

*А. О. ДАШКЕВИЧ*, канд. техн. наук, доц., Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

## **ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРОСТОРОВОЇ ОБРОБКИ ТОЧКОВИХ МНОЖИН НА ДВОВИМІРНИХ РЕГУЛЯРНИХ СІТКАХ**

В роботі представлено підхід до розв'язання задач просторової обробки на множинах точок на площині. Представлений метод полягає в нанесенні областей довільної геометричної форми навколо заданих точок множини на регулярну сітку та визначенні точок перетину областей із використанням просторових хеш-таблиць для підвищення ефективності операцій. Запропонований підхід реалізовано у вигляді програмного забезпечення для визначення просторових відносин між точками як послідовності операцій із дискретизованими точковими множинами та дозволяє проводити візуалізацію результатів досліджень. Іл.: 2. Бібліогр.: 13 назв.

**Ключові слова:** задача просторової обробки; точкова множина; площина; регулярна сітка; просторова хеш-таблиця.

**Постановка проблеми.** В задачах комп'ютерного зору [1, 2], моделювання розташування джерел освітлення та сенсорів із урахуванням охопту місцевості [3, 4], визначення видимості об'єктів [5 – 7], симуляції руху людських потоків та планування міських середовищ [8 – 10], моделювання нанесення плівкових матеріалів на поверхні [11], задачах моделювання руху груп роботів [12] часто виникає необхідність розрахунків просторових відносин між точками на площині. При цьому кількість елементів в масивах точкових даних постійно зростає. Прикладами задач є визначення відстаней між точками, визначення областей впливу точок на інші точки або їх сусідства.

**Аналіз останніх досліджень.** Задачі визначення просторових відносин розглядаються в багатьох сучасних дослідженнях, зокрема, при визначенні відносних розташувань об'єктів із урахуванням видимості [7, 13]. Часто подібні задачі розв'язуються із використанням методів оптимізації [4, 11, 12], але такі методи не гарантують точних розв'язків і є витратними з точки зору швидкості обчислень. В роботах [1, 2, 5] було запропоновано методи обробки точкових даних на основі використання просторових структур даних для точкових масивів на площині та у просторі для пошуку ефективних розв'язків задач комп'ютерного зору: сегментації та зіставлення зображень, визначення положень камери для проведення відеозйомки із використанням безпілотних літальних

апаратів. Вказані підходи показали ефективність на тестових прикладах і вимагають подальшого розвитку з точки зору їх узагальнення та ефективної реалізації в вигляді відповідного обчислювального інструментарію.

**Мета роботи.** Розробка обчислювального підходу та відповідного програмного інструментарію для розв'язання просторових задач на множинах точок на площині.

**Основна частина.** Сформулюємо узагальнену задачу визначення просторових відносин між точками множини на площині: для довільної пари точок  $(p_i, p_j) \in R^2$ , визначеної метрики  $m$  (наприклад, Евклідова, манхеттенська, Чебишова та ін.), заданих областей довільної геометричної форми  $p_i \in S_1$  та  $p_j \in S_2$ , регулярної сітки  $G$  розміром  $w \times h$  із наступними параметрами:  $w$  – ширина сітки,  $h$  – висота сітки, що належать відповідно  $S_1$  та  $S_2$ , визначити виконання умови досяжності:

$$m(p_i, p_j) < R_T, \quad (1)$$

де  $R_T$  – задане порогове значення.

Умова (1) на дискретній сітці  $G \in Z^2$  може бути сформульована як умова входження точки  $p_j$  у область, описану навколо точки  $p_i$ :

$$p_j \in S_2, \quad (2)$$

що, в свою чергу може бути переписано, як умова перетину областей, заданих навколо точок:

$$P_C = S_1 \cap S_2 \neq \emptyset. \quad (3)$$

де  $\emptyset$  – пуста множина.

Для визначення множини  $P_C$  представимо області  $S_1 \subseteq G$ , та  $S_2 \subseteq G$  як диз'юнкції точок прямокутної дискретної сітки  $G$ . Для цього сформуємо двовимірний цілочисельний масив-акумулятор  $A$  такої самої розмірності, що й  $G$ , кожна комірка якого на початку проініціалізована нульовим значенням.

Далі визначимо виконання умови (3) наступним чином: навколо  $p_i$  та  $p_j$  наносимо  $S_1$  та  $S_2$  шляхом збільшення значення вагових коефіцієнтів  $w_k$  в комірках масиву  $A$  із відповідними координатами  $(w_k \in A) \in P_C$  на одиницю. Після нанесення  $S_1$  та  $S_2$  на сітку  $G$  значення у комірках масиву-акумулятору  $A$  прийматимуть одне із значень:

$$w_k = 0 \text{ – якщо комірка не входить до жодної із областей,} \quad (4.1)$$

$$w_k = 1 \text{ – якщо комірка входить до однієї області,} \quad (4.2)$$

$$w_k = 2 \text{ – якщо комірка входить до двох областей одночасно.} \quad (4.3)$$

Таким чином досяжність (3) виконуватиметься за умови (4.3). При цьому для евклідової метрики  $S_1$  та  $S_2$  являтимуть кола, для манхеттенської метрики – правильні ромби, а для метрики Чебишова – квадрати.

Для підвищення ефективності визначення точок  $P_C$  внесемо точки  $S_1$  та  $S_2$  у просторову хеш-таблицю  $H = \langle h, v \rangle$ , для індексації застосуємо наступну лінійну схему розрахунку просторового хешу:

$$h = i \cdot t + j,$$

де  $i = \left\lfloor \frac{y}{s_y} \right\rfloor, j = \left\lfloor \frac{x}{s_x} \right\rfloor, i, j \in Z^2$  – дискретизовані координати точки  $g$ ;  $s_x, s_y$  –

розміри сітки вздовж відповідних осей координат;  $t$  – кількість комірок в дискретизованій сітці вздовж кожної із координатних осей в загальному випадку  $t = w$ . В якості значень  $v$  хеш-таблиці зберігатимемо множини індексів точок множини  $G$ , які мають відповідне значення хешу  $h$  і належать до  $S_1$  та  $S_2$ .

Розглянемо приклад для  $p_i = (40, 40), p_j = (70, 50), w = h = 100, R_t = 20$ , візуалізація масиву-акумулятору для евклідової метрики наведено на рис. 1, візуалізація масиву-акумулятору для метрики Чебишова наведено на рис. 2 (білі області відповідають зоні перетину).

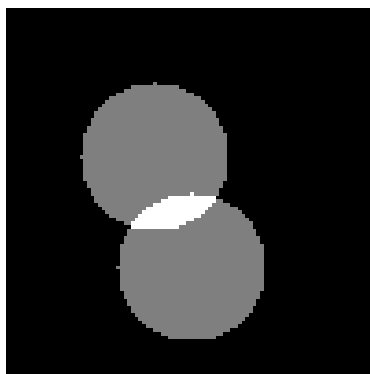


Рис. 1. Візуалізація досяжності точок для евклідової метрики

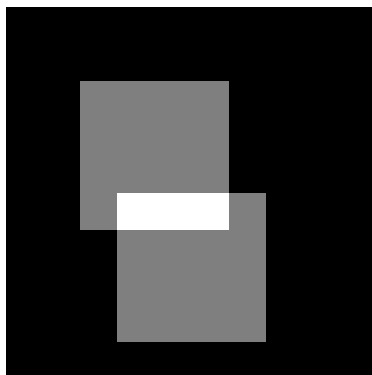


Рис. 2. Візуалізація досяжності точок для метрики Чебишова

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** В результаті роботи розроблено підхід до розв'язання просторових задач на множинах точок на площині. Результатом виконання роботи є створення програмного забезпечення для визначення просторових відносин між точками як послідовності операцій із дискретизованими точковими множинами, які включають: дискретизацію точок, індексацію точок та створення відповідної просторової хеш-таблиці, операції із масивом-акумулятором, візуалізацію результату.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення ефективності підходу для розв'язання просторових задач, які можуть бути зведені до задач на площині.

#### Список літератури:

1. *Dashkevich A.* Semantic Segmentation of a Point Clouds of an Urban Scene / *A. Dashkevich* // Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS–2019). Volume I: Main Conference, 2019. – P. 208-217.
2. *Dashkevich A.* Finding a Strong Key Point Correspondences in Large-Scale Images and Depth Maps / *A. Dashkevich, D. Vorontsova, S. Rosokha* // Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI–2019). Vol. I: Main Conference, 2019. – P. 519-524.
3. *Tekdas O.* Sensor placement for triangulation-based localization / *O. Tekdas, V. Isler* // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2010. – Vol. 7. – №. 3. – P. 681-685.
4. *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.
5. *Дашкевич А.О.* Метод визначення множини розташувань 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.

6. 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. – № 3. – P. 337-347.
7. 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.
8. 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. – №. 4. – P. 1-35.
9. 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. – №. 5. – P. 799-811.
10. 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. – №. 3. – P. 318-332.
11. Peng Z. The trajectory optimization of spray gun for spraying painting robot based on surface curvature properties / Z. Peng, N. Hui Feng, G. Jun, W. Lina. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – P. 331-339.
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. Fishman J. Improved visibility computation on massive grid terrains / J. Fishman, H. Haverkort, L. Toma. – Seattle, Washington: ACM Press, 2009. – 121 p.

#### References:

1. Dashkevich, A. (2019), Semantic Segmentation of a Point Clouds of an Urban Scene. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2019)*, vol. I: Main Conference, 208–217.
2. Dashkevich, A., Vorontsova, D., and Rosokha, S. (2019), Finding a Strong Key Point Correspondences in Large-Scale Images and Depth Maps. *Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI-2019)*, vol. I: Main Conference, 519–524.
3. Tekdas, O., and Isler, V. (2010), Sensor Placement for Triangulation-Based Localization. *IEEE Trans. Automat. Sci. Eng.*, vol. 7, pp. 681-685.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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, No. 4, pp. 1-35.
9. 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, No. 5, pp. 799-811.

- 10.** 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.
- 11.** 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.
- 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.** Fishman, J., Haverkort, H., and Toma, L. (2009), Improved visibility computation on massive grid terrains, in: *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems - GIS '09*. Presented at the the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference, ACM Press, Seattle, Washington, 121 p.

*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) 20.12.2021*

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

УДК 004.932

**Обчислювальний підхід до вирішення задач просторової обробки точкових множин на двовимірних регулярних сітках / Дашкевич А.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 2 (6). – С. 37 – 43.**

В роботі представлено підхід до розв'язання задач просторової обробки на множинах точок на площині. Представлений метод полягає в нанесенні областей довільної геометричної форми навколо заданих точок множини на регулярну сітку та визначенні точок перетину областей із використанням просторових хеш-таблиць для підвищення ефективності операцій. Запропонований підхід реалізовано у вигляді програмного забезпечення для визначення просторових відносин між точками як послідовності операцій із дискретизованими точковими множинами та дозволяє проводити візуалізацію результатів досліджень. Ил.: 2. Бібліогр.: 13 назв.

**Ключові слова:** задача просторової обробки; точкова множина; площина; регулярна сітка; просторова хеш-таблиця.

УДК 004.932

**Вычислительный подход к решению задач пространственной обработки точечных множеств на двухмерных регулярных сетках / Дашкевич А.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – № 2 (6). – С. 37 – 43.**

В работе представлен подход к решению задач пространственной обработки на множествах точек на плоскости. Представленный метод заключается в нанесении областей произвольной геометрической формы около заданных точек множества на регулярную сетку и определении точек пересечения областей с использованием пространственных хеш-таблиц для повышения эффективности операций. Предложенный подход реализован в виде программного обеспечения для определения пространственных отношений между точками как последовательности операций с дискретизированными множествами и позволяет проводить визуализацию результатов исследований. Ил.: 2. Библиогр.: 13 назв.

**Ключевые слова:** задача пространственной обработки; точечное множество; плоскость; регулярная сетка; пространственная хэш-таблица.

UDC 004.932

**Computational approach to solving problems of spatial processing of point sets on two-dimensional regular grids / Dashkevych A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2021. – № 2 (6). – P. 37 – 43.**

The paper presents an approach to solving problems of spatial processing on sets of points on a plane. The presented method consists in plotting regions of an arbitrary geometric shape near given points of the set on a regular grid and determining the intersection points of the regions using spatial hash tables to improve the efficiency of operations. The proposed approach is implemented in the form of software for determining the spatial relationships between points as a sequence of operations with discretized sets and allows visualization of research results. Figs.: 2. Refs.: 13 titles.

**Keywords:** spatial processing task; point set; plane; regular grid; spatial hash table.