруту	Збільшення “часу життя” мережі
МММ [19]	О, З, БП	UDLR	Знаходження односпрямованих каналів, тунелювання квитанції і маршрутних повідомлень	Побудова найкоротших маршрутів в умовах асиметричних каналів
МБМ [20]	О, З, БШ	ROAM, MSR	Побудова необхідної кількості незалежних маршрутів	Підвищення надійності (безпеки) доставки інформації

Позначення: ТО – таблично-орієнтований, З – зондовий, Х – хвильовий, І – ієрархічний, К – координатний, О – однокористувальницький, Г – груповий, БП – багатопараметричний, БШ – багатошляховий, МКМ – метод координатної маршрутизації, ММІТ – метод маршрутизації інтегрального трафіка, ММУП – метод маршрутизації з управлінням потужності передачі, МММ – метод асиметричної маршрутизації, МБМ – метод багатошляхової маршрутизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63 – 65.
2. Миночкин А.И., Романюк В.А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2001. – № 1. – С. 31 – 36.
3. Романюк В. А. Постановка проблеми маршрутизації інформаційних потоків у мережах радіозв'язку з динамічною топологією // Збірник наукових праць № 5. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2002.
4. Романюк В. А. Методика оцінки ефективності методів маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку оперативно-тактичної ланки управління // Збірник наукових праць № 5. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 200 – 207.
5. Романюк В.А. Активная маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2002. – № 3. – С. 21 – 25.
6. Романюк В. А. Безпека протоколів маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку // Труды Академії № 37. – К.: НАОУ. – 2002. – С. 174 – 178.
7. Романюк В. А., Сайко О.В. Хвильові алгоритми передачі інформації в мобільних радіомережах // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2002.
8. Романюк В.А. Управление построением маршрутов для сети с динамичной топологией // Управляющие системы и машины. – 1993. – № 2. – С. 81 – 86.
9. Романюк В. А. Зондовый метод маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку ТЛУ // Збірник наукових праць № 2. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 97 – 105.
10. Романюк В. А. R-зоновий метод маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку // Збірник наукових праць № 3. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 182 – 186.
11. Романюк В.А. Групповая маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2001. – № 6. – С. 36 – 41.
12. Романюк В. А. Метод групової маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку оперативно-тактичної ланки управління // Труды Академії № 32. – К.: НАОУ. – 2001. – С. 261 – 266.
13. Романюк В.А. Иерархическая маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2002. – № 1. – С. 38 – 42.
14. Романюк В. А. Ієрархічний метод маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку ОТЛУ // Труды Академії № 31. – К.: НАОУ. – 2001. – С. 336 – 340.
15. Романюк В.А. Геомаршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2001. – № 5. – С. 37 – 39.
16. Романюк В. А. Метод геомаршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку // Збірник наукових праць № 4. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 121 – 126.
17. Романюк В.А. Маршрутизация интегрального трафика в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2002. – № 2. – С. 24 – 27.
18. Романюк В. А. Метод маршрутизації з управлінням ресурсом потужності в автоматизованих мережах радіозв'язку тактичної ланки управління // Труды Академії № 33. – К.: НАОУ. – 2001.
19. Романюк В. А. Методи асиметричної маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2002. – С. 159 – 163.
20. Романюк В. А. Метод багатошляхової маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку // Труды Академії № 36. – К.: НАОУ. – 2001. – С. 167 – 173.