УДК 004.93

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ЗАДАЧ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЗА АЗИМУТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

Клєпцов А. А.[1]; Фаріонова Т.А.[2] к.т.н., доц.[2]
[1,2]Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
[1,2]Україна, Миколаїв
[1]0009-0008-3147-0618; [2]0000-0003-3384-4712

Анотація. *У роботі розглянуто застосування моделей кластеризації для відокремлення достовірних напрямків у задачах локалізації об'єктів за азимутальними вимірюваннями. Показано недоліки класичних підходів, що не враховують специфіку циклічних даних і негаусівських похибок. Запропоновано напрями удосконалення моделей кластеризації для підвищення точності визначення координат об'єктів.*
Ключові слова: *модель кластеризації; локалізація об'єктів; азимутальні дані; фільтрація.*

Вступна частина. Задачі локалізації об'єктів за азимутальними вимірюваннями широко використовуються у навігаційних, військових та моніторингових системах. Основною проблемою таких задач є наявність великої кількості похибкових напрямків, що створюють помилкові перетини. Для відокремлення істинних позицій об'єктів від шумових даних застосовуються моделі кластеризації [1, 2].

Проте більшість стандартних моделей кластеризації (k-Means, DBSCAN, MeanShift) розроблені для евклідових просторів і не враховують специфіку азимутальних даних, які мають циклічну природу (0° - 360°) та неоднорідну густоту вимірювань.

Метою дослідження є аналіз сучасних моделей кластеризації для обробки азимутальних вимірювань та визначення напрямів їх удосконалення.

Основна частина. **Моделі кластеризації даних для задач локалізації за азимутальними даними дозволяються зробити – те те і те, однак у них є свої плюси і мінуси.** У ході дослідження виконано моделювання даних азимутальних перетинів у площині з використанням синтетичних вибірок різного рівня зашумлення (до 40 %). Для аналізу було реалізовано та протестовано модель k-Means, DBSCAN, Hierarchical Clustering, OPTICS і Gaussian Mixture Models (GMM). Порівняння проводилось за метриками Silhouette Score, середньоквадратичної помилки відстані до реальних точок і часу обчислення.

Результати експериментів показали, що:

- модель k-Means забезпечує швидку роботу, проте є нестабільним при наявності викидів і потребує попереднього задання кількості кластерів *k*, що не завжди відомо в задачах локалізації;
- DBSCAN ефективніше відокремлює реальні перетини та відкидає поодинокі шумові точки, однак вимагає ретельного підбору параметрів ε (радіус сусідства) та minPts (мінімальна кількість точок у кластері), які сильно залежать від масштабу сцени;
- Hierarchical Clustering демонструє хорошу стійкість на невеликих вибірках, дозволяючи досліджувати структуру вкладених кластерів, проте при великій кількості перетинів спостерігається «злиття» віддалених груп через поступове зменшення порогу об'єднання;
- OPTICS є узагальненням DBSCAN та забезпечує кращу адаптацію до змінної густини точок, зменшуючи ризик хибних об'єднань, але потребує більших обчислювальних ресурсів і часу;

• GMM (Gaussian Mixture Models) дозволяє апроксимувати форму кластерів еліпсами та уточнювати їх центри за допомогою EM-моделі, однак чутливий до вибору початкових параметрів і припускає нормальний розподіл даних, що не завжди відповідає реальним негаусівським вимірюванням.

Для підвищення точності кластеризації авторами запропоновано підхід, який грунтується на використані модифікованих метрики відстані, що враховують кутові координати (зокрема, перехід через 0° / 360°), а також попередню фільтрацію напрямків за критеріями достовірності сигналу та геометричної узгодженості. Такий підхід дозволяє зменшити кількість хибних перетинів ще до етапу кластеризації.

Ще одним шляхом вдосконалення моделей кластеризації є інтеграції таких кластеризаційних методів із ймовірнісними моделями - наприклад, використання функцій правдоподібності або Lp-нормових критеріїв [3], що підвищують стійкість до негаусівських шумів і дозволяють адаптувати модель до реальних даних із різних сенсорів. У рамках подальшої роботи передбачається впровадження комбінованої схеми: попередня фільтрація → кутова кластеризація → оцінка достовірності кластерів за байєсівським підходом.

Практичне значення таких удосконалень полягає у підвищенні точності визначення координат об’єктів у системах пасивного моніторингу, скороченні кількості хибних точок та покращенні виявлення малопомітних цілей у складних умовах (наприклад, у багатопроменевому середовищі чи при великій кількості джерел перешкод).

Висновки. Стандартні моделі кластеризації не повністю враховують особливості азимутальних даних. Для підвищення точності локалізації необхідна адаптація метрик відстані та попередня обробка шумових вимірювань. Подальші дослідження планується спрямувати на розроблення комбінованої моделі кластеризації з елементами фільтрації та оцінки достовірності напрямків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Luo, J.-A., Xue, C.-C., Rong, Y.-J., & Han, S.-T. (2021). A Total Lp-Norm Optimization for Bearing-Only Source Localization in Impulsive Noise with SαS Distribution. *Sensors, 21*(19), 6471. https://doi.org/10.3390/s21196471

[2] Kurz, G. (2019). Directional Statistics and Filtering Using libDirectional. *Journal of Statistical Software, 89*(4), 1–20. https://doi.org/10.18637/jss.v089.i04

[3] de Ramos, D. C., Pfannschmidt, M., Otto, K., & Ziegler, T. (2024). Evaluation of Cluster Algorithms for Radar-Based Object Identification. *Sensors, 24*(22), 7219. https://doi.org/10.3390/s24227219

Klieptsov A. A., Farionova T. A.

Analysis And Improvement Of Clustering Methods In Azimuth-Based Object Localization

Abstract*. The paper examines the use of clustering models for separating reliable directions in azimuth-based object localization tasks. The limitations of classical approaches that do not account for the cyclic nature of angular data and non-Gaussian measurement errors are analyzed. Possible directions for improving clustering algorithms are proposed to enhance the accuracy of coordinate estimation in localization systems.*

Keywords: *clustering model; object localization; azimuth data; filtering.*