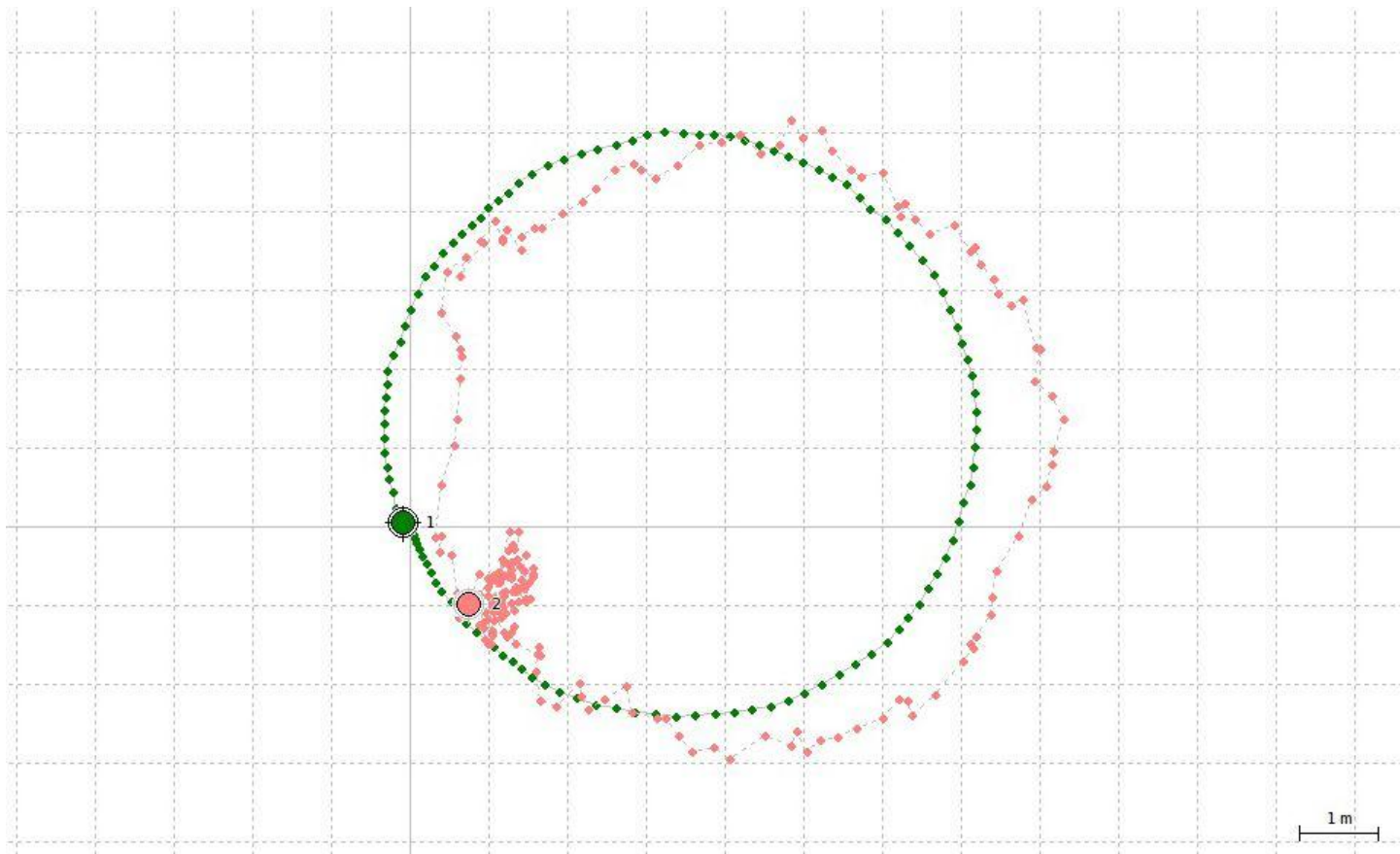


# Реализация многогипотезного фильтра Калмана в точном позиционировании

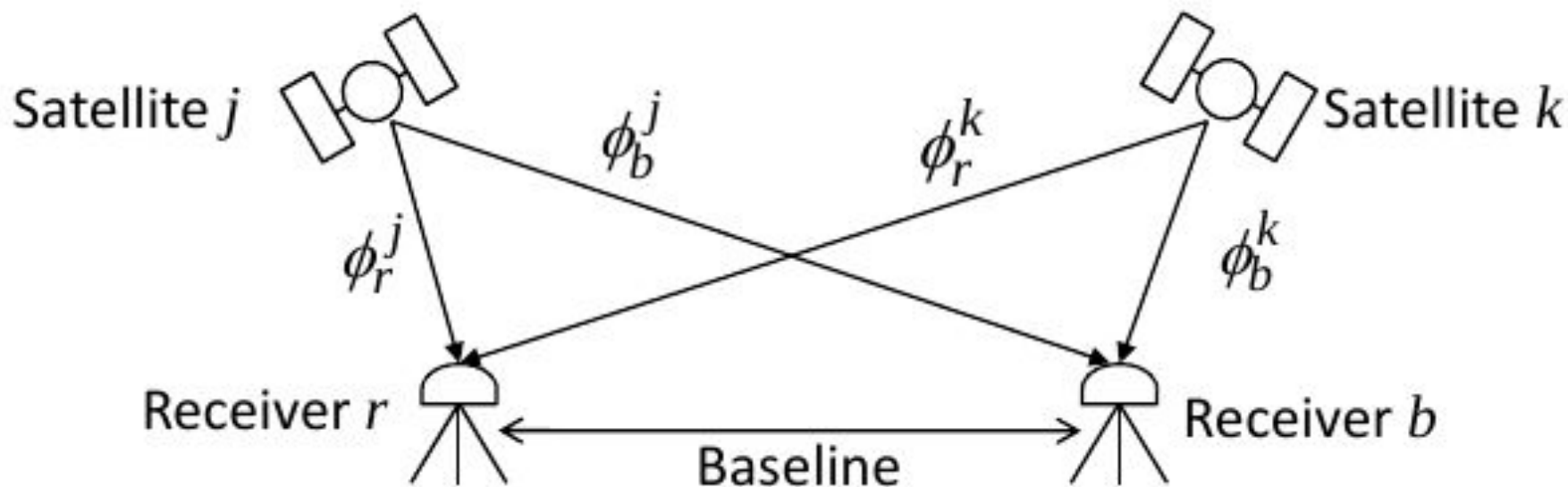
Захаров Глеб, 344 гр.  
Руководитель ст.преп. Смирнов М. Н.  
Технический консультант Гладков И. О.

# Обзор тематики



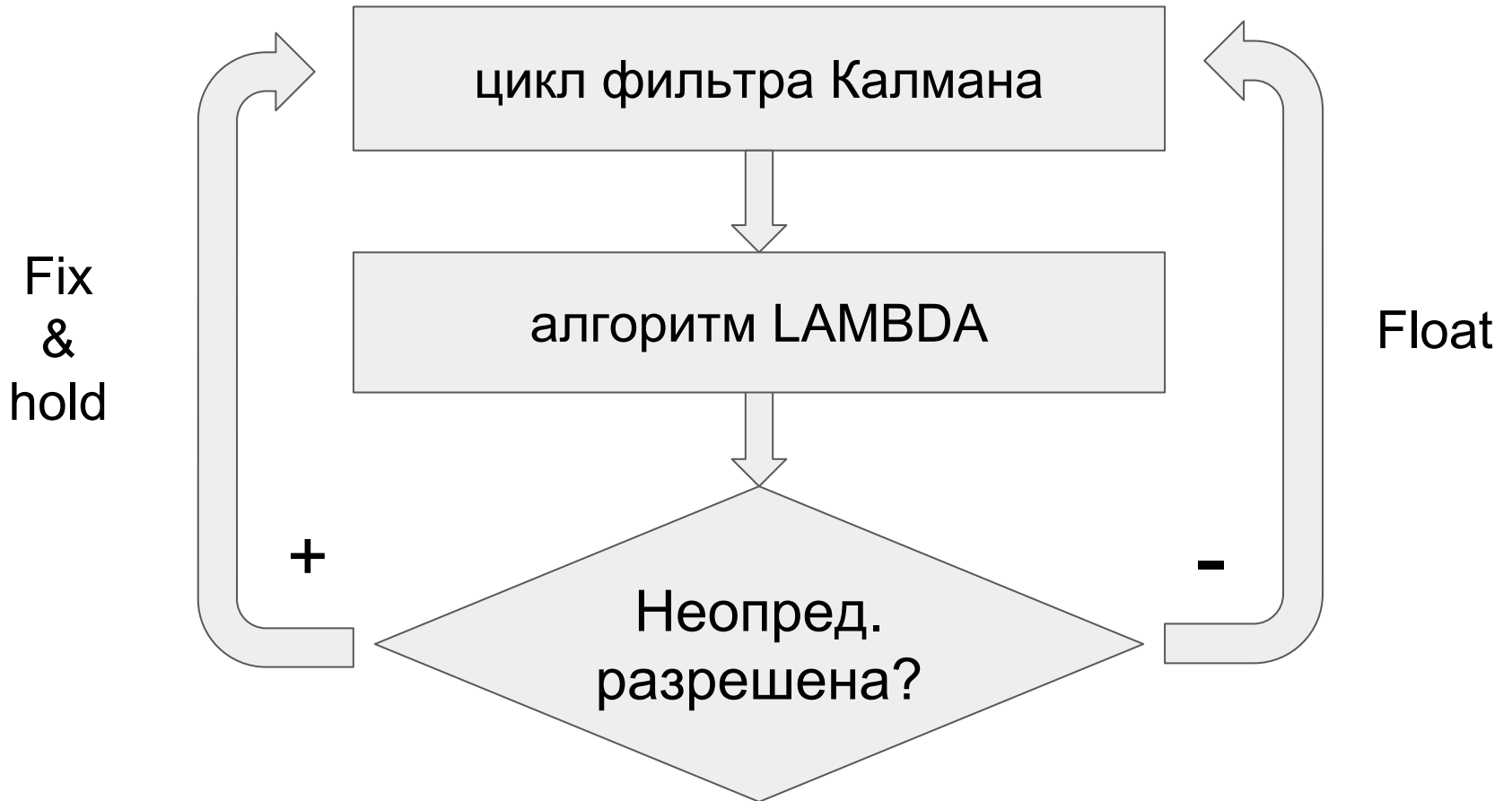
Относительное позиционирование (зеленый)  
Обычное позиционирование (розовый)

# Относительное позиционирование



# RTKLIV

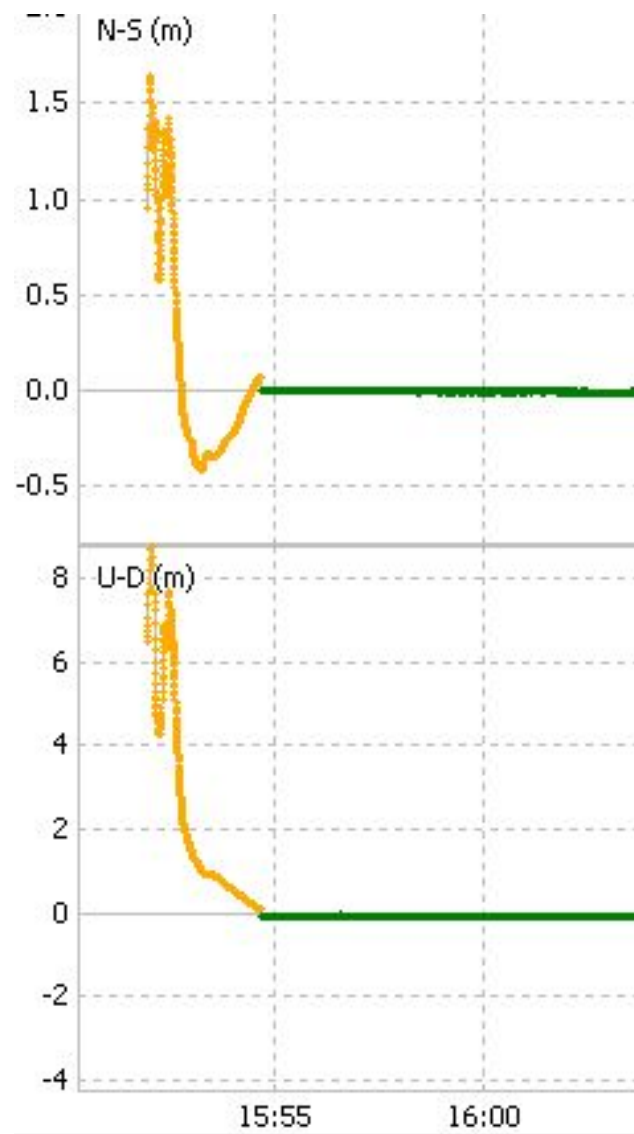
Цикл разрешения фазовой неопределенности



# Фильтр Калмана

Сходится в плоскости,  
масштаб 0.5 метра

Сходится по высоте,  
масштаб 2 метра



# Цикл фильтра Калмана

## Этап прогнозирования

Обновляются:

- вектор состояний
- матрица ковариаций

$$x = (r^T, v^T, \Phi^T)^T,$$

$r$  - позиция,

$v$  - скорость,

$\Phi$  - разности до спутников

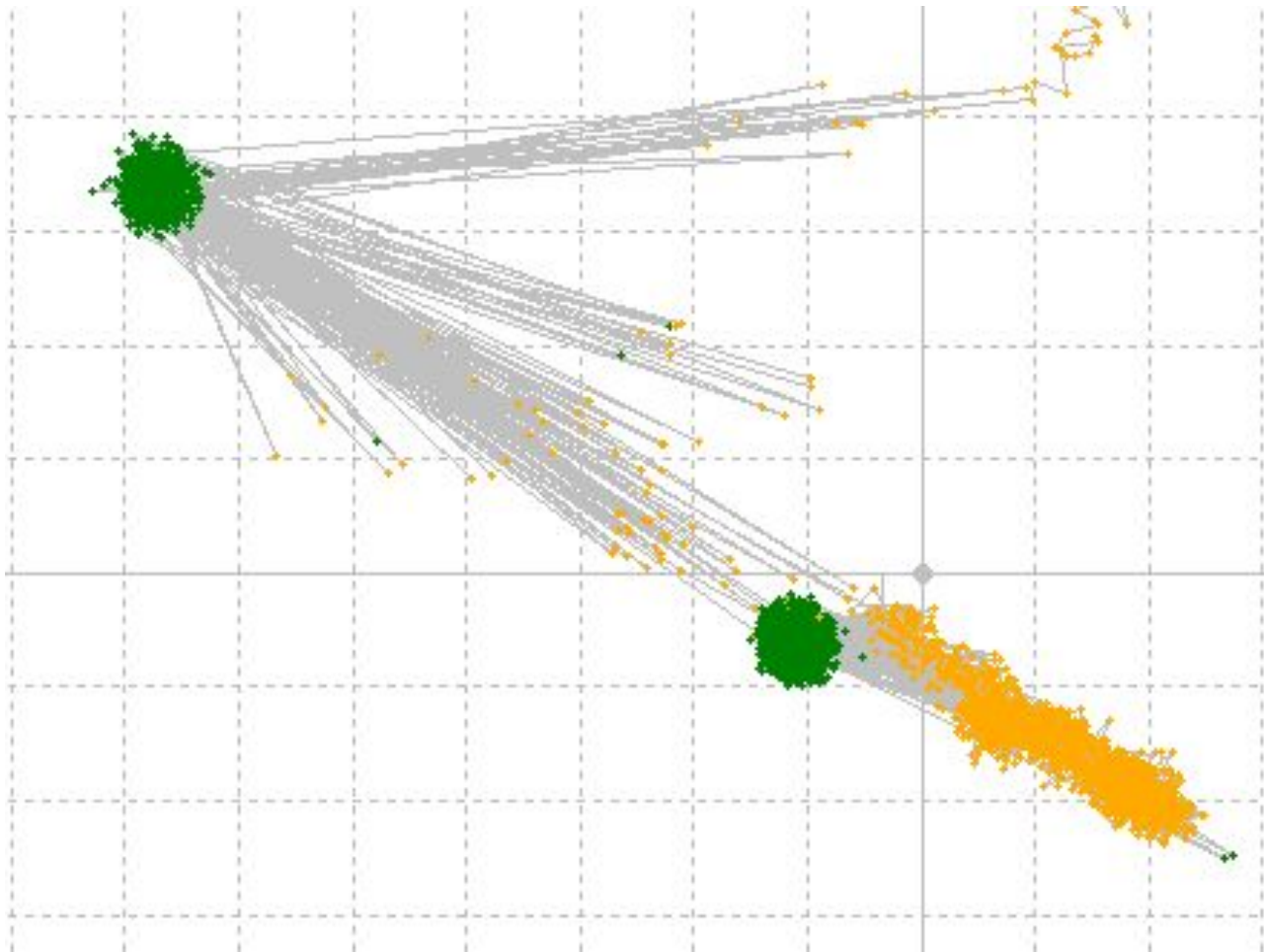
Вектор измерений

## Этап коррекции

Обновляются:

- вектор состояний
- матрица ковариаций
- матрица усиления

В 5-10% случаев фазовая неопределенность неправильно разрешается



# Многогипотезный фильтр Калмана

- 1 состояние, много измерений
  - Выбирается лучшее
  - Выбирается взвешенное среднее
- Много состояний, еще больше измерений
  - **Гипотезы** добавляются, удаляются, сливаются друг с другом



# Актуальность

- Аналогичного свободного ПО для навигации нет
- Каждая ошибка может обойтись дорого:
  - Строительство
  - Геодезия
  - Беспилотные автомобили

# Применимость

- Увеличивает точность в 3 раза на плоских тестах
- Можно запускать параллельно
- Есть время, чтобы вычислять несколько раз
  - Сигнал приходит с частотой 10 Гц

# Постановка задачи

- Расширить инструмент, который проверяет и сравнивает фильтры
- Реализовать многогипотезные фильтры в RTKLIB с:
  - Усредненным местоположением
  - Догоняющей гипотезой
- Провести эксперименты на компьютере и Emlid Reach.

# Обзор аналогичных разработок

- Многогипотезный фильтр с динамически изменяющимся числом гипотез
- Многочастичный фильтр менее точен, чем многогипотезный фильтр Калмана
- Фильтр с постоянным числом гипотез

# Описание тестирующих инструментов rtklib-testing-suite

Что было:

table config: rtk\_default\_mul\_off.conf, binary: rnx2rtkp\_dbg\_fxhr

Type	Index	Clear fix (%)	Messy fix (%)
00	0	94.883	0.000
01	1	98.597	0.055
02	2	91.609	0.468

- Подсчет средней ошибки квадратов
- % точных fix решений
- Статические тесты

Пример таблицы

## Что сделано:

- Тестирование на реальных тестах
- Добавлена база из 20 реальных тестов
- Понятия “опорных” и “плохих” интервалов
- Параллельный расчет статистики с любой точки
- В плоскости и по высоте
- Сохранение результатов в файлы

плохой интервал

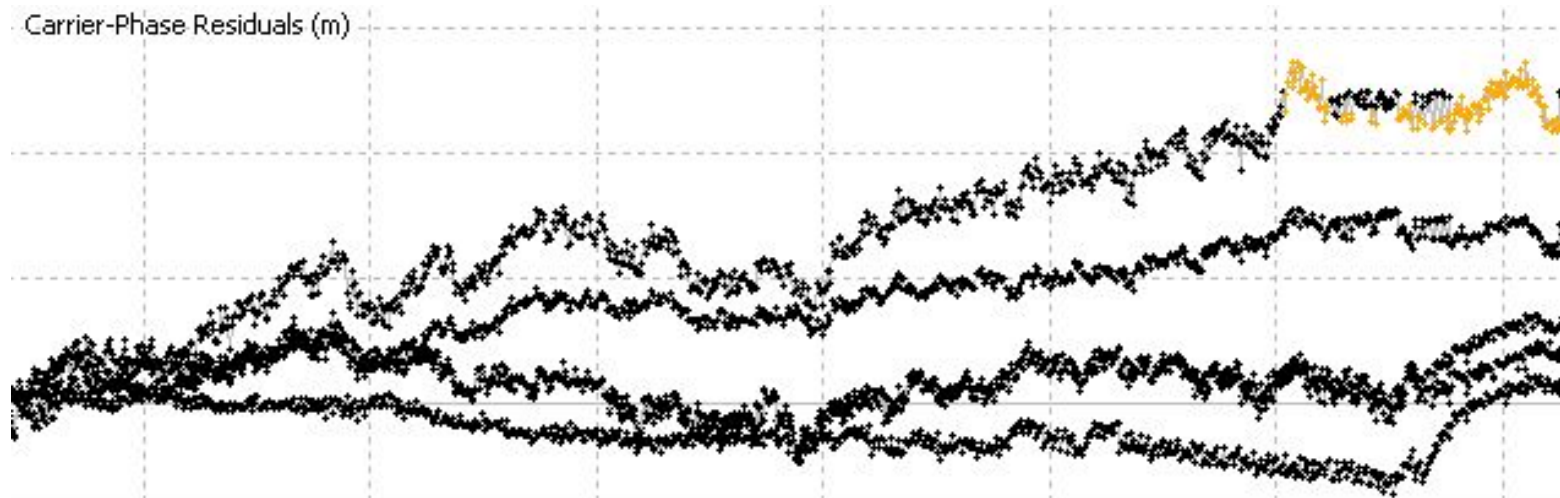


опорный интервал

Эталонное решение

# Надежность fix решения

- Процент fix решения в истории
- Средняя величина квадратов невязок разностей



Расходимость невязок в ненадежном fix



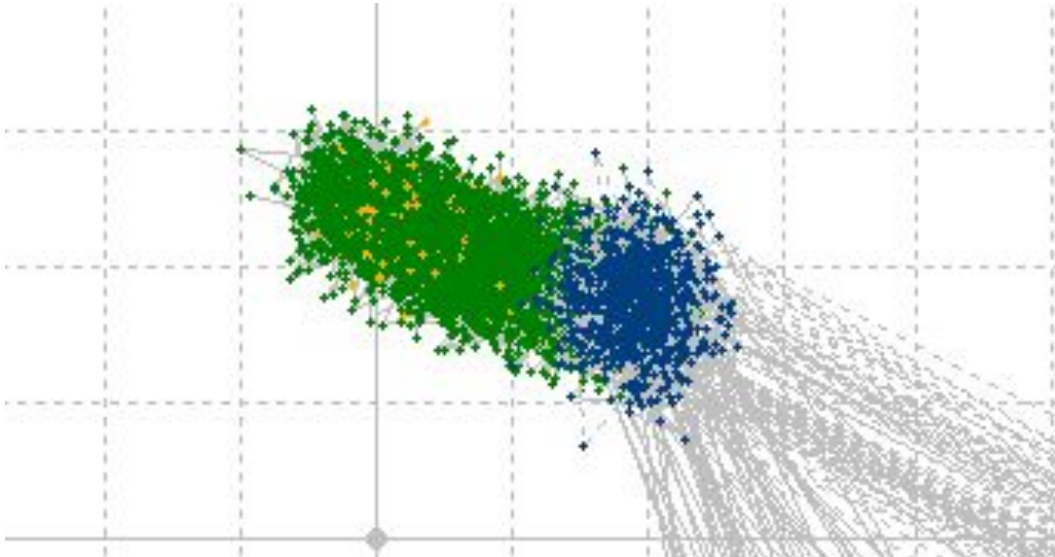
# Усредненный фильтр

- 3 вектора измерений с углами 5, 15 и 25 градусов
- Из надежных fix гипотез берется среднее
  - Если их нет, берется среднее из float гипотез



# Догоняющий фильтр

- Стандартная гипотеза
- 2-ая гипотеза считается до последнего сигнала с базы
- При надежном fix решении 2-ая гипотеза “догоняет” стандартную



## Эксперимент “% точных fix в плохих и хороших тестах”

%	Мат. ожидание	Отклонение	Дов. интервал
Усредненный	16.77	15.08	[7.6, 25.94]
Догоняющий	26.73	14.87	[19.35, 34.12]

%	Мат. ожидание	Отклонение	Дов. интервал
Усредненный	0.73	1.08	[0.3, 1.16]
Догоняющий	2.83	3.96	[1.05, 4.6]

# Тестирование на приемнике Emlid Reach



- Ограничение на количество шагов гипотез за 1 цикл ( $\leq 5$ )
- Для усредненного не меняется
- Языки:
  - Python для тестов
  - C для фильтров

# Итоги

- Улучшена база тестов и программа, с помощью которой можно тестировать RTKLIB и фильтры
- Реализован усредненный фильтр с разными углами видимости
- Реализован догоняющий фильтр
- Протестированы на компьютере и Emlid Reach