

С.М. ЧУМАЧЕНКО, С.В. ВАЛУЙСЬКИЙ

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту МНС України, м. Київ

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ПОШУКУ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ АЕРОПЛАТФОРМ В РАМКАХ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає у вдосконаленні алгоритму пошуку квазіоптимального положення телекомунікаційних аероплатформ в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів пошуково-рятувальних груп при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Постановка проблеми. Враховуючи динаміку зростання кількості авіаційних рейсів над територією України (9% на рік), що збільшує ймовірність виникнення авіаційних подій та надзвичайних ситуацій різного характеру при падінні повітряного судна на населені пункти та потенційно небезпечні техногенні об'єкти, система авіаційного пошуку та рятування потребує наукового дослідження з метою підвищення її ефективності. Однією з ключових задач системи є оперативне забезпечення зв'язку в підрозділах наземних пошуково-рятувальних груп. Це можливо шляхом розгортання епізодичних радіомереж (ЕРМ) із використанням телекомунікаційних аероплатформ (ТА). Мобільні абоненти (МА) таких мереж можуть вільно переміщуватись в заданому районі пошуку 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 алгоритмів, які б дозволяли швидко реагувати на структурні та функціональні зміни, забезпечуючи ті чи інші цілі управління, зокрема підвищення пропускної здатності (ПЗ) мережі, зв'язності абонентів, надійності, живучості тощо.

Невирішені частини проблеми. Вивченням питання оптимального розміщення ТА на основі малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за різноманітними критеріями займалися багато вітчизняних та іноземних науковців [1-3]. Однак не дивлячись на вагомий вклад цих вчених, недостатньо розв'язаною на сьогодні є проблема оперативного оптимального управління положенням множини ТА в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення МА, що спричиняє швидку зміну структурно-функціональних параметрів мережі. Проф. Романюком В.А. [3] була запропонована функціональна модель системи оперативного управління мережею БПЛА, складовою якої є підсистема управління топологією. Вона визначає оптимальне положення множини ТА згідно обраного критерію та скеровує підсистему управління польотом для виконання заданої цілі. Більшість розроблених на сьогодні алгоритмів, що закладаються в підсистему управління топологією мережі ТА, мають велику обчислювальну складність та при обмеженому обчислювальному ресурсі, що мають бортові пристрої малих БПЛА, не дозволяють виконувати оптимальне управління положенням БПЛА у режимі реального часу, а отже підлягають вдосконаленню. В роботах проф. Лисенка О.І. та Валуйського С.В. [4,5] започатковано методологію оптимального оперативного управління топологією

мережі ТА для підвищення ПЗ ЕРМ, результати якої покладені в основу даної статті та дістануть подальшого розвитку.

Метою роботи є підвищення оперативності пошуку квазіоптимального положення телекомунікаційних аероплатформ в умовах їх швидкого та непередбачуваного переміщення. Відповідно до поставленої мети, в роботі ставляться і вирішуються такі взаємозалежні завдання:

1. Проаналізувати принципи функціонування ЕРМ із ТА.
2. Удосконалити алгоритм пошуку квазіоптимального положення ТА, що дозволить отримувати в режимі реального часу близькі до оптимальних рішення і здійснювати оперативне управління положенням ТА.
3. Оцінити ефективність удосконаленого алгоритму.

Основні результати дослідження. Першим етапом дослідження є аналіз функціонування ЕРМ із ТА. На даному етапі розглядаються основні аспекти функціонування та управління топологією (місцезоположенням) ТА ЕРМ. Приклад архітектури такої мережі показано на рис. 1.



Рис. 1. Приклад архітектури ЕРМ із використанням ТА

1-й рівень ЕРМ складає мережа мобільних абонентів (МА), що можуть довільним чином переміщуватися в деякому районі розміру пошуку r . При наявності прямої видимості МА зв'язуються між собою через спільний широкомовний 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.

2-й рівень ЕРМ складає мережа телекомунікаційних аероплатформ на основі БПЛА, що баражують на висоті h по спеціально заданій траєкторії 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 цього ж стільника на частотах f_2, f_3 або через міжплатформні лінії на частотах f_4, f_5 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.

Таким чином можливі наступні 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). Зазвичай таким маршрутам висуваються вимоги до зв'язності та показників функціонування (ПЗ $s(m_{ab})$, затримки передачі $t_z(m_{ab})$ тощо), що детально розглядаються в роботі [5].

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 виведених БПЛА $X_{0k} = [x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}], \vec{V}_{0k}$, а також дані про функціонування мережі (наприклад, існуючі маршрути та їх якість), та на основі запропонованого нижче алгоритму здійснити відповідне управлінське рішення (наприклад, вивід нового БПЛА або переміщення одного з виведених в деяке нове положення простору X_{0k}) для досягнення заданої цілі управління (наприклад, підвищення ПЗ мережі).

Тоді загальну постановку задачі можна сформулювати наступним чином: визначити розміщення X (або відповідну матрицю зв'язності мережі C) групи ТА (БПЛА) для оптимізації деякої цільової функції, наприклад, пропускної здатності мережі S , тобто $S = f(X(C)) \rightarrow \max$, де Ω – ОДЗ, що визначається вимогами до зв'язності (Ω_1) та показників функціонування ЕРМ (Ω_2) [5]; $X = [X_{01}, \dots, X_{0k}]$, де $X_{01} = [x_{01}, y_{01}, z_{01}], \dots, X_{0k} = [x_{0k}, y_{0k}, z_{0k}], k = \overline{1, K}$.

Для вирішення цієї задачі запропоновано удосконалений *алгоритм* на основі бази знань попередньо розроблених правил, який розглядається нижче.

Алгоритм знаходження нового положення БПЛА у загальному випадку зводиться до перебору усіх можливих варіантів розміщення БПЛА. Однак ця задача відноситься до класу NP -повних, тому для скорочення повного перебору варіантів розміщення БПЛА пропонується використовувати попередньо розроблену *сукупність правил* відбору варіантів такої зміни зв'язності мережі, що підвищують її пропускну здатність, а також зменшують час обчислень. Це дозволяє отримати в режимі реального часу близькі до оптимальних рішення і використовувати алгоритм для оперативного управління положенням телекомунікаційних аероплатформ. Схема удосконаленого алгоритму пошуку квазіоптимального положення ТА із використанням сукупності правил (на випадок підвищення ПЗ) показана на рис. 2.

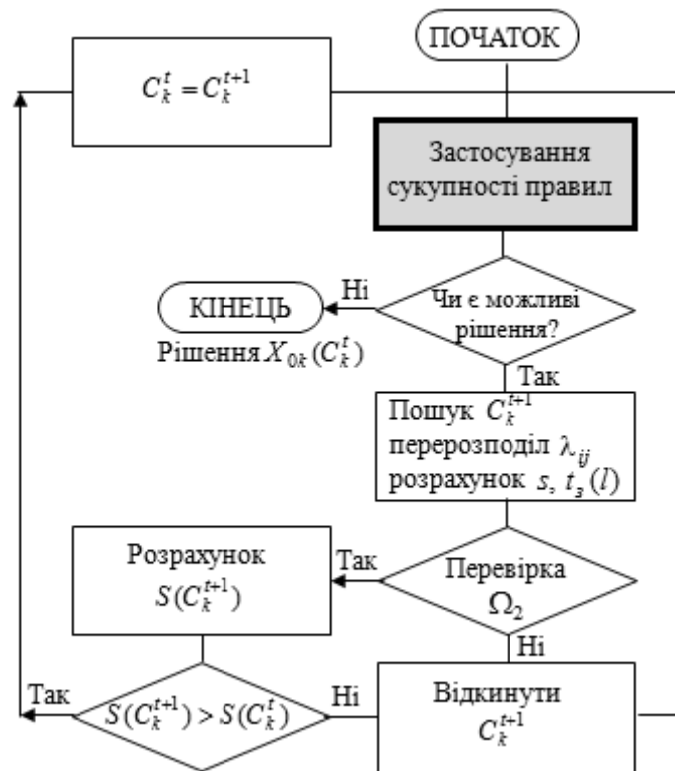


Рис. 2. Схема удосконаленого алгоритму пошуку квазіоптимального положення ТА із використанням сукупності правил.

Порядок застосування сукупності правил (на випадок підвищення ПЗ мережі), як показано на рис. 3, має наступні кроки:

Крок 1. Пошук нового рішення (топології із застосуванням поточного БПЛА) C_k^{t+1} за допомогою певних евристичних правил (та відповідних процедур їх реалізації), що забезпечують оптимум цільової функції (максимум ПЗ мережі S).

Крок 2. Побудова маршрутних таблиць $\Pi_i(C_k^{t+1})$, що визначаються матрицею тяжіння та прийнятим методом маршрутизації. Перерозподіл потоків λ_{ij} згідно $\Pi_i(C_k^{t+1})$. Розрахунок параметрів $s(m_{ab}), \bar{t}_3(l(m_{ab}))$ для існуючих пар відправник-адресат згідно аналітичних моделей [6].

Крок 3. Перевірка виконання умов Ω_2 для C_k^{t+1} . Якщо Ω_2 не виконуються або $S(C_k^{t+1}) < S(C_k^t)$, то відкинути C_k^{t+1} , інакше $C_k^t = C_k^{t+1}$.

Сукупність правил представляють собою правила продукційного типу, що складаються з двох компонент: умова та дія [7]. Умова визначає можливість застосування правила у кількісному виразі, а дія використовується для задоволення умови та описує зміну зв'язності мережі, що призводить до досягнення однієї з цілей управління: $\text{Пр}_i: \alpha_i \rightarrow \beta_i$, де Пр_i – i -е правило; α_i – умова; β_i – управлінська дія. Управлінська дія у даному випадку передбачає вивід (переміщення) БПЛА у певну точку простору.

Якщо декілька правил успішно зіставлені з фактами, то можливе застосування метаправил, що дозволить вибирати одне з правил. Метаправила визначають перевагу правил в залежності від p -ї цілі управління мережею (МПр _{i} : $\text{Пр}_i \rightarrow w_j^p$). Те правило, що в більшій степені покращує потрібні параметри, буде мати більшу вагу w_i^k .

В результаті експериментальних досліджень структури мережі та застосування теорії графів [8] було отримано досить багато структурних правил та опубліковано в роботі [9]. Ці правила були ретельно досліджені та на їх основі були розроблені нові

модифіковані правила та відповідні управлінські дії (щодо квазіоптимального розміщення БПЛА у просторі).

Усі правила класифіковано на три групи: 1) для забезпечення вимог до зв'язності мережі (Ω_1); 2) для забезпечення вимог до функціональних показників (Ω_2); 3) для підвищення ПЗ мережі.

Наведемо приклад декількох правил (метаправил) та процедур їх реалізації по одному для кожної групи.

Правило №1. Якщо кількість компонент зв'язності (незв'язних підграфів) графу мережі $k > 1$, тоді ТА необхідно розмістити так, щоб з'єднати якомога більшу кількість компонент зв'язності.

Мета-правило №1. Якщо є декілька варіантів розміщення ТА, що поєднує однакову кількість компонент зв'язності, то обрати той, що покриває більшу кількість вузлів цих компонент.

Для реалізації цього правила може бути використана процедура із використанням решітчастої ініціалізації (рис. 3а), що передбачає перебір варіантів розміщення БПЛА у кожному вузлі решітки та вибір такого, що задовольняє правилу або мета-правилу.

Правило №2. Якщо середня затримка передачі (кількість ретрансляцій) в деяких маршрутах більше необхідної, тоді ТА необхідно розмістити так, щоб зменшити середню затримку передачі (кількість ретрансляцій) в маршруті.

Мета-правило №2. Якщо є декілька варіантів розміщення ТА, що однаково зменшує затримку в маршрутах, то слід обрати той, що дозволяє максимізувати ПЗ маршрутів.

Для того, щоб зменшити середню затримку передачі (кількість ретрансляцій в маршруті), необхідно розмістити БПЛА так, щоб покрити пару заданих вузлів відправник-адресат у кращому випадку або ж пару найбільш віддалених (по кількості ретрансляцій) вузлів маршруту.

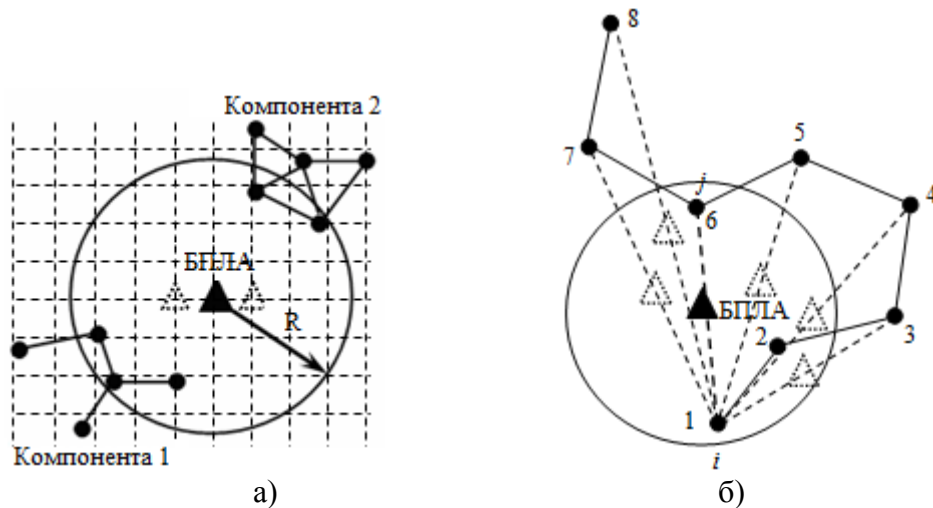


Рис. 3. Ілюстрація до процедури реалізації правила №1 із застосуванням решітчастої ініціалізації (а) та правила №2 із застосуванням центроїдної ініціалізації (б)

Для цього пропонується застосовувати таку просту процедуру, засновану на центроїдній ініціалізації (рис. 3б):

1. Визначити маршрут m_{ab} (маршрути) мережі, для якого не виконується умова $\overline{t_3} \leq t_3^0$ ($l(m_{ab}) \leq l^0$), та кількість ретрансляцій $l^0 = N - 1$, що входять до нього, де N – кількість вузлів в маршруті.

2. Побудувати прямі відрізки, що з'єднують заданий вузол i маршруту (наприклад, $i=1$, як показано на рис. 3б) зі всіма іншими вузлами j даного маршруту, $i, j = \overline{1, N}$.

3. Перевірити можливість покриття зоною обслуговування ТА радіусу R кожного відрізка ij (при розміщенні ТА в центрі кожного відрізка): $r_{ij} \leq 2R$.

4. Для всіх відрізків, для яких виконується попередня умова, розрахувати нову кількість ретрансляцій маршруту із використанням ТА по наступній формулі:

$$l_{ij}(m_{ab}) = \begin{cases} |N-j| + |1-i| + 2, & i < j \\ |N-i| + |1-j| + 2, & i > j \end{cases}, \quad a, b, i, j = \overline{1, N}.$$

5. Серед усіх можливих відрізків вибрати той, що при розміщенні у його центрі ТА дозволить максимально скоротити кількість ретрансляцій в маршруті.

Обчислювальна складність процедури складатиме $O(N^2)$.

При застосуванні наведеної вище процедури БПЛА буде розміщений у центрі відрізка 1-6, що дозволить утворити новий маршрут 1-БПЛА-6-7-8, що має 4 ретрансляції замість 7-ми при відсутності БПЛА (маршрут 1-2-...-7-8).

У випадку, коли є декілька рішень (щодо розміщення БПЛА), які дають однакову кількість ретрансляцій в маршруті, можна застосовувати певні мета правила, направлені, наприклад, на досягнення більшої пропускної здатності маршруту.

Правило №3. Якщо необхідно підвищити пропускну здатність мережі, то ТА необхідно розмістити таким чином, щоб покрити максимальну кількість перевантажених вузлів мережі.

Перевантаженими вузли можуть бути у випадку, коли черга буферу постійно зростає через надвисоку інтенсивність надходження пакетів на обслуговування, та/або у випадку, коли через велике скупчення вузлів зростає кількість колізій при організації МД. У будь-якому випадку будемо вважати вузли перевантаженими, якщо пропускна здатність інцидентних їм каналів не задовольняє вимозі $s(m_{ab}) \geq 0,5$. Розміщення ТА над таким скупченням перевантажених вузлів (рис. 4) дозволить організувати нові маршрути передачі даних між вузлами (при функціонуванні одного з відомих протоколів маршрутизації), що дозволить вирівняти баланс навантаження в мережі та підвищити її пропускну здатність.

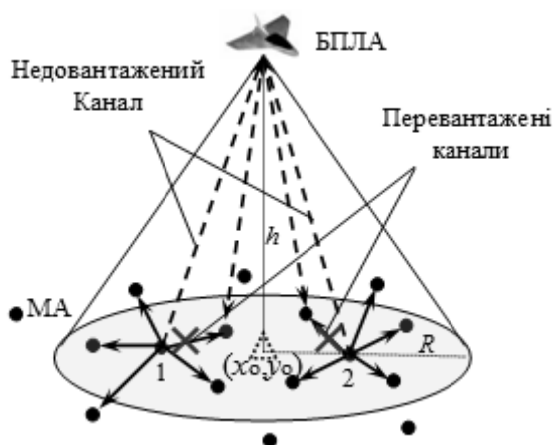


Рис. 4. Ілюстрація до процедури реалізації правила №2 із застосуванням центроїдної ініціалізації

Для реалізації цього правила може бути використана решітчаста ініціалізація у поєднанні з центроїдною:

1. Згідно решітчастої ініціалізації здійснюється пошук максимальної кількості перевантажених вузлів.

2. Згідно центроїдної ініціалізації здійснюється пошук квазіоптимального положення ТА в центрі мас перевантажених вузлів. Центр мас групи перевантажених вузлів можна визначити так:

$$x_{0k} = \sum_{i=1}^{N^{nep}} \alpha_i x_i, \quad y_{0k} = \sum_{i=1}^{N^{nep}} \alpha_i y_i,$$

де $\alpha_i = 1/N^{nep}$, N^{nep} - кількість вузлів групи перевантажених вузлів. Також зазначимо, що $\sum_{i=1}^{N^{nep}} \alpha_i = 1$.

Заключним етапом дослідження є оцінка ефективності удосконаленого алгоритму. Моделювання функціонування ЕРМ 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; всі 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 – $V = 11 \text{ Мбіт/с}$; 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 дані, 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 решітчасної ініціалізації з кроком решітки $\Delta = 50 \text{ м}$).

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

Порядок оцінки ефективності запропонованого алгоритму був наступний:

1) визначення початкової топології мережі МА в деякий момент часу t та розміщення ТА згідно СУ1, СУ2 та СУ3 (рис. 5а);

2) розрахунок ПЗ мережі $S(C)$ для розміщення ТА згідно кожної СУ. Визначення виграшу СУ2, СУ3 відносно СУ1 та достовірності результатів кожної відносно методу повного перебору (рис. 5б, 6а, б);

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

Аналізуючи графіки залежності ПЗ мережі 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 переважає базову систему (СУ1), а в інших діапазонах усі СУ майже однаково неефективні.

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

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

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

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

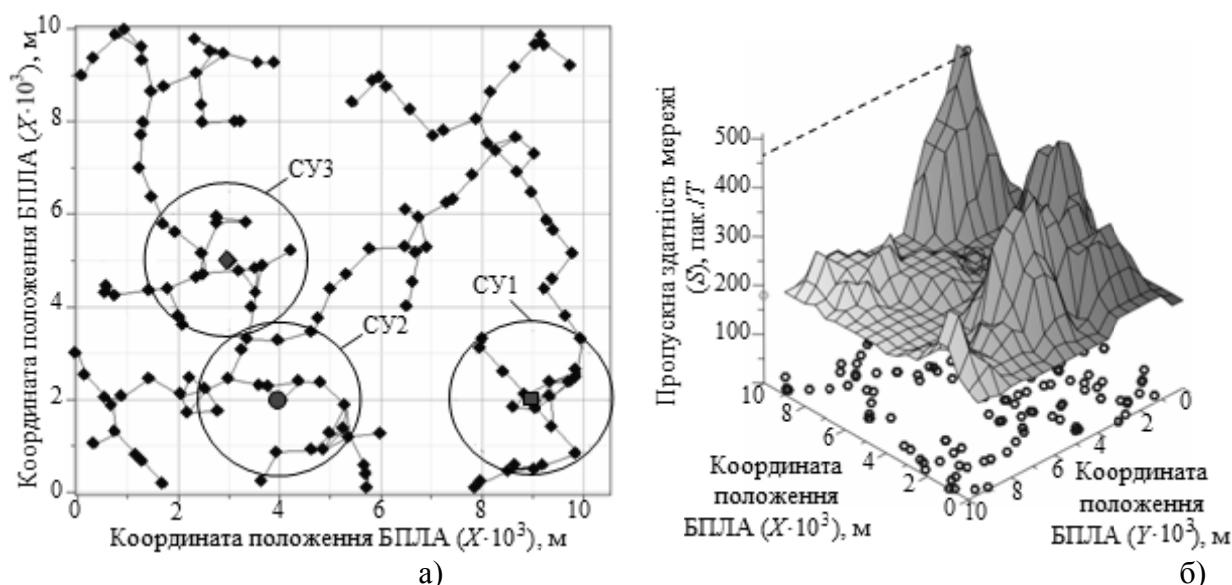


Рис. 5. Початкова топологія мережі із розміщенням БПЛА згідно CY1, CY2 та CY3 (а) та залежність ПЗ мережі від координат розміщення одного БПЛА (згідно CY3) (б)

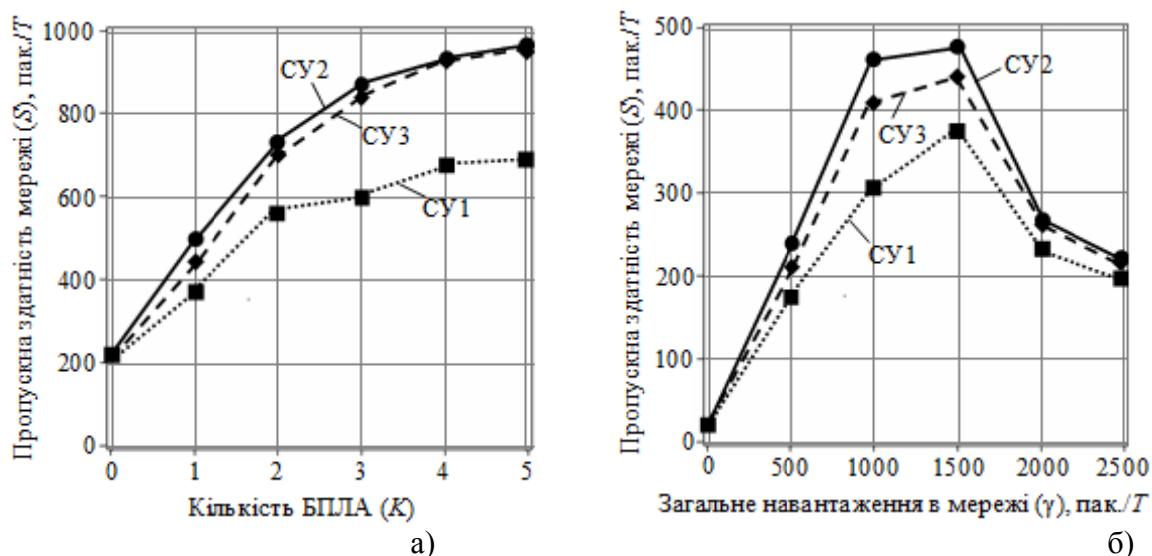


Рис. 6. Залежність ПЗ мережі від кількості виведених ТА (а) та від загального навантаження в мережі (б) при різних системах управління положенням ТА

Висновки. Вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає у вдосконаленні алгоритму пошуку квазіоптимального положення телекомунікаційних аероплатформ в умовах швидкого та непередбачуваного переміщення мобільних абонентів пошуково-рятувальних груп при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Суть удосконалення алгоритму полягає в тому, що вдалося уникнути повного перебору варіантів розміщення телекомунікаційних аероплатформ завдяки використанню попередньо розробленої сукупності правил відбору варіантів такої зміни зв'язності мережі, що підвищує її пропускну здатність, а також зменшує час обчислень. Результати моделювання свідчать, що середній час отримання рішення із застосуванням сукупності правил становить одиниці/десятки секунд на відміну від одиниць/десятих хвилин для методу повного перебору, що при середній тривалості зв'язності між МА 348с згідно [10] дозволяє виконувати управління положенням ТА в режимі реального часу. Відхилення квазіоптимальних рішень від оптимальних, отриманих методом повного перебору, не перевищує 5-7%.

1. Chandrashekar K. Providing full connectivity in large ad-hoc networks by dynamic placement of aerial platforms / K. Chandrashekar, M. R. Dekhordi, J. S. Baras // IEEE MILCOM'04 : Military Communications Conference, October 31 – November 3, 2004 : proceedings. – Monterey, 2004. – Vol. 3. – P. 1429–1436.
2. Han Z. Smart deployment/movement of unmanned air vehicle to improve connectivity in MANET / Z. Han, A. L. Swindlehurst, K. J. R. Liu // IEEE Wireless Communications and Networking : conference, April 3-6, 2006 : proceedings. – Las Vegas, 2006. – P. 252–257.
3. Міночкін А. І. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення / А. І. Міночкін, В. А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2005. – № 2. – С. 83–90.
4. Лисенко О.І. Структурно-інформаційна надійність безпроводових епізодичних мереж / О. І. Лисенко, С. В. Валуйський // Telecommunication Sciences. – 2011. – vol. 2. – № 1. – P. 17 – 25.
5. Лисенко О. І. Метод управління топологією мережі повітряних ретрансляторів для підвищення структурно-інформаційної зв'язності безпроводових епізодичних мереж / О. І. Лисенко, С. В. Валуйський // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 1. – С. 117–126.
6. Ильченко М. Е. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов / М. Е. Ильченко, С. Г. Бунин, А. П. Войтер. – К.: Наук. думка, 2003. – 266 с.
7. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
8. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: КомКнига, 2006. – 296 с.
9. Миночкин А. И. Управление топологией мобильной радиосети / А. И. Миночкин, В. А. Романюк // Зв'язок. – 2003. – №2. – С. 28–33.
10. Валуйський С. В. Оцінка тривалості зв'язності мобільних абонентів епізодичних радіомереж / С. В. Валуйський // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 3. – С. 6–11.

С.Н. Чумаченко, С.В. Валуйський

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ АЭРОПЛАТФОРМ В РАМКАХ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РОБОТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Решена важная научно-техническая задача, которая состоит в усовершенствовании алгоритма поиска квазиоптимального размещения телекоммуникационных аэроплатформ в условиях быстрого и непредсказуемого перемещения мобильных абонентов поисково-спасательных групп при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

S. Chumachenko, S. Valuisky

IMPROVED ALGORITHM OF SEARCHING OF QUASI-OPTIMAL PLACEMENT OF TELECOMMUNICATION AERIAL PLATFORMS DURING SEARCH AND RESCUE OPERATIONS FOR EMERGENCY RESPONSE

The paper is devoted to the important scientific and technical task, which is to improve the algorithm of searching of quasi-optimal placement of telecommunication aerial platforms in view of the rapid and unpredictable movement of mobile subscribers of search and rescue groups.