



# МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ)

Институт №8 "Компьютерные науки и прикладная математика"

Кафедра №806 "Вычислительная математика и программирование"

Выпускная квалификационная работа на тему:

**«Фильтрация двумерного траекторного сигнала для формирования радиолокационных изображений на беспилотных аппаратах»**

**Студент:** Велесов Даниил Игоревич

**Группа:** М8О-408Б-20

**Руководитель проекта:** Гаврилов Константин Юрьевич – Доктор технических наук, профессор кафедры 806 МАИ

Москва - 2024





# Актуальность выпускной работы





# Цель и задачи выпускной работы

**Цель** - Создание алгоритмов и программ для формирования РЛИ, позволяющих существенно ускорить процедуру формирования синтезированного изображения.

## **Задачи:**

- Разработка алгоритма фильтрации и реализация его в виде программы.
- Выявление факторов – характеристики фильтров, размер сцены и разрешающая способность, влияющих на конечное качество изображения.
- Разработка программы моделирования радиолокационных сигналов и преобразования их в радиолокационные изображения.



# Постановка задачи

**Дано:** Модель двумерной сцены в виде множества точечных отражателей.



**Необходимо:** С помощью разработанных программ сформировать радиолокационное изображение, преобразовав траекторный сигнал в синтезируемое изображение.

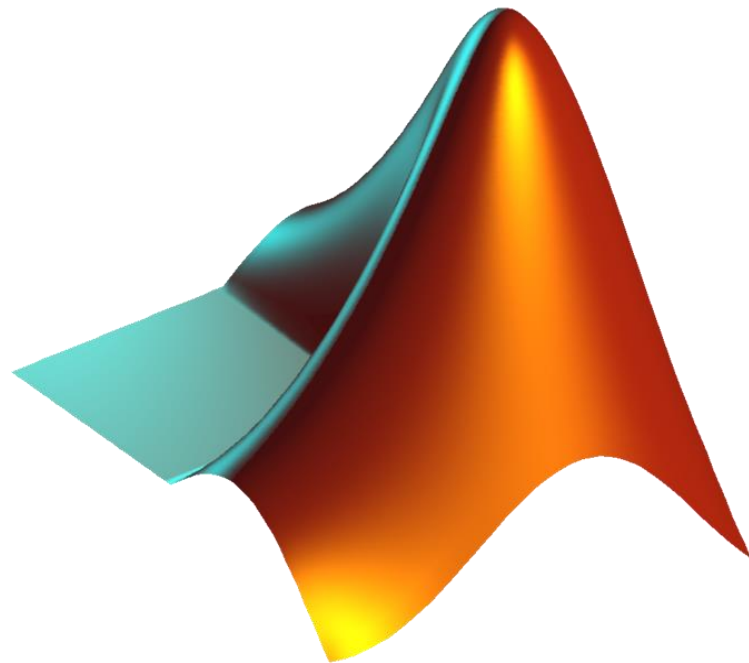


# Основные этапы выпускной работы

- Разработка алгоритма и программы формирования траекторного сигнала.
- Разработка алгоритма фильтрации сигнала и синтезирования изображения.
- Разработка программы синтезирования РЛИ с применением множественной фильтрации.
- Анализ эффективности применяемых алгоритмов фильтрации траекторных сигналов.



# Стек технологий



В частности был использован модуль Signal Processing

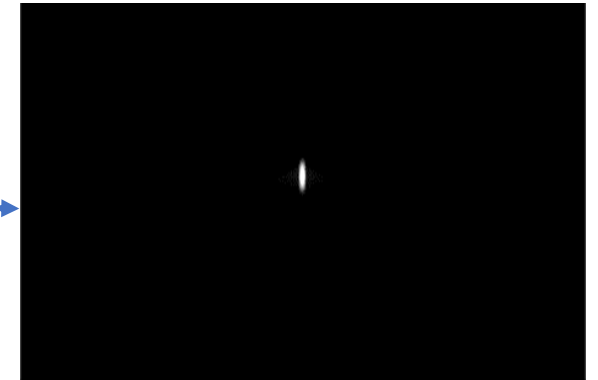
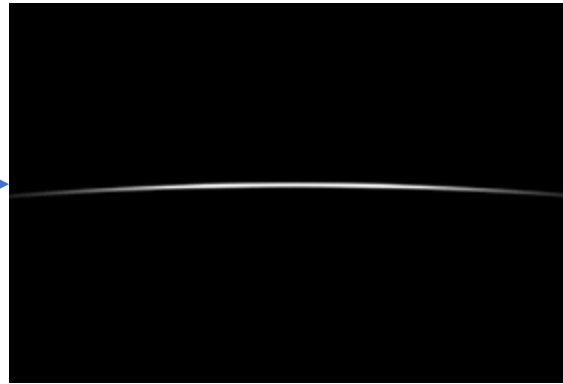
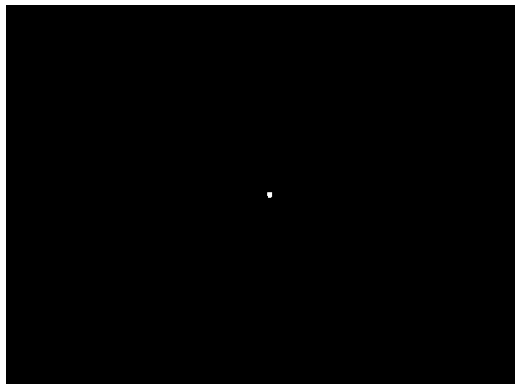


# Процесс формирования радиолокационного изображения

Модель  
точечного  
отражателя

Дуга траекторного сигнала

Восстановленное  
изображение



Формирование  
сигнала с радара

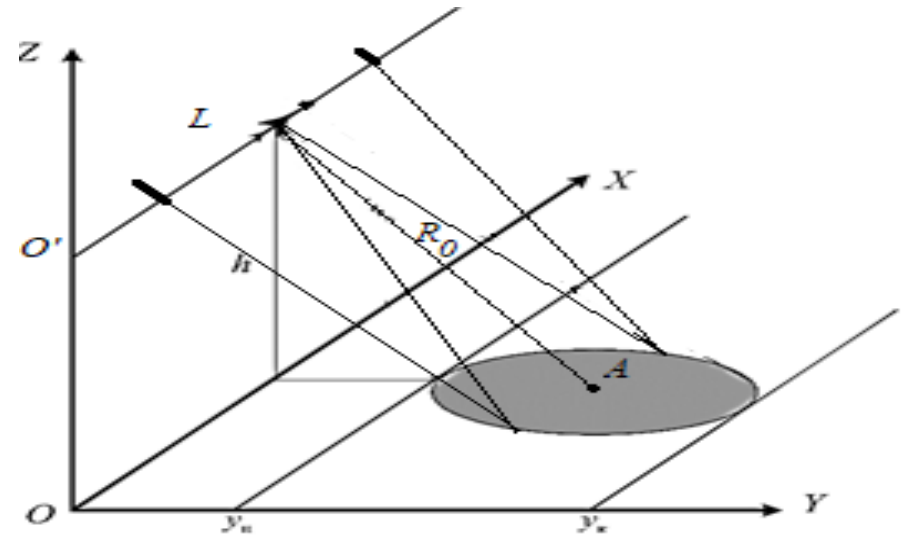
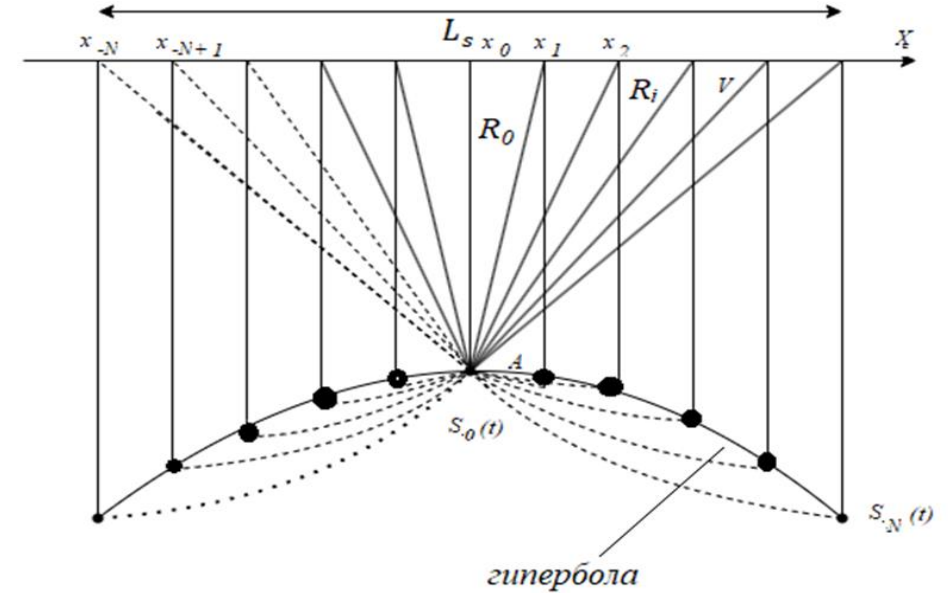
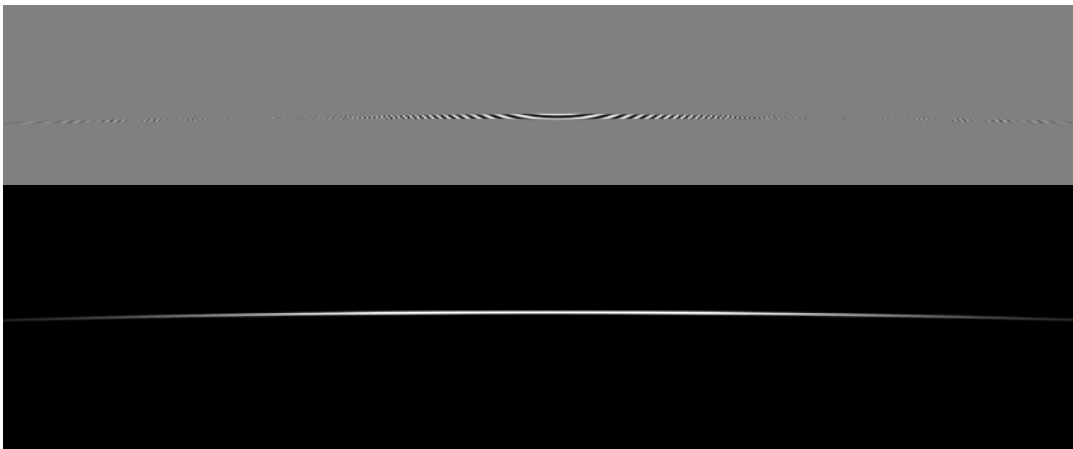
Фильтрация с  
помощью БПФ



# Формирование траекторного сигнала

8

- А - точечный отражатель на земной поверхности;
- h - высота полета ЛА;
- O' - линия полета ЛА;
- R<sub>0</sub> - Наклонная дальность до точки А;
- L - интервал синтезирования апертуры (область видимости точки А);
- x<sub>i</sub> - координата;
- x<sub>i</sub> = V \* t<sub>i</sub>, V - скорость ЛА;
- $R_i = \sqrt{R_0^2 + x_i^2} = \sqrt{R_0^2 + (Vt_i)^2}$  - дальность до i-ой точки







# Применение Быстрого преобразования Фурье для согласованной фильтрации сигнала

## 1. Двумерное Быстрое преобразование Фурье

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)},$$

$$F(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} f(u, v) e^{i2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}.$$

## 2. Формирование импульсной характеристики согласованного фильтра в частотной области

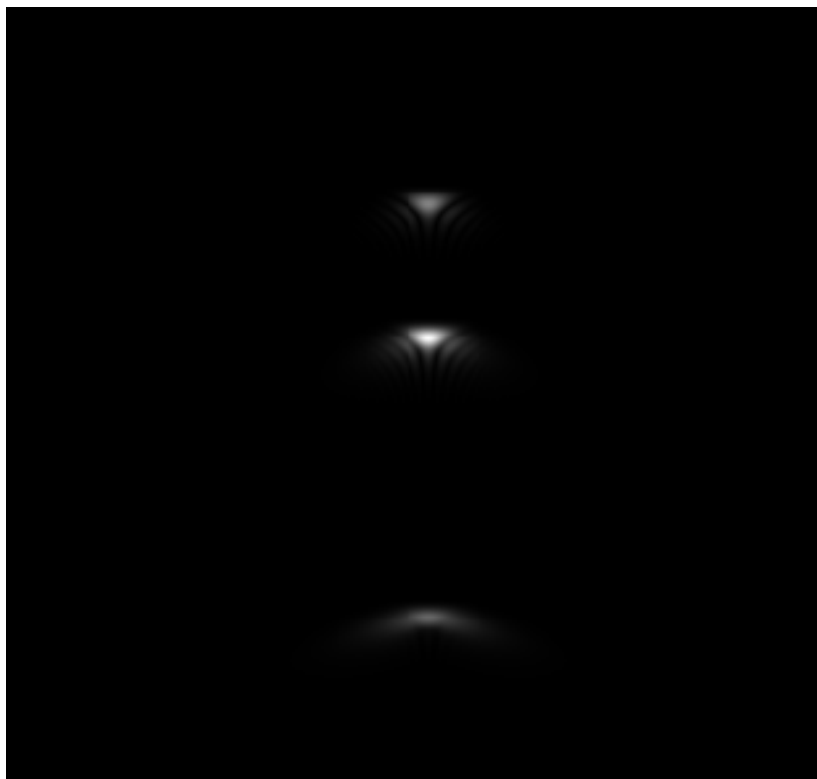
$$h_{\text{сф}}(n, m) \rightarrow h_{\text{сигн}}(N - n, M - m) \rightarrow \text{БПФ} \rightarrow H_{\text{сф}}$$

## 3. Фильтрация в частотной области

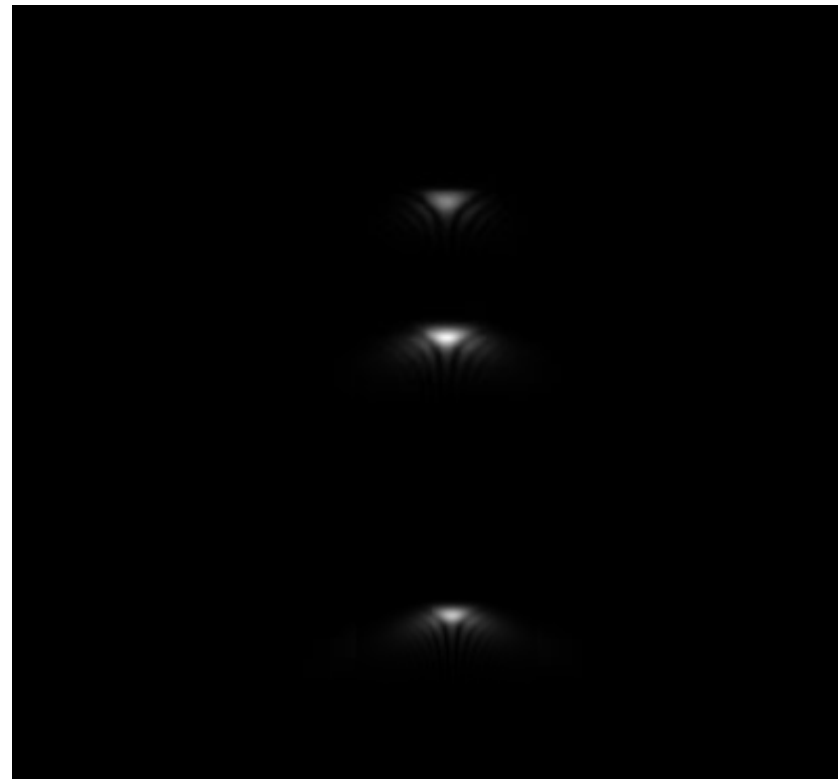
$$f_{\text{рли}} = F_2^{-1} \{ \dot{F} \oplus \dot{H} \}$$



## Множественный фильтр



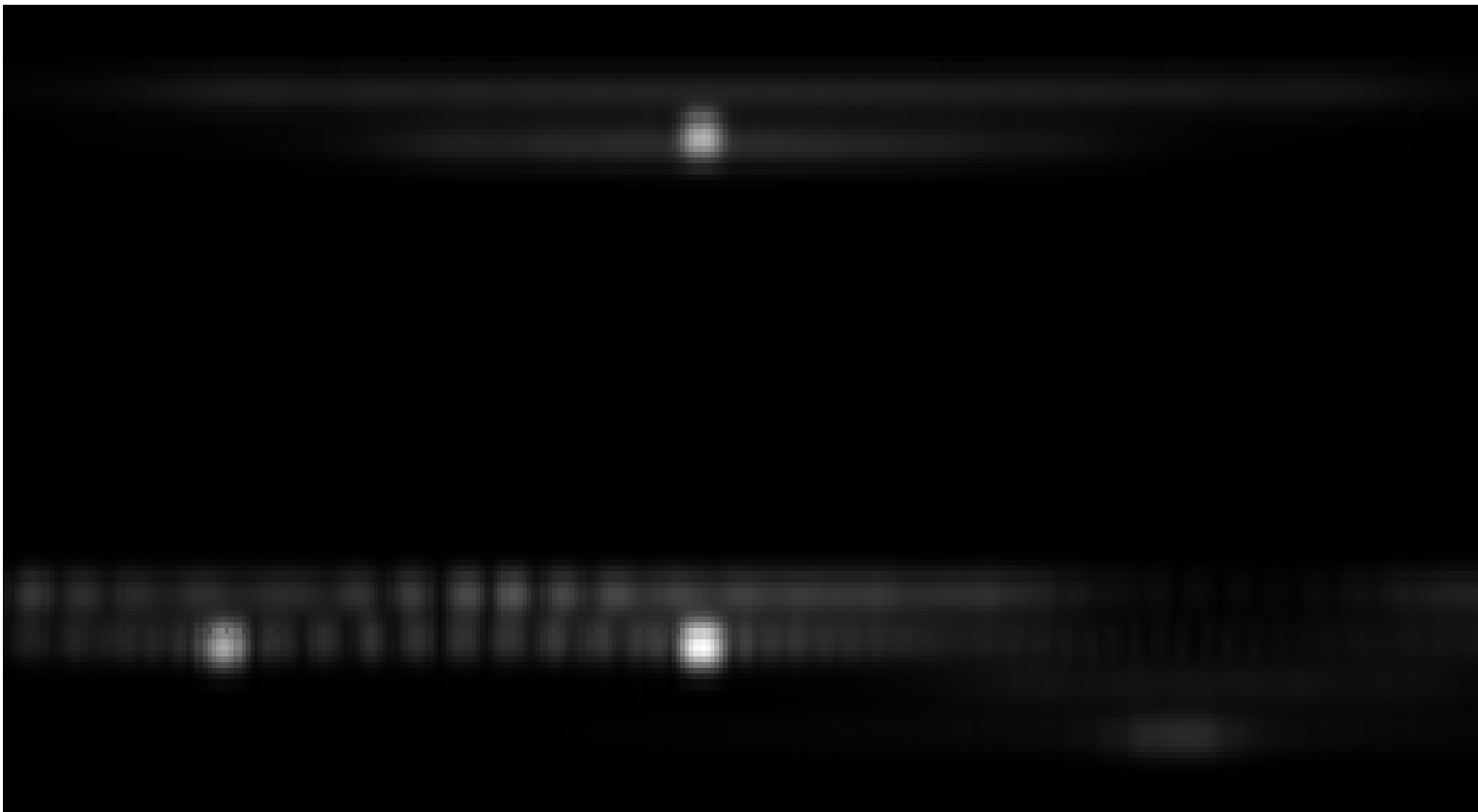
Использование одного фильтра



Использование двух фильтров  
(Нижняя точка стала более читаемой)



## Множественный фильтр



Наложение нескольких фильтров на одной точке



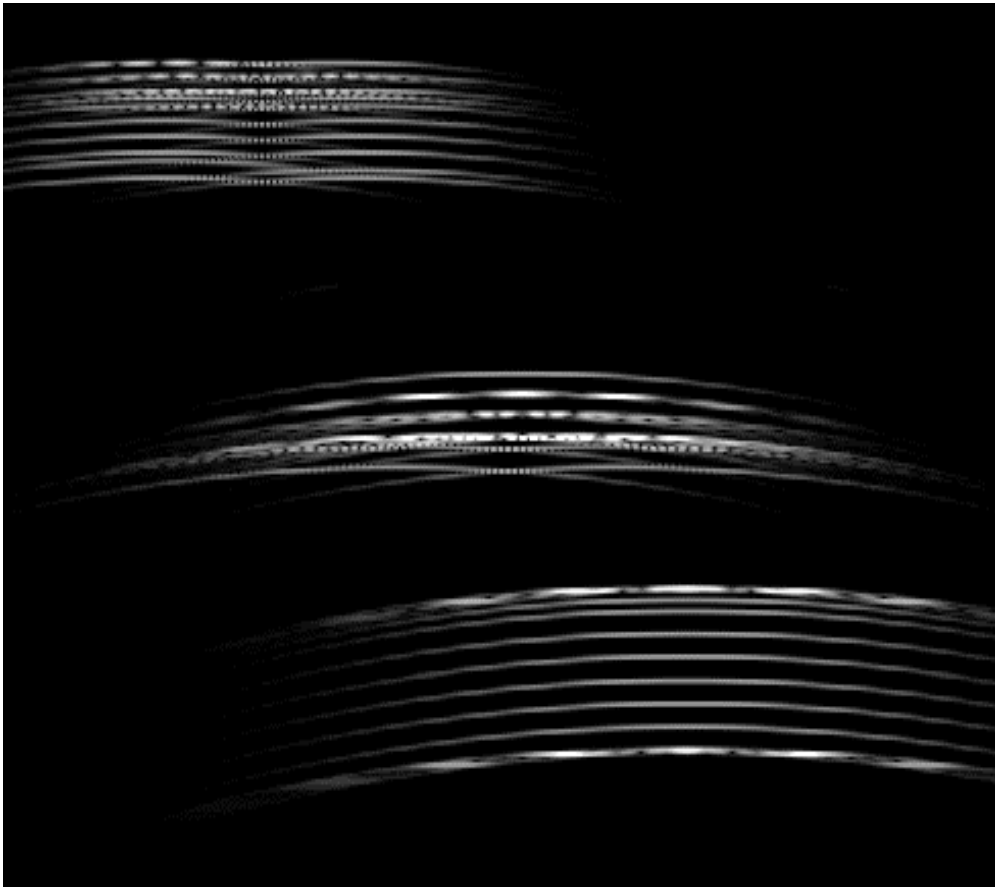
# Описание программной разработки





# Пример полученных изображений

Образ букв "М", "А", "И" полученный на трёх фильтрах (величина фильтра - 10 метров)



Изображение траекторного сигнала



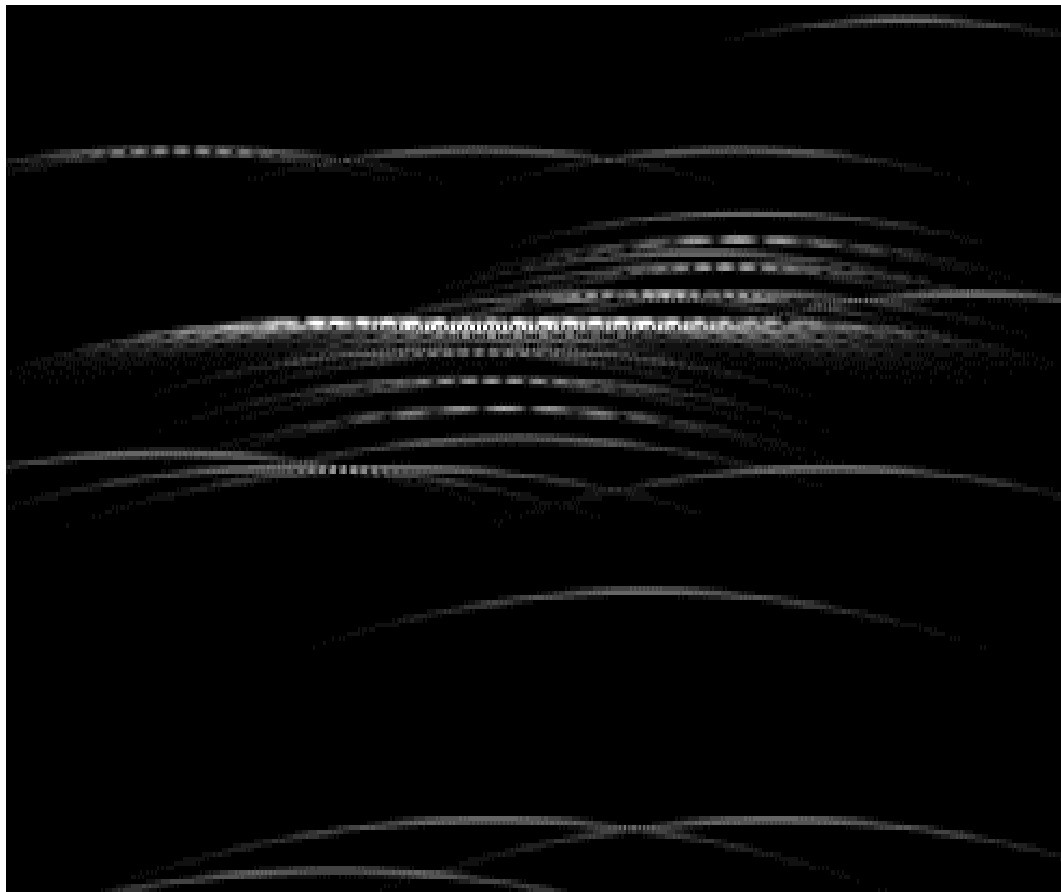
Синтезированное радиолокационное изображение



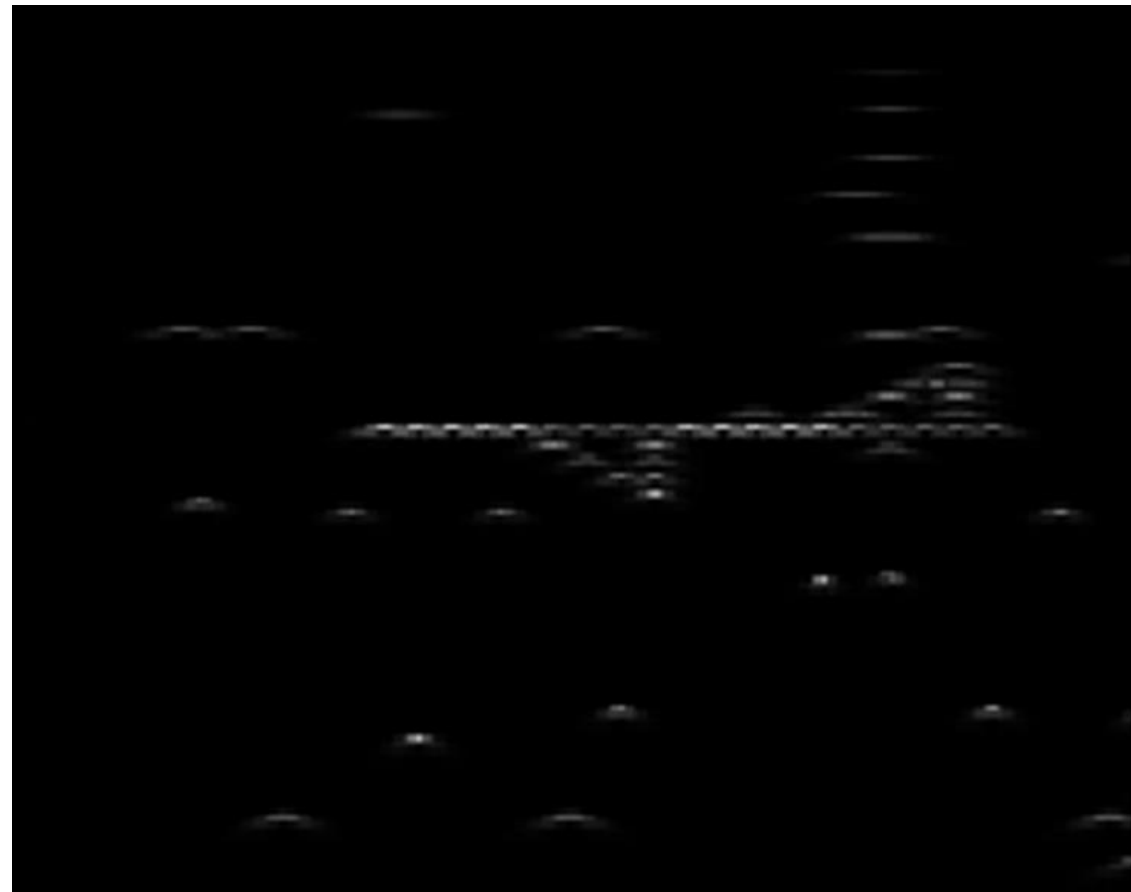


# Пример полученных изображений

Образ самолета, полученный на 10 фильтрах (величина фильтра - 10 метров)



Изображение траекторного сигнала



Синтезированное радиолокационное изображение



# Заключение

- Разработана программа для создания РЛИ.
- Оптимальная ширина полосы фильтра - приблизительно 10 метров.
- Фильтры должны плотно покрывать весь диапазон обзора, при этом не перекрывая друг друга.
- Дальнейшее развитие данной работы может быть полезно в различных областях, таких как: разведка, исследование, мониторинг территории.
- Возможна реализация данного алгоритма с применением отечественного/открытого ПО.