

- № 4(135). С. 73-84. DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-08.
2. Прокоп Ю.В., Трофименко О.Г., Дикий О.В. Дослідження підходів до викладання курсу "Алгоритми та структури даних" для студентів ІТ-спеціальностей. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія «Технічні науки». 2021. Том 32 (71) Ч. 1 № 2. С. 216-220. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.2-1/34.
 3. Yeomans L., Zschaler S., Coate K. Transformative and Troublesome? Students' and Professional Programmers' Perspectives on Difficult Concepts in Programming. *ACM Transactions on Computing Education*. Vol. 1, No. 1. P. 1-27. DOI: 10.1145/3283071.
 4. Layman L., Song Y., Guinn C. Toward Predicting Success and Failure in CS2: A Mixed-Method Analysis. *ACM Southeast Conference (ACM SE '20)*. New York, NY, USA, 2020. P. 218-225. DOI: 10.1145/3374135.3385277.
 5. Wittie L., Kurdia A., Peng J., Kelly J., Huggard M. Developing a Concept Inventory for Computer Science 2: What should it focus on and what makes it challenging? *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE'20)*. 2020. P. 1-8. URL: http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/92988/CS2_Concept_Inventory_FIE_2020.pdf;jsessionid=BD4D1BE6611256FB0C6A3CF76556F59C?sequence=1.
 6. Zingaro D., Taylor C., Porter L., Clancy M., Lee C., Nam L., Webb K. Identifying student difficulties with basic data structures. In *Proceedings of the 14th ACM Conference on International Computing Education Research*. 2018. P.169-177. URL: <https://www.cs.oberlin.edu/~ctaylor/pubs/icer143-zingaroA.pdf>
 7. Tenenberg J., Murphy L. Knowing what I know: An investigation of undergraduate knowledge and self-knowledge of data structures. *Computer Science Education*. 2005. Vol. 15, No. 4. P. 297-315. DOI: 10.1080/08993400500307677
 8. Humans Process Visual Data Better. URL: <https://www.t-sciences.com/news/humans-process-visual-data-better>

ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ КВАДРАТИЧНИХ СПЛАЙНІВ В ЗАДАЧАХ LBS-ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Стрелковська І.В.

*доктор технічних наук, професор кафедри кібербезпеки
Національного університету «Одеська юридична академія»*

Соловська І.М.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій
Національного університету «Одеська юридична академія»*

Стрімкий технологічний розвиток інфокомунікаційних мереж зумовлює впровадження множини застосунків та сервісів, які використовують поточне LBS (Location-based Services) місцезнаходження користувача в реальному часі й краудсорсінг (Crowdsourcing), що потребує постійного вдосконалення методів позиціонування з метою підвищення точності місцезнаходження. Особливої уваги заслуговують задачі LBS-позиціонування користувачів Indoor всередині

приміщень в умовах високої концентрації користувачів та наявності складнощів при поширенні радіосигналів [1-8]. Відомі методи LBS-позиціонування Indoor базуються на отриманих значеннях відстані між джерелом та приймачем сигналу з використанням наступних методів: RSS (Received Signal Strength) на базі визначення відстані вимірювання рівня потужності приймаемого сигналу, AOA (Angle of Arrival) – на вимірі кута надходження сигналу щодо джерела, TOA (Time of Arrival) та TDoA (Time Difference of Arrival) – на вимірюванні часу затримки поширення радіосигналу [1-3]. Позиціонування користувача відбувається за допомогою низки методів: триангуляції або трилатерації [1-4], Fingerprinting [4] або ймовірносних методів [5], методу k -найближчих сусідів k -NN (k -Nearest Neighbor) та зваженого метода k -найближчих сусідів з використанням вагових коефіцієнтів k -WNN (k -Weighted Nearest Neighbor) [1-4], байєсівського методу [6] та нейронних мереж [7]. Кожен з вищенаведених методів має низку переваг та недоліків, але всі ці методи показують значні похибки при позиціонуванні в приміщенні. Очевидно, що для вирішення поставленої задачі доцільно здійснити пошук математичного методу, альтернативного до відомих раніше, який дозволить значно спростити процес рішення та одночасно надати нові можливості рішення. Таким рішенням можуть бути методи інтерполяції, апроксимації та екстраполяції за допомогою дійсних та комплексних сплайн-функцій [8]. Раніше авторами в роботах [9-10] при вирішенні задач відновлення та оцінки станів даних, сигналів та трафіку, задач обробки сигналів та підвищення характеристик якості QoS/QoE при функціонуванні інфокомунікаційних мереж та прогнозування характеристик трафіку різних застосунків були використані дійсні сплайн-функції (лінійні, квадратичні, кубічні, B-сплайни), які спростили вирішення багатьох завдань. В роботах [11-14] авторами вирішено завдання позиціонування користувача в мережі Indoor за допомогою комплексних плоских сплайнів. Розглянемо використання комплексних плоских квадратичних сплайнів для рішення завдань LBS-позиціонування користувача в мережі Indoor.

Метою даної роботи є рішення завдання LBS-позиціонування в мережі Indoor на базі комплексних плоских квадратичних сплайнів для підвищення точності визначення місцезнаходження користувача.

Розглянемо мережу Indoor в приміщенні, яку показано на рис. 1. Вважаємо, що мережа Indoor складається зі сукупності точок доступу AP_i , де i – кількість точок доступу AP_i , причому $i = \overline{1,3}$, $AP_i(x, y)$ – координати i -тої точки доступу AP_i . Тоді точки доступу AP мають наступні координати: $AP_1(x_1, y_1)$, $AP_2(x_2, y_2)$, $AP_3(x_3, y_3)$, координати користувача $M(x, y)$. Вважаємо, що в кожній точці розглядаємої мережі Indoor пристрій користувача знаходиться в радіусі дії не менш ніж трьох точок доступу AP_i . Знайдемо координати користувача $M(x, y)$, використовуючи модифікований метод позиціонування користувача в мережі Indoor на

основі методу Fingerprinting з використанням комплексних плоских сплайнів, запропонований в роботах [11-14].

Алгоритм LBS-позиціонування користувача (рис. 1) в мережі Indoor розглянемо на основі методу Fingerprinting та комплексних плоских сплайнів [11-14]. На першому етапі алгоритму виконується формування бази даних Fingerprinting DataBase, яка зберігає значення виміряних потужностей RSSI (Received Signal Strength Indicator) точок доступу AP_i , $i = \overline{1,3}$ у заздалегідь заданих точках приміщення RP (Reference Point) та дані MAC-адрес усіх точок доступу AP_i , $i = \overline{1,3}$ ($MAC_{1,1}$, $RSSI_{1,1}$), ($MAC_{1,2}$, $RSSI_{1,2}$), ($MAC_{1,3}$, $RSSI_{1,3}$) [11-14].

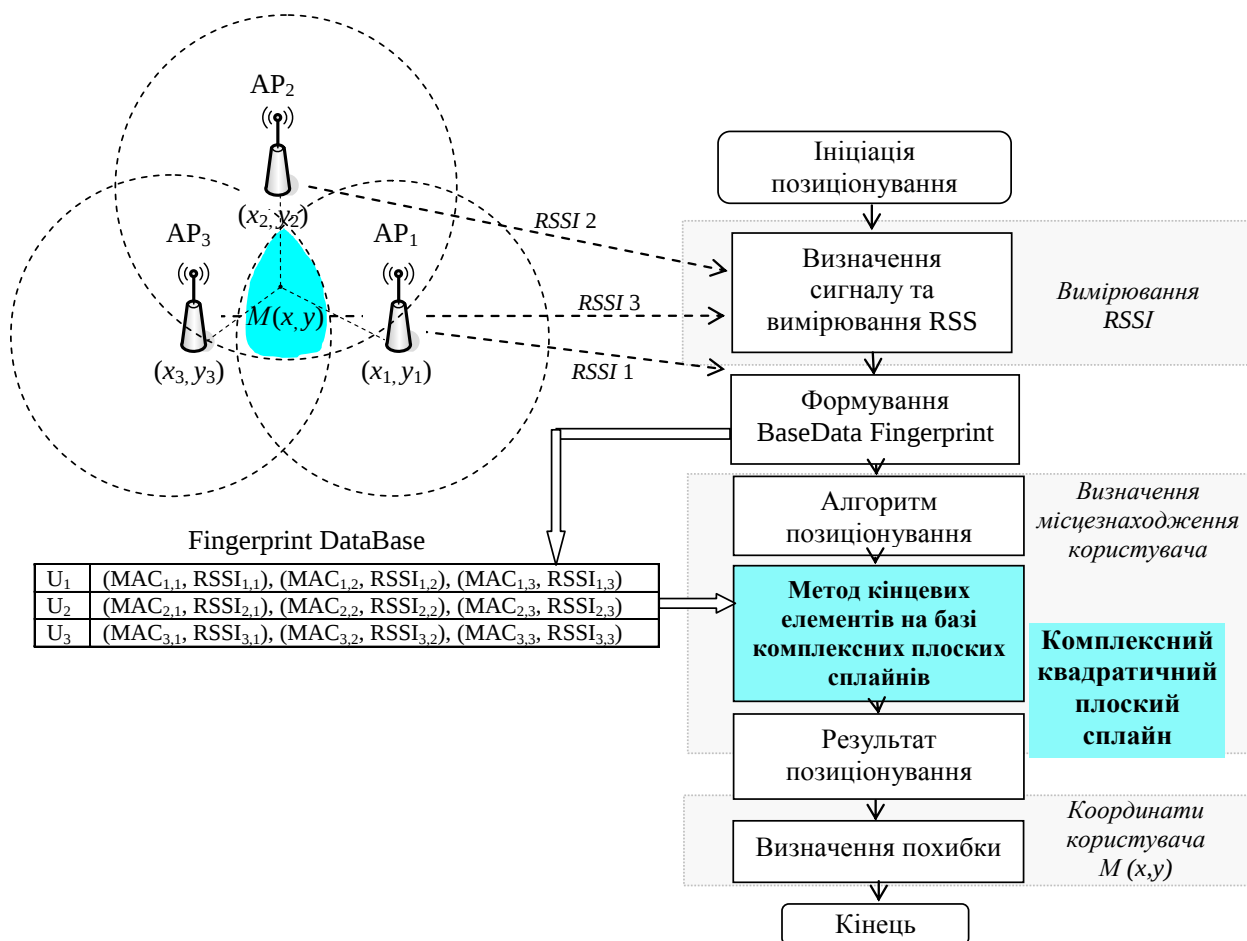


Рис. 1. Алгоритм LBS-позиціонування користувача на основі методу Fingerprinting з використанням комплексних плоских сплайнів

Позиціонування пристрою користувача відбувається до найближчих точок доступу AP_i , $i = \overline{1,3}$, у відповідності до якого кожна точка доступа AP_i виконує вимірювання значення потужності сигналу RSSI та порівнює отримані значення з даними Fingerprint DataBase. Визначення координат місцезнаходження виконується шляхом побудови квадратичного плоского сплайна. Для знаходження похибки позиціонування використовується Лемма.

Процес побудови комплексних плоских сплайнів приведений в роботах [11-14]. Нехай область $\bar{G} \subset Q$, де $\bar{G} = G \cup \partial G$,

∂G – границя області G ,

$Q = [a, a+H] \times [b, b+H]$ – квадрат зі стороною $H > 0$ (рис. 2), N – натуральне число,

$$h_N = \frac{H}{N}, \quad x_k = a + kh_N, \quad y_j = b + jh_N,$$

$k, j = 0, 1, \dots, N$. Область $Q = \bigcup_{k,j=0}^{N-1} Q_{k,j}$ складається з $Q_{k,j}$ – квадратних клітин з кроком h_N ,

тоді

$$Q_{k,j} = \left\{ z = x + iy : x \in [x_k, x_{k+1}], y \in [y_j, y_{j+1}] \right\}.$$

Таке розбиття позначимо через Δ_N .

Визначимо область G_N як об'єднання усіх квадратних клітин $Q_{k,j}$, для яких $Q_{k,j} \cap G \neq \emptyset$. Кожен квадрат $Q_{k,j} \subset G_N$ розіб'ємо діагоналлю на два трикутники $P_{k,j}^1$ та $P_{k,j}^2$. Таке розбиття позначимо Δ'_N . Індекс N в позначеннях h_N , Δ_N , Δ'_N будемо опускати, якщо розглядається фіксоване розбиття. Позначимо через G'_N – об'єднання всіх трикутників $P_{k,j}^1$ та $P_{k,j}^2$, для яких $P_{k,j}^1 \cap G \neq \emptyset$, $P_{k,j}^2 \cap G \neq \emptyset$. Розглянемо один з трикутників $P_{k,j}^1$, $P_{k,j}^2$, який входить до області G'_N з вершинами V_1, V_2, V_3 такими, що виконуються вимоги: $\text{Im } V_1 = \text{Im } V_2$, $\text{Re } V_2 = \text{Re } V_3$.

Відповідно [11-14], побудуємо по області G_N комплексний плоский квадратичний сплайн $S_\Delta(z)$, який інтерполює функцію $f(z)$ у вершинах квадратів $Q_{k,j}$, які увійшли до G_N :

$$S_\Delta(z) = a + bz + c\bar{z} + d(z^2 - \bar{z}^2), \quad (1)$$

при $z \in Q_{k,j} \subset G_N$, де коефіцієнти a, b, c, d визначаються з інтерполяційних умов в точках $z_{k,j} = x_k + iy_j$:

$$S_\Delta(z_{k,j}) = f(z_{k,j}), \quad S_\Delta(z_{k+1,j}) = f(z_{k+1,j}),$$

$$S_\Delta(z_{k,j+1}) = f(z_{k,j+1}), \quad S_\Delta(z_{k+1,j+1}) = f(z_{k+1,j+1}).$$

Функція $S_\Delta(z)$ – неперервна в області G_N [11-14].

Лема. Нехай функція $\varphi(z)$ неперервна в області $\bar{G}_N$, а $S_\Delta(z)$ – комплексний плоский квадратичний сплайн вигляду (1), який інтерполює функцію $f(z)$ у вузлах $\{z_{k,j}\}$, тоді

$$|f(z) - S_\Delta(z)| \leq 4\omega(f, h),$$

де $h = h_N$ та $\omega(f, h)$ – модуль неперервності функції f в G'_N ,

$$|f(z) - S_\Delta(z)| \prec h\omega(f, h),$$

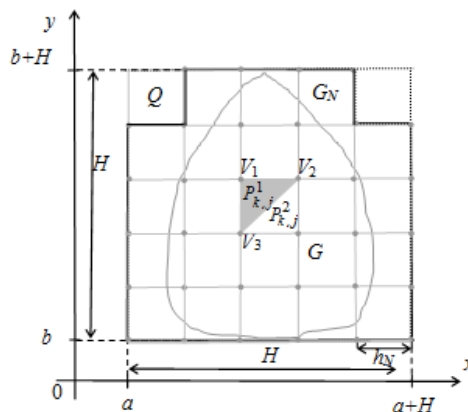


Рис. 2. Побудова клітинної області G

де символ $\prec$ у виразі $a \prec cb$ визначає, що для $a > 0$ та $b > 0$ виконується нерівність $a \leq cb$, де $c = \text{const}$.

Висновки

1. Розглянуто задачу позиціонування користувача для мережі Indoor в приміщенні та методи, які використовуються для визначення LBS-місцезнаходження користувачів всередині приміщень.

2. Запропоновано використання комплексної сплайн-апроксимації на базі комплексних квадратичних плоских сплайнів в методі Fingerprinting для підвищення точності позиціонування.

3. Встановлено, що використання сукупності методів Fingerprinting та комплексної сплайн-апроксимації при позиціонуванні користувача в мережі Indoor дозволяє підвищити точність позиціонування і досягти зниження обчислювальної складності процесу, що забезпечить значне скорочення часу позиціонування.

Список використаних джерел:

1. Hameedah S.H. et al., «An Overview of Local Positioning System: Technologies, Techniques and Applications,» International Journal of Engineering & Technology, vol. 7(3), pp. 1-5, 2018. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.25.17459>.
2. F. Gu et al., «Indoor Localization Improved by Spatial Context – A Survey,» ACM Computing Surveys, vol. 52(3):64, pp. 1-35, 2019, <https://doi.org/10.1145/3322241>.
3. G. Li, E. Geng, Z. Ye, H. Zhu, «An Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI Real-time Correction,» in 14th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP), 2018, <https://doi.org/10.1109/ICSP.2018.8652382>.
4. A.P. Rahmadini, P. Kristalina, A. Sudarsono, «Optimization of Fingerprint Indoor Localization System for Multiple, Object Tracking Based on Iterated Weighting Constant – KNN Method,» International Journal on Advanced Science Engineering Informational Technology, vol. 8(3), pp. 998-1007, 2018, <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.3.6086>.
5. P. Bráulio H.O.U.V., Horácio A.B.F. de Oliveira, and E. J.P. Souto, "Factor Optimization for the Design of Indoor Positioning Systems Using a Probability-Based Algorithm," Journal of Sensor and Actuator Networks, vol. 10, no. 1:16, 2021. <https://doi.org/10.3390/jsan10010016>.
6. Q. Yang, S. Zheng and M. Liu, Research on Wi-Fi indoor positioning in a smart exhibition hall based on received signal strength indication, Wireless Com Network, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1601-3>.
7. H. Mehmood, N.K. Tripathi, T. Tipdecho, «Indoor Positioning System Using Artificial Neural Network,» Journal of Computer Science, vol. 6 (10), pp. 1206-1212, 2010. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2010.1219.1225>.
8. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. Spline-approximation and spline-extrapolation methods in telecommunication problems. In: Ilchenko M., Strelkovska I. (eds) Current Trends in Communication and Information Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 212, pp. 3-20. Springer, Chap № 1. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_1.

9. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Different extrapolation methods in Problems of Forecasting. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham, pp. 217-228. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_12
10. Strelkovskaya I., Solovskaya I. Using spline-extrapolation in the research of self-similar traffic characteristics. Journal of Electrical Engineering. Vol. 70 (2019), Is. 4, pp. 310-316. <https://doi.org/10.2478/jee-2019-0061>
11. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. «The use of linear complex planar splines to improve the accuracy of determining the location of the user in Wi-Fi/Indoor networks,» in 2021 International Scientific-Practical Conference Proceedings (PICS&T), 2021, pp. 1-5.
12. Strelkovskaya, I. Solovskaya I., J. Strelkovska, «Linear complex planar splines in Wi-Fi/Indoor positioning problems,» in 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (IEEE UkrMiCo), 2021, pp. 84-87. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo52950.2021.9716612>
13. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J., «Fingerprinting/Indoor positioning using complex planar splines», in Journal of Electrical Engineering, vol. 72, №6, 2021, pp. 401-406. <https://doi.org/10.2478/jee-2021-0057>.
14. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J., Grigoryeva T., «Using quadratic complex planar splines in solving local positioning problems,» in IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2022, pp.1-4.

ВИКОРИСТАННЯ СПЛАЙН-АПРОКСИМАЦІЇ ТА СПЛАЙН-ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ В ЗАДАЧАХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙ

Стрелковська І.В.

*доктор технічних наук, професор кафедри кібербезпеки
Національного університету «Одеська юридична академія»*

Соловська І.М.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій
Національного університету «Одеська юридична академія»*

Розвиток мереж Future Networks зумовлює стрімку зміну технологій, оновлення протоколів та вдосконалення механізмів підтримки необхідних характеристик якості QoS/QoE (Quality of Service/ Quality of Experience) [1]. Такі зміни потребують кардинального перегляду відомих рішень та пошуку нових методів рішення задач аналізу та синтезу інфокомунікацій. В залежності від характеру розглядаємих задач отримання результатів можливе за допомогою оцінок інтерполяції, екстраполяції та апроксимації, адже ефективність рішення задач аналізу