

ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ШИРОКОАПЕРТУРНОЙ АНТЕННЫ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

С. А. Савицкий

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, stanislausavitski@gmail.com
Научный руководитель — В.С. Баранова, А.А. Спиридонов,
кандидат физико-математических наук, доцент*

В работе описывается использование метода кластеризации DBSCAN для выделения профиля широкоапертурной антенны в трехмерном облаке точек, полученное путем сканирования активной оптической системой. Разработан алгоритм для предварительной фильтрации облака точек от шумов и выбросов из исходных данных.

Ключевые слова: сканирование антенны, кластеризация, облако точек, лидар, активная оптическая система.

Структурные дефекты отражающей поверхности параболических антенн являются существенным источником потерь полезного сигнала и низкой производительности серий приёма и передачи. Для достижения оптимального функционирования эксплуатируемой антенны необходимо периодически проводить измерения и численную оценку структуры отражающей поверхности. Использование лидаров для измерения профиля широкоапертурной антенны представляет собой инновационное направление в области радиоэлектронных систем и телекоммуникаций. Лидар, сканируя объекты, получает их трехмерную модель и расстояние до него, для этого используются световые импульсы. В контексте широкоапертурных антенн, лидарные технологии предоставляют новые возможности для высокоточного измерения геометрических характеристик антенн, что имеет важное значение для обеспечения их оптимальной работы. В ходе данной работы были разработаны алгоритмы для предварительной фильтрации облака точек от шумов и выбросов из исходных данных и реализован алгоритм кластеризации DBSCAN для автоматического выделения профиля антенны. Все алгоритмы выполнены на объектно-ориентированном языке Python, для визуализации облака точек использовалась программа CloudCompare версии 2.13beta.

Для восстановления профиля широкоапертурной антенны использовались данные измерений активной оптической системы на базе лидара СН128Х1. Программный модуль управления, считывания и обработки передаёт командные конфигурации лидару и считывает данные измерения по протоколу UDP/IP. В программный модуль поступает основной поток данных измерений: номер канала измерения (Laser_ID), который соотносится

с вертикальным углом (шаг 0.125°), координаты 3D облака точек (Points_X, Points_Y, Points_Z), горизонтальный угол (Azimuth), расстояние (Distance) и интенсивность (Intensity). Данные измерения сохраняются в формате .csv и представляются в виде таблицы, пример которой продемонстрирован в табл.1.

В работе исследовались антенны L-, S-диапазона с сетчатым отражателем и раскрытием 2.4 м. С учётом того, что лидар захватывает области в поле зрения 120° на 25° помимо целевой антенны данные сканирования заполнены и другими объектами. В следствие чего, важным этапом обработки является фильтрация и сегментирование поверхности исследуемой антенны.

Таблица 1

Форма представления данных с лидара

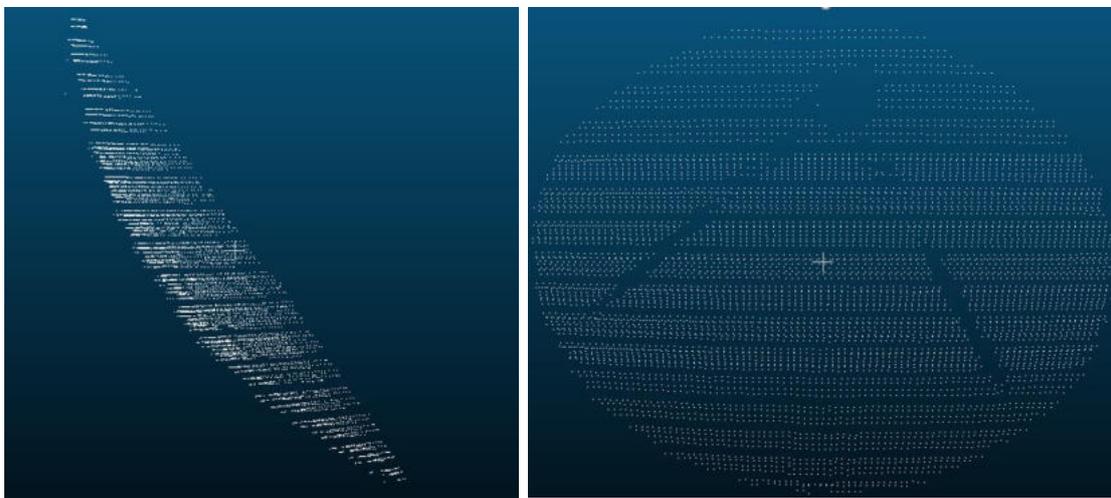
Frame Numbers	Laser_ID	Points_X	Points_Y	Points_Z	Distance	Azimuth	Intensity
1	0	0	0	0	0	151	0
1	0	0	0	0	0	151	0
...
1	0	6.77484	3.92092	-2.41047	8.19039	30.06	6
1	0	6.76615	3.94748	-2.41226	8.19648	30.26	7
...

Из таблицы 1 видно, что первые две точки имеют нулевые значения координат, дистанции и интенсивности. В данном направлении световой пучок ушел в бесконечность и не отразился, соответственно объектов на его пути не было, такие точки называются выбросами. Для устранения таких точек был разработан алгоритм, который убирает точки имеющие нулевые значения. Шумы представляют из себя точки, которые не смотря на гладкость поверхности отклоняются на незначительное расстояние. Поэтому написанный алгоритм проверяет на схожесть две точки, если они имеют одинаковые координаты или находятся на критически малом расстоянии друг от друга, то одна из них удаляется. Такой алгоритм сократил количество точек на порядок: в начальном облаке было 230396 точек, после фильтрации их численность уменьшилась до 30610.

Существует множество методов кластеризации, которые были изучены. Метод К-средних является универсальным для любого размера кластеров, имеет плоскую геометрию из-за чего его использование не разумно в данной задаче, а также алгоритм требует указания количества кластеров. Иерархическая кластеризация – это общее семейство алгоритмов кластеризации, которые создают вложенные кластеры путем их последовательного

слияния или разделения, этот метод показал не удовлетворительный результат, представленные данные оказываются настолько запутанными и неструктурированными, что интерпретировать их практически невозможно. До использования методов кластеризации была опробована аппроксимация методом наименьших квадратов, в результате которого алгоритм должен был находить коэффициенты поверхности второго порядка, но из-за большого количества точек из которых антенна около $1/5$, полученные значения не описывали поверхность профиля антенны.

Для кластеризации с целью выделения антенны из облака выбран метод DBSCAN по нескольким причинам: используется при больших объемах точек от 10^5 до 10^8 ; для реализации методов с машинным обучением нужна база для обучения; данный метод прост в реализации.



a

б



в

Выделенная антенна в проекциях:
a – на плоскость XZ; *б* – на плоскость YZ; *в* – на плоскость XY

При написании функций, которые загружают и записывают данные из/в файла из данных измерения лидаром используются координатами X, Y, Z. Для работы метода кластеризации DBSCAN вводятся параметры ϵ (радиус окрестности точки) и minPoints (минимальное количество точек входящие в окрестность). Для поиска оптимальных значений было выполнено несколько итераций в результате которых антенна выделялась сначала со стойкой и небольшой областью поверхности на которой она стоит, при визуализации этого кластера было обнаружено что между точками поверхности большое расстояние, соответственно значения ϵ было уменьшено в два раза, в таком случае была получена антенна со стойкой, уменьшив входные параметры до $\epsilon=0.15$ и $\text{minPoints}=3$ был получен наилучший результат. При данных параметрах антенна выделилась в отдельный кластер рис с количеством точек 6784.

В данной работе была рассмотрена методология использования лидарных систем для измерения профиля широкоапертурных антенн. Применение активной оптической системы на базе лидара СН128Х1 позволило получить трехмерные модели антенн с точностью ± 3 см, что обусловлено разрешением лидара. Разработанные алгоритмы для фильтрации данных и метод кластеризации DBSCAN продемонстрировали свою эффективность в выделении профиля антенны из облака точек, что подтверждено экспериментальными данными. Дальнейшая обработка сегментированного профиля позволит определить глобальные и локальные деформации отражателя антенны.

Библиографические ссылки

1. *Baranova V., Liashkevich S., Saetchnikov V.* Application of Active Optical System for Estimation of the Wide-Aperture Antenna Profile // Proceedings of the IEEE. 2023. P.413-417.
2. Интересные алгоритмы кластеризации, часть вторая: DBSCAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/322034/> (дата обращения: 21.04.2024)
3. *Глумова Е.С., Серова М.А.* Исследование алгоритмов фильтрации облака точек для помехоустойчивой реконструкции поверхности: отчет о НИР // Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева.2023.