

ЕВРИСТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ АНТЕН У СИСТЕМІ ДВОВИМІРНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

Савочкін Д.О.

Севастопольський національний технічний університет

E-mail: dmytro.savochkin@gmail.com

Heuristic optimization of antenna deployment for two-dimensional spatial localization system

The simulated annealing algorithm is adapted to the problem of search for the optimal antenna deployment of a two-dimensional localization system based on the combinational method. During the computational experiment, the best antenna deployments were found for two square localization fields (with and without rectangle obstruction in the center).

Для пошуку об'єктів усередині закритих приміщень застосовуються системи двовимірної просторової локалізації, що базуються на різних технологіях. Відомі системи локалізації на основі бездротових локальних мереж [1], сенсорних мереж [2], технології радіочастотної ідентифікації [3] та інші. Застосування таких систем зазвичай передбачає, що на об'єктах локалізації встановлені спеціальні радіомітки. Місцеположення радіоміток визначається шляхом аналізу рівнів потужності сигналів відповіді, що приймаються від міток за допомогою декількох антен системи.

Обробка рівнів потужності виконується шляхом реалізації алгоритму локалізації. У цій роботі розглядається варіант використання комбінованого алгоритму, синтезованого на базі комбінованого методу [4]. Такий алгоритм передбачає усереднення оцінок місцеположення, що формуються трьома базовими алгоритмами: трилатерації, k найближчих сусідів та перетинів [4].

Для підвищення точності локалізації об'єктів необхідне оптимальне розміщення антен системи в просторі (зазвичай на стелі, якщо передбачається варіант локалізації у закритому приміщенні). Ставиться задача знаходження таких координат місцеположення і кутів повороту N антен (розглядаються спрямовані антени), при яких забезпечується мінімальна середня помилка локалізації. При цьому кожна з N антен характеризується розміром та формою її зони дії в площині області локалізації (під зоною дії розуміється така зона, при розміщенні в якій радіоміток їх сигнали успішно приймаються антеною).

Раніше був запропонований критерій оптимальності для комбінованого алгоритму, який заснований на мінімізації усередненого коефіцієнту *horizontal dilution of precision*, максимізації коефіцієнта покриття області локалізації зонами дії антен та мінімізації середньої помилки алгоритму перетинів [5]. Однак, аналітичне знаходження максимуму запропонованої в [5] цільової функції (ЦФ) неможливо внаслідок її істотної нелінійності, а варіант повного перебору неприйнятний через його вкрай високу обчислювальну складність. У зв'язку з цим далі проводиться евристична оптимізація розміщення антен.

Для евристичної оптимізації був обраний алгоритм імітації відпалу [6]. Основною операцією алгоритму імітації відпалу є процедура зміни рішення задачі оптимізації, що розглядається на деякій ітерації циклу. У даній реалізації алгоритму вона була задана наступним чином. Для кожної з антен системи виконуються по чергово наступні дії:

1) З імовірністю 0,5 робиться 10 спроб змінити позицію антени по кожній з координат (x і y) на випадкову величину, що розподілена нормально з нульовим математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням 4 см. Спроба вважається успішною, якщо в результатуючому розміщенні всі антени знаходяться на відстані як мінімум 50 см одна від одної. Якщо хоча б одна спроба успішна, то подальші спроби не проводяться.

2) З імовірністю 0,5 змінюється значення азимутального кута повороту антени на випадкову величину, що розподілена нормально з нульовим математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням 9° .

Для вирішення проблеми виходу з локальних екстремумів застосовувалася процедура повернення рішення назад у разі відсутності поліпшення у значенні ЦФ протягом 10 ітерацій. В якості стартового рішення циклу оптимізації встановлювалось розміщення антен у вигляді квадратної еквідистантної сітки.

На базі адаптованого алгоритму імітації відпалу та запропонованого в [5] критерію оптимальності був проведений обчислювальний експеримент, який мав на меті пошук оптимального розміщення 16 антен системи в квадратній області локалізації розміром $5 \text{ м} \times 5 \text{ м}$. Було розглянуто два варіанти: 1) область локалізації без будь-яких перешкод; 2) область локалізації, в центрі якої розміщена ідеально екрануюча перегородка шириною 0,3 м і довжиною 4 м (для простоти передбачається, що сигнали антен не проходять скрізь перегородку і не відбиваються від неї). Зони дії антен задані у вигляді еліпсів з розмірами півосей 1,25 м і 0,8 м, а зони невпевненого прийому — у вигляді еліпсів з розмірами півосей 1,5 м і 0,95 м (під зонами невпевненого прийому мають у увазі такі зони, в межах яких радіомітки відповідають антенам з імовірністю більшою нуля, але меншою одиниці [7]).

Обчислення проводилися на комп'ютері з двоядерним процесором Intel Core i5 з частотою 1,8 ГГц та об'ємом оперативної пам'яті 4 ГБ. Критерієм зупинки алгоритму служило проходження 8 годин (для області локалізації без перегородки) та 40 годин (для області локалізації з перегородкою). Для другого варіанту використовувався більший час роботи у зв'язку з тим, що врахування перегородки збільшувало тривалість однієї ітерації приблизно в 5 разів.

На рис. 1 представлений графік процесу роботи алгоритму (залежність значення ЦФ від часу роботи). На осі абсцис в дужках вказані значення часу роботи для варіанту області локалізації з перегородкою. На рис. 2 показані найкращі варіанти розміщення антен, які отримані в ході оптимізації (антени позначено синіми точками). Одержано значення ЦФ 0,528 і 0,519 (для області без перегородки і з нею, відповідно). Видно, що результуючі розміщення антен близькі до стартових розміщень у вигляді квадратної сітки. Такий результат свідчить про ефективність патерну квадратної сітки при необхідності мінімізації середньої помилки комбінованого методу просторової локалізації.

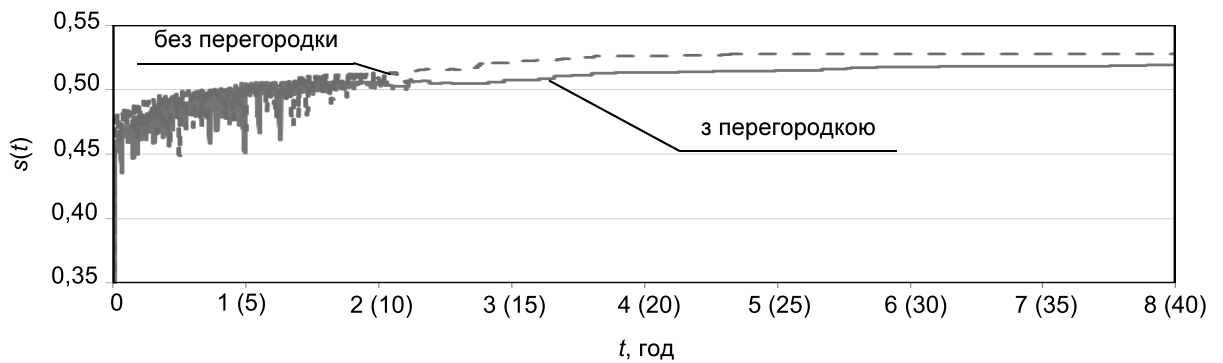


Рис. 1. Залежність значення $s(t)$ цільової функції від часу t роботи алгоритму

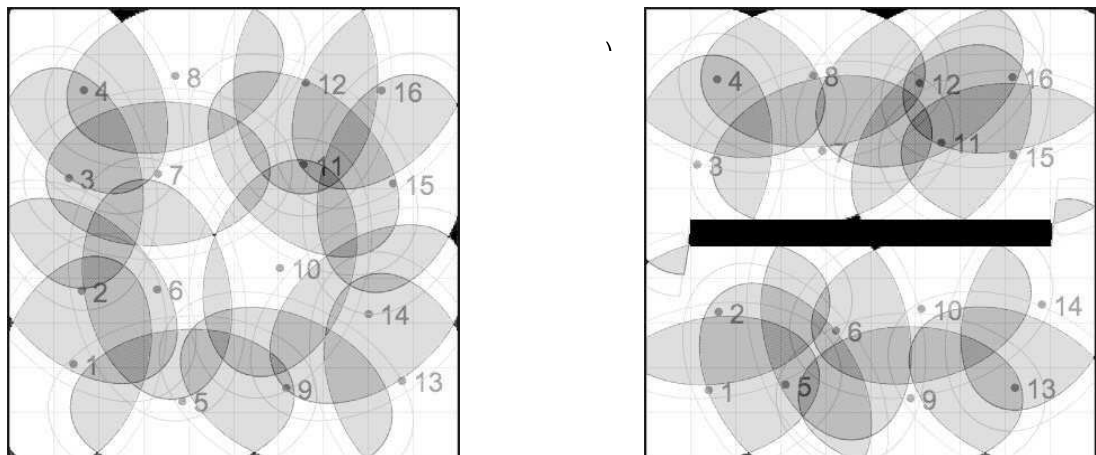


Рис. 2. Найкращі розміщення антен, що отримані в ході оптимізації для областей локалізації без перегородки (а) та з перегородкою (б)

Таким чином, у роботі адаптовано алгоритм імітації відпалу до задачі пошуку оптимальних розміщень антен системи двовимірної просторової локалізації на базі комбінованого методу локалізації. Проведена оптимізація розміщення антен для квадратної області локалізації з перегородкою та без.

Література

1. Gu Y. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks / Y. Gu, A. Lo, I. Niemegeers // *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*. — 2009. — Vol. 11, No 1. — P. 13–32.
2. Koyuncu H. A 2D positioning system using WSNs in indoor environment / H. Koyuncu, S.H. Yang // *Int. J. of Electrical & Computer Sciences*. — 2011. — Vol. 11, No 3. — P. 70–77.
3. Zhou J. RFID localization algorithms and applications—a review / J. Zhou, J. Shi // *J. of Intelligent Manufacturing* — 2009. — Vol. 20, No 6. — P. 695–707.
4. Savochkin D.A. Combinational RFID-based localization using different algorithms and measurements / D.A. Savochkin // *Microwaves, Radar and Wireless Communications : 20-th Int. conf., June 16–18, 2014 : proc. of conf.* — Gdansk, 2014. — Vol. 2. — P. 563–566.
5. Гімпілевич Ю.Б. Розробка критерію оптимальності розміщення антен при реалізації комбінованого методу просторової двовимірної RFID-локалізації / Ю.Б. Гімпілевич, Д.О. Савочкін // *Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи : Міжнар. наук.-техн. конф., 16–22 берез. 2015 р. : матеріали конф.* — Київ, 2015. — С. 169–171.
6. Boussaïd I. A survey on optimization metaheuristics / I. Boussaïd, J. Lepagnot, P. Siarry // *Information Sciences*. — 2013. — Vol. 237. — P. 82–117.
7. Savochkin D.A. Antenna deployment for intersectional RFID localization / D.A. Savochkin // *Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2014» : 10-а Міжнар. молодіж. наук.-техн. конф., 12–17 трав. 2014 р. : матеріали конф.* — Севастополь, 2014. — С. 70.