

УДК 621.396.946

С.В. Валуйський

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту МНС України, Київ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖ

В роботі вирішується важлива науково-технічної задача, яка полягає у розробці методу підвищення продуктивності мобільних радіомереж на основі управління положенням телекомунікаційних аероплатформ в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів. Застосування розробленого методу дозволяє оперативно підвищувати продуктивність мережі на 15-20% у порівнянні з існуючими методами. Відхилення рішень згідно запропонованого методу від результатів, отриманих методом повного перебору, не перевищує 5-7%.

Ключові слова: мобільна радіомережа, телекомунікаційна аероплатформа, продуктивність, управління положенням, мобільний абонент.

Вступ

Надзвичайні ситуації природного й техногенного характеру призводять до повного або часткового виходу з ладу наземної інфраструктури, у тому числі телекомунікаційних споруд (базових станцій стільникового зв'язку, радіорелейних та супутникових станцій, кабельних ліній та ін.). Оперативне забезпечення зв'язку у таких районах можливе шляхом розгортання мобільних радіомереж (МР) із використанням телекомунікаційних аероплатформ (ТА). Особливо актуально застосування ТА на основі малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що є більш оперативними та економічними на відміну від великих висотних аероплатформ [1]. Такі мережі мають широке коло застосування – рятувальні операції МНС, тактичні мережі військового призначення, дистанційний збір інформації з віддалених сенсорів, зв'язок між транспортними засобами та ін.

Мобільні абоненти (МА) таких мереж, можуть вільно переміщуватись в заданому районі та з'єднуватись між собою безпосередньо – у зоні радіо видимості, або із ретрансляцією пакетів через сусідні вузли (тобто виконуючи функції маршрутизації), утворюючи таким чином багатоланкові мережі довільної структури. Топологія таких мобільних радіомереж носить динамічний характер та постійно розвивається, а отже потребує ефективної системи управління (СУ), тобто розробки нових методів, які б дозволяли швидко реагувати на структурні та функціональні зміни, забезпечуючи ті чи інші цілі управління, зокрема підвищення продуктивності мережі (ПМ).

Вивченням питання підвищення продуктивності пакетних радіомереж займалися багато іноземних науковців, серед яких Тобагі Ф.А., Клейнрок Л., та вітчизняних вчених, серед яких академіки Ільченко М.Ю. та Мізін І.О., професори Бунін С.Г., Войтер А.П., Романюк В.А. та ін. Однак не дивлячись на вагомий вклад цих вчених, недостатньо розв'язаною на

сьогодні є проблема підвищення продуктивності мережі за рахунок управління положенням множини телекомунікаційних аероплатформ. Проф. Романюком В.А. була запропонована функціональна модель системи оперативного управління мережею БПЛА [2], складовою якої є підсистема управління топологією. Вона визначає оптимальне положення множини ТА згідно обраного критерію та скеровує підсистему управління польотом для виконання заданої цілі, тобто підвищення продуктивності. Більшість розроблених на сьогодні методів, що закладаються в підсистему управління топологією мережі ТА, засновані на принципах побудови стільникових мереж, згідно яким ретранслятори розміщуються в районі найбільшого скупчення вузлів [3, 4]. Якщо є достатня кількість аероплатформ, щоб покрити усю територію обслуговування, то проблему управління положенням ТА вирішено. Але в умовах недостатньої кількості апаратурного ресурсу зазначений принцип розміщення аероплатформ не є оптимальним, оскільки не враховує структурно-функціональні показники мережі МА, а отже підлягає вдосконаленню. Крім того методи детального синтезу топології мережі [5] займають багато часу та не дозволяються вирішувати задачу управління положенням ТА у режимі реального часу. В роботах проф. Лисенка О.І. та Валуйського С.В. [6,7] започатковано методологію оптимального оперативного управління топологією мережі ТА для підвищення продуктивності МР, результати якої будуть покладені в основу даної статті та дістануть подальшого розвитку.

Отже, метою роботи є розробка методу підвищення продуктивності мобільних радіомереж на основі управління положенням телекомунікаційних аероплатформ в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів.

Аналіз функціонування МР із ТА

В даному розділі розглядаються основні аспекти функціонування та управління топологією (мі-

сцеположенням) телекомунікаційних аероплатформ МР. Приклад архітектури такої мережі вказано на рис. 1.

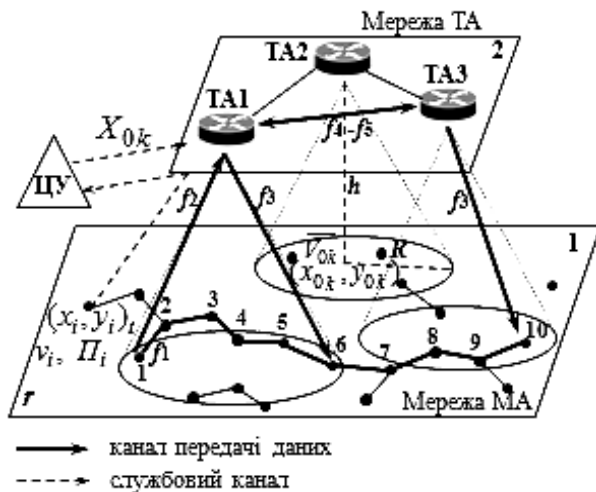


Рис. 1. Приклад архітектури МР із ТА

1-й рівень МР складає мережа мобільних абонентів (МА), що можуть довільним чином переміщуватися в деякому районі розміру Γ . При наявності прямої видимості МА зв'язуються між собою через спільний ширококомповний канал на частоті f_1 , а при відсутності – застосовують принцип комутації (маршрутизації) пакетів через проміжні вузли. Таким чином абонентські термінали представляють собою багатофункціональні пристрої, працюючи в одночастотному напівдуплексному режимі за принципом «store-and-forward» («прийняв – запам'ятав – передав»). Для ретрансляції повідомлень через ТА кожен МА має також другий комплект радіообладнання та пам'яті, працюючи у дуплексному двох частотному режимі на частотах f_2-f_3 . У випадку достатнього просторового рознесення стільників, утворюваних ТА, частоти можуть повторюватися. Для організації множинного доступу (МД) до спільного каналного ресурсу в каналах МА-МА (на частоті f_1) у даній роботі обрано протокол МД із сигналом «зайнято» (МДСЗ) для вирішення проблеми «схритих абонентів». Для каналів МА-ТА-МА обрано адаптивний протокол із резервуванням (АПР), що дозволяє надсилати не один, а блоки з n пакетів та управляти розміром блоку згідно інтенсивності трафіку, створюваного абонентами, на етапі оперативного управління мережею ТА. Аналітичні моделі показників даних протоколів МД розглядаються в роботі [3].

2-й рівень МР складає мережа телекомунікаційних аероплатформ на основі БПЛА, що баражують на висоті h по колу мінімального радіусу навколо проекції точки свого оптимального положення $(x_{0k}, y_{0k}), k = \overline{1, K}$, де K – кількість БПЛА в мережі, утворюючи на земній поверхні стільники радіусом R . МА, що знаходяться в зоні радіопокриття ТА, можуть передавати через неї пакети іншим МА цю-

го ж стільника або через міжплатформні лінії МА інших стільників мережі, скорочуючи таким чином кількість ретрансляцій в довгих маршрутах. Тобто бортова апаратура БПЛА також представляє собою складний багатофункціональний пристрій з окремими радіоінтерфейсами (для зв'язку з МА та між собою), що дозволяє виконувати маршрутизацію пакетів по їх адресній інформації, ретранслюючи їх в середині стільника або за його межі. Міжплатформні з'єднання (ТА-ТА) працюють у дуплексному режимі із частотним ущільненням (FDMA), використовуючи набір несучих частот (f_4, f_5, f_6), розподілених за стільниковим принципом, з окремим демодулятором на кожній [8]. За допомогою єдиного передавача пакети направляються сусіднім ТА згідно наявним запитам в режимі розділення в часі. Вважається, що на борту кожного БПЛА є інформація про його місцеположення та розподіл частот по стільникам, що дозволяє при зміні його положення визначити яку з них слід використовувати в даний момент.

Таким чином можливі такі варіанти маршрутів передачі даних між МА (наприклад, між МА1 та МА10), що позначені суцільними потовщеними стрілками на рис. 1:

- 1) через мережу МА (МА1–МА2–...–МА10);
- 2) через мережу ТА (МА1–ТА1–ТА3–МА10);
- 3) змішаним шляхом (МА1–ТА1–МА6–...–МА10).

Таким маршрутам висуваються такі вимоги:

1. Вимоги до зв'язності (Ω_1):

а) вимоги до існування зв'язності заданої протяжності на всіх ділянках маршруту m_{ab} між заданою парою відправник a – адресат b : $d_{ij} \leq d^0$, $D_{ik} \leq D^0 (R_{ik} \leq R^0)$, $D_{kl} \leq D'$ $\forall ij, ik, kl \in m_{ab}$, $i, j = \overline{1, N}$, $k, l = \overline{1, K}$, де d_{ij}, d^0 – дальність між i -м та j -м МА та відповідне обмеження зверху, а D_{ik}, D^0 – похила дальність між i -м МА та k -м БПЛА та відповідне обмеження зверху; R_{ik}, R^0 – відстань між i -м МА та точкою надіру k -ого БПЛА та відповідно максимальний радіус зони стабільного покриття k -го БПЛА; D_{kl}, D' – дальність між k -м та l -м БПЛА та відповідне обмеження зверху. Величини d^0, D^0, R^0, D' визначаються, по-перше, енергетикою радіолінії, по-друге, ефективністю функціонування протоколів МД до спільного каналного ресурсу, що детально досліджується в [9].

б) вимоги до тривалості зв'язності кожної ділянки ij маршруту m_{ab} між заданою парою відправник a – адресат b : $T_{зв\ ij} \geq T_{зв}^0$, де $T_{зв}^0$ – мінімальний час протягом якого БПЛА може відпрацювати задане розміщення, встановити маршрут та здійснити передачу мінімальної кількості інформації.

Дослідження тривалості зв'язності мобільних абонентів розглядається у [10].

2. Вимоги до показників функціонування (Ω_2):

а) Вимоги до продуктивності маршруту m_{ab} між заданою парою відправник a – адресат b :

$$s(m_{ab}) \geq s^0, a, b = \overline{1, N}, m = \overline{1, M},$$

де N – кількість МА в мережі, M – кількість маршрутів в мережі, s^0 – мінімальний допустимий рівень продуктивності маршруту, що визначається вимогами до заданого типу трафіку (мова, дані, трансакції тощо).

б) Вимоги до затримки передачі (або кількості ретрансляцій) в маршруті m_{ab} між заданою парою відправник a – адресат b :

$$t_3(m_{ab}) \leq t_3^0 (l(m_{ab}) \leq l^0),$$

де $t_3^0 (l^0)$ – максимальна затримка передачі в маршруті, що визначається вимогами до заданого типу трафіку. Аналітичні моделі даних показників визначаються обраними протоколами МД та розглядаються у [3].

Вибір маршруту здійснюється на основі функціонування одного з відомих методів маршрутизації [11]. Для зручності управління топологією (місцеположенням) ТА краще використовувати таблично-орієнтовані методи (наприклад, OLSR), тоді кожен МА має власну маршрутну таблицю найкоротших шляхів Π_i до усіх інших вузлів мережі.

Для здійснення управління топологією (місцеположенням) ТА в мережі використовується центр управління (ЦУ), винесений за межі району r . Використовуючи окремий службовий канал (показано на рис. 1 пунктирною лінією), ЦУ через мережу БПЛА може легко зібрати вихідні дані про початкову топологію мережі в деякий момент часу t , а саме – координати та швидкість переміщення кожного МА $(x_i, y_i)_t, \vec{v}_i$ та попередньо введених БПЛА $X_{0k} = [x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}], \vec{V}_{0k}$, а також дані про функціонування мережі Π_i (існуючі маршрути та їх якість), та на основі запропонованого нижче методу здійснити відповідне управлінське рішення (наприклад, вивід нового БПЛА або переміщення одного з введених в деяке нове положення простору X_{0k}) для досягнення заданої цілі управління (тобто підвищення ПМ). При цьому вважається, що на момент планування мережі ТА ЦУ відома інформація про розподілення трафіку (навантаження) γ_{ab} між кожною парою відправник-адресат a - b , що задається матрицею тяжіння $\Gamma = \{\gamma_{ab}(t)\}$.

Тоді загальну постановку задачі можна сформулювати пfгим чином: визначити розміщення X групи телекомунікаційних аероплатформ (БПЛА) для максимізації продуктивності мережі S , тобто

$$S = f(X) \rightarrow \max_{X \in \Omega},$$

де Ω – ОДЗ, що визначається вимогами до зв'язності та показників функціонування МР;

$$X = [X_{01}, \dots, X_{0k}],$$

де $X_{01} = [x_{01}, y_{01}, z_{01}], \dots, X_{0k} = [x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}], k = \overline{1, K}$.

Перейдемо до формалізації, тобто до математичної постановки задачі.

Математична постановка задачі

Представимо МР у вигляді стохастичного ненаправленого зваженого графу $G(V, E)$, який складається з множини вершин (МА та ТА) $V = \{v_i\} \cup \{b_k\}$ та множини ребер (рис. 2)

$$E = \{(i, j) | d_{ij} \leq d^0\} \cup \{(i, k) | R_{ik} \leq R^0\} \cup$$

$$\cup \{(k, l) | D_{kl} \leq D^0\}, i, j = \overline{1, N}, k, l = \overline{1, K},$$

що визначають матрицю зв'язності $C = \{c_{ij}\}$, де $c_{ij} = \{0, 1\}$ – булева змінна. У якості ваги ребра може виступати протяжність відповідної радіолінії.

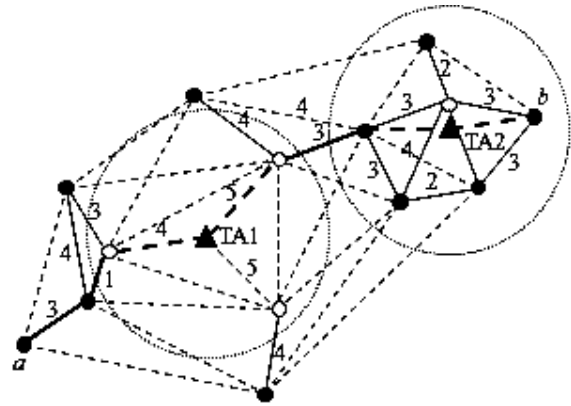


Рис. 2. Приклад графу $G(V, E)$ МР, що складається з 14 наземних вузлів та двох ТА

Зазвичай під *продуктивністю мережі* розуміють максимальне значення трафіку γ , яке мережа може обслужити в одиницю часу при незмінній матриці трафіку Γ [12]. Оскільки обслугованим вважається пакет, що передано з одного кінця маршруту в інший, то ПМ зазвичай представляють через суму продуктивності маршрутів між всіма парами відправник-адресат:

$$S(C) = \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N s(m_{ab}), a \neq b.$$

Продуктивність маршруту зазвичай визначається, як мінімальна продуктивність каналу, що входить до його складу, тобто

$$s(m_{ab}) = \min_{(i, j) \in m} \{s(c_{ij})\}.$$

Під *продуктивністю каналу* у даному випадку розуміється середня швидкість передачі пакетів, тобто середня кількість безконфліктно переданих пакетів за інтервал часу (в даній роботі за одиницю

часу прийнято час передачі самого пакету T). Дана величина визначається обраним протоколом МД, що використовується в каналі (розглядалися вище).

Нехай задані наступні *вихідні дані*: N ; K ; r ; $(x_i, y_i)_t, i = \overline{1, N}$; d^0, D^0, R^0, D' ; s^0 ; $t_3^0(1^0)$; $\Pi_i = \{l(m_{ab})\}$, $a, b = \overline{1, N}$; $\Gamma = \{\gamma_{ab}(t)\}$.

Тоді можемо сформулювати наступну *задачу управління положенням телекомунікаційних аероплатформ МР*: знайти в режимі реального часу координати положення ТА у просторі $X_{0k}, k = \overline{1, K}$ (матрицю зв'язності C^*), що забезпечує максимум продуктивності мережі $S(C)$:

$$C^* = \arg \max_{X_{0k} \in \Omega_{1,2,3}} S(C) = \arg \max_{X_{0k} \in \Omega_{1,2,3}} \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N s(m_{ab}), a \neq b \quad (1)$$

при винонанні обмежень на множину управлінських дій та ресурси мережі

$$\Omega_1: \{d_{ij} \leq d^0, R_{ik} \leq R^0, D_{kl} \leq D', T_{зв\ ij} \geq T_{зв}^0, \forall ij, ik, kl \in m_{ab}, i, j = \overline{1, N}, k, l = \overline{1, K}\},$$

$$\Omega_2: \{s(m_{ab}) \geq s^0, t_3(m_{ab}) \leq t_3^0, a, b = \overline{1, N}\},$$

$$\Omega_3: \{N \leq 200, K \leq 10\}.$$

Для вирішення цієї задачі запропоновано *метод* на основі управління положенням телекомунікаційних аероплатформ, який розглядається нижче.

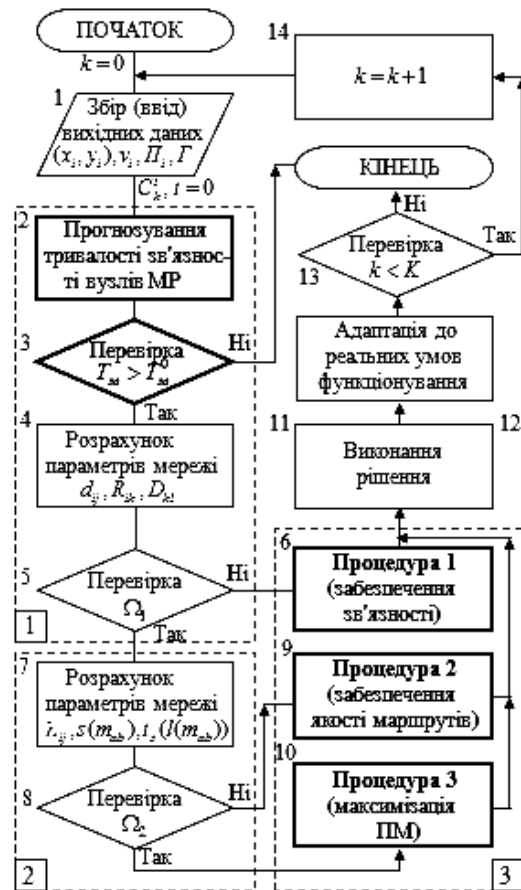
Метод підвищення продуктивності МР із ТА

В основу методу покладена ідея підвищення продуктивності мобільних радіомереж на основі управління положенням телекомунікаційних аероплатформ.

Суть ідеї полягає в тому, що оптимальне розміщення телекомунікаційних аероплатформ у просторі дозволяє створити таку структуру мережі, що має більшу кількість незалежних маршрутів передачі даних між абонентами, а згідно теореми Форда-Фалкерсона це дозволяє збільшити мінімальний перетин та максимальний потік, що мережа може пропустити в одиницю часу, тобто підвищити її продуктивність.

Суть методології, що втілює запропоновану ідею, полягає в тому, що пропонується об'єднати в єдину обчислювальну процедуру удосконалені математичні моделі оцінки структурно-функціональної зв'язності МА (детально розглядається в [13]) та модифікований алгоритм пошуку квазіоптимального положення ТА (детально розглядається нижче), що дозволить досягати близьких до екстремальних значень продуктивності мобільних радіомереж в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів.

Схема-алгоритм розробленого методу представлена на рис. 3.



- 1 Удосконалена мат. модель оцінки зв'язності вузлів СТМ із ТА [13]
- 2 Мат. моделі оцінки показників функціонування СТМ із ТА [3]
- 3 Удосконалений алгоритм пошуку квазіоптимального положення ТА [7]

Рис. 3. Схема-алгоритм методу підвищення продуктивності МР із ТА

Вона включає в себе такі кроки:

Крок 1. Збір інформації про початкову топологію мережі та ввід вихідних даних (на етапі планування) (блок 1):

- параметри МА: $N, (x_i, y_i)_t, \vec{v}_i, i = \overline{1, N}$, та виведених попередньо ТА: $X_{0k}, V_{0k}, k = \overline{1, K}$ (отримані через систему збору інформації по окремому каналу);
- допустимі значення параметрів: $d^0, D^0, R^0, D', T_{зв}^0, s^0, t_3^0(1^0), r$.
- кількість ТА на операцію K ;
- параметри протоколу МД та протоколу маршрутизації.

Зазначені вище параметри та їх обмеження визначають початкову топологію мережі МР без застосування ТА

$$C_k, k = \overline{1, K},$$

де $k = 0$ – номер ітерації пошуку рішення (порядковий номер ТА).

Крок 2. Прогнозування тривалості зв'язності вузлів МР із ТА на основі розроблених в [10] моделей переміщення МА (блок 2) та перевірка умови $T_{зв\ ij} \geq T_{зв}^0$ (блок 3), що визначає можливість ТА відпрацювати рішення до суттєвої зміни топології.

Крок 3. Аналіз наявності структурної зв'язності (блоки 3,4):

1. Розрахунок параметрів d_{ij} , R_{ik} , D_{kl} згідно розробленим в [9] аналітичним моделям.

2. Перевірка виконання обмежень Ω_1 (блок 5). Якщо умови виконуються, тоді перевіряємо додаткову умову цілісності мережі $k = 1$, інакше переходимо на крок 4. Під цілісністю мережі розуміється наявність лише однієї компоненти зв'язності (зв'язного підграфу) графу мережі. Перевірка цілісності мережі можливо шляхом побудови мінімального кістякового дерева (МКД) графу (наприклад, згідно алгоритму Пріма [14]) та перевірка кожного ребра дерева на виконання умови Ω_1 .

Крок 4. Виконання правила (процедури) 1 для забезпечення структурної зв'язності (блок 6), що входить до складу модифікованого алгоритму пошуку квазіоптимального положення ТА і розглядається детально в роботі [7].

У випадку наявності нових рішень, що забезпечують виконання умов Ω_1 , виконується вивід БПЛА у задану позицію (етап розгортання) (блок 11) та адаптація параметрів протоколу МД до реальних умов функціонування (блок 12) згідно процедур вказаних у [3] (етап оперативного управління).

Потім здійснюється перевірка наявності апаратного ресурсу (БПЛА) (блок 13). У випадку наявності ($k < K$), переходимо на крок 1, інакше – КІНЕЦЬ.

Крок 5. Збір інформації про функціонування мережі (блок 1):

- матриці найкоротших маршрутів Π_i ;
- матриці тяжіння Γ .

Збір зазначеної інформації може виконуватися на етапі планування у випадку наявності виведених БПЛА (через канал зв'язку із центром управління, як показано на рис. 1) або на етапі розгортання шляхом «зчитування» даних з будь-якого наземного вузла МР (за допомогою функціонування одного із протоколів маршрутизації [11]).

Крок 6. Аналіз вимог до якості маршрутів передачі (блоки 7,8):

1. Розрахунок параметрів функціонування мережі λ , $s(m_{ab})$, $\bar{t}_3(I(m_{ab}))$ згідно співвідношень вказаних у [3].

2. Перевірка виконання обмежень Ω_2 . Якщо умови виконуються, тоді переходимо на крок 8, інакше переходимо на крок 7.

Крок 7. Виконання правила (процедури) 2 для забезпечення якості маршрутів (блоки 9, 11-14), що

входить до складу модифікованого алгоритму пошуку квазіоптимального положення ТА та розглядається детально в роботі [7].

У випадку наявності нових рішень, що забезпечують виконання умов Ω_1 , виконується етап оперативного управління (аналогічно кроку 4).

Крок 8. Виконання правила (процедури) 3 для підвищення продуктивності мережі (блок 10), що входить до складу модифікованого алгоритму пошуку квазіоптимального положення ТА та розглядається детально в роботі [7]. Далі аналогічно (блоки 11-14).

У випадку виведення усіх БПЛА кожним з них періодично на етапі оперативного управління здійснюється відпрацювання розглянутої вище схеми для перевірки необхідності зміни своєї позиції (при цьому усі вузли мережі вважаються фіксованими у заданий момент часу), причому період відпрацювання методу управління має бути достатньо великим, щоб побудувати маршрути та передати по ним мінімальну кількість даних, та одночасно достатньо малим, щоб топологія мережі не змінилася значним чином. Частоту відпрацювання даного методу визначається згідно тривалості зв'язності між МА, що прогнозується на основі моделей переміщення МА, які розглядаються в роботі [10].

Також припускається, що за час збору вихідних даних, виконання розрахунків та виведення БПЛА у задану позицію, топологія мережі не зміниться значним чином.

Оцінка ефективності запропонованого методу

Модельювання функціонування МР із ТА здійснювалося на базі комп'ютерного середовища Maple. Для цього застосовувалися наступні вихідні дані:

$$N = 140; K = 5; r = 10000 \times 10000 \text{ м}^2;$$

усі МА мають однаковий радіус передачі $d^0 = 600 \text{ м}$;

усі ТА утворюють на землі однакові зони радіопокриття радіусу $R^0 = 1500 \text{ м}$;

алгоритм пошуку найкоротших шляхів – Дейкстри;

усі МА переміщуються з однаковою швидкістю $v_i = 2 \text{ м/с}$, $i = \overline{1, N}$;

модель переміщення – випадкове блукання полем, що детально розглядається в [10];

швидкість передачі в кожному каналі – $V = 11 \text{ Мбіт/с}$;

$$\text{довжина пакетів однакова } L = 1024 \text{ біт};$$

усі абоненти без пріоритету в обслуговуванні, тобто матриця розподілу трафіку Γ – однорідна;

тип трафіку – однорідний пуасонівський (без пріоритету в обслуговуванні);

тип обслуговування пакетів в вузлах мережі – з очікуванням без обмеження довжини черги.

Враховуючи ці вихідні, досліджувалися три варіанти системи управління положенням ТА:

СУ1 – система управління (на основі принципів побудови стільникових радіомереж, тобто розміщення ТА в районі найбільшого скупчення вузлів).

СУ2 – система управління на основі методу повного перебору (повний перебір усіх можливих варіантів розміщення ТА на основі решітчастої ініціалізації з кроком решітки $\Delta = 50$ м).

СУ3 – система управління на основі запропонованого методу (сукупності правил).

Порядок оцінки ефективності запропонованого методу був наступний:

1) визначення початкової топології мережі МА в деякий момент часу t та розміщення ТА згідно СУ1, СУ2 та СУ3 (рис. 4);

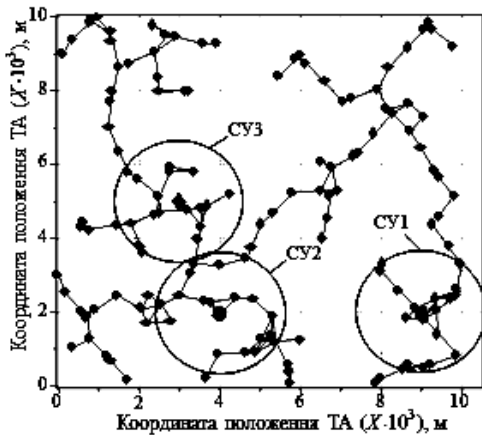


Рис. 4. Початкова топологія мережі із розміщенням ТА згідно СУ1, СУ2 та СУ3

2) розрахунок ПМ $S(C)$ для розміщення ТА згідно кожної СУ. Визначення виграшу СУ2, СУ3 відносно СУ1 та достовірності результатів кожної відносно методу повного перебору (рис. 5 – 7);

3) Розрахунок часу пошуку рішення для запропонованого методу (СУ3) та методу повного перебору (СУ2) та порівняння значень із тривалістю зв'язності МА.

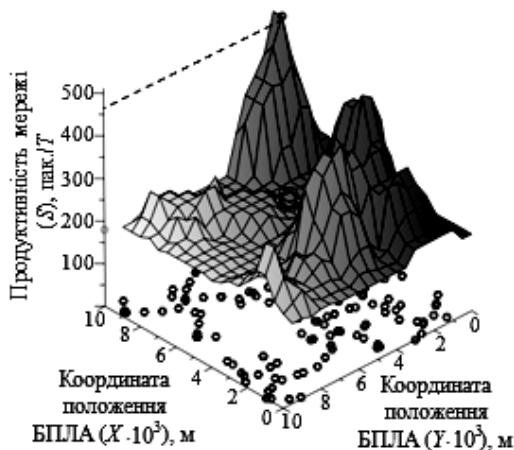


Рис. 5. Залежність ПМ від координат розміщення однієї ТА (згідно СУ3)

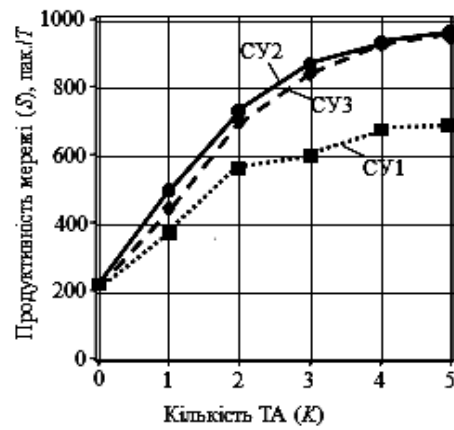


Рис. 6. Залежність ПМ від кількості виведених ТА при різних системах управління положенням ТА

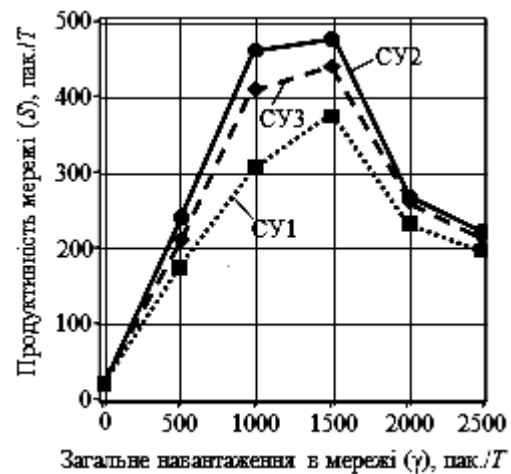


Рис. 7. Залежність ПМ від загального навантаження при різних системах управління положенням ТА

Аналізуючи графіки залежності ПМ від загального навантаження в мережі при різних системах управління можемо бачити, що в діапазоні трафіку 500...2000 пакетів протягом нормованого часу передачі пакету T запропонована система управління положенням ТА (СУ3) значно переважають базову систему (СУ1), а в інших діапазонах усі СУ майже однаково неефективні.

Отже, проведена оцінка ефективності запропонованого методу дозволяє зробити наступні висновки:

1) вигреш запропонованого методу (СУ3 відносно СУ1) при випадковій генерації 100 варіантів початкової топології становить 15-20%;

2) відхилення значення ПМ (при СУ3) відносно методу повного перебору (СУ2) становить 5-7%;

3) час отримання рішення згідно запропонованого методу (СУ3) становить одиниці/десятки секунд на відміну від одиниць/десятків хвилин для СУ2, що при середній тривалості зв'язності між МА 348с згідно [10] дозволяє виконувати управління положенням ТА в режимі реального часу.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає у розробці методу підвищення продуктивності МР з управлінням положенням ТА в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів.

Відмінність розробленого методу від відомих полягає в тому, що вперше запропоновано об'єднати в єдину обчислювальну процедуру математичні моделі оцінки структурно-функціональної зв'язності мобільних абонентів та модифікований алгоритм пошуку квазіоптимального положення телекомунікаційних аероплатформ. Це дозволяє досягати суттєвих значень продуктивності мобільних радіомереж в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів. Середній виграш від застосування запропонованого методу становить 15-20% відносно базової системи управління положенням телекомунікаційних аероплатформ.

Відхилення рішень згідно запропонованого методу від результатів, отриманих методом повного перебору, не перевищує 5-7%.

Список літератури

1. Ильченко М.Е., Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ / М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук. – К.: Наук. думка, 2008. – 580 с.
2. Міночкін А.І. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мережі зв'язку військового призначення / А.І. Міночкін, В. А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2005. – № 2. – С. 83–90.
3. Ильченко М.Е. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов / М.Е. Ильченко, С.Г. Бунин, А.П. Войтер. – К.: Наукова думка, 2003. – 266 с.
4. Basu P. Coordinated Flocking of UAVs for Improved Connectivity of Mobile Ground Nodes / P. Basu, J. Redi, V. Shurbanov // IEEE MILCOM'04 : Military Communications Conference, October 31 – November 3 2004 : proceedings. – Monterey, 2004. – Vol. 3. – P. 1628 – 1634.

5. Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов / И.А. Мизин, В.А. Богатырев, А.П. Кулешов; под ред. В. С. Семенихина. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

6. Lysenko O.I. A method of controlling the topology of aerial repeaters network to improve structural information connectivity of wireless ad hoc networks / O.I. Lysenko, I.V. Uryadnikova, S.V. Valuiskyi, I.O. Nechyporenko // Military & Science. – 2012. – Vol. 7. – № 1. – P. 62 – 70.

7. Lysenko O.I. Capacity increasing of sensor telecommunication networks / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi // Telecommunication Sciences. – 2012. – Vol. 3. – № 1. – P. 5 – 11.

8. Байндер Р. Архитектуры межспутниковых каналов для многоспутниковой системы связи / Р. Байндер, С. Д. Хаффмен, И. Гуранц, П.А. Вина // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75. – С. 90 – 100.

9. Лисенко О.І. Визначення показників векторного критерію для оцінки зв'язності безпроводових епізодичних мереж із використанням безпілотних літальних апаратів / О.І. Лисенко, С.В. Валуйський // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАНУ. – 2010. – Вип. 57. – С. 134–141.

10. Валуйський С.В. Оцінка тривалості зв'язності мобільних абонентів епізодичних радіомереж / С.В. Валуйський // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 3. – С. 6 – 11.

11. Миночкин А.И. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 1. – С. 31–36.

12. Тобаги Ф.А. Моделирование и анализ характеристик многопролетных пакетных радиосетей / Ф.А. Тобаги // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75. – С. 162 – 186.

13. Валуйський С.В. Методика оцінки зв'язності вузлів епізодичних радіомереж із телекомунікаційними аероплатформами / С.В. Валуйський // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2012. – Вип. 5. – С. 21 – 29.

14. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

Надійшла до редколегії 10.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.Я. Жук, Національний технічний університет України «КПІ», Київ.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЕЙ

С.В. Валуйский

В работе решается важная научно-техническая задача, которая состоит в разработке метода повышения производительности мобильных радиосетей на основе управления положением телекоммуникационных аэроплатформ в условиях быстрого и непредсказуемого перемещения мобильных абонентов. Применение разработанного позволяет оперативно повышать производительность сети на 15-20% в сравнении с существующими методами. Отклонение решений согласно предложенного метода от результатов, полученных методом полного перебора, не превышает 5-7%.

Ключевые слова: мобильная радиосеть, телекоммуникационная аэроплатформа, производительность, управление положением, мобильный абонент.

METHOD FOR INCREASING THROUGHPUT OF MANET

S.V. Valuiskyi

The paper is devoted to the important scientific and technical task, which is to develop a method of increasing mobile ad-hoc networks throughput based on the placement control of telecommunication aerial platforms in view of the rapid and unpredictable movement of mobile subscribers. Application of the method allows to increase the network throughput to 15-20% in comparison with existing methods. Deviations of solutions, received by proposed method, from results, received by exhaustive search method, are not more than 5-7%.

Keywords: MANET, UAV, throughput, placement control, mobile subscriber.