

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ І БПЛА

Лисенко О.І., Валуйський С.В.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»

E-mail: samubf@gmail.com

Applied Aspects of Wireless Sensor Networks and UAVs

The article discusses new applied aspects of wireless sensor networks and UAVs, in particular remote data collection using UAV, drone application in telco for network optimization, tower audit and remote inspection, line of sight planning etc.

Безпроводові сенсорні мережі і безпілотні літальні апарати (БПЛА) на сьогодні знаходять широке коло застосування: моніторинг параметрів навколишнього середовища, моніторинг диких тварин і людської життєдіяльності, моніторинг надзвичайних ситуацій, трекінг цілей, доставка товарів і т.ін. Останнім часом з'являються спроби застосовувати БСМ і БПЛА навід у телекомунікаціях. Зокрема компанією Nokia було проведено тестування дронів для оптимізації мережі мобільного оператора у місцях масового скупчення людей (стадіони, спортивні ігри тощо), віддаленої інспекції мобільних веж, планування лінії прямої видимості радіорелейних ліній зв'язку [1]. Разом із зростанням кількості дронів їх застосування виникають сумужні проблеми – безпека повітряного руху, віддалене управління і моніторинг польоту. Так компанією Nokia в рамках програми «Drones for good» було запропоновано систему моніторингу і управління польотами дронів із використанням LTE мережі [2]. Разом із ростом застосувань зростає і кількість наукових математичних задач, які потребують вирішення, зокрема планування оптимальної траєкторії польоту дронів, що мінімізує їх енерговитрати, чому і присвячена дана стаття.

При наявності групи БПЛА збір інформації з віддалених сенсорів можливо шляхом організації безпроводової сенсорної мережі із ретрансляцією (маршрутизацією) сигналів через мережу повітряних ретрансляторів, розташованих на БПЛА. Детально це розглядалося в [3]. Однак при цьому необхідною вимогою є повне радіо покриття сенсорів повітряними ретрансляторами (маршрутизаторами), що не завжди доцільно та не завжди вдається на практиці. Тому в даній роботі пропонується здійснювати збір інформації за допомогою одного БПЛА, що послідовно облітає всі сенсори, зчитує з них дані (коли знаходиться в зоні взаємної радіо видимості), запам'ятовує їх і «скидає» в пункт спостереження при поверненні в початкову точку. Це дасть змогу заощадити на кількості БПЛА, однак при цьому суттєво знизиться оперативність отримання інформації. Тому виникає необхідність пошуку такого маршруту польоту БПЛА, що дозволить послідовно зчитати дані

з усіх сенсорів та мінімізує сумарно пройдений шлях та відповідно паливні витрати БПЛА.

Здійснимо математичну постановку задачі. Нехай задано множину сенсорів $S = \{x_i, y_i\}, i = \overline{1, N}$, де N – кількість сенсорів, розміщених випадковим чином на площині (зоні спостереження) заданого розміру r з координатами (x_i, y_i) . Нехай БПЛА переміщується у просторі на постійній висоті h з постійною швидкістю v по деякому маршруту M , що характеризується множиною опорних точок простору з координатами проекції на земну поверхню $\{x_j, y_j\}, j = \overline{1, K}$, де K – кількість точок в маршруті. Вважатимемо, що між точками маршруту БПЛА переміщується по прямолінійній траєкторії, а перша і остання точки співпадають та мають координати $(0,0)$. Нехай БПЛА утворює на земній поверхні зону стабільного радіо покриття радіусу R . Вважатимемо, що при наявності сенсора в зоні стабільного радіо покриття БПЛА, тобто при $(x_i, y_i) \in R$, миттєво відбувається зчитування даних моніторингу за певним протоколом взаємодії (наприклад, IEEE 802.15.4). Позначимо сумарний шлях, пройдений БПЛА по маршруту, через S .

Тоді можна сформулювати наступну постановку задачі: знайти такий маршрут польоту БПЛА (сукупність точок $\{x_j, y_j\}, j = \overline{1, K}$), який дозволяє в довільній послідовності покрити всі сенсори зоною радіо покриття радіусу R і при цьому мінімізувати сумарний шлях S . Математично це можна записати так:

$$M^0 = \underset{\substack{\{x_j, y_j\} \in R \\ \{x_i, y_i\} \in r \\ R \ll r}}{\operatorname{arg\,min}} S. \quad (1)$$

При збігу точок маршруту БПЛА з точками розміщення сенсорів, тобто при $i=j$, дана задача представлятиме класичну геометричну задачу про комівояжера та може бути вирішена одним з відомих методів комбінаторної оптимізації (методи пожадливих алгоритмів, метод гілок і границь, метод повного перебору та ін.). Однак із зростанням кількості сенсорів поліноміально зростає складність та відповідно час вирішення задачі. Для вирішення цієї проблеми в роботі [15] запропоновано метод рекурсивного повного перебору, що дозволяє вирішувати задачу до 1000 вузлів за прийнятний час. Також для вирішення поставленої задачі можуть бути застосовані стандартні методи переміщення пошуково-рятувальних засобів (кораблів, літаків, вертольотів) при виконанні пошукових операції на морі або на суші – паралельні галси або квадрат, що розширюється (рис.1).

Однак рішення, отримані цими методами, будуть не завжди оптимальними. Наприклад, метод слідування по всім точкам розташування сенсорів буде неефективним при великій кількості вузлів, а пошукові методи будуть явно поступатися при малій кількості сенсорів. Отже виникає необхідність їх вдосконалення. Це можливе шляхом застосування певних евристичних підходів. Наприклад, буде доцільно слідувати не по всім точкам розташування сенсорів, а групувати сенсори по радіусу зони покриття БПЛА і слідувати по центрам тяжіння цих груп. Таким чином ми будемо вирішувати ту

ж саму задачу комівояжера, але меншої розмірності, заощаджуючи при цьому час розв'язання та пройдений БПЛА шлях.

Таким чином, удосконалений метод пошуку маршруту польоту БПЛА матиме наступний порядок:

1. Розбиття сенсорів на групи по радіусу зони покриття БПЛА, застосовуючи пожадливий підхід – послідовний відбір груп з максимальною кількістю сенсорів, що покриваються зоною радіо покриття БПЛА радіусу R .

2. Визначення центрів тяжіння груп сенсорів:

$$x_{0j} = \sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i x_i, \quad y_{0j} = \sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i y_i, \quad (x_i, y_i) \in R \quad (2)$$

де $\alpha_i = 1/N^{\max}$, N^{\max} – кількість сенсорів максимальної групи. Також зазначимо, що $\sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i = 1$.

3. Вирішення задачі комівояжера на множині точок $\{x_{0j}, y_{0j}\}$, наприклад, методом рекурсивного повного перебору із застосуванням програмного забезпечення *CommisVoyageur*, розробленого автором роботи [15].

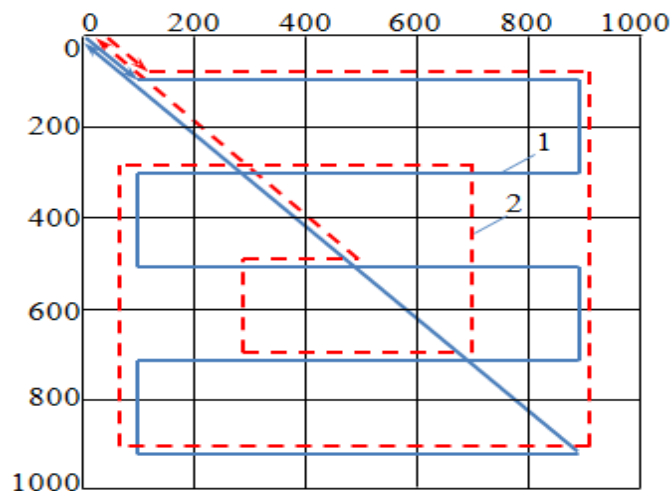


Рис. 1. Схеми пошуку: 1 – паралельні галси, 2 – квадрат, що розширюється.

Проведено оцінку ефективності удосконаленого методу у порівнянні з методом слідування по всім сенсорам і методами пошуку (паралельні галси та квадрат, що розширюється).

Нехай задано вихідні дані: зона спостереження розміром $r = 1000 \times 1000$ м; радіус зони стабільного радіо покриття $R = 200$ м; координати точок розміщення сенсорів $\{x_i, y_i\}, i = \overline{1, N}$, де $N = 1 \dots 100$, задають випадковим чином.

Використовуючи зазначені дані було побудовано маршрути польоту БПЛА методом слідування по всім сенсорам та удосконаленим методом слідування по центрам тяжіння груп сенсорів, як показано на рис.2. Маршрути польоту згідно методів пошуку будуть незмінними в залежності від кількості сенсорів і відповідатимуть схемам, вказаним на рис.1. Результати розрахунку сумарно пройденого шляху S від кількості сенсорів N згідно зазначених методів наведено на рис.3. Залежність кількості точок в маршруті K від кількості сенсорів N при різних методах збору інформації наведено рис.4.

Результати моделювання (рис.3) свідчать, що при малих значеннях N метод слідування по всім сенсорам і удосконалений метод слідування по центрам тяжіння мають майже однакові результати через малу кількість груп. Однак із зростанням кількості сенсорів значну перевагу (до 17-23%) має удосконалений метод за рахунок збільшення кількості груп і відповідно

зменшення кількості точок в маршруті (рис.4). При великій кількості вузлів (більше 60-70) доцільніше застосовувати один з методів пошуку.

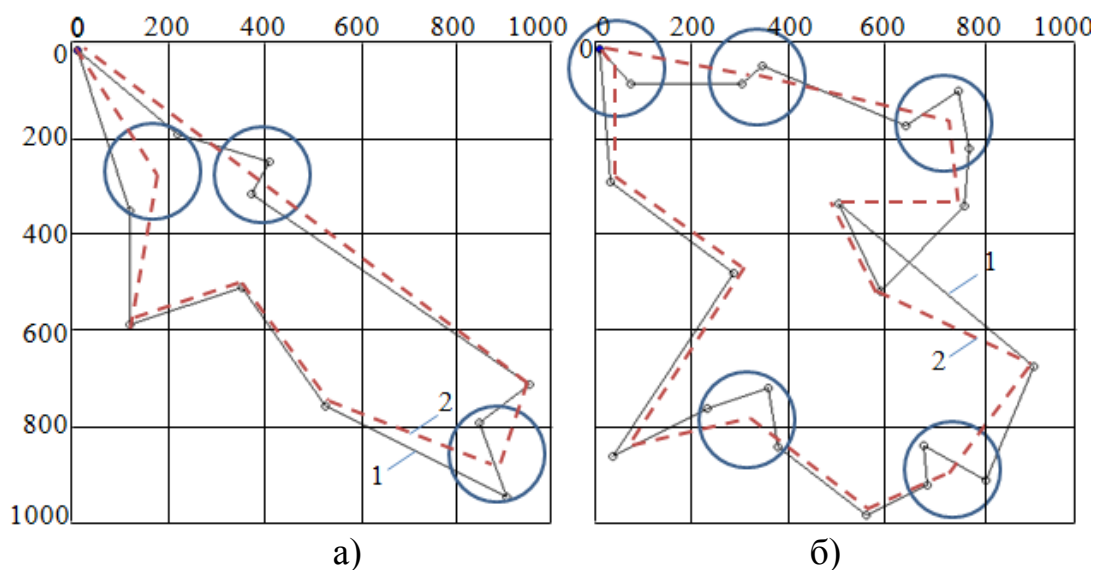


Рис. 2. Маршрути польоту БПЛА згідно методу слідування по всім сенсорам (1) і методу слідування по центрах тяжіння груп сенсорів (2) при $N=10$ (а) та $N=20$ (б).

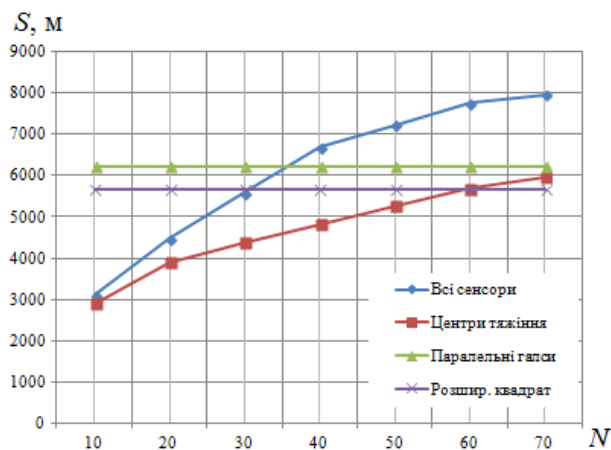


Рис.3. Графік залежності сумарного пройденого шляху S в залежності від кількості сенсорів N при різних методах збору інформації.

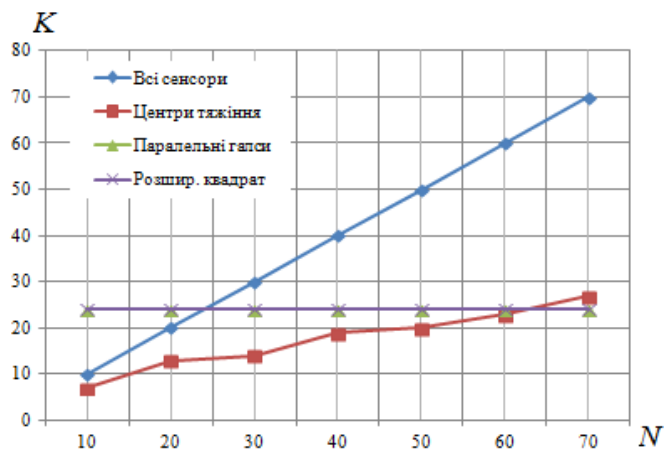


Рис.4. Графік залежності кількості точок в маршруті K в залежності від кількості сенсорів N при різних методах збору інформації.

Література

1. Drones PoC in telecom - du & Nokia joint initiative. <http://www.mobileworldlive.com/featured-content/home-banner/nokia-networks-du-deploy-drones-test-network-performance/>
2. Nokia “Drones for good” proposal. <https://www.dronesforgood.ae/>
3. Lysenko O.I., Valuiskyi S.V. Capacity increasing of sensor telecommunication networks / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi // Telecommunication Sciences. – 2012. – vol. 3. – № 1. – P. 5–11.