Алгоритм кластеризации радиолокационных паттернов в пассивных радиолокационных комплексах.

Распознавание целей в воздушном пространстве является задаче радиолокации. Обработка радиолокационной информации представляет собой важный комплекс задач, решаемых при помощи радиолокационных станций (РЛС). Назначение обработки подготовить к выдаче в требуемом виде полную, достоверную и современную информацию для потребителя о состоянии воздушной обстановки, появлении и местоположении воздушных объектов, параметрах их движения, возможных вариантах развития динамики изменения воздушно-помеховой обстановки. Одной из таких задач является обнаружение летательных аппаратов (ЛА) и их определение принадлежности к определенному классу или типу. Проблема аналогична известной задаче кластеризации [2], необходимо из множества одиночных отметок выбрать несколько центров группирования, которые соответствует обнаруживаемым целям.

В большинстве систем группирование осуществляется с помощью полуэмпирических методов, эффективность которых невысока. Это приводит, с одной стороны, к пропуску части отметок и снижению энергетики при принятии решений о наличии целей, а также к размножению отметок от крупных целей и появлению ложных целей. С другой стороны, при завышенном пороге группирования возможно объединение отражений от разных близкорасположенных целей в один пакет, что приводит к пропуску целей и ухудшению точностных характеристик определения их координат. Осуществление эффективной кластеризации отметок позволит в дальнейшем адекватно формировать траектории групп целей, что приведет к энергетическому выигрышу и снижению числа ложных трасс на порядок [Татузов].

В настоящее время растет разнообразие работ, где решается задача кластеризации радиолокационных импульсов с помощью различных методов. Например, распознавание динамических объектов в радиолокационном пространстве с помощью алгоритмов четкой кластеризации k-means и нечеткой кластеризации c-means по навигационным параметрам [УДК 621.396.96:004.021 МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ Н. Л. Князев, Л. А. Денисова Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия], модель масштабной смеси нормальных распределений для классификации и кластеризации радиолокационных излучателей [Radar emitters classification and clustering with a scale mixture of normal distributions, *Guillaume Revillon , Ali Mohammad-Djafari , Cyrille Enderli],* метод автоматической классификации с использованием сети вычисления p-значений для проверки гипотез о типах излучателей, где в качестве алгоритма кластеризации представлен метод (Learning Vector Quantization – LVQ) (обучаемая кластеризация векторов) [**Radar Pattern Classification Based on Class Probability Output Networks** [*Lee Suk Kim*](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26532-2_53?error=cookies_not_supported&code=74cb2370-3c34-42ae-b366-4f3ff120bb2d#auth-Lee_Suk-Kim)*,*[*Rhee Man Kil*](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26532-2_53?error=cookies_not_supported&code=74cb2370-3c34-42ae-b366-4f3ff120bb2d#auth-Rhee_Man-Kil)*,* [*Churl Hee Jo*](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26532-2_53?error=cookies_not_supported&code=74cb2370-3c34-42ae-b366-4f3ff120bb2d#auth-Churl_Hee-Jo)*],* алгоритмы кластеризации с радарным сканирование на основе плотности [**A new clustering algorithm based on a radar scanning strategy with applications to machine learning data,** Lin Ma, Yi Zhang, Víctor Leiva, Shuangzhe Liu, Tiefeng Ma**]**применяют и аппарат нейронных сетей, а именно глубокие рекуррентные нейронные сети (РНС) для классификации и грубой кластеризации различных групп импульсов иерархически в отношении их последовательных структур. [R**ecognition of Multifunction Radars Via Hierarchically Mining and Exploiting Pulse Group Patterns,** ZHANG-MENG LIU***].***

В данной же работе рассматривается возможность повышения эффективности обработки информации в системах радиолокации за счет отождествления сигналов с целями путем обработки данных сигналов алгоритмом кластеризации DBSCAN [DBSCAN++: Towards fast and scalable density clustering Jennifer Jang 1 Heinrich Jiang 2] [A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jiirg Sander, Xiaowei Xu] В свою очередь данный алгоритм не требует определения числа кластеров заранее не известно и учитывает выбросы (шум) в радиолокационных данных.

**Само описание DBSCAN**

Концепция алгоритма DBSCAN состоит в выделении областей высокой плотности, которые отделены друг от друга областями низкой плотности. И чтобы правильно применить данный алгоритм кластеризации для решения поставленной задачи, требуется подробнее определить входные параметры и характеристики алгоритма. На вход метода задается матрица близости и два параметра – радиус 𝑒𝑝𝑠𝑖𝑙𝑜𝑛-окрестности и 𝑚𝑖𝑛𝑝𝑡𝑠-минимальное количество соседей. Для определения 𝑒𝑝𝑠𝑖𝑙𝑜𝑛 и 𝑚𝑖𝑛𝑝𝑡𝑠 требуется ввести несколько определений. Пусть задана некоторая симметричная функция расстояния 𝜌(𝑥, 𝑥 ′ ) и константы 𝜀 и 𝑚.

Тогда:

1. Назовем область 𝐸(𝑥), для которой ∀𝑥: 𝜌(𝑥, 𝑥 ′ ) ≤ 𝜀, где 𝜀 – окрестность объекта 𝑥

2. Центральным объектом или ядерным объектом степени 𝑚 называется объект, 𝜀-окрестность которого содержит не менее 𝑚 объектов: |𝐸(𝑥)| ≥ 𝑚 17

3. Объект 𝑝 непосредственно плотно-достижим из объекта 𝑞, если 𝑝 ∈ 𝐸(𝑞) и 𝑞 – корневой объект

4. Объект p плотно-достижим из объекта 𝑞, если ∃𝑝1, 𝑝2 … 𝑝𝑛, 𝑝1 = 𝑞, 𝑝𝑛 = 𝑝, такие что ∀𝑖 ∈ 1 … 𝑛 − 1: 𝑝𝑖 + 1 непосредственно плотно-достижим из 𝑝𝑖

Следуя определению плотной области, точка может быть классифицирована как основная точка если |𝐸(𝑥)| ≥ 𝑚. Центральные точки, как следует из названия, находятся внутри кластера. Пограничная точка (достижимая по плотности точка) имеет меньше, чем m в своей 𝐸(𝑥) области, но лежит в окрестности другой центральной точки. Шум (выпадающая точка) – это любая точка данных, которая не является ни основной, ни пограничной. Достижимость не является симметричным отношением, поскольку, по определению, никакая точка не может быть достигнута из неосновной точки, независимо от расстояния (так что неосновная точка может быть достижимой, но ничто не может быть достигнуто из неё). Поэтому дальнейшее понятие связности необходимо для формального определения области кластеров, найденных алгоритмом DBSCAN. Две точки 𝑝 и 𝑞 связаны по плотности, если имеется точка 𝑜, такая что и 𝑝, и 𝑞 достижимы из 𝑜. Связность по плотности является симметричным отношением. Тогда кластер удовлетворяет двум свойствам:

1. Все точки в кластере попарно связны по плотности.

2. Если точка достижима по плотности из какой-то точки кластера, она также принадлежит кластеру

DBSCAN отлично работает на плотных, хорошо отделенных друг от друга кластерах. При этом форма кластера совершенно не важна. Алгоритм отлично обнаруживает кластеры малой размерности. Успешно применяется для большого датасета , причем сложность элементов датасета значения не имеет. Количество элементов в кластере может варьироваться, количество выбросов значения не имеет, если они рассеяны по большому объему.

**Моделирование**

Для решения задачи и с целью качественной оценки эффективности алгоритма кластеризации DBSCAN на данных, которые представляют собой элементарные радиоимпульсы, требуется описать параметры имитационной модели сигнала.

**Исходные данные моделирования**

Для описания параметров моделируемых элементарных импульсов был проведен анализ реальных записей обнаруживаемых элементарных импульсов с многопозиционного пассивного радиолокационного комплекса. Одиночные импульсы имеют следующие параметры: время прихода импульса , длительность импульса , период импульса , это разность времен между текущим импульсом и предыдущим импульсом, несущая частота . Анализируя реальные записи было выяснено, что импульсы с некоторыми параметрами встречаются чаще всего. А именно: минимальное значение периода , наиболее часто встречающиеся несущие частоты сигналов представляют собой следующий дискретный набор , наиболее часто встречающиеся длительности импульса представляют собой дискретный набор . Параметры этих импульсов взяты за основу сигналов в имитационной модели.

Реальные записи всегда содержат шумы наблюдения, поэтому это следует учесть и для имитационной модели. В итоге подобрались следующие шумы наблюдения: для времени прихода импульса , по несущей частоте , для длительности импульса . Кроме шума наблюдения существуют также отклонения от мгновенных значений. Положим следующее: девиация частоты в долях от несущей принимает равновероятные значения в следующем диапазоне целых чисел , девиация длительности импульса в долях

Требуется сформировать выборку импульсов в которой будут присутствовать повторяющиеся несколько раз сигналы с одинаковыми параметрами – паттерны. Эти паттерны должны определиться алгоритмом кластеризации DBSCAN. Формирование выборки импульсов задается следующим образом. Определяются параметры импульса:

1. Формируется случайным образом период между импульсами:

Где 𝑓([1,10]) – непрерывное равномерное распределение целых чисел, 𝑔(0, ∆𝑇пр) – нормальный закон распределения с нулевым средним значением и дисперсией 𝑇пр.

2. Формируется несущая частота импульса:

3. Формируется случайным образом длительность импульса:

4. Далее задается длина паттерна 𝐿

5. Формируется выборка импульсов из 𝑁 = 10000 элементов, где случайным образом распределены паттерны. К параметрам импульсов добавляется шум наблюдения, распределенный по нормальному закону. В итоге модель наблюдений описывается следующим образом:

где 𝜺 - матрица шумов наблюдений размерностью (𝑁х4). 𝑿 - матрица состояния размерностью (𝑁х4). 𝒀 - матрица наблюдений размерностью (𝑁х4).

Проведение кластеризации, адекватно складывающейся воздушной обстановки, позволяет повысить вероятности обнаружения целей и снизить количество ложных отметок в несколько раз.

В данной статье рассматривается такой этап обработки, как кластеризация обнаруженных отметок от цели и пакетирование их в группы. Осуществление эффективной кластеризации отметок позволит в дальнейшем адекватно формировать траектории групп целей, что приведет к энергетическому выигрышу и снижению числа ложных трасс на порядок [Татузов].