

УДК 004.023

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ДВОВИМІРНОЇ ЗАДАЧІ РОЗТАШУВАННЯ ТОЧОК НА РЕГУЛЯРНИХ СІТКАХ

Дашкевич А.О., к.т.н.,

dashkewich.a@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9963-0998

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Задачі розташування точок часто виникають в таких галузях, як аналіз видимості об'єктів, визначення розташувань сенсорів, симуляції людських потоків, планування міських середовищ, керування мобільними роботами, нанесення фарб та плівок. В багатьох подібних задачах часто виникає необхідність визначення деякої множини точок, яка охоплює задані положення, наприклад, оглядові точки на поверхні, що спостерігається. Таку проблему можна розглядати із точки зору знаходження множини положень сенсору, що забезпечує максимальне охоплення точок множини за деяким критерієм досяжності, який в роботі сформульований на основі Евклідової метрики. Зазвичай, задача розташування об'єктів не має точного розв'язку, тому на практиці для її розв'язання використовують методи оптимізації, які не гарантують знаходження глобального оптимуму розв'язку. Це викликає необхідність пошуку більш ефективних методів для розв'язання задач розташування точок. В роботі представлено спосіб розв'язання задачі розташування множини точок, що забезпечує задане охоплення вхідної точкової множини за критерієм досяжності на основі нанесення кіл на регулярну (піксельну) сітку, та визначення точок сітки, які належать таким колам. Представлений метод дозволяє розв'язувати такі задачі за лінійний від кількості точок вхідної множини, час. В роботі наведено основні ітерації алгоритму для пошуку множини точок, яка охоплює задану множину, проведено експериментальне дослідження на тестових точкових множинах на площині, наведено приклади отриманих розв'язків. Представлений підхід складається з наступних кроків: формування критерію взаємної досяжності точок; визначення розмірності піксельної сітки та масиву-акумулятору; нанесення кіл заданого радіусу на сітку; визначення точок, що належать нанесеним колам; інкремент значень в акумуляторі.

Ключові слова: задача розташування, точкова множина, взаємна досяжність точок, піксельна сітка, охоплення множини точок.

Постановка проблеми. Задача розташування точок виникає в багатьох областях практичної діяльності, наприклад аналіз видимості об'єктів [1], визначення розташувань сенсорів на поверхні [2-4], симуляції

людських потоків [5, 6], планування міських середовищ [7], задачі керування мобільними роботами [8]. В багатьох подібних задачах часто виникає необхідність визначення деякої множини точок, яка охоплює задані положення, наприклад, оглядові точки на поверхні, що спостерігається [9]. Схожі задачі виникають при вивченні та симуляції нанесення фарб на поверхню [10], в яких виникає необхідність визначення мінімальної множини точок положень системи, яка наносить плівку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше, проблему розташування точок розглядають як задачу визначення видимості або досяжності, яка розглядається в багатьох сучасних дослідженнях, зокрема, при оптимізації планування шляху [11, 12], в тому числі із використанням методів еволюційної оптимізації [12], але такі методи не надають можливості визначення точних розв'язків і можуть збігатись до локальних оптимумів. В роботі [13] було представлено метод визначення видимості точок для полігональної моделі місцевості, але в багатьох задачах необхідно визначати розв'язки для двовимірного випадку, що призводить до необхідності пошуку ефективних способів пошуку таких розв'язків.

Формулювання цілей статті. Розробка підходу для визначення множини точок на площині, які забезпечують максимальну досяжність точок заданої точкової множини.

Основна частина. В представленій роботі вдосконалено підхід, запропонований в [13], шляхом розширення його на двовимірний випадок. Сформулюємо задачу визначення множини положень точок сенсору: для точкової множини $P = \{p_1, \dots, p_N\}$, яка задана точками $p_i = (x, y) \in Z^2$, знайти таку множину точок $P_R = \{p_1, \dots, p_M\}$, при розташуванні в яких кожна точка $p_i \in P$, буде досяжною хоча б із однієї точки p_j , де $i=1..N, j=1..M$.

Визначимо умову взаємної досяжності точок на основі Евклідової метрики:

$$m(p_i, p_j) \leq r_i, \quad (1)$$

де $m(\cdot)$ – Евклідова відстань між точками, r_i – заданий пороговий радіус досяжності.

Далі нанесемо точки P на прямокутну піксельну сітку G розміром $w \times h$ із наступними параметрами:

$$w \leq \max(x_{p_i}) - \text{ширина сітки};$$

$$h \leq \max(y_{p_i}) - \text{висота сітки}.$$

Також сформуємо двовимірний цілочисельний масив-акумулятор A такої самої розмірності, що й G , кожна комірка якого на початку проініціалізована нульовим значенням.

Для визначення положень точок P_R через кожную $p_i \in P$ проводимо коло $c_i = (c_x, c_y)$ із заданим r_i . Взаємна досяжність за виразом (1) для кола:

$$(c_x - g_x)^2 + (c_y - g_y)^2 \leq r_i^2 \quad (2)$$

Тоді, для кожної точки $g_i = (g_x, g_y) \in G$ піксельної сітки, що належить колу c_i за умови (2), збільшимо значення в комірці із індексами (g_x, g_y) масиву A на одиницю. Після нанесення усіх кіл на сітку G значення у

комірках масиву-акумулятору A визначатимуть кількість точок множини P , які є досяжними із точки, координати якої відповідають індексам комірки. Таким чином, комірки із більшими значеннями визначатимуть положення точок із більшим охопленням точок із множини P .

В якості тестового прикладу розглянемо випадково згенеровану точкову множину (рис. 1). На рис. 2-4 наведено візуалізацію відповідного масиву-акумулятору за різних значень r_t , (більш темні області відповідають меншим значенням в комірках).

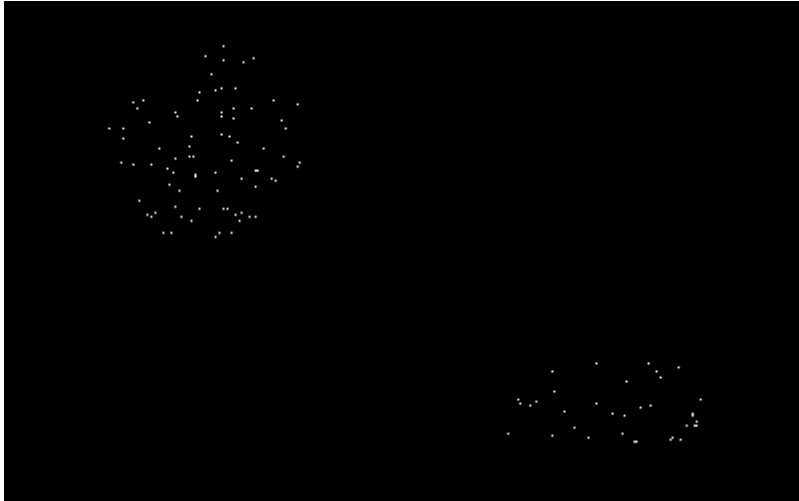


Рис. 1. Приклад точкової множини

Висновки. В ході виконання роботи було запропоновано метод, що дозволяє знаходити множину точок, що забезпечує задане охоплення вхідної точкової множини за критерієм досяжності, який сформовано на основі Евклідової метрики. Метод дозволяє визначати охоплюючу множину за лінійний час від кількості точок. Подальші дослідження будуть націлені на автоматизований підбір значення радіусу взаємної досяжності за різних умов.

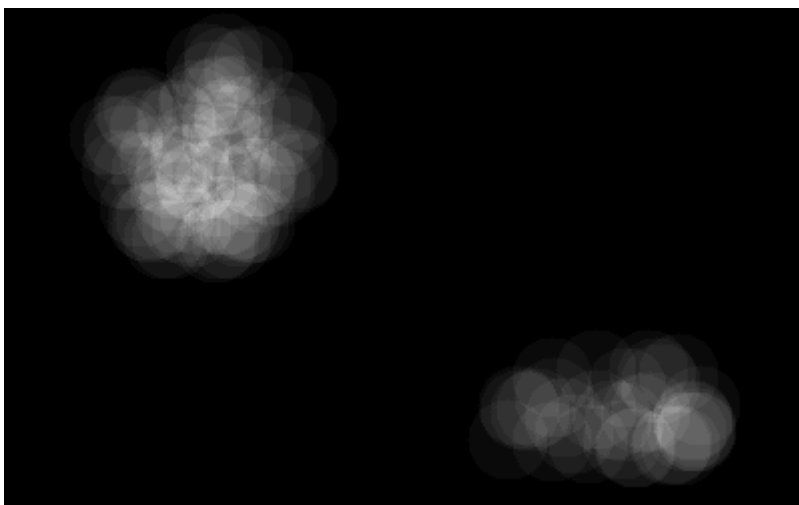


Рис. 2. Візуалізація масиву-акумулятору, $r_t = 20$



Рис. 3. Візуалізація масиву-акумулятору, $r_t = 50$



Рис. 4. Візуалізація масиву-акумулятору, $r_t = 200$

Література

1. 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.
2. Tekdas O., Isler V. Sensor placement for triangulation-based localization. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2010. Vol. 7, No. 3. P. 681–685.
3. Nilsson U., Ogren P., Thunberg J. Optimal positioning of surveillance uavs. *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2008. 2539–2544 p.
4. Liu Y., Zhou C., Cheng Y. S2U: an efficient algorithm for optimal integrated points placement in hybrid optical-wireless access networks. *Computer Communications*. 2011. Vol. 34, No. 11. P. 1375–1388.
5. Zhou S., Zhou S., Chen D., Cai W. Crowd modeling and simulation technologies et al. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. 2010. Vol. 20, No. 4. P. 1–35.

6. Xu M.-L., Jiang H., Jin X.-G., Deng Z. Crowd simulation and its applications: recent advances. *Journal of Computer Science and Technology*. 2014. Vol. 29, No. 5. P. 799–811.
7. Drettakis G., Roussou M., Reche A., Tsingos N. Design and evaluation of a real-world virtual environment for architecture and urban planning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2007. Vol. 16, No. 3. P. 318–332.
8. Qin L., Zha Y., Yin Q., Peng Y. Formation control of robotic swarm using bounded artificial forces. *The Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013. P. 194280.
9. Wang W., Tang B., Fan X. et al. Efficient visibility analysis for massive observers. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 111. P. 120–128.
10. Peng Z., Huifeng N., Jun G., Lina W. The trajectory optimization of spray gun for spraying painting robot based on surface curvature properties. Cham : Springer International Publishing, 2017. 331–339 p. ISBN 978-3-319-38789-5.
11. Lv P., Zhang J., Lu M. An optimal method for multiple observers sitting on terrain based on improved simulated annealing techniques. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2006. 373–382 p. ISBN 978-3-540-35454-3.
12. Elshamli A., Abdullah H.A., Areibi S. Genetic algorithm for dynamic path planning. Niagara Falls, Ont., Canada : IEEE, 2004. 677–680 p. ISBN 978-0-7803-8253-4.
13. Дашкевич А.О., Шоман О.В. Метод визначення множини розташунків дрону для забезпечення максимальної видимості місцевості. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2020. Вип. 18. С. 99–105.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОЧЕК НА РЕГУЛЯРНЫХ СЕТКАХ

Дашкевич А.А.

Задачи размещения точек часто возникают в таких областях, как анализ видимости объектов, определении положений сенсоров, симуляциях потоков людей, планировании городских сред, управление мобильными роботами, нанесение красок и пленок. В большинстве подобных задач часто возникает необходимость определения некоторого множества точек, которое охватывает заданные положения, например, обзорные точки на наблюдаемой поверхности. Такую проблему можно рассматривать с точки зрения нахождения множества положения сенсора, которые обеспечивают максимальный охват точек множества

по некоторому критерию достижимости, который в работе сформулирован на основе Евклидовой метрики. Как правило, задача размещения объектов не имеет точного решения, поэтому на практике для ее решения используют методы оптимизации, которые не гарантируют нахождения глобального оптимума решения. Это приводит к необходимости поиска более эффективных методов для решения задачи размещения точек. В работе представлен способ решения задачи размещения множества точек, которое обеспечивает заданный охват заданного точечного множества по критерию достижимости на основе нанесения окружностей на регулярную (пиксельную) сетку, и определения точек сетки, которые принадлежат таким окружностям. Представленный метод позволяет решать такие задачи за линейное от количества точек входного множества, время. В работе приведены основные итерации алгоритма для поиска множества точек, которое охватывает заданное множество, проведено экспериментальное исследование на тестовых точечных множествах на плоскости, приведены примеры полученных решений. Представленный подход состоит из следующих шагов: формирование критерия взаимной достижимости точек; определение размерности пиксельной сетки и массива-аккумулятора; нанесение окружностей заданного радиуса на сетку; определение точек, которые принадлежат нанесенным окружностям; инкремент значений в аккумуляторе.

Ключевые слова: задача размещения, точечное множество, взаимная достижимость точек, пиксельная сетка, охват множества точек.

APPROACH FOR 2D POINT LOCATION PROBLEM ON A REGULAR GRID

Andrii Dashkevych

Point location problems often arise in areas such as object visibility analysis, sensor location, human flow simulation, urban planning, mobile control, and paint and film application. In many such problems, it is often necessary to define a set of points that cover given positions, such as viewpoints on the observed surface. This problem can be considered in terms of finding the set of sensor positions, which provides maximum coverage of the points of the set by some criterion of reachability, which is formulated in the paper on the basis of the Euclidean metric. Usually, the object location problem does not have an exact solution, so in practice, optimization methods are used to solve it,

which do not guarantee finding a global optimum solution. This makes it necessary to find more effective methods for solving point location problems. The paper presents a method of solving the problem of location of a set of points, which provides a given coverage of the input point set by the criterion of reachability based on drawing circles on a regular (pixel) grid, and determining the grid points that belong to such circles. The presented method allows to solve such problems in a linear time from the number of points of the input set. The main iterations of the algorithm for finding a set of points covering a given set are presented, an experimental study on test point sets on a plane is performed, and examples of the obtained solutions are given. The presented approach consists of the following steps: formation of the criterion of mutual reach of points; determining the dimensions of the pixel grid and the battery array; drawing circles of a given radius on the grid; determination of points belonging to the applied circles; increment of values in the accumulator.

Keywords: placement problem, point set, mutual reachability of points, pixel grid, coverage of point set.

References

1. Jing, W., Shimada, K., (2018). 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* 5, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.11.013>. [in English]
2. Tekdas, O., Isler, V., (2010) Sensor Placement for Triangulation-Based Localization. *IEEE Trans. Automat. Sci. Eng.* 7, 681–685. <https://doi.org/10.1109/TASE.2009.2037135>. [in English]
3. Nilsson, U., Ogren, P., Thunberg, J. (2008) Optimal positioning of surveillance UGVs. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2539–2544 [in English]
4. Liu, Y., Zhou, C., Cheng, Y., (2011) S2U: An efficient algorithm for optimal integrated points placement in hybrid optical-wireless access networks. *Computer Communications* 34, 1375–1388. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2011.02.005>. [in English]
5. Zhou, S., Chen, D., Cai, W., Luo, L., Low, M.Y.H., Tian, F., Tay, V.S.-H., Ong, D.W.S., Hamilton, B.D., (2010) Crowd modeling and simulation technologies. *ACM Trans. Model. Comput. Simul.* 20, 1–35. <https://doi.org/10.1145/1842722.1842725>. [in English]
6. Xu, M.-L., Jiang, H., Jin, X.-G., Deng, Z., (2014) Crowd Simulation and Its Applications: Recent Advances. *J. Comput. Sci. Technol.* 29, 799–811. <https://doi.org/10.1007/s11390-014-1469-y>. [in English]

7. Drettakis, G., Roussou, M., Reche, A., Tsingos, N. (2007) Design and Evaluation of a Real-World Virtual Environment for Architecture and Urban Planning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 16, 318–332. <https://doi.org/10.1162/pres.16.3.318>. [in English]
8. Qin, L., Zha, Y., Yin, Q., Peng, Y. (2013) Formation Control of Robotic Swarm Using Bounded Artificial Forces. *The Scientific World Journal* 2013, 194280. <https://doi.org/10.1155/2013/194280>. [in English]
9. Wang, W., Tang, B., Fan, X., Mao, H., Yang, H., Zhu, M. (2017) Efficient visibility analysis for massive observers. *Procedia Computer Science* 111, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.018>. [in English]
10. Peng, Z., Huifeng, N., Jun, G., Lina, W. (2017) The Trajectory Optimization of Spray Gun for Spraying Painting Robot Based on Surface Curvature Properties, in: Balas, V.E., Jain, L.C., Zhao, X. (Eds.), *Information Technology and Intelligent Transportation Systems*. Springer International Publishing, Cham, pp. 331–339. [in English]
11. Lv P., Zhang J., Lu M. (2006) An optimal method for multiple observers sitting on terrain based on improved simulated annealing techniques. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 373–382. ISBN 978-3-540-35454-3. [in English]
12. Elshamli A., Abdullah H.A., Areibi S. (2004) Genetic algorithm for dynamic path planning. Niagara Falls, Ont., Canada : IEEE, 677–680 ISBN 978-0-7803-8253-4. [in English]
13. Dashkevich A., Shoman O. (2020) Method of determining the set of drone positions to cover maximum visibility of the location. *Modern problems of modeling*. Melitopol, 18. 99–105. [in Ukrainian]