

УДК 004.023

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МНОЖИНИ РОЗТАШУНКІВ ДРОНУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ВИДИМОСТІ МІСЦЕВОСТІ

Дашкевич А.О., к.т.н.,

Шоман О.В., д.т.н.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Однією з важливих задач при проведенні аерофотозйомки дронами є попереднє оцінювання траєкторії дрону як з точки зору оптимальності маршруту, так і з позицій забезпечення максимального огляду місцевості камерою дрону. Вказані задачі не мають точного розв'язку, тому на практиці розв'язуються із застосуванням методів оптимізації. При цьому виникає необхідність в ефективному попередньому підборі ключових точок маршруту дрону, які рівномірно покривають місцевість. Це надасть змогу покращити оглядові характеристики отриманого маршруту. В роботі запропоновано підхід до визначення початкового набору точок, що забезпечують максимальний огляд місцевості. Місцевість задається у вигляді полігональної моделі. В основу моделювання покладено розв'язання задачі покриття множини методом розбиття множини оглядових точок-кандидатів на регулярну сітку і представлення цієї сітки у вигляді просторової хеш-таблиці для прискорення пошуку. Запропонований підхід дозволяє визначити необхідний ступінь дискретизації простору параметрів та мінімальну кількість точок-розташунків дрону, які забезпечують максимальний огляд поверхні місцевості. Цей підхід передбачає виконання таких кроків: «випускання» променів з кожного полігону геометричної моделі місцевості; розбиття на регулярну сітку і просторове хешування отриманої множини потенційних точок огляду; сортування хеш-таблиці за її ваговими коефіцієнтами; ітеративний відбір множини точок, що забезпечують максимальний огляд місцевості з відсортованої множини. Розроблений алгоритм забезпечує вибір точок маршруту дрону із заданим коефіцієнтом покриття місцевості. В роботі вивчено вплив основних параметрів методу, до яких належать просторова роздільна здатність дискретизованої сітки та мінімальна кількість ітерацій алгоритму для досягнення заданого коефіцієнта покриття.

Ключові слова: дрон, аерофотозйомка, планування та оптимізація маршруту, задача покриття множини, множина точок,

регулярна сітка, просторова хеш-таблиця, максимальний огляд місцевості.

Постановка проблеми. Однією зі складних задач при проведенні аерофотозйомки безпілотними літальними апаратами (БПЛА, дрон) є задача попереднього планування шляху дрону як з точки зору оптимальності маршруту [1–3], так і з позицій максимального огляду місцевості камерою дрону [4] (що є більш важливим). Такі задачі виникають під час проведення геодезичної аерофотозйомки, інспектування будинків та місцевості і не мають аналітичного розв'язку, тому на практиці ці задачі розв'язуються із застосуванням методів оптимізації [5, 6]. Слід зауважити, що при цьому недостатня увага приділяється методам ефективного попереднього визначення ключових точок маршруту дрону, які рівномірно покривають місцевість. Використання ж згаданих методів надало б можливість значно зменшити обчислювальну складність подальшої оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З проблемою планування шляху з урахуванням видимості місцевості останнім часом пов'язано досить багато досліджень. Так, в роботі [4] розглядається визначення оптимальних точок огляду для задачі візуальної інспекції будинків з використанням дронів. В роботі [7] розглянуто підходи до аналізу видимості за наявності мільйонів об'єктів спостереження. Роботу [3] присвячено розгляду процесу планування шляху як розв'язку задачі комівояжера. Широкий спектр сучасних досліджень пов'язаний з еволюційними методами оптимізації для процесів планування шляху [5, 6], в тому числі на основі генетичних алгоритмів [8].

Узагальнюючи викладене вище, можна виділити основні підходи до розв'язання задачі планування шляху з урахуванням видимості елементів місцевості. Ці підходи передбачають застосування:

- методів лінійного та нелінійного програмування, використання яких обмежене невеликою кількістю параметрів, що оптимізуються, та необхідністю вибору якісного початкового наближення розв'язку;

- еволюційних та градієнтних методів оптимізації, які є простими в реалізації та більш ефективними для багатопараметричної оптимізації, але вимагають більших витрат з точки зору часу обчислень і не гарантують збіжності до глобального мінімуму цільової функції.

Ефективність зазначених підходів може бути значно підвищена завдяки попередньому підбору точок маршруту дрону, які

забезпечують максимальну видимість поверхні місцевості.

Формулювання цілей статті. Розробити метод визначення початкового набору точок, що забезпечують максимальний огляд місцевості, яка задається у вигляді полігональної моделі.

Основна частина. Задачу визначення видимості поверхні місцевості пропонується розв'язувати як задачу максимального покриття множини. Ця задача може бути сформульована таким чином: для полігональної моделі місцевості $M=\{V, N, F\}$, яку задано множинами вершин V , нормалей N та багатокутників F , знайти таку мінімальну множину точок огляду $P=\{p_1, \dots, p_{NP}\}$, що при розташуванні камери дрону в цих точках кожен полігон f_j , який належить F , буде видимим хоча б з однієї точки p_i , де $i=1..N_P$ – загальна кількість точок-кандидатів, $j=1..|F|$, $|\cdot|$ – загальна кількість полігонів.

Для розв'язання задачі покриття множини з урахуванням видимості пропонується такий алгоритм:

1. В центрі кожного полігону f_j розташовуємо півсферу, яку зорієнтовано вздовж нормалі до полігону n_j .
2. З центру полігону «випускаємо» рівномірно розподілені по півсфері промені на задану відстань d , яка є параметром методу.
3. Одержану множину точок-кандидатів P_C дискретизуємо на регулярну сітку в площині xOy . Параметром розбиття тут є кількість комірок вздовж координатної осі t . Ця кількість є однаковою для всіх осей.
4. Для пошуку полігонів, що є видимими з точок-кандидатів, за лінійний час проводимо просторове хешування P_C на основі алгоритму з [9] та будуємо додатковий масив зі списками індексів вхідних багатокутників, що видимі з центру кожної комірки сітки. Як хеш тут буде конкатенація рядкових представлень індексів комірок сітки:

$$K=\text{str}(k) + \text{str}(l),$$

де k та l – індекси комірки сітки в напрямі осей x та y відповідно, $\text{str}(\cdot)$ – функція, що переводить ціле значення у його рядкове представлення. Значеннями в хеш-таблиці буде список точок, що належать даній комірці, та вага комірки, що дорівнюватиме кількості точок, які є видимими з комірки.

5. Сортуємо отриману хеш-таблицю за ваговими коефіцієнтами у спадному порядку та обираємо деяку множину точок L з початку відсортованої таблиці. Кількість обраних точок N_L визначається ітеративним шляхом, починаючи з $N_L = 1$.
6. Розраховуємо кількість покритих полігонів n та коефіцієнт покриття множини $R= n / N_P$.
7. Вибрану на кроці 5 множину точок додаємо до L .

8. Якщо коефіцієнт покриття перевищує деякий заданий поріг R_t , то роботу алгоритму закінчено, і як відповідь повертаємо множину L .

В роботі проведено низку експериментів для вивчення впливу основних параметрів, до яких належать роздільна здатність сітки t та кількість точок N_L , що забезпечують максимальне покриття поверхні. Як модель місцевості було використано синтетичну полігональну модель, яку наведено на рис. 1,а. Приклад візуалізації отриманої дискретної сітки та вагових коефіцієнтів наведено на рис. 1,б. На рис. 2 подано залежність роздільної здатності сітки від кількості ітерацій алгоритму.

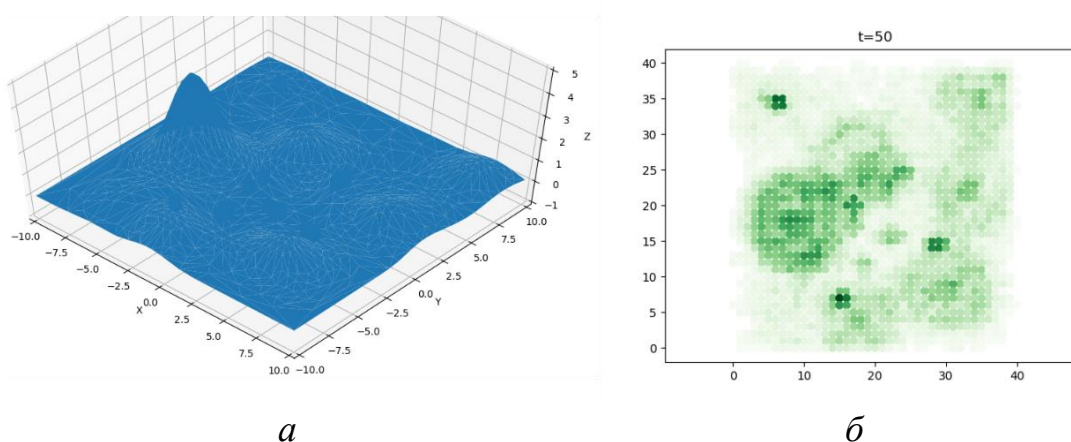


Рис. 1. Результати моделювання: *а* – полігональна модель місцевості; *б* – результат візуалізації просторової хеш-таблиці (більш темні точки позначають більшу вагу комірки)

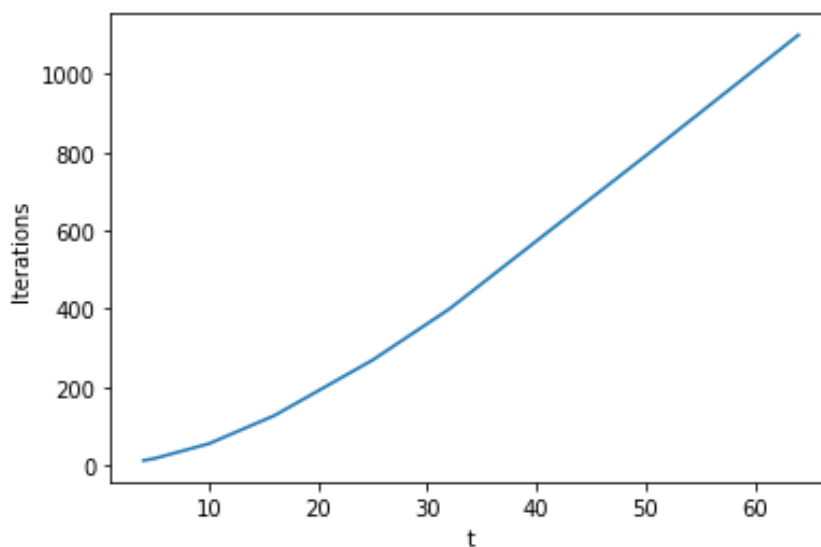


Рис. 2. Взаємозалежність параметрів методу

Висновки. Запропонований метод дозволяє оцінити необхідний ступінь дискретизації простору параметрів та мінімальну кількість

точок-розташунків дрону, які забезпечують максимальний огляд поверхні місцевості. Розроблений алгоритм може бути використаний, щоб зменшити кількість точок траєкторії для задачі подальшої оптимізації цієї траєкторії. До недоліків методу можна віднести неможливість аналітичного визначення роздільної здатності сітки, що буде розглянуто в подальших дослідженнях.

Література

1. Королюк Н.А., Еременко С. Н. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами на наземном пункте управления. *Системи обробки інформації*. 2015. № 8(133). С. 31–36.
2. Бережний А.О., Калачова В.В., Рожков М.І. Моделювання руху динамічних об'єктів в системі підтримки прийняття рішень планування маршрутів безпілотних літальних апаратів. *Системи обробки інформації*. 2019. No. 4(159). P. 44–49.
3. Vorotnikov V., Gumenyuk I., Pozdniakov P. Planning the flight routes of the unmanned aerial vehicle by solving the travelling salesman problem. *Technology audit and production reserves*. 2017. Vol. 4, No. 2(36). P. 44–49.
4. Jing W., Shimada K. Model-based view planning for building inspection and surveillance using voxel dilation, medial objects, and random-key genetic algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2018. Vol. 5, No. 3. P. 337–347.
5. Geng L. Zhang Y. F., Wang J. J. Mission planning of autonomous uavs for urban surveillance with evolutionary algorithms. *10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*. 2013. P. 828–833.
6. Ozalp N., Sahingoz O. K. Optimal uav path planning in a 3d threat environment by using parallel evolutionary algorithms. Atlanta, GA: IEEE, 2013. 308–317 p.
7. Wang W., Tang B., Fan X. Efficient visibility analysis for massive observers. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 111. P. 120–128.
8. Elshamli A., Abdullah H. A., Areibi S. Genetic algorithm for dynamic path planning. *Niagara Falls, Ont., Canada : IEEE*, 2004. P. 677–680.
9. Дашкевич А.А., Шоман О.В. Анализ пространственного распределения точечных множеств на основе алгоритма пространственного хеширования. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика та моделювання. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 24 (1300). С. 16–24.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МНОЖЕСТВА ПОЛОЖЕНИЙ ДРОНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ МЕСТНОСТИ

Дашкевич А.А., Шоман О.В.

Одной из важных задач при проведении аэрофотосъемки дронами является предварительное оценивание траектории дрона как с точки зрения оптимальности маршрута, так и с позиций обеспечения максимального обзора местности камерой дрона. Указанные задачи не имеют точного решения, поэтому на практике решаются с применением методов оптимизации. При этом возникает необходимость в эффективном предварительном подборе ключевых точек маршрута дрона, которые равномерно покрывают местность. Это позволит улучшить обзорные характеристики полученного маршрута. В работе предложен подход к определению начального набора точек, которые обеспечивают максимальный обзор местности. Местность задается в виде полигональной модели. В основу моделирования положено решение задачи покрытия множества методом разбиения множества обзорных точек-кандидатов на регулярную сетку и представление этой сетки в виде пространственной хеш-таблицы для ускорения поиска. Предложенный подход позволяет определять необходимую степень дискретизации пространства параметров и минимальное количество точек-положений дрона, которые обеспечивают максимальный обзор поверхности местности. Этот подход предполагает выполнение следующих шагов: «выпуск» лучей с каждого полигона геометрической модели местности; разбиение на регулярную сетку и пространственное хеширование полученного множества потенциальных точек обзора; сортировка хеш-таблицы по ее весовым коэффициентам; итеративный отбор множества точек, обеспечивающих максимальный обзор местности из отсортированного множества. Разработанный алгоритм обеспечивает выбор точек маршрута дрона с заданным коэффициентом покрытия местности. В работе изучено влияние основных параметров метода, к которым относятся пространственное разрешение дискретизированной сетки и минимальное количество итераций алгоритма для достижения заданного коэффициента покрытия.

Ключевые слова: дрон, аэрофотосъемка, планирование и оптимизация маршрута, задача покрытия множества, множество точек, регулярная сетка, пространственная хеш-таблица, максимальный обзор местности.

METHOD OF DETERMINING THE SET OF DRONE POSITIONS TO COVER MAXIMUM VISIBILITY OF THE TERRAIN

Dashkevich A., Shoman O.

One of the important tasks when conducting aerial photography by drones is a preliminary estimation of the drone's trajectory, both from the point of view of route optimality and from the point of view of providing a maximum view of the terrain with the drone's camera. These tasks do not have an exact solution, so in practice they are solved using optimization methods. In this case, there is a need for effective preliminary selection of key points of the drone's route, which evenly cover the terrain. This will improve the overview of the obtained route. The paper proposes an approach to determining the initial set of points that provide the maximum overview of the terrain. The terrain is set in the form of a polygonal model. The basis of modeling is the solution of the problem of covering the set by splitting the set of survey candidate points into a regular grid and representing this grid in the form of a spatial hash table to speed up the search. The proposed approach allows you to determine the necessary degree of discretization of the parameter space and the minimum number of points-positions of the drone, which provide the maximum overview of the terrain. This approach involves the following steps: emission of rays from each polygon of the geometric terrain model; splitting into a regular grid and spatial hashing of the obtained set of potential points of view; sort a hash table by its weighting factors; iterative selection of the set of points providing the maximum overview of the terrain from the sorted set. The developed algorithm provides the selection of the route points of the drone with a given coverage factor. The influence of the main parameters of the method, which include the spatial resolution of the discretized grid and the minimum number of iterations of the algorithm to achieve a given coverage coefficient, is studied.

Keywords: drone, aerial photography, route planning and optimization, task of covering the set, set of points, regular grid, spatial hash table, maximum terrain overview.