

УДК 004.932

DOI: 10.20998/2411-0558.2021.01.05

А. О. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ"

МЕТОД РОЗТАШУВАННЯ ТОЧОК НА ПЛОЩИНІ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМНОЇ ДОСЯЖНОСТІ

В роботі представлено підхід визначення положень множини точок, які забезпечують заданий коефіцієнт досяжності для заданої точкової множини на площині. Представлений метод полягає в нанесенні кіл із центрами у заданих точках множини на регулярну сітку та визначенні точок перетину максимальної кількості кіл. Запропонований метод реалізовано в вигляді програмного інструменту, який дозволяє знаходити мінімально необхідну множину точок, заданих на регулярній сітці, яка покриває задану множину точок та дозволяє проводити візуалізацію результатів досліджень. Іл.: 3. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: коефіцієнт досяжності; точкова множина на площині; регулярна сітка; множини точок; точки перетину максимальної кількості кіл.

Постановка проблеми. Задачі на розташування точок виникають в багатьох областях діяльності, наприклад, у аналізі видимості [1], визначенні розташувань сенсорів [2 – 4], моделюванні людських потоків [5, 6], плануванні міських середовищ [7], задачах 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. Найчастіше, проблему розташування точок розглядають як задачу визначення видимості, яка розглядається в багатьох сучасних дослідженнях, зокрема, при оптимізації планування шляху [11, 12], найчастіше 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.

Мета роботи. Розробка підходу та відповідного програмного інструментарію для визначення множини точок на площині, які забезпечують максимальну досяжність точок заданої точкової множини.

Основна частина. Сформулюємо задачу визначення множини положень точок сенсору: для точкової множини $P = \{p_1, \dots, p_N\}$, яка задана точками $p_i = (x_i, y_i)$, знайти таку множину точок-сенсорів $P_S = \{p_1, \dots, p_M\}$, $M < N$, які характеризуються деяким максимальним значенням відстані впливу T , 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:

$$f(p_i, p_j) < T, \quad (1)$$

де $f(a, b) = f(b, a)$ – деяка функція, наприклад, Евклідова відстань між точками на площині, T – задане порогове значення.

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_S через кожен $p_i \in P$ 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, масив A може бути представлений як диз'юнкція усіх кіл c_i :

$$A = \cup c_i. \quad (3)$$

Розглянемо згенеровану випадково тестову точкову множину (рис. 1), відповідна візуалізація масиву-акумулятору, який відповідає виразу (3), наведена на рис. 2 (більш світлі області відповідають більшій кількості кіл, що перетинаються).



Рис. 1. Приклад тестової точкової множини

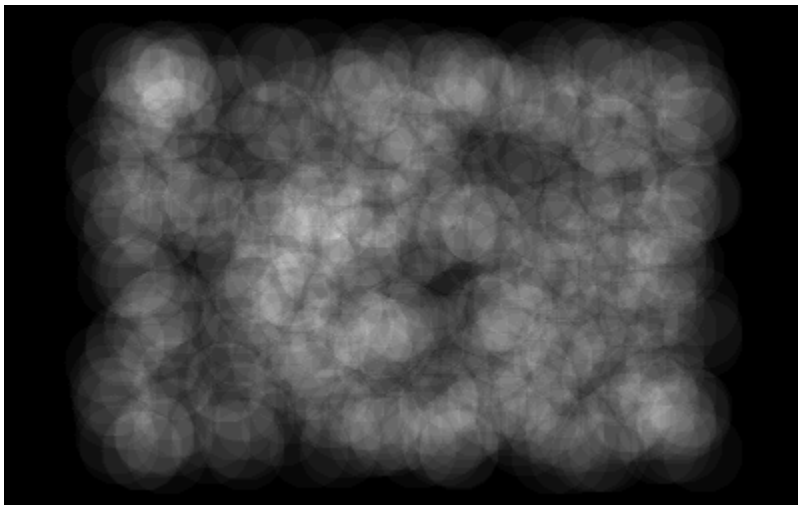


Рис. 2. Візуалізація масиву-акумулятору, $r_t = 20$

Для визначення положень точок, в яких слід розмістити точки множини P_S , проведемо наступний ітеративний процес, який розширює метод із [13]:

- 1) відсортуємо значення у масиві A у зростаючому порядку, встановимо початкове значення $a = a_{\min}$;
- 2) розрахуємо коефіцієнт досяжності для a :

$$R = (n_C | a) / N, \quad (4)$$

де $n_C | a$ – загальна кількість точок, що задовільняє вимозі (2) при значенні a ;

3) поки коефіцієнт досяжності не досяг заданого значення, обираємо a із наступним значенням та переходимо на крок 2.

На рис. 3 наведено залежність коефіцієнту досяжності R від поточного значення a .

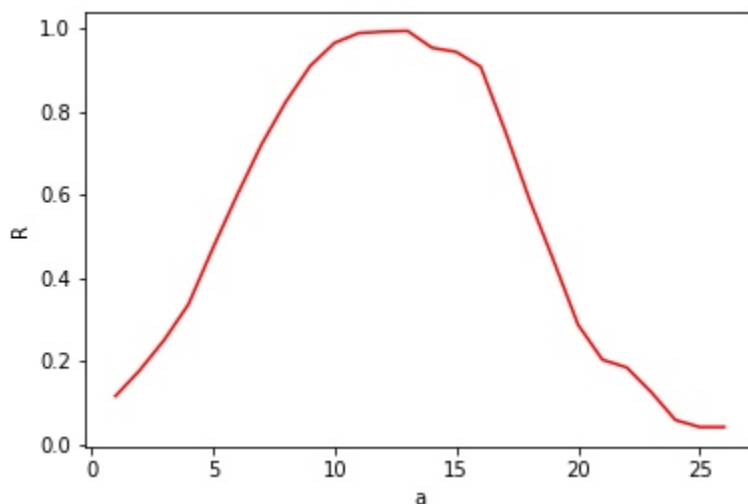


Рис. 3. Залежність коефіцієнту досяжності, $r_t = 20$

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті роботи розроблено підхід до визначення положень множини точок, які забезпечують заданий коефіцієнт досяжності для заданої точкової множини на площині. Результатом виконання роботи є створення обчислювального програмного забезпечення для визначення мінімально необхідної множини точок, яка покриває задану точкову множину.

Подальші дослідження будуть спрямовані на автоматизацію підбору параметрів системи для більш ефективного пошуку розв'язків.

Список літератури:

1. *Jing W.* Model-based view planning for building inspection and surveillance using voxel dilation, medial objects, and random-key genetic algorithm / *W. Jing, K. Shimada* // Journal of Computational Design and Engineering. – 2018. – Vol. 5. – No. 3. – P. 337–347.
2. *Tekdas O.* Sensor placement for triangulation-based localization / *O. Tekdas, V. Isler* // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2010. – Vol. 7. – No. 3. – P. 681–685.
3. *Nilsson U.* Optimal positioning of surveillance ugv's / *U. Nilsson, P. Ogren, J. Thunberg* // 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2008. – P. 2539–2544
4. *Liu Y.* S2U: an efficient algorithm for optimal integrated points placement in hybrid optical-wireless access networks / *Y. Liu, C. Zhou, Y. Cheng* // Computer Communications. – 2011. – Vol. 34. – No. 11. – P. 1375–1388.

5. Zhou S. Crowd modeling and simulation technologies / S. Zhou, D. Chen, W. Cai, [et al.] // ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation. – 2010. – Vol. 20. – No. 4. – P. 1–35.
6. Xu M.-L. Crowd simulation and its applications: recent advances / M.-L. Xu, H. Jiang, X.-G. Jin, Z. Deng // Journal of Computer Science and Technology. – 2014. – Vol. 29. – No. 5. – P. 799–811.
7. Drettakis G. Design and evaluation of a real-world virtual environment for architecture and urban planning / G. Drettakis, M. Roussou, A. Reche, N. Tsingos // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2007. – Vol. 16. – No. 3. – P. 318–332.
8. Qin L. Formation control of robotic swarm using bounded artificial forces / L. Qin, Y. Zha, Q. Yin, Y. Peng // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – P. 194–280.
9. Wang W. Efficient visibility analysis for massive observers / W. Wang, B. Tang, X. Fan, [et al.] // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 111. – P. 120–128.
10. Peng Z. The trajectory optimization of spray gun for spraying painting robot based on surface curvature properties / Z. Peng, N. Huifeng, G. Jun, W. Lina. – Cham: Springer International Publishing. – 2017. – P. 331–339.
11. Lv P. An optimal method for multiple observers sitting on terrain based on improved simulated annealing techniques / P. Lv, J. Zhang, M. Lu. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. – P. 373–382.
12. Elshamli A. Genetic algorithm for dynamic path planning / A. Elshamli, H. A. Abdullah, S. Areibi. – Niagara Falls, Ont., Canada: IEEE, 2004. – P. 677–680.
13. Дашкевич А.О. Метод визначення множини розташунків дрону для забезпечення максимальної видимості місцевості / А.О. Дашкевич, О.В. Шоман // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020. – Вип. 18. – С. 99–105.

References:

1. Jing, W., and 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*, Vol. 5, pp. 337–347.
2. Tekdas, O., and Isler, V. (2010), "Sensor Placement for Triangulation-Based Localization", *IEEE Trans. Automat. Sci. Eng*, Vol. 7, pp. 681–685.
3. Nilsson, U., Ogren, P., and Thunberg, J. (2008), "Optimal positioning of surveillance UGVs", in: *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2539–2544.
4. Liu, Y., Zhou, C., and Cheng, Y. (2011), "S2U: An efficient algorithm for optimal integrated points placement in hybrid optical-wireless access networks", *Computer Communications*. Vol. 34, pp. 1375–1388.
5. Zhou, S., Chen, D., Cai, W., Luo, L., Low, M.Y.H., Tian, F., Tay, V.S.-H., Ong, D.W.S., and Hamilton, B.D. (2010), "Crowd modeling and simulation technologies", *ACM Trans. Model. Comput. Simul.*, Vol. 20, pp. 1–35.
6. Xu, M.-L., Jiang, H., Jin, X.-G., and Deng, Z. (2014), "Crowd Simulation and Its Applications: Recent Advances", *J. Comput. Sci. Technol.*, Vol. 29, pp. 799–811.
7. Drettakis, G., Roussou, M., Reche, A., and Tsingos, N. (2007), "Design and Evaluation of a Real-World Virtual Environment for Architecture and Urban Planning". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 16, pp. 318–332.
8. Qin, L., Zha, Y., Yin, Q., and Peng, Y. (2013), "Formation Control of Robotic Swarm Using Bounded Artificial Forces", *The Scientific World Journal*, pp. 194–280.
9. Wang, W., Tang, B., Fan, X., Mao, H., Yang, H., and Zhu, M. (2017), "Efficient visibility analysis for massive observers". *Procedia Computer Science*, Vol. 111, pp. 120–128.

- 10.** Peng, Z., Huifeng, N., Jun, G., and 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.
- 11.** Lv, P., Zhang, J., and Lu, M. (2006), "An Optimal Method for Multiple Observers Sitting on Terrain Based on Improved Simulated Annealing Techniques", in: Ali, M., Dapoigny, R. (Eds.), *Advances in Applied Artificial Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 373–382.
- 12.** Elshamli, A., Abdullah, H.A., and Areibi, S. (2004), "Genetic algorithm for dynamic path planning, in: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No.04CH37513)". *Presented at the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004, IEEE, Niagara Falls, Ont., Canada*, pp. 677–680.
- 13.** Dashkevich, A., and Shoman, O. (2020), "Method of determining the set of drone positions to cover maximum visibility of the location". *Modern problems of modeling*, Melitopol, Vol. 18, pp.99–105.

Статтю представив д-р. техн. наук, проф., зав. каф. геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Шоман Ольга Вікторівна

Поступила (received) 30.05.2021

Dashkevych Andrii, Cand. Tech, Sci.
National Technical University "KhPI",
Str. Kirpicheva, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.: +38 (095) 388-04-56, e-mail: dashkevich.a@gmail.com
ORCID ID:0000-0002-9963-0998

УДК 004.932

Метод розташування точок на площині із урахуванням їх взаємної досяжності / Дашкевич А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 1 (5). – С. 69 – 75.

В роботі представлено підхід визначення положень множини точок, які забезпечують заданий коефіцієнт досяжності для заданої точкової множини на площині. Представлений метод полягає в нанесенні кіл із центрами у заданих точках множини на регулярну сітку та визначенні точок перетину максимальної кількості кіл. Запропонований метод реалізовано в вигляді програмного інструменту, який дозволяє знаходити мінімально необхідну множину точок, заданих на регулярній сітці, яка покриває задану множину точок та дозволяє проводити візуалізацію результатів досліджень. Ил.: 3. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: коефіцієнт досяжності; точечное множество на плоскости; регулярная сетка; множество точек; точки пересечения максимального количества кругов.

УДК 004.932

Метод размещения точек на плоскости с учетом их взаимной достижимости / Дашкевич А.А. // Вестник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 1 (5). – С. 69 – 75.

В работе представлен подход для определения положений множества точек, которые обеспечивают заданный коэффициент взаимной достижимости для заданного точечного множества на плоскости. Представленный метод состоит в нанесении окружностей с центрами в заданных точках множества на регулярную сетку и определении точек пересечения максимального количества окружностей. Предложенный метод реализован в виде программного инструмента, который позволяет находить минимально необходимое множество точек, заданных на регулярной сетке, которое покрывает заданное множество, а также позволяет проводить визуализацию результатов. Ил.: 3. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: коэффициент достижимости; точечное множество на плоскости; регулярная сетка; множество точек; точки перетину максимальної кількості кіл.

UDC 004.932

Point placement method in the plane taking into account points mutual reachability / Dashkevych A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2021. – № 1 (5). – P. 69 – 75.

The paper presents an approach for determining the positions of a set of points that provide a given ratio of mutual reachability for a given point set on the plane. The presented method consists in drawing circles with centers at given points of the set on a regular grid and determining the intersection points of the maximum number of circles. The proposed method is implemented in the form of a software tool that allows you to find the minimum required set of points on a regular grid, which covers a given set, and also allows you to visualize the results. Figs.: 3. Refs.: 13 titles.

Keywords: reachability factor; a point set on a plane; regular grid; many points; the point of intersection of the maximum number of circles.