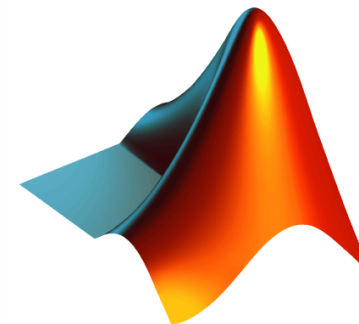
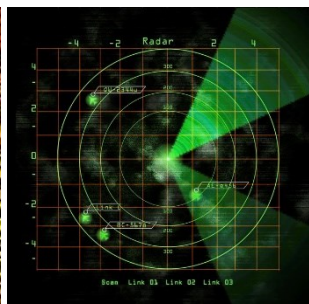




ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Проектирование радиолокационных систем



**Марат Усс,
ЦИТМ Экспонента**

План семинара

- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- Ускорение вычислений **12:30**
- Реализация алгоритмов на целевых платформах **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

Трудности разработки радарных систем

▪ Технические

- Моделирование среды распространения и целей, антенн, РЧ-тракта
- Продвинутое алгоритмы обработки, распределённые вычисления
- Многофункциональность, разнообразные сценарии и условия работы
- Дороговизна и сложность натурных испытаний

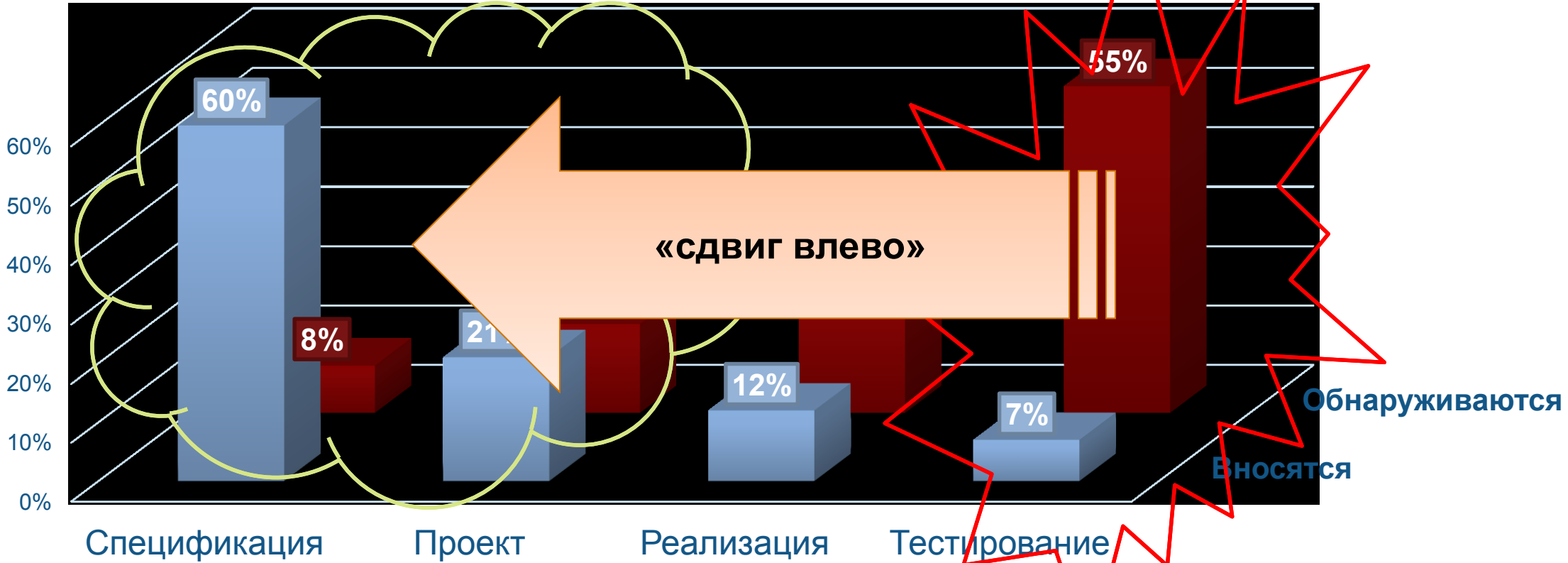
▪ Управленческие

- «Мульти-доменная» экспертиза и взаимодействие внутри проекта
- Проблема повторного использование требований и наработок
- Взаимодействие «заказчик-исполнитель-соисполнитель»

«Сдвиг верификации влево»

Clive Maxfield and Kuhoo Goyal
"EDA: Where Electronics Begins"

Где ошибки вносятся и... обнаруживаются



Упор на моделирование и симуляцию

Традиционная
верификация

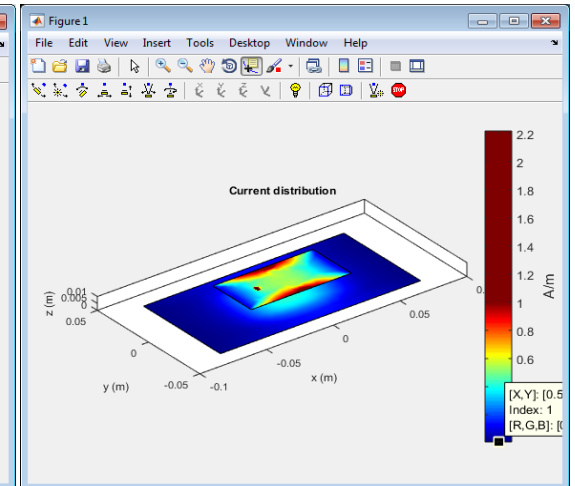
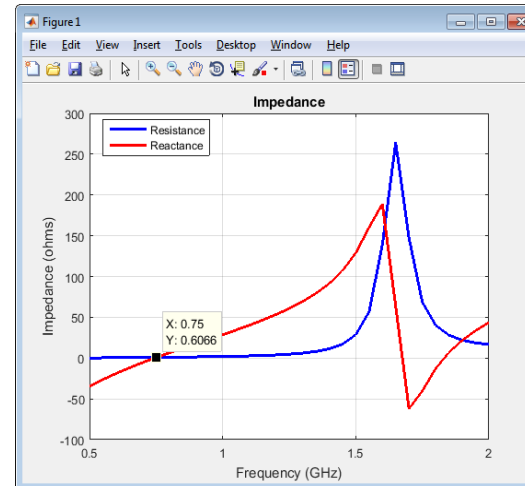
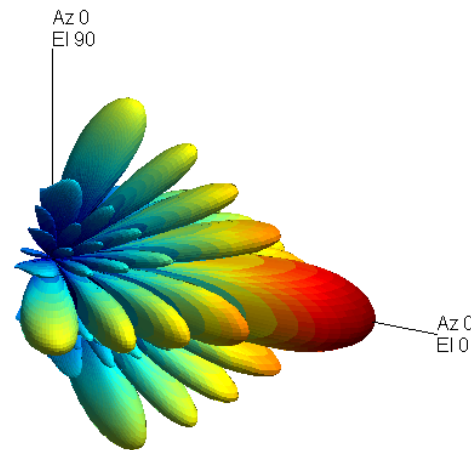
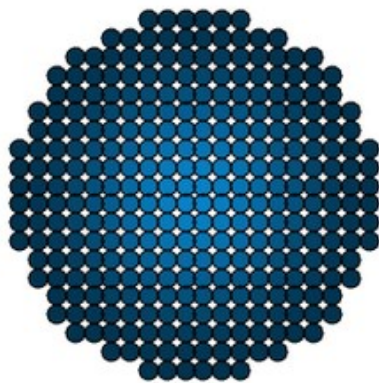
Можно ли моделировать радарные системы?

- «Сложные высокочастотные комплексы промоделировать невозможно!»



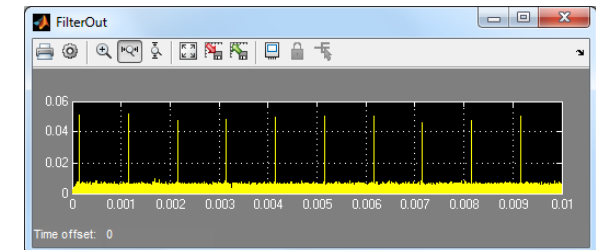
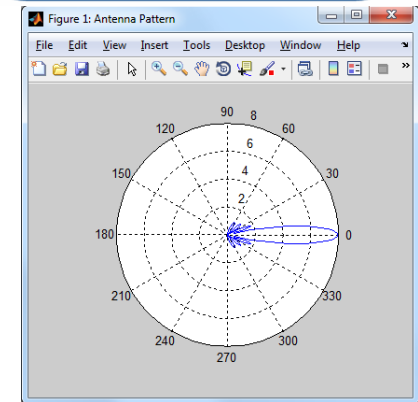
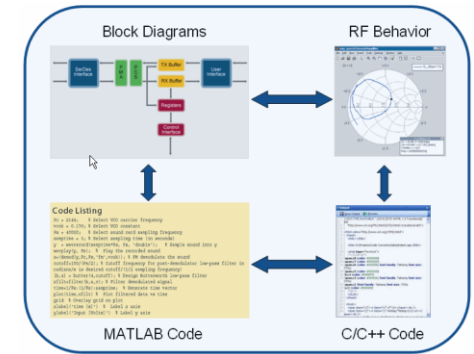
Wireless

Tapered Circular Planar Array



Преимущества использования модели

- **Использование модели в начале проекта:**
 - Помогает уточнить низкоуровневые требования
 - Помогает обнаружить ошибки и тупиковые ветви на ранних стадиях, а значит избежать лишней работы
- **Использование модели на поздних стадиях проекта:**
 - Позволяет обосновать дополнения и изменения системы
 - Важный компонент для валидации и верификации производительности системы

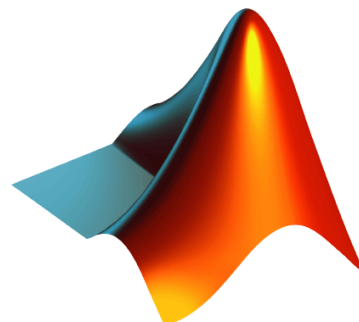


Модельно-ориентированное проектирование

- **Использование модели на ВСЕХ этапах разработки:**
 - В качестве ТЗ, для валидации требований
 - В качестве стенда для разработки
 - В качестве стенда для тестирования
 - Для проверки прототипа и обоснования модернизации
- **Модель используется внутри и вне организации**
- **Модель используется для реализации узлов**
- **Модель используется для верификации узлов**

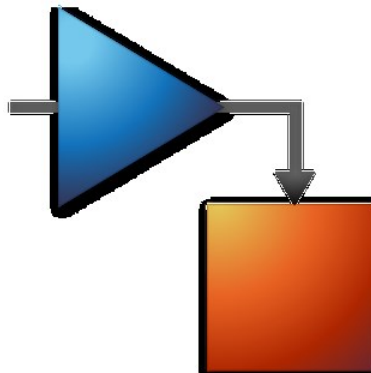
Зачем использовать MATLAB?

- **Загрузка данных для анализа**
- **Разработка пользовательской математики**
- **Продвинутая визуализация**
- **Автоматизация анализа, измерений и отчётов**



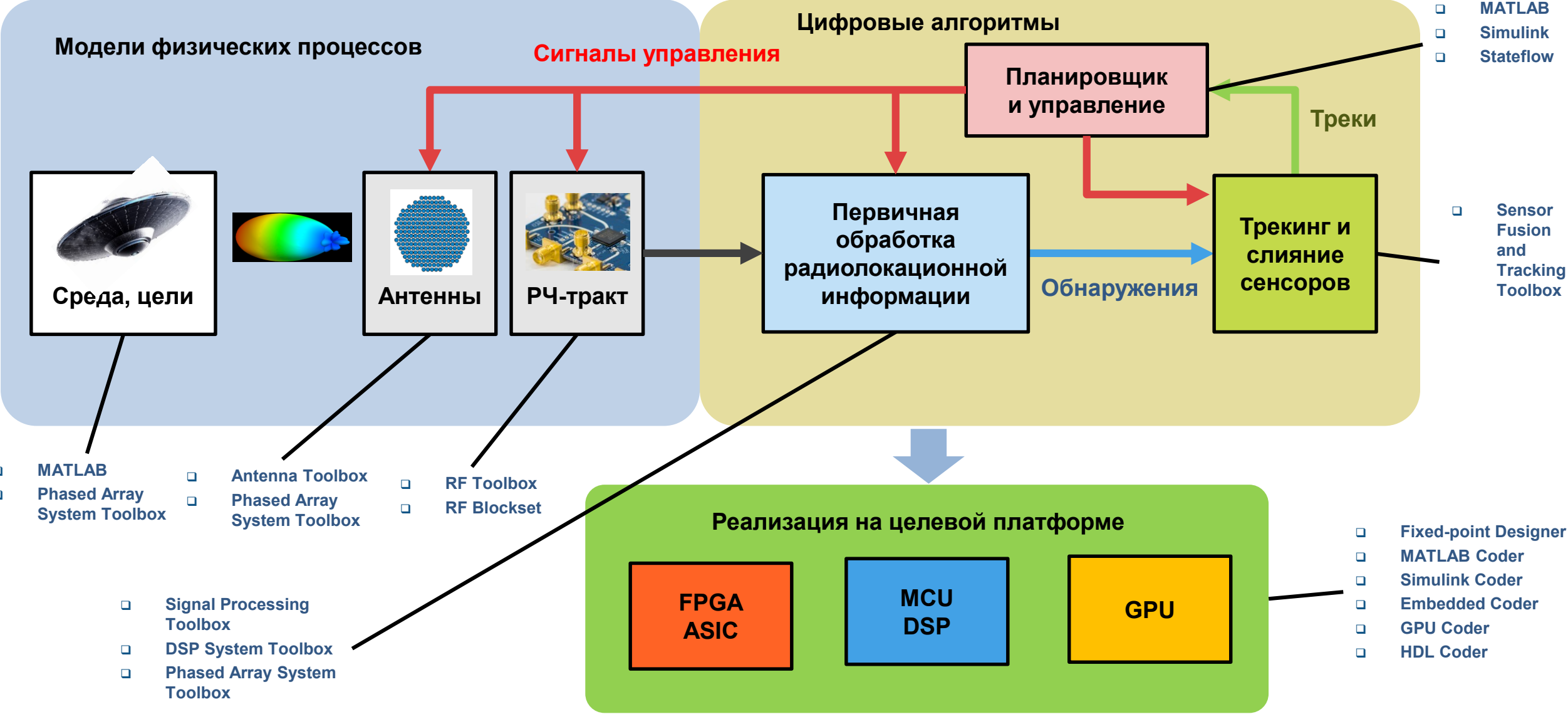
Зачем использовать Simulink?

- Схематическое описание сложных систем
- Динамическая симуляция в различных сценариях
- Цифровые алгоритмы и аналоговые сигналы в одной модели
- Аппаратная оптимизация алгоритмов до реализации
- Основа модельно-ориентированного проектирования

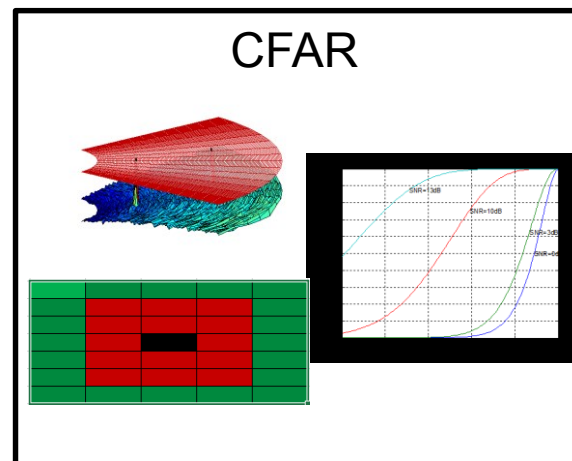
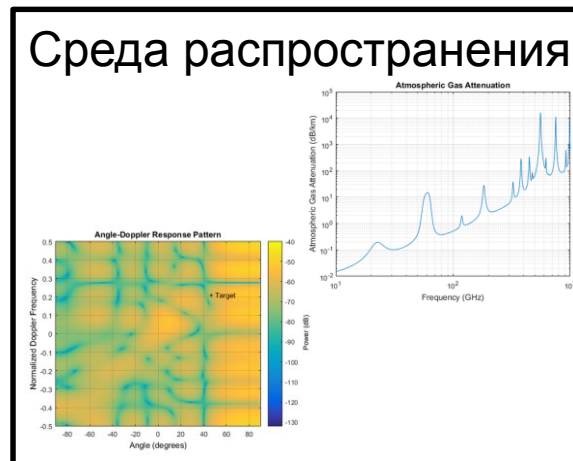
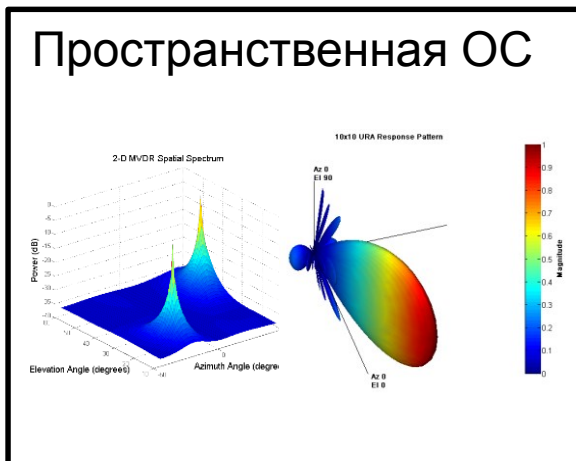
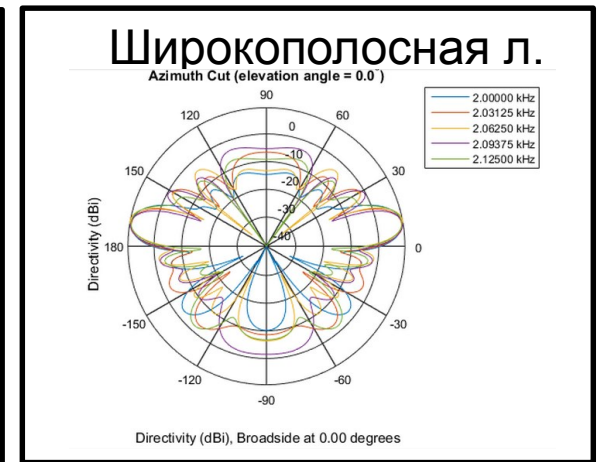
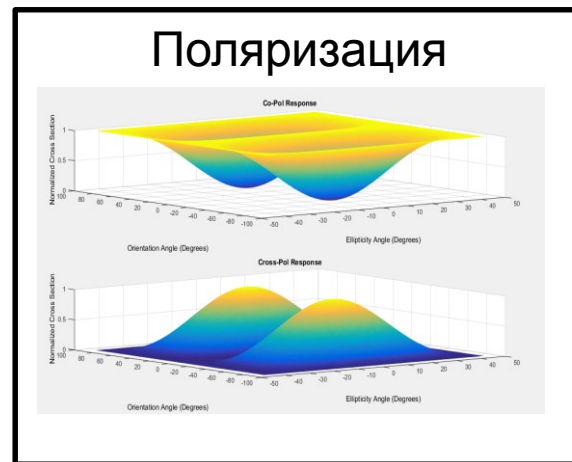
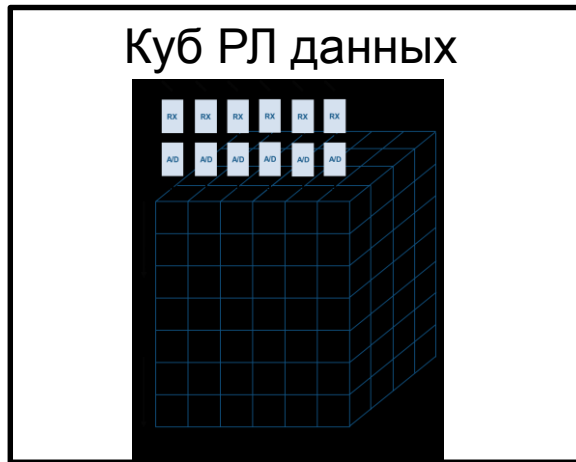


План семинара

- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- Ускорение вычислений **12:30**
- Реализация алгоритмов на целевых платформах **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

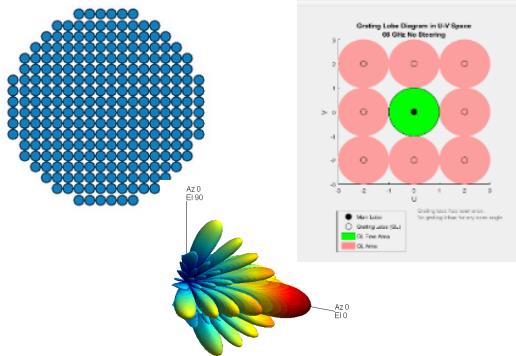


Функционал Phased Array System Toolbox

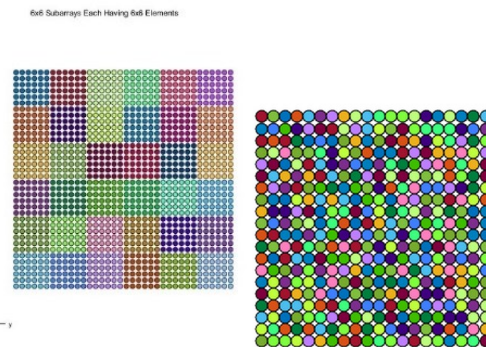


Моделирование ФАР

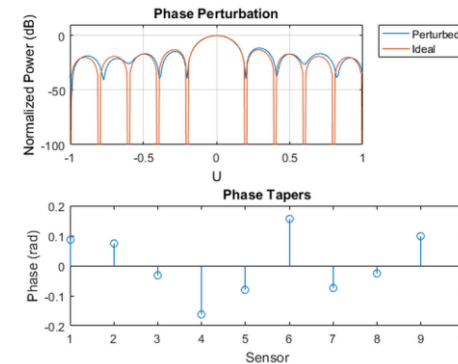
Создание решёток



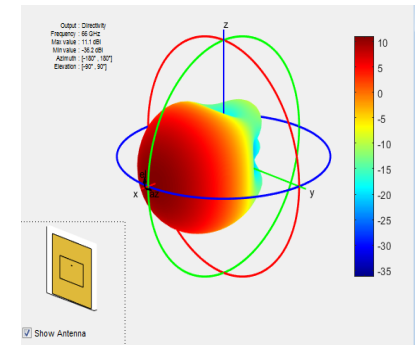
Подмассивы



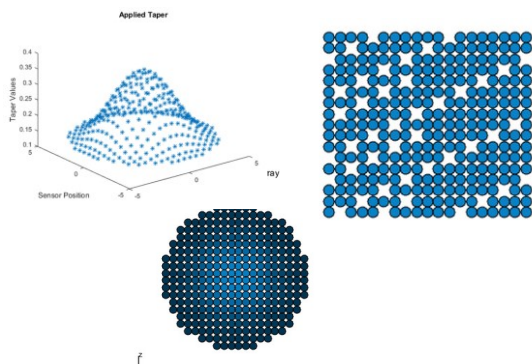
Неидеальности



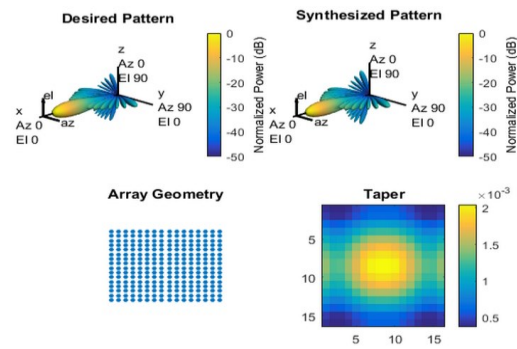
Импорт ДН антенн



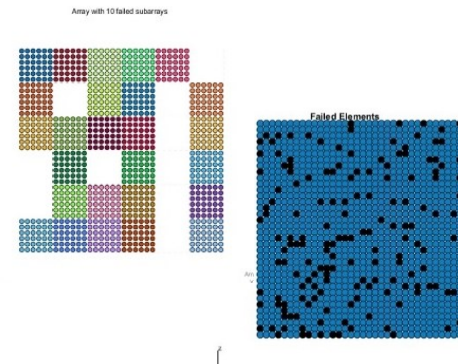
Веса, прореживание



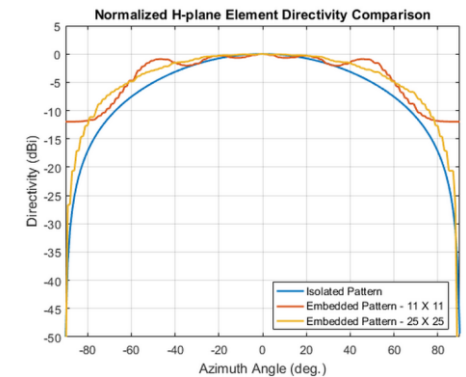
Синтез решёток



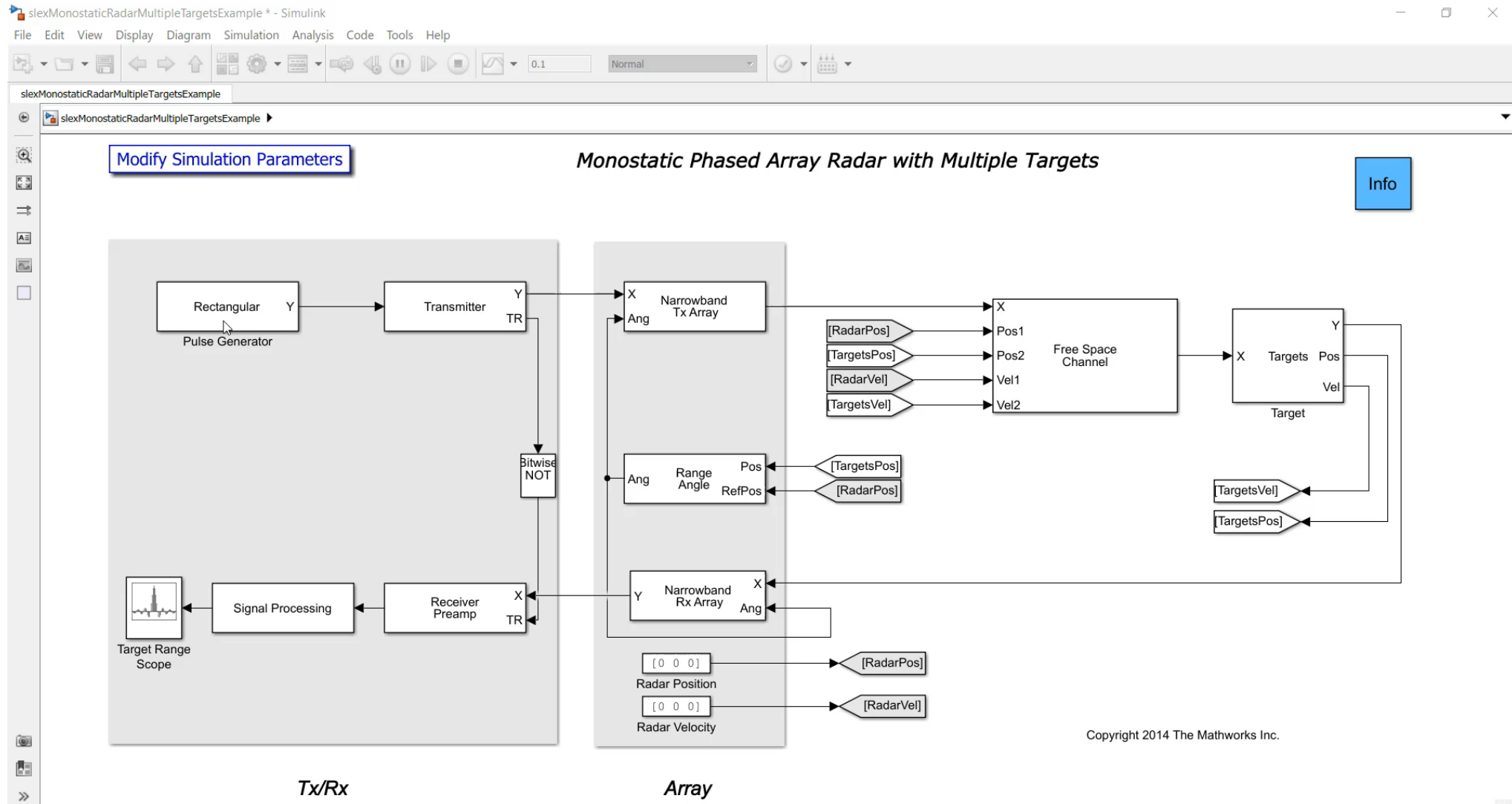
Неисправности



Взаимное влияние



Первое приближение системной модели



Повышение точности модели

- Поэтапное повышение точности модели при работе над проектом

Антенный элемент	Модель цели	Модель распространения	РЧ-тракт
Идеальные элементы	Точечная цель	Свободное пространство	Baseband
ЭМ-решатель и учёт взаимного влияния	Модель обратного рассеяния (угол и частота)	Атмосферные эффекты в прямой видимости	РЧ-компоненты
Импорт измеренной ДН	Измеренный отклик (угол и частота)	Многочувствительное распр., отражение от поверхности, атмосферный канал	Мульти-доменная симуляция

- Простой интерфейс замены готовых компонентов пользовательскими

Интеграция моделей антенны и РЧ-тракта

The image shows the MATLAB R2018a environment. The main window displays a script named `helperslexMonostaticRadarMultiple_Sample_RFParam.m` with the following code:

```

58
59
60
61 % Waveform parameters
62 pulseBw = propSpeed/(2*rangeRes); % Pulse bandwidth
63 pulseWidth = 1/pulseBw; % Pulse width
64 prf = propSpeed/(2*maxRange); % Pulse repetition frequency
65 fs = 2*pulseBw;
66
67 % prf_search = propSpeed/(2*maxRange); % Pulse repetition frequency
68 % lockRange = 2000; % Lock in target
69 prf = [prf_search prf_lock];
70
71 % Transmitter parameters
72 snrMin = albersheim(pd, pfa, numPulseInt);
73 txGain = 20;
74 peakPower = ...
75 radareqpow(lambda,maxRange,snrMin,pulseWidth,...
76 'RCS',tgtRcs,'Gain',txGain);
77
78 % Matched filter parameters
79 hwav = phased.RectangularWaveform(...
80 'PulseWidth',1/pulseBw,...
81 'PRF',prf,...
82 'SampleRate',fs);
83 matchingCoeff = getMatchedFilter(hwav);
84
85 % Delay introduced due to filter
    
```

The Command Window shows the execution of the script:

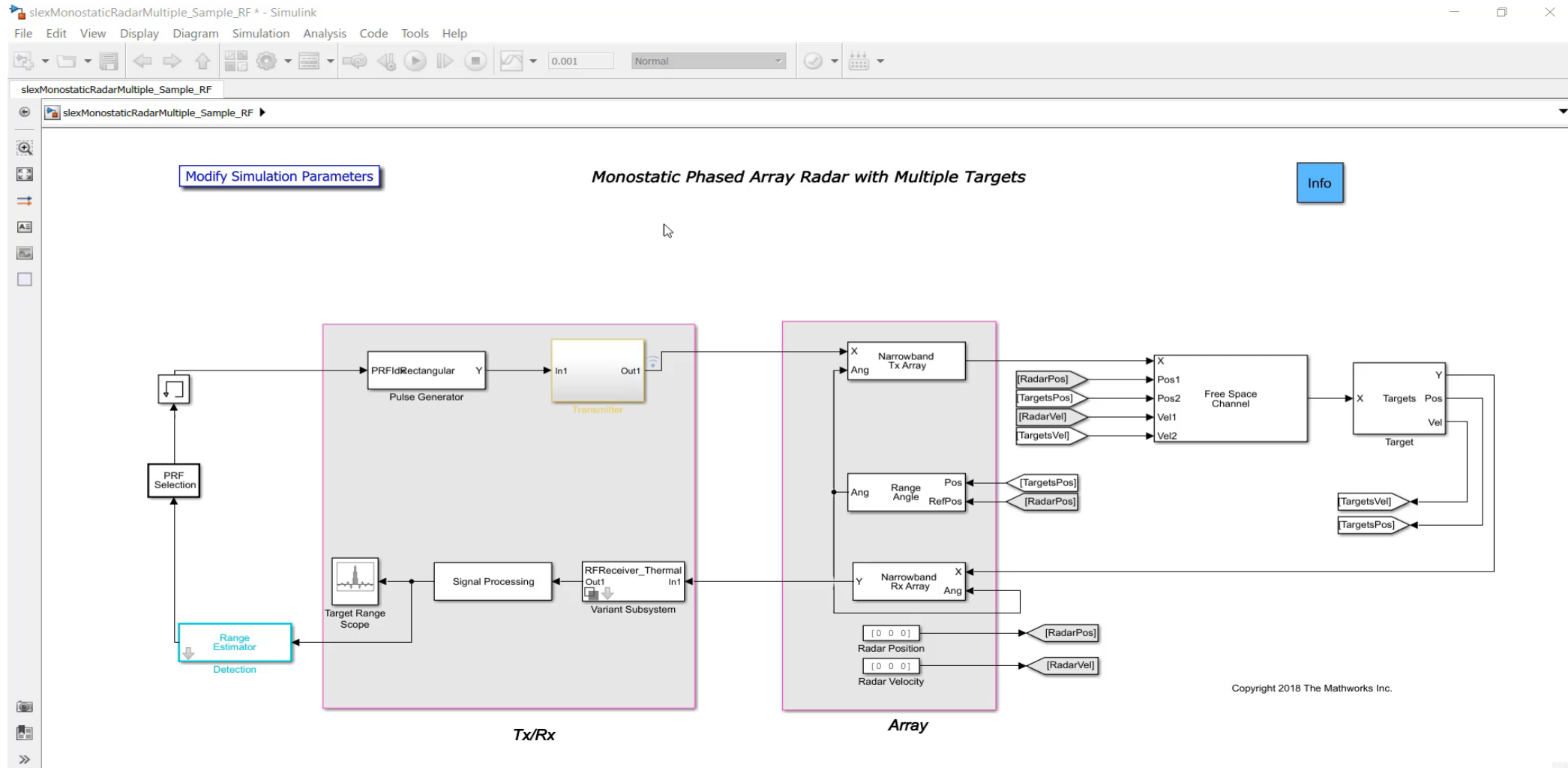
```

>> helperslexMonostaticRadarMultiple_Sample_RFParam
fx >>
    
```

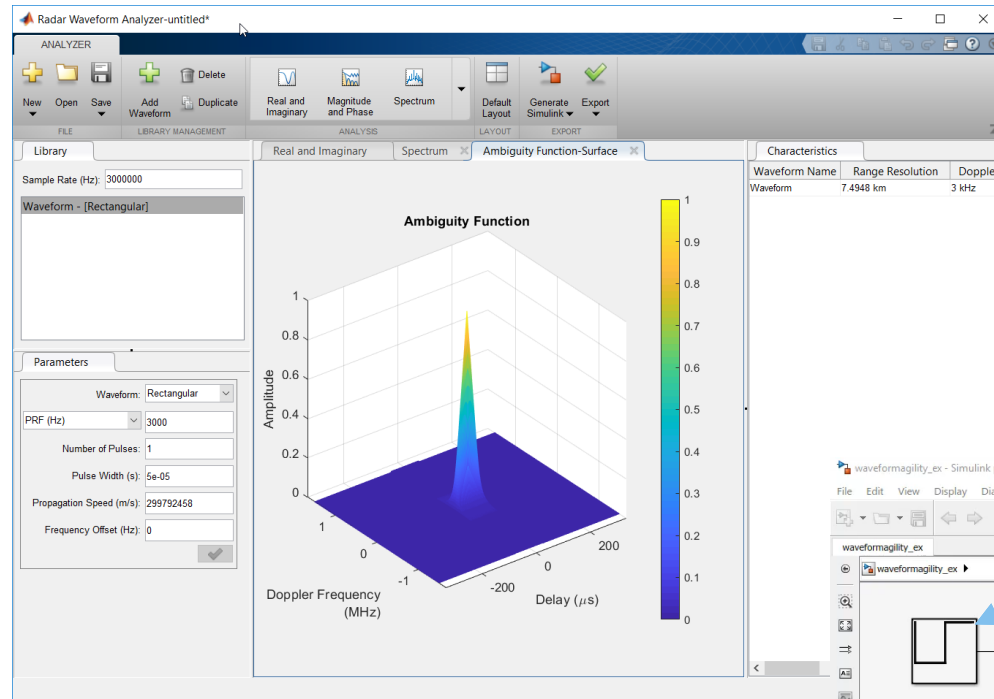
The Workspace window shows the following variables:

Name	Value
NF	1
paramRadar...	1x1 struct

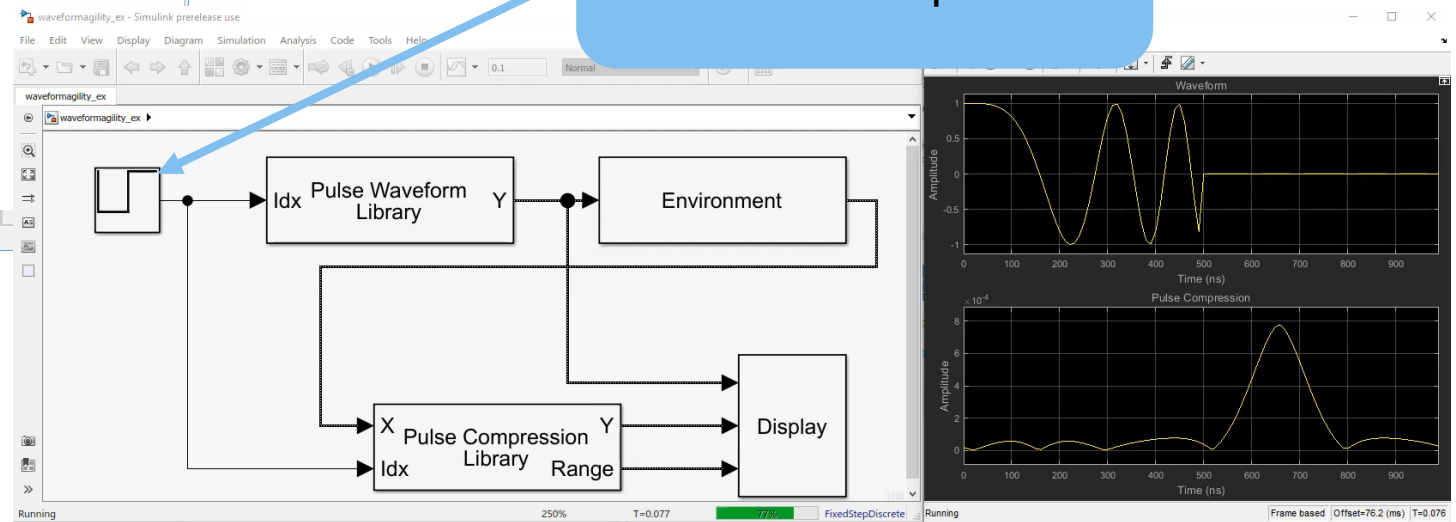
Интеграция моделей антенны и РЧ-тракта



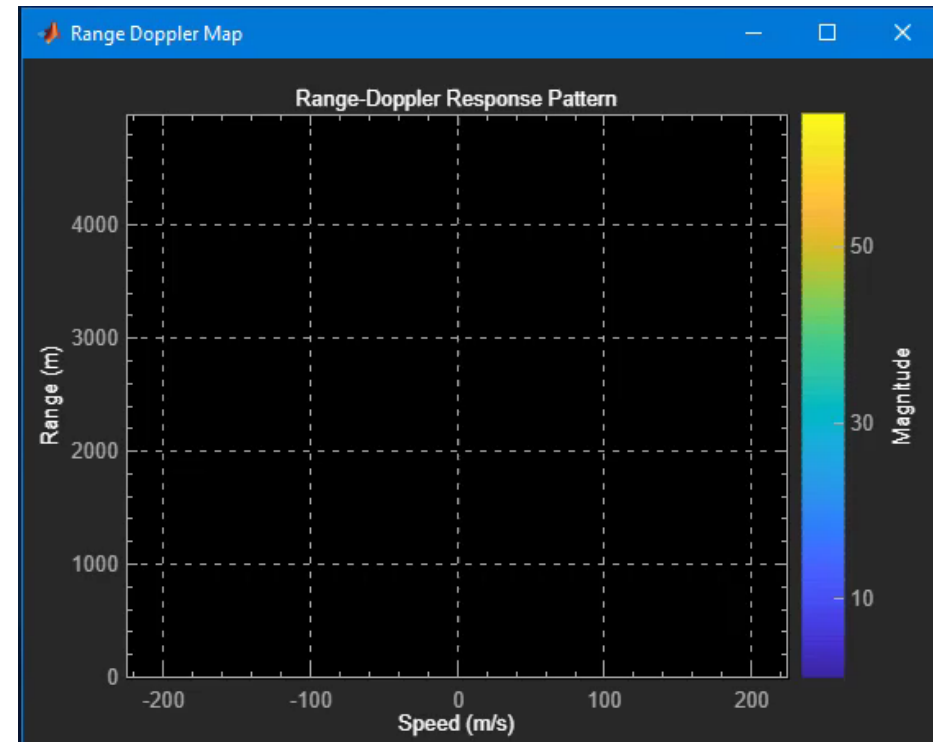
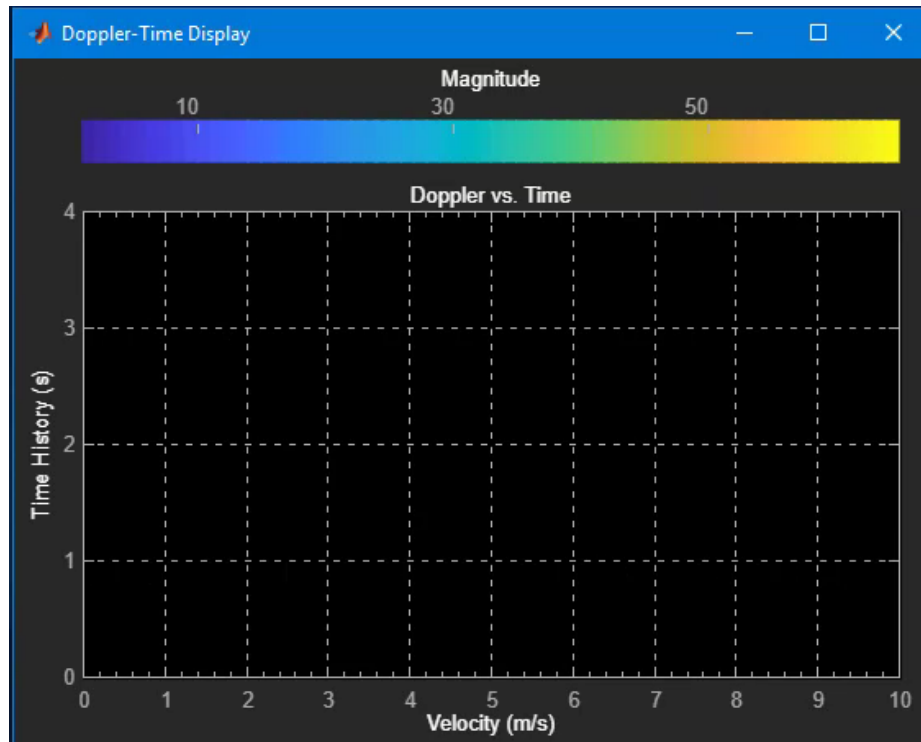
Waveform Analyzer App + Waveform Library



Переключение сигналов и обработки



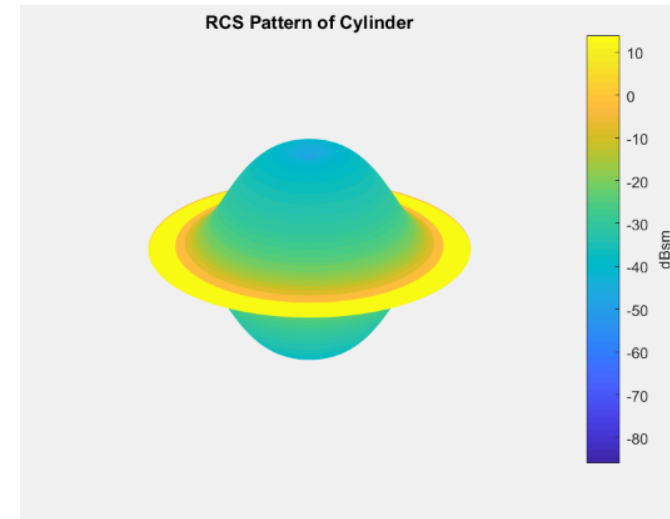
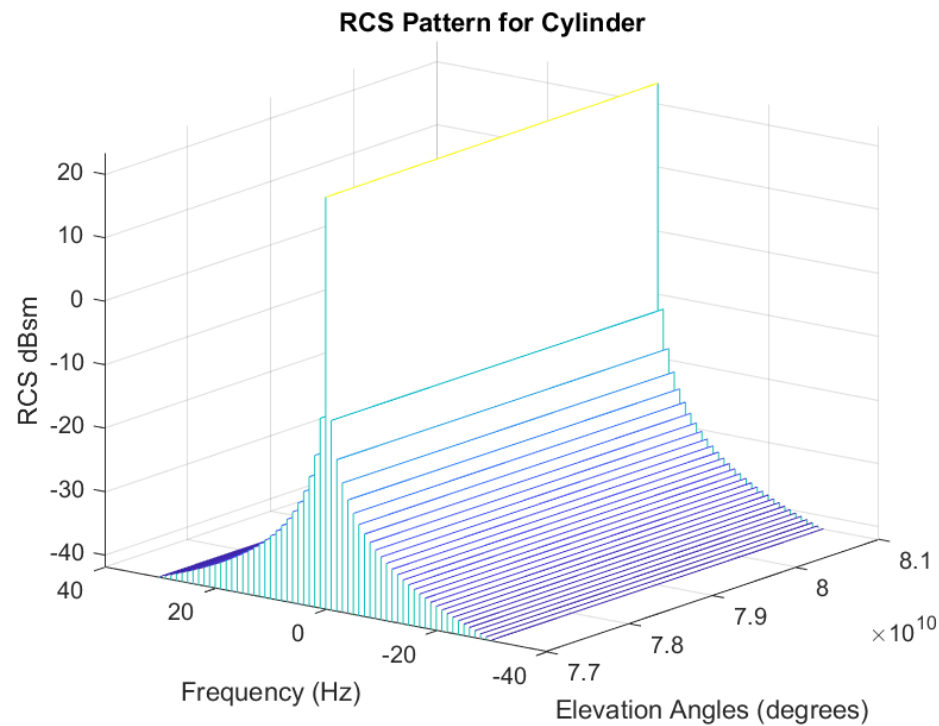
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ



Информация о дальности, Допплере и угле цели
Изменение положения и скорости цели во времени

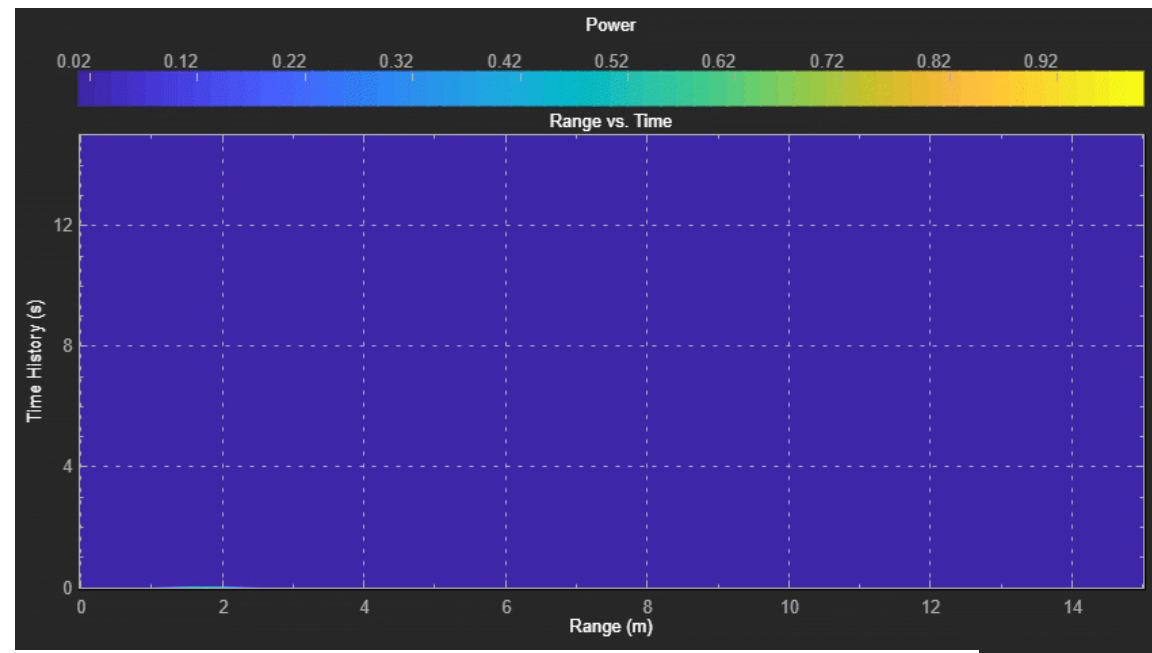
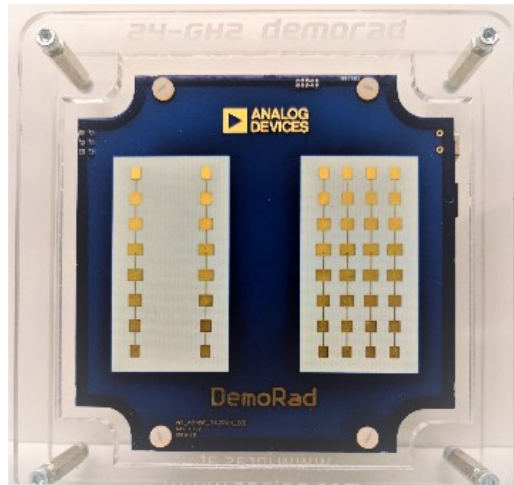
Генерация угловой зависимости ЭПР для простых форм

Подсчёт ЭПР простых целей — сфер, дисков, цилиндров и усечённых конусов



```
rcspat = rcscylinder(r1,r2,height,c,fc,az,el)
```

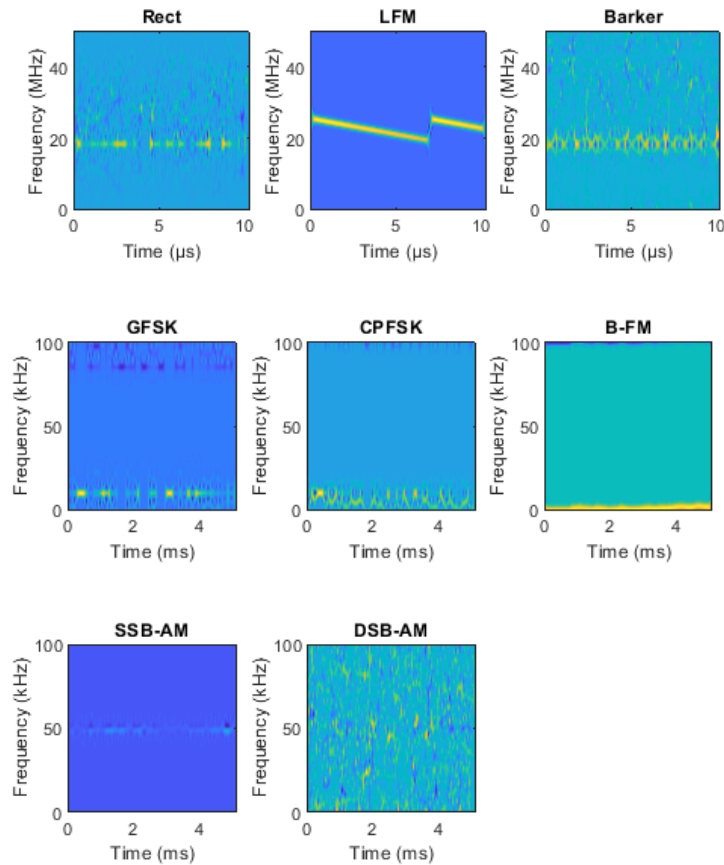

Обработка «живых» данных от платформы DemoRAD



For live processing:

- Optionally, Analog Devices® Demorad Radar Sensor Platform (and drivers)
- Optionally, Phased Array System Toolbox™ Add-On for Demorad

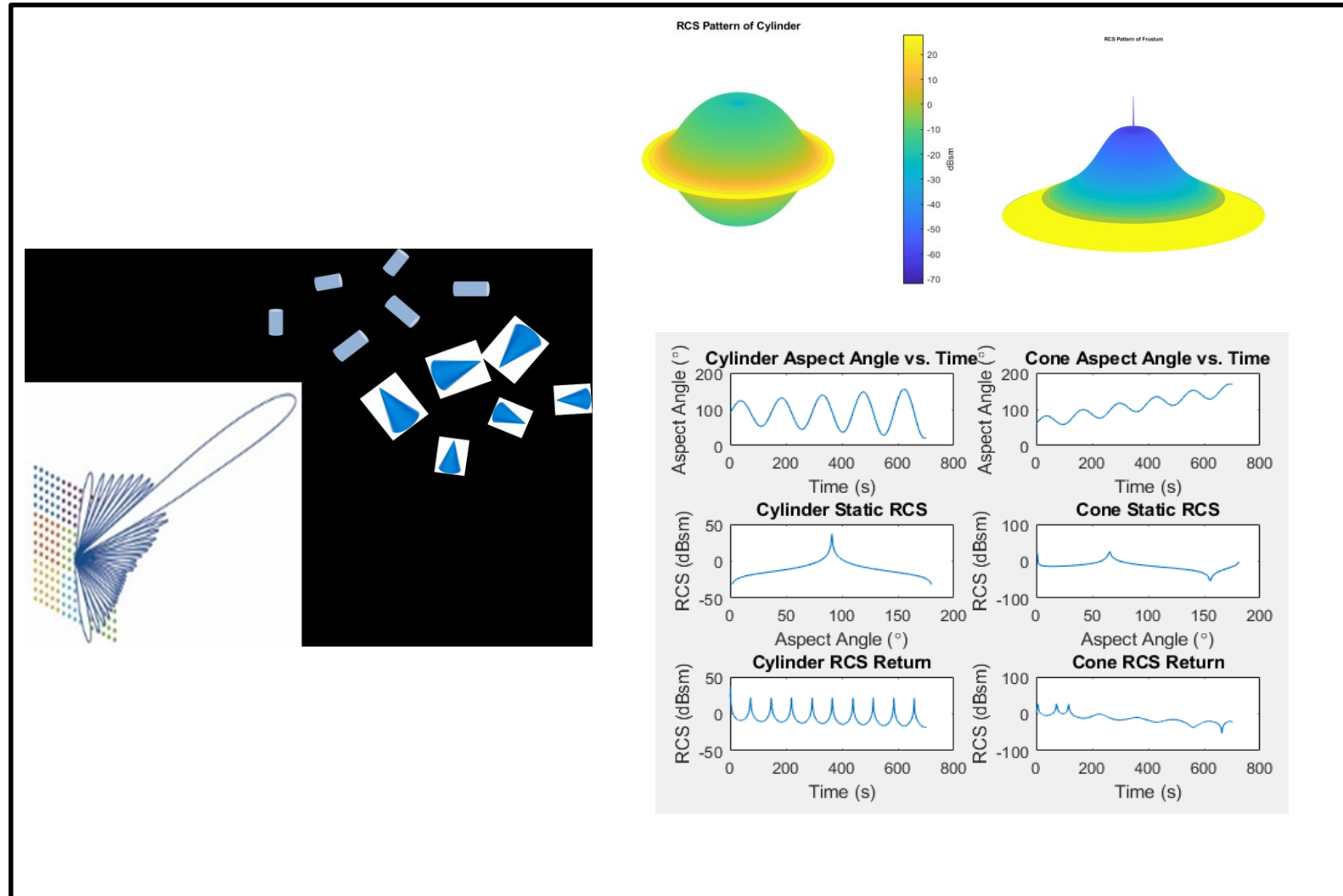
Классификация сигналов и глубокое обучение



Синтез данных для 3000 сигналов / типов модуляции со случайными вариациями и неидеальностями

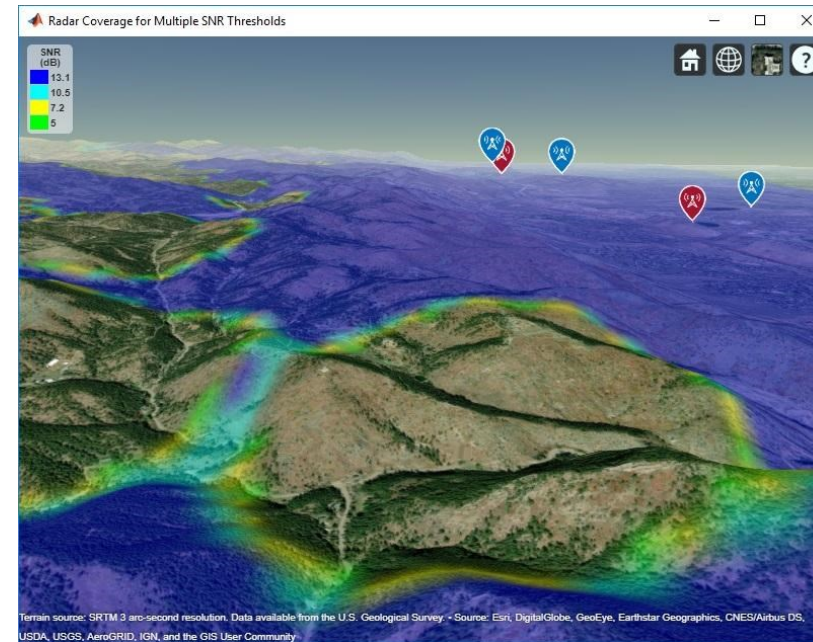
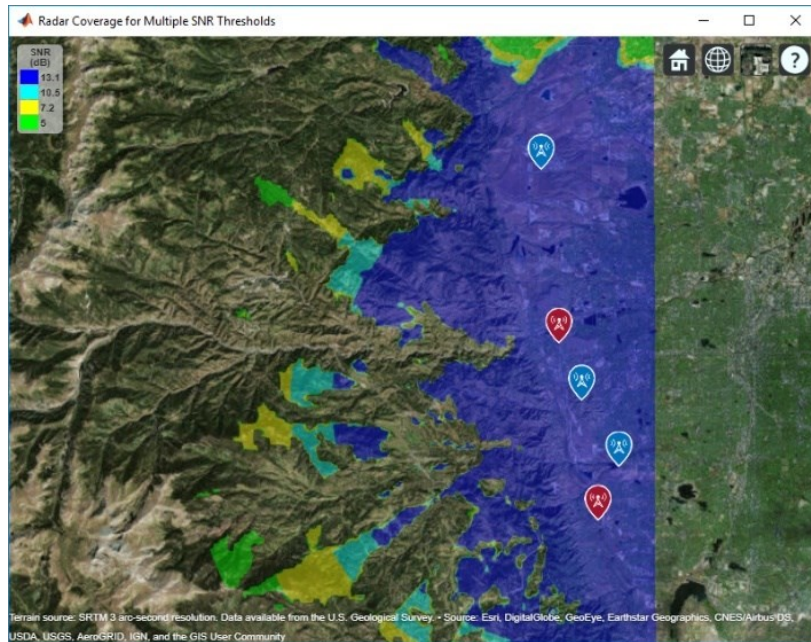
True Class	B-FM	99.7%							
	Barker		100.0%						
	CPFSK	0.3%		99.0%					
	DSB-AM				88.3%			14.3%	
	GFSK			1.0%		100.0%			
	LFM						100.0%		
	Rect							100.0%	
	SSB-AM				11.7%				85.7%
		B-FM	Barker	CPFSK	DSB-AM	GFSK	LFM	Rect	SSB-AM
		Predicted Class							

Классификация целей машинным и глубоким обучением



Планирование покрытия сети радаров на местности

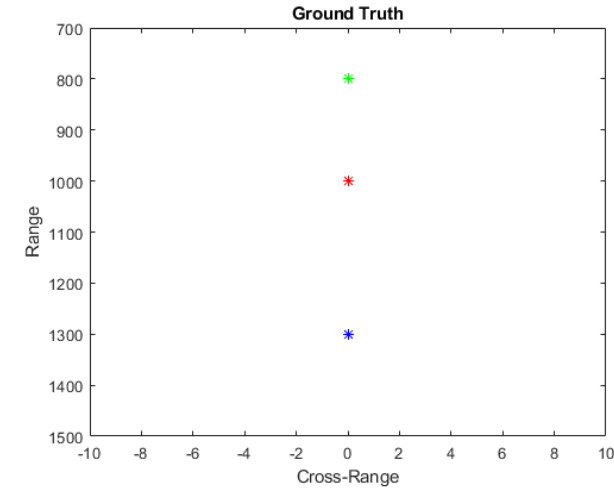
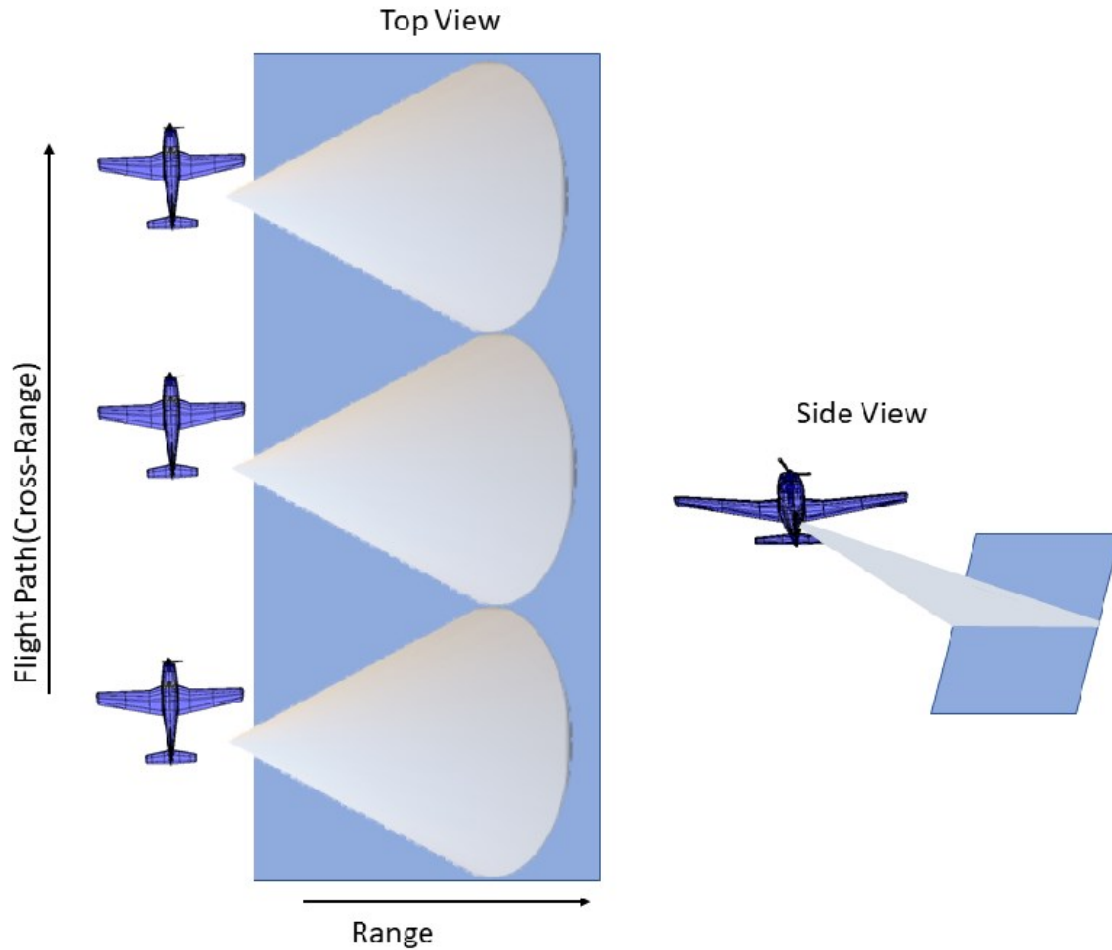
*Antenna Toolbox



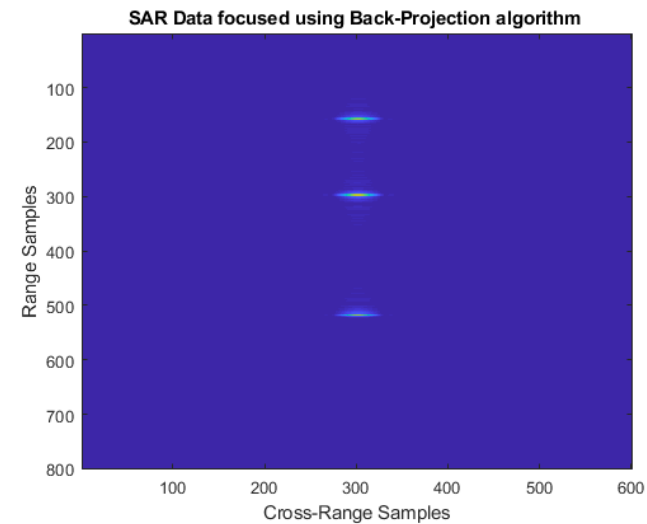
Импортированные DTED level-1 данные высот

Модель распространения Лонгли-Райса или Terrain Integrated Rough Earth Model™ (TIREM™)

Формирование изображения SAR (stripmap example)

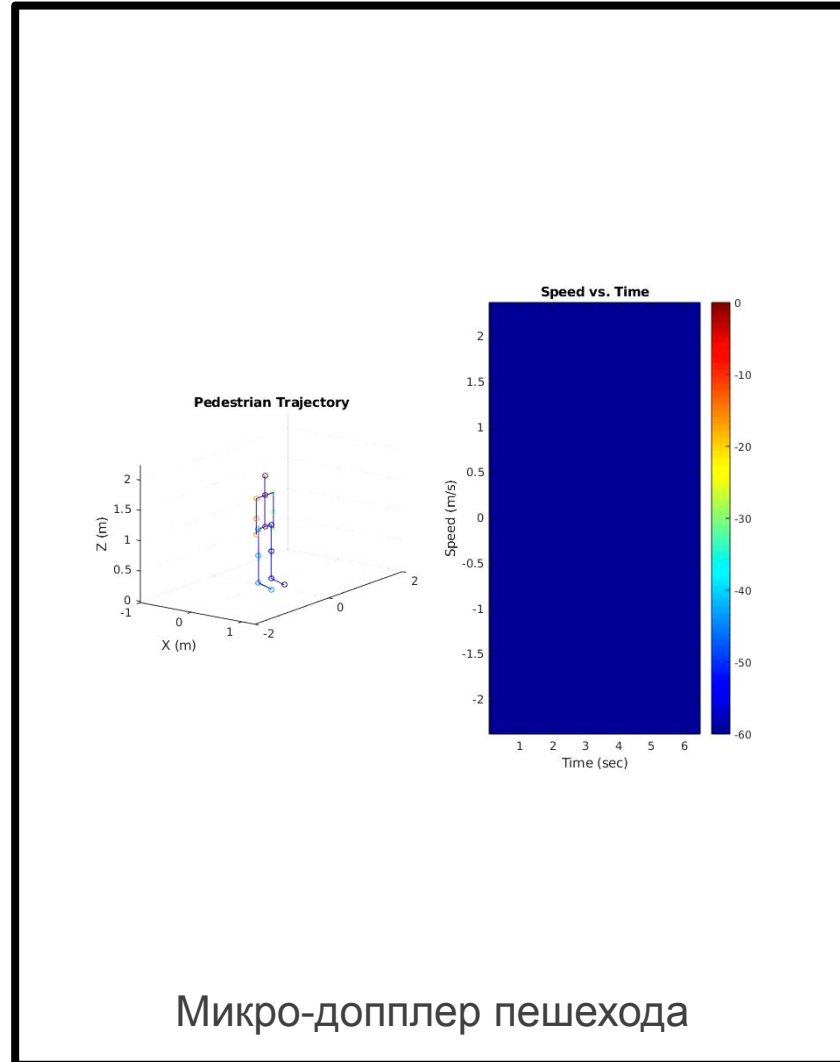
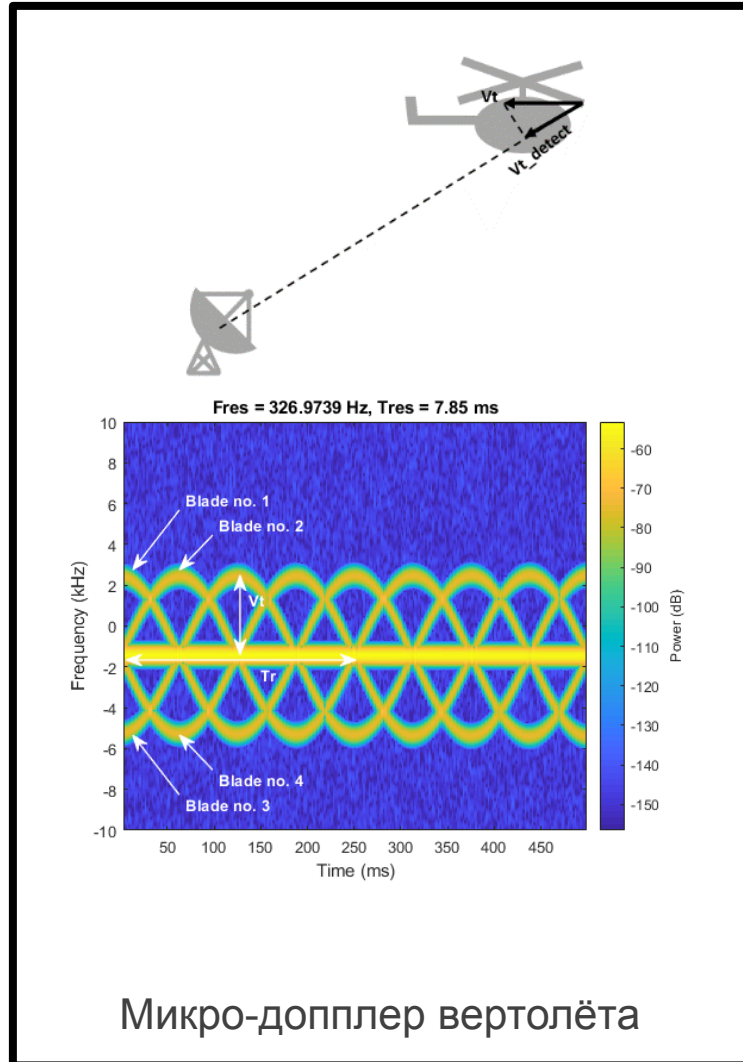


Исходная картина



Предобработанные данные

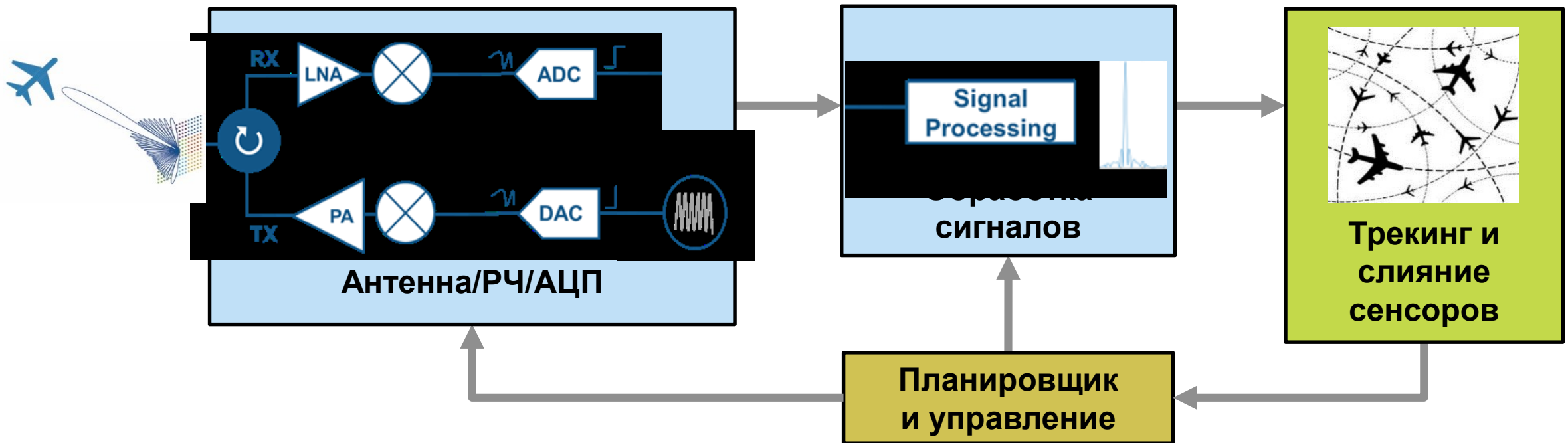
Оценка микро-доплеровской картины



План семинара

- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- Ускорение вычислений **12:30**
- Реализация алгоритмов на целевых платформах **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

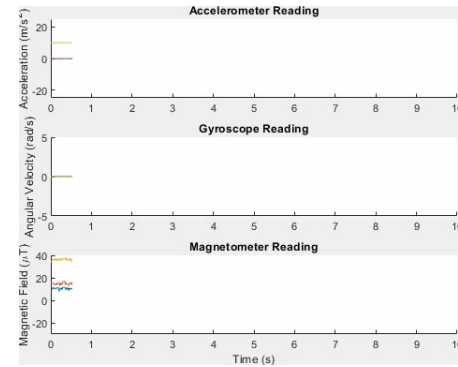
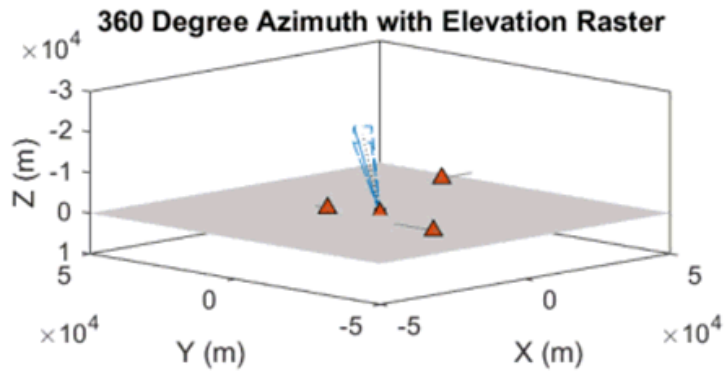
Комплексное моделирование замкнутых систем



- Моделирование сложных сценариев
- Разработка и анализ антенн и РЧ-тракта
- Проектирование фазированной системы “от-антенны-до-обнаружений”

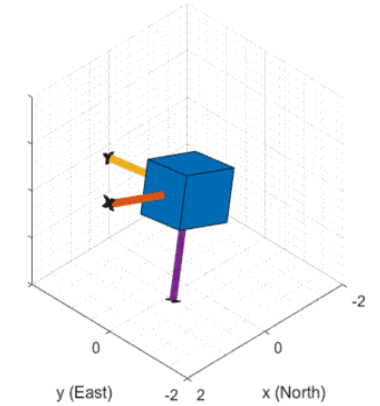
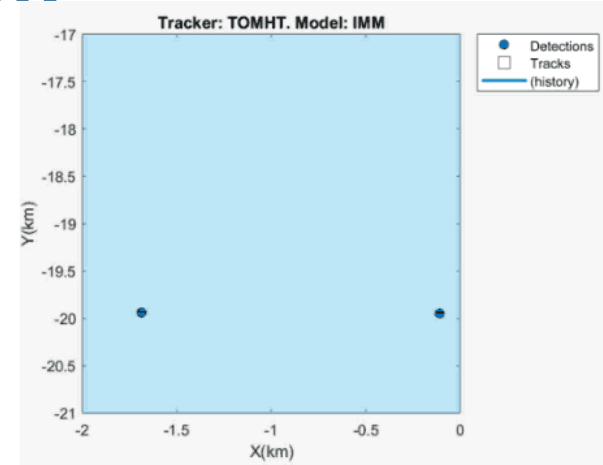
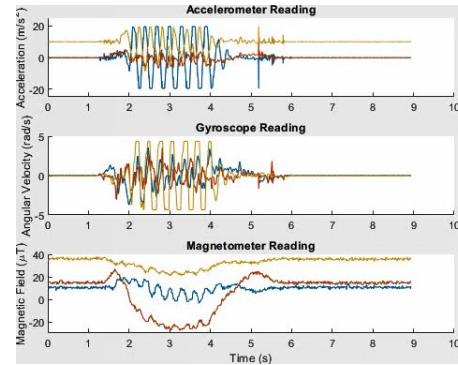
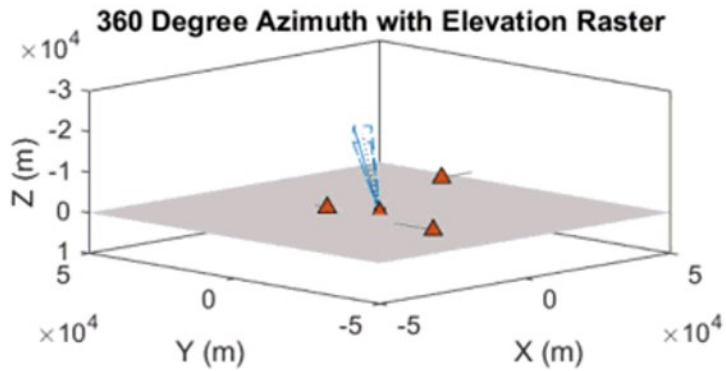
- Трекинг множества целей
- Слияние сенсоров
- Управление ресурсами

Sensor Fusion and Tracking Toolbox



Сценарии и симуляция сенсоров

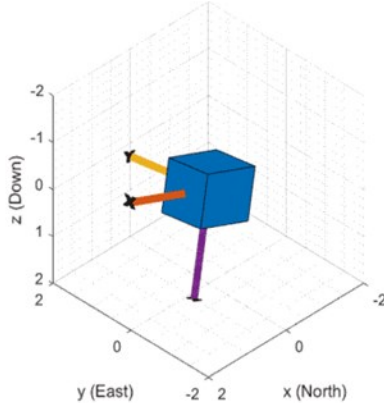
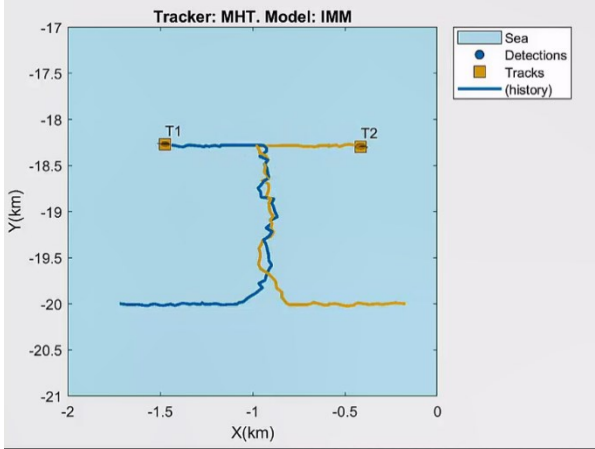
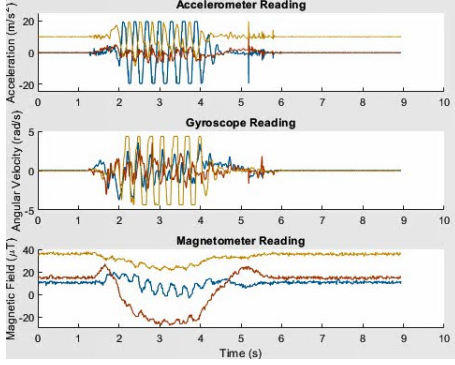
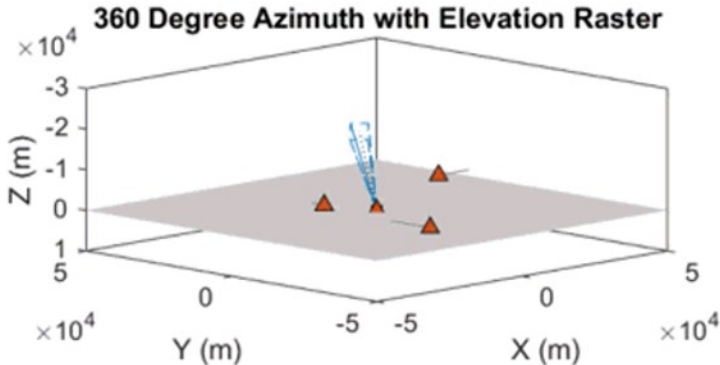
Sensor Fusion and Tracking Toolbox



Сценарии и симуляция сенсоров

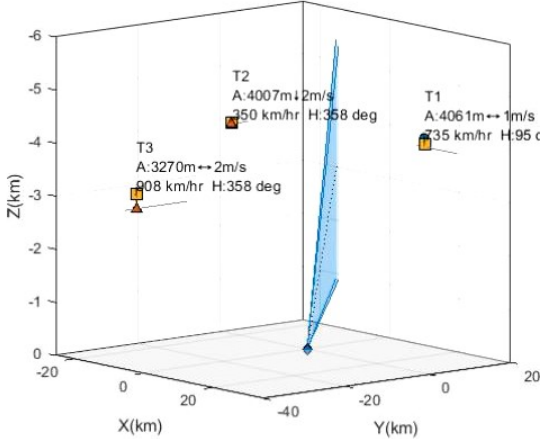
Трекинг и алгоритмы локализации

Sensor Fusion and Tracking Toolbox



Сценарии и симуляция сенсоров

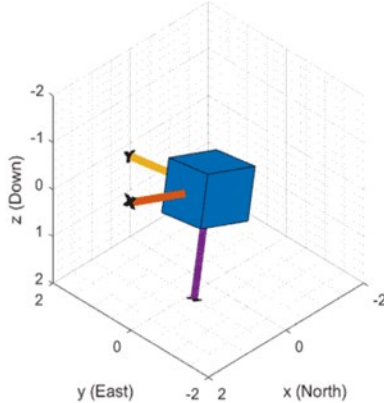
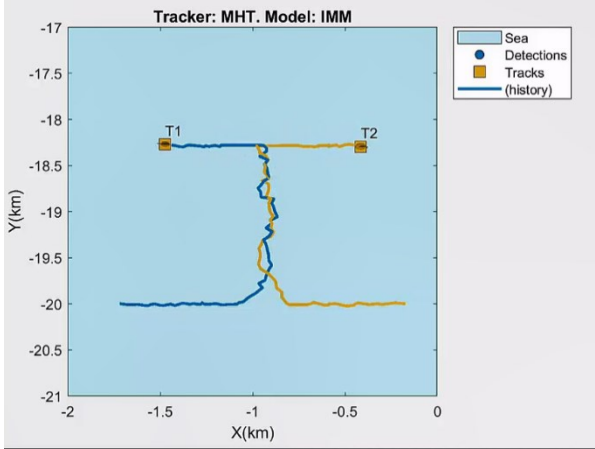
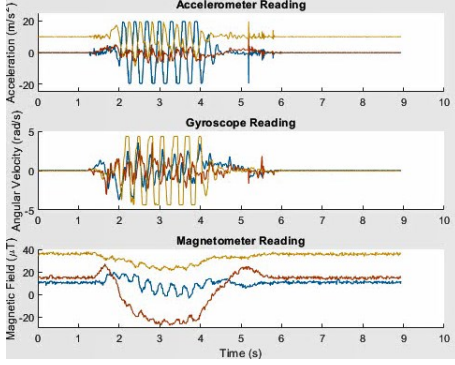
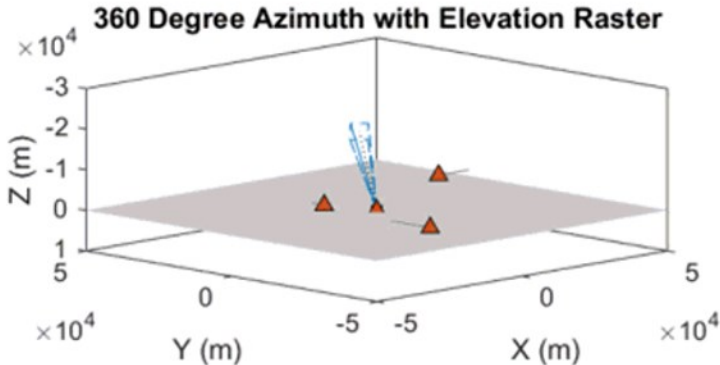
Трекинг и алгоритмы локализации



TrackID	AssignedTruthID	TotalLength
2	NaN	1
3	NaN	1
4	8	55
5	7	56
6	NaN	2

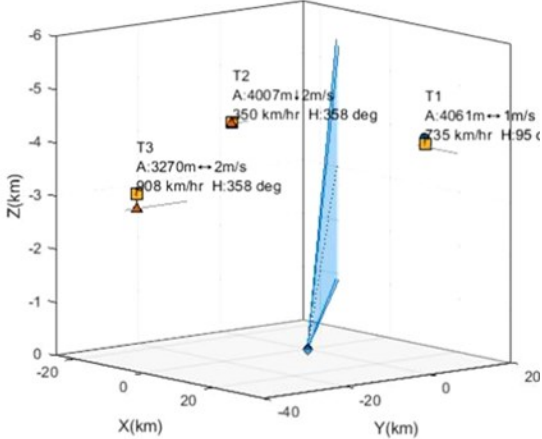
Визуализация и метрики

Sensor Fusion and Tracking Toolbox

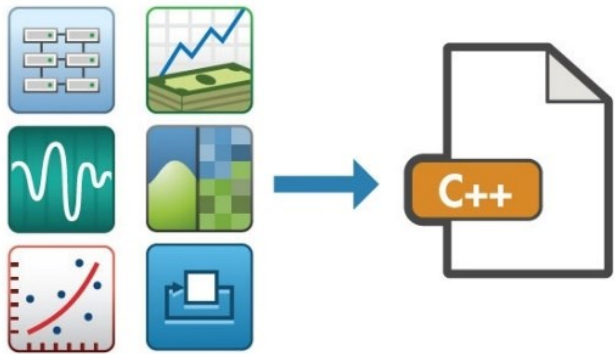


Сценарии и симуляция сенсоров

Трекинг и алгоритмы локализации



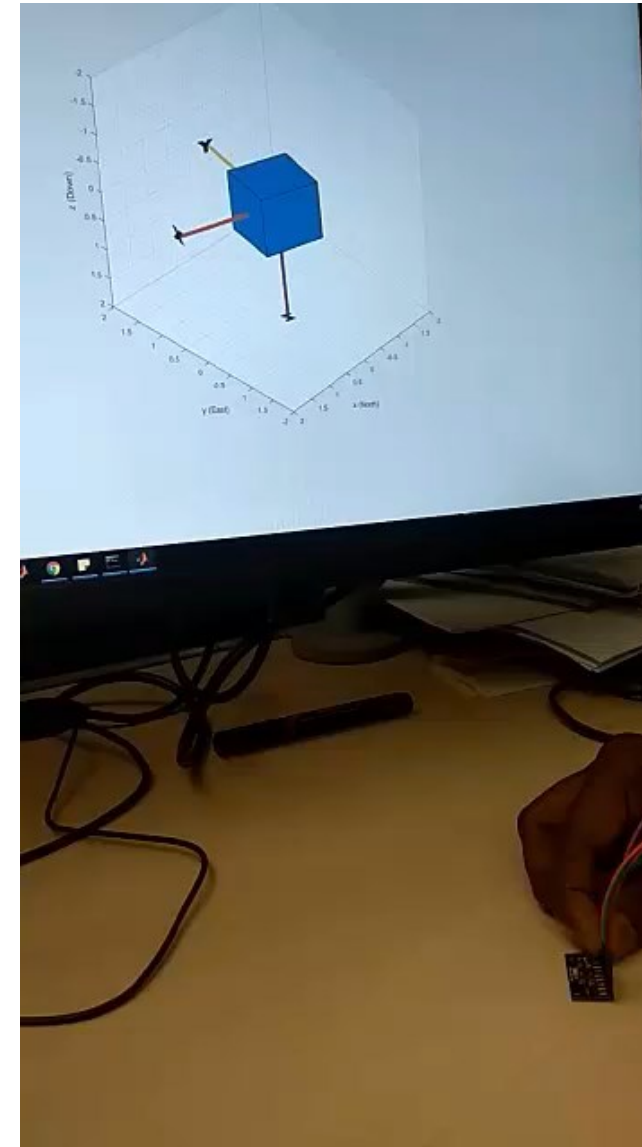
TrackID	AssignedTruthID	TotalLength
2	NaN	1
3	NaN	1
4	8	55
5	7	56
6	NaN	2



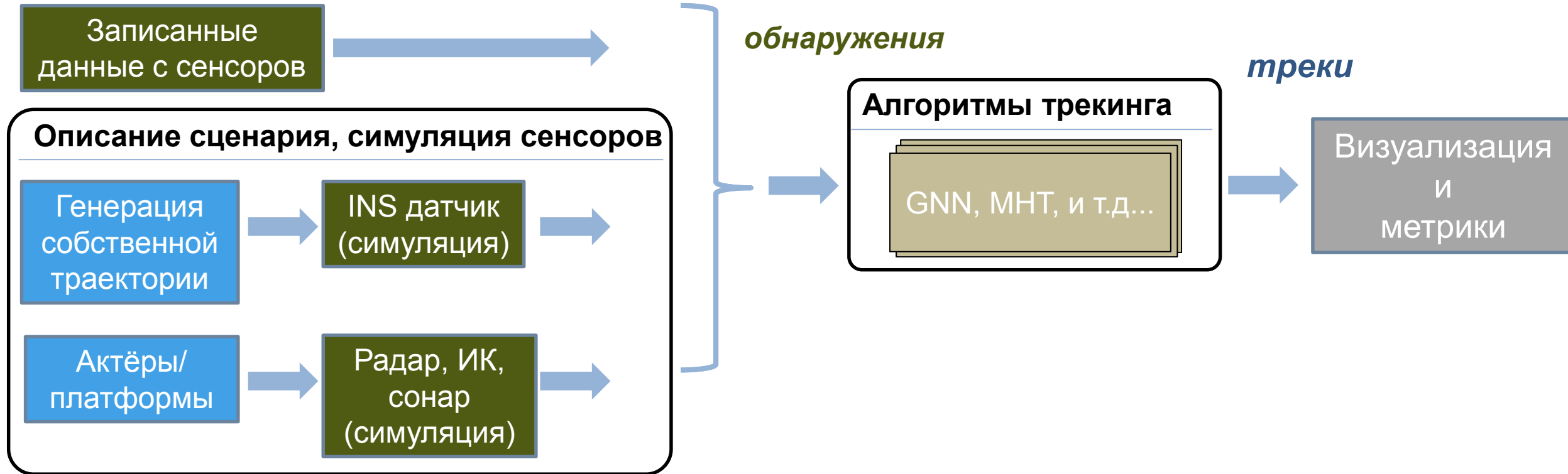
Визуализация и метрики

Генерация кода

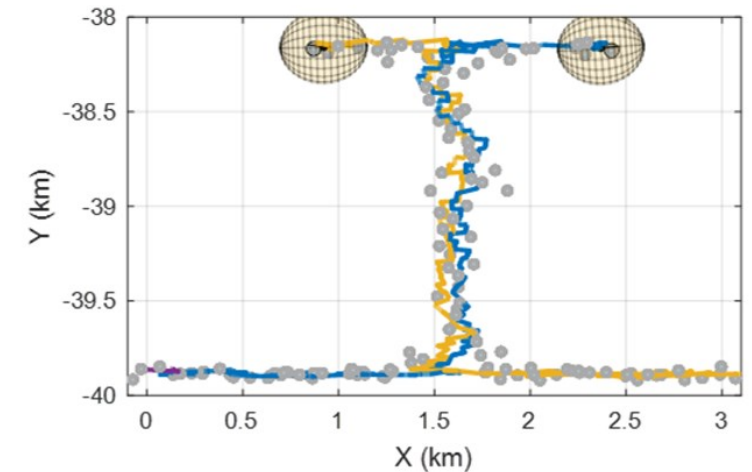
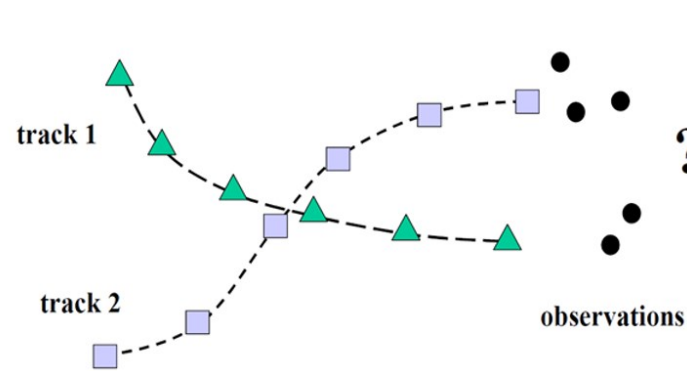
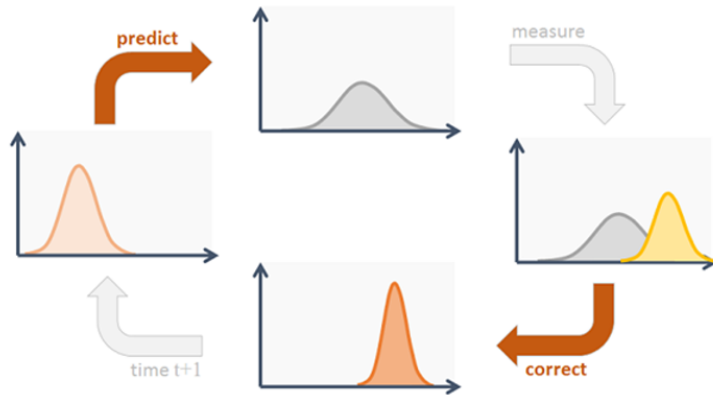
Модели локализации и поток данных с реальных IMU в MATLAB



Процесс создания алгоритмов слежения



Библиотека алгоритмов слежения



Фильтры

- Alpha-beta фильтр
- Фильтры Калмана
 - Linear, EKF, UFK, CKF, MSCEKF
- Многочастичный фильтр (particle)
- Множественные модели
 - GSF, IMM

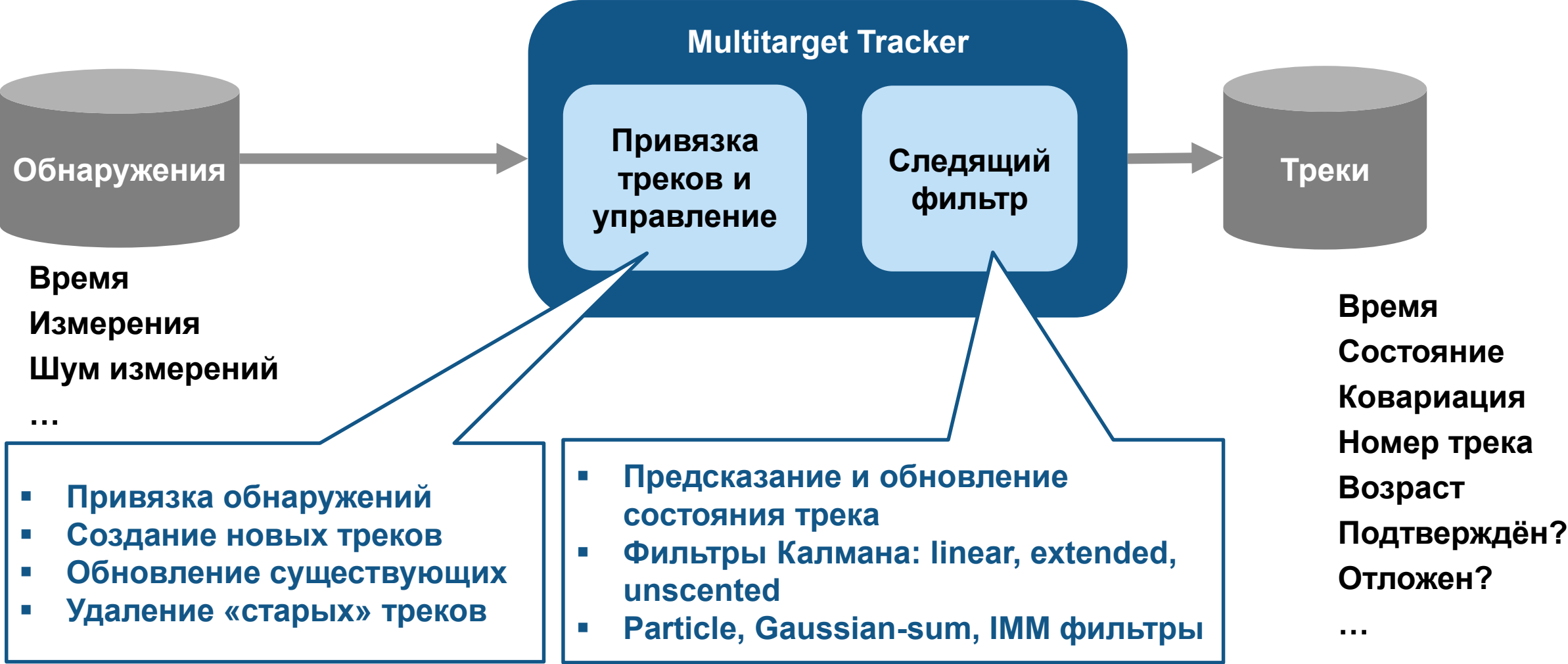
Привязка данных

- 2D привязка
- S-D привязка
- K-best привязка

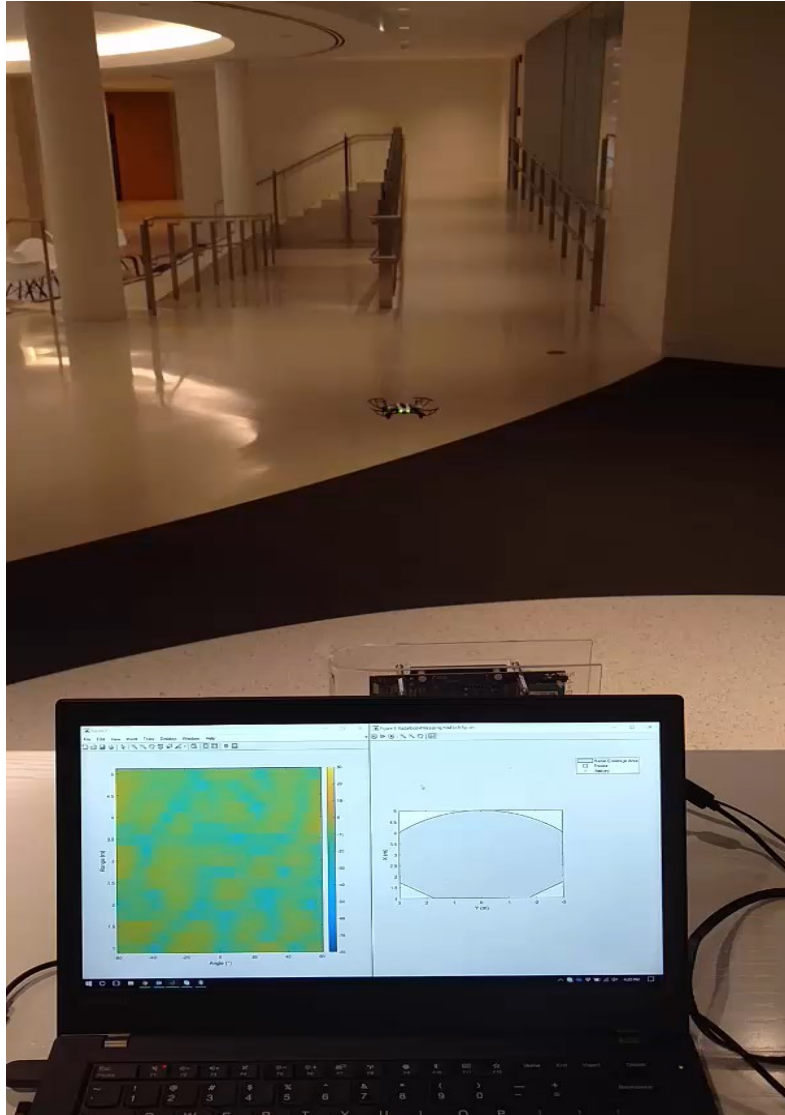
Трекеры

- GNN
- МНТ
- Компоненты трекеров
 - История и логика начисления

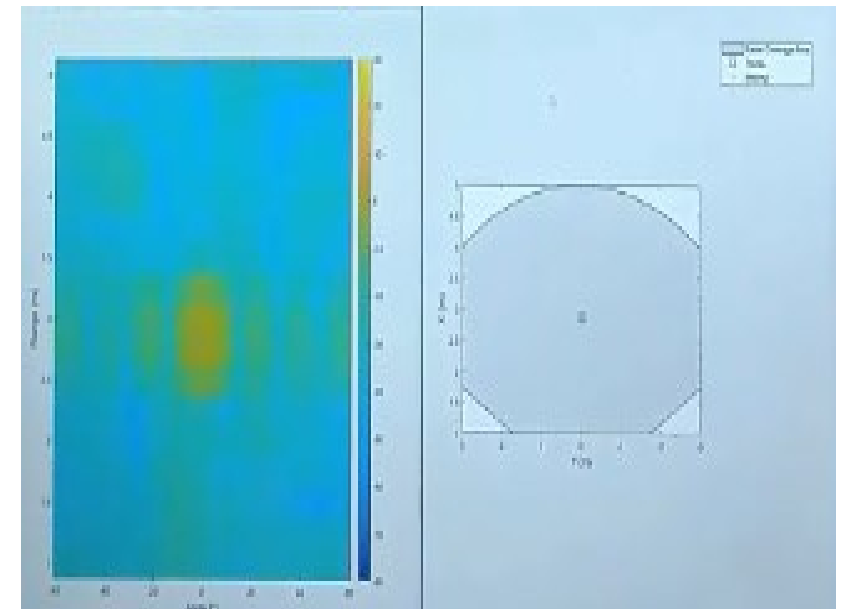
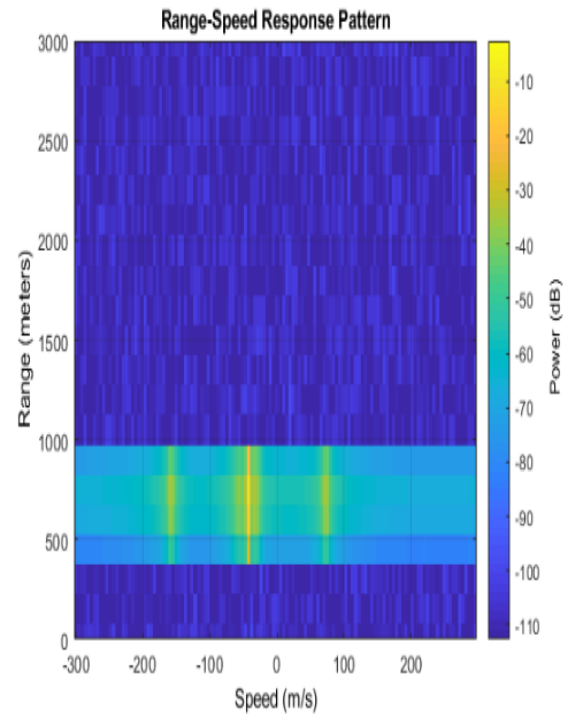
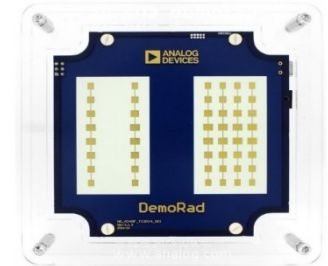
Разница между Multitarget Tracker и фильтром Калмана



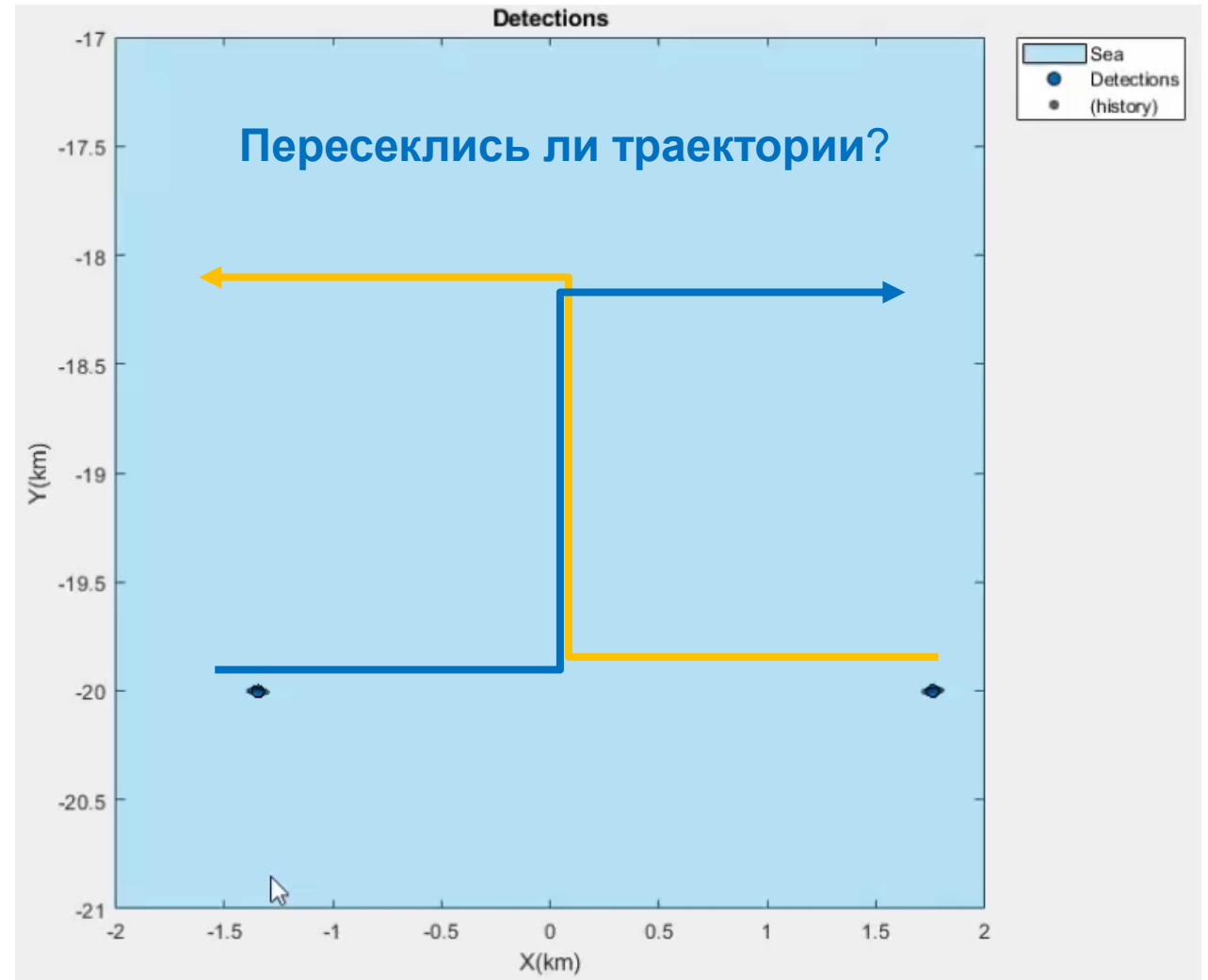
Обнаружение и трекинг квадрокоптера



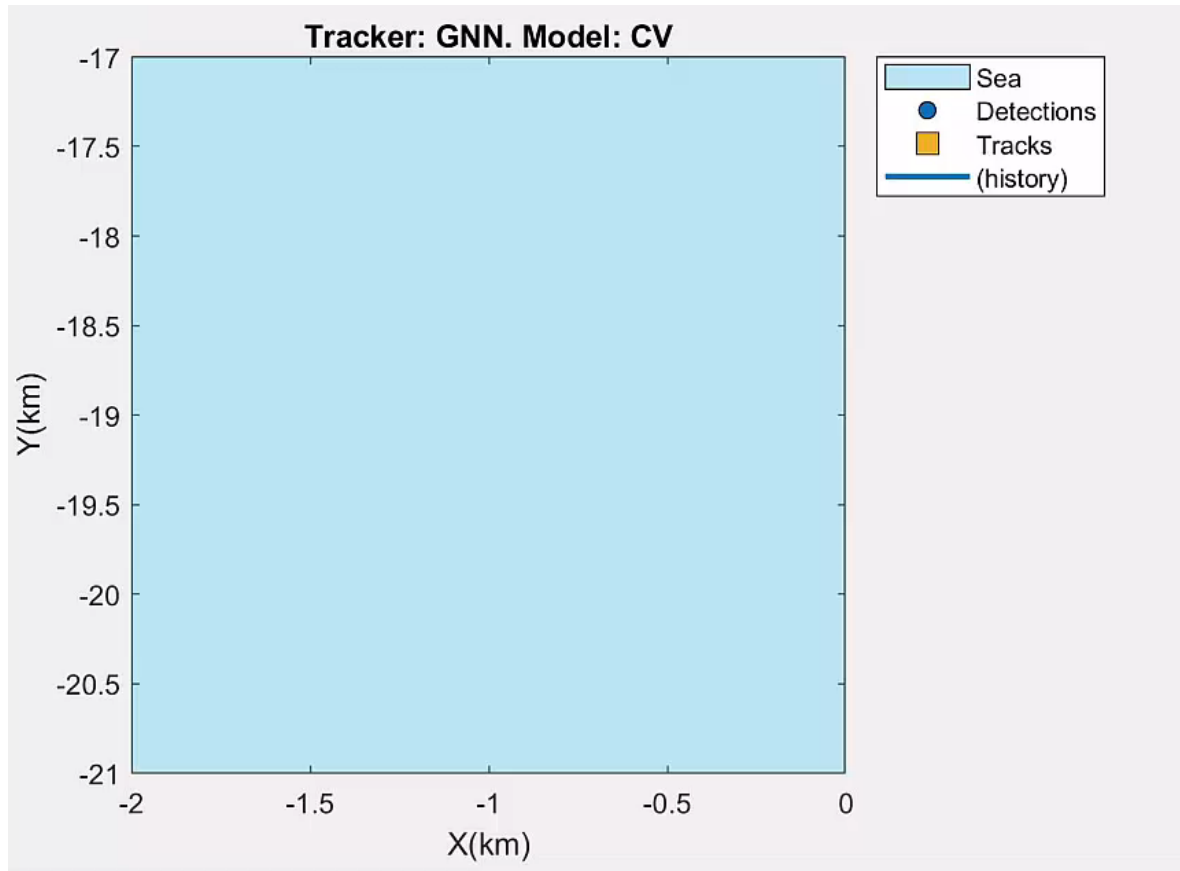
- Плата DemoRAD с MATLAB
- Обработка и слежение на «ЖИВОМ» сигнале



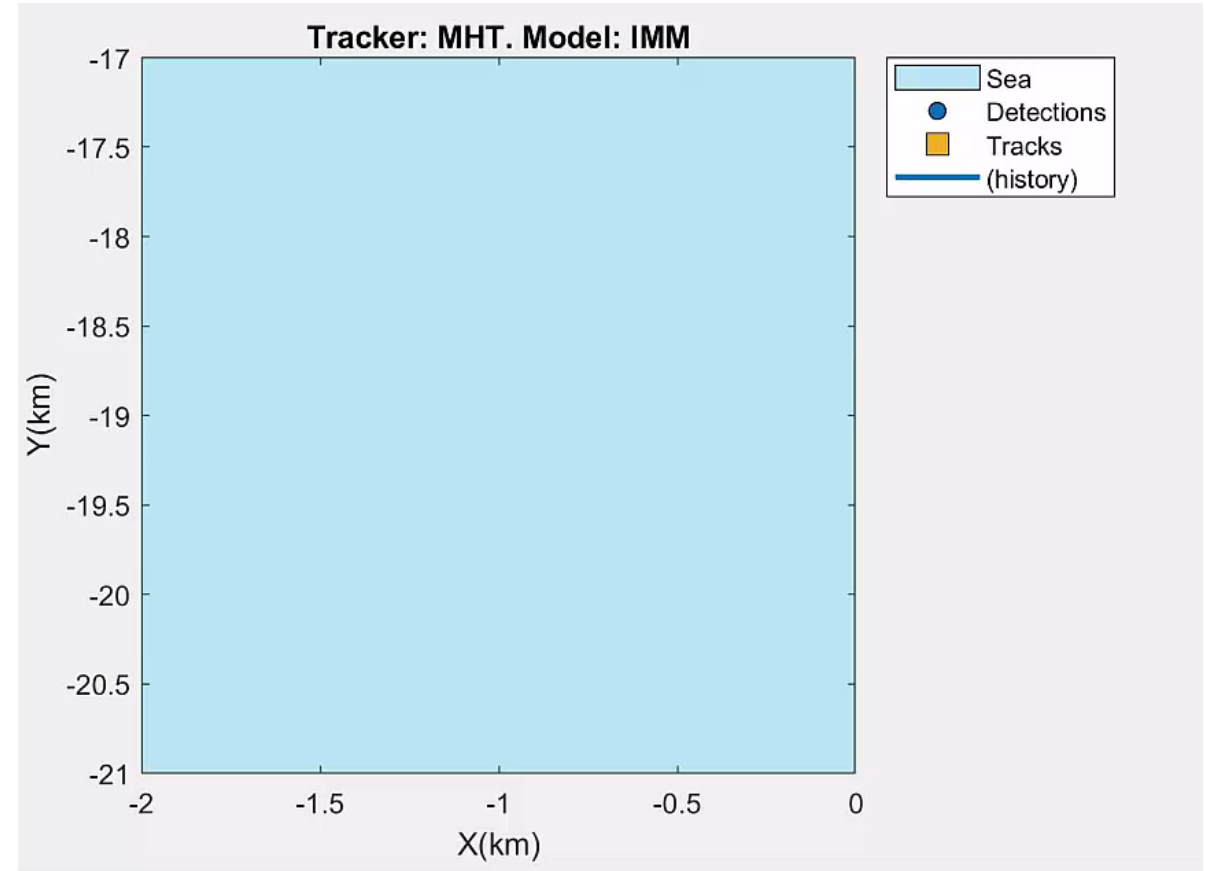
Генерация неоднозначных обнаружений



Анализ «что если» с различными трекерами

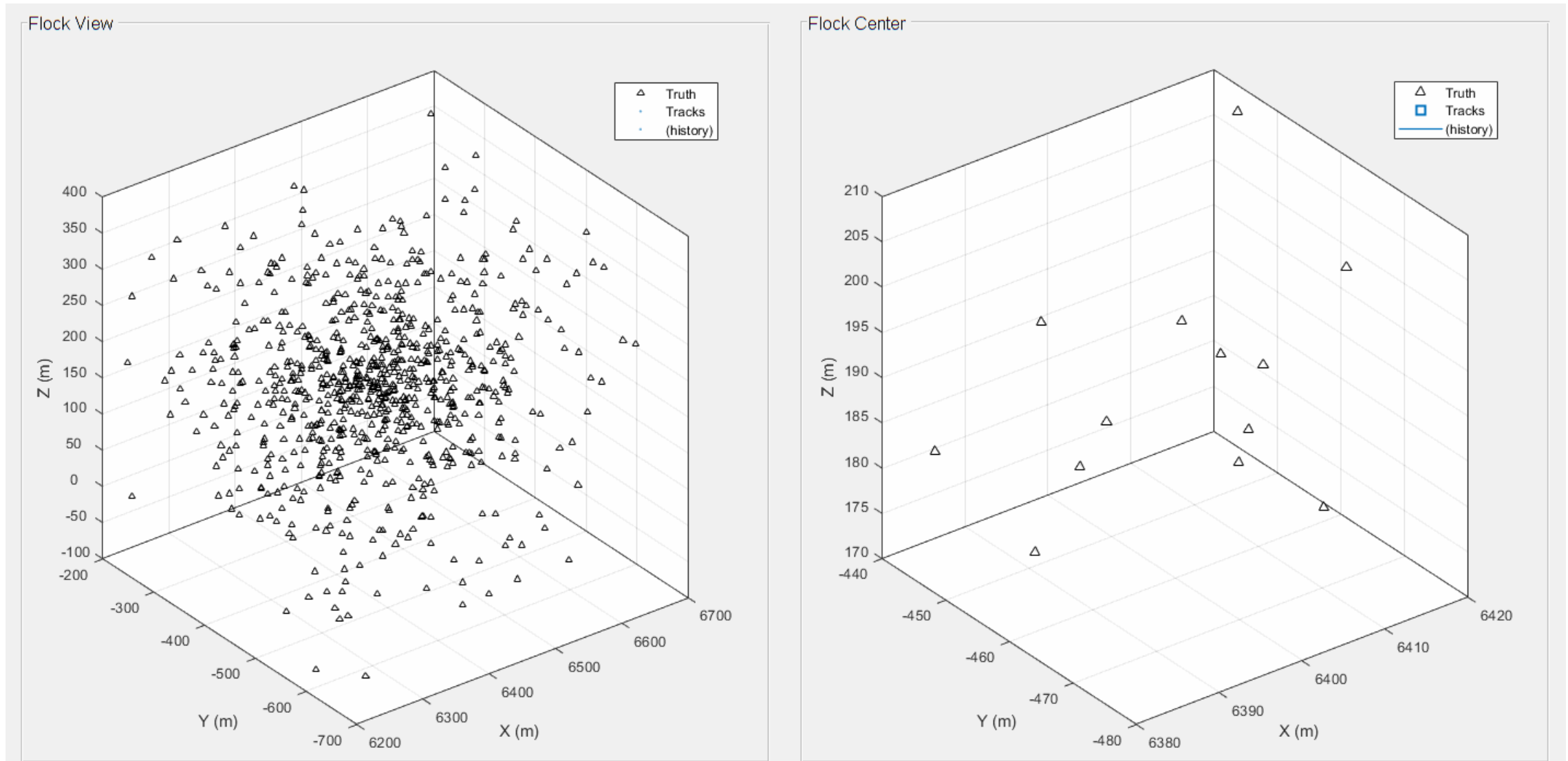


>> trackerGNN

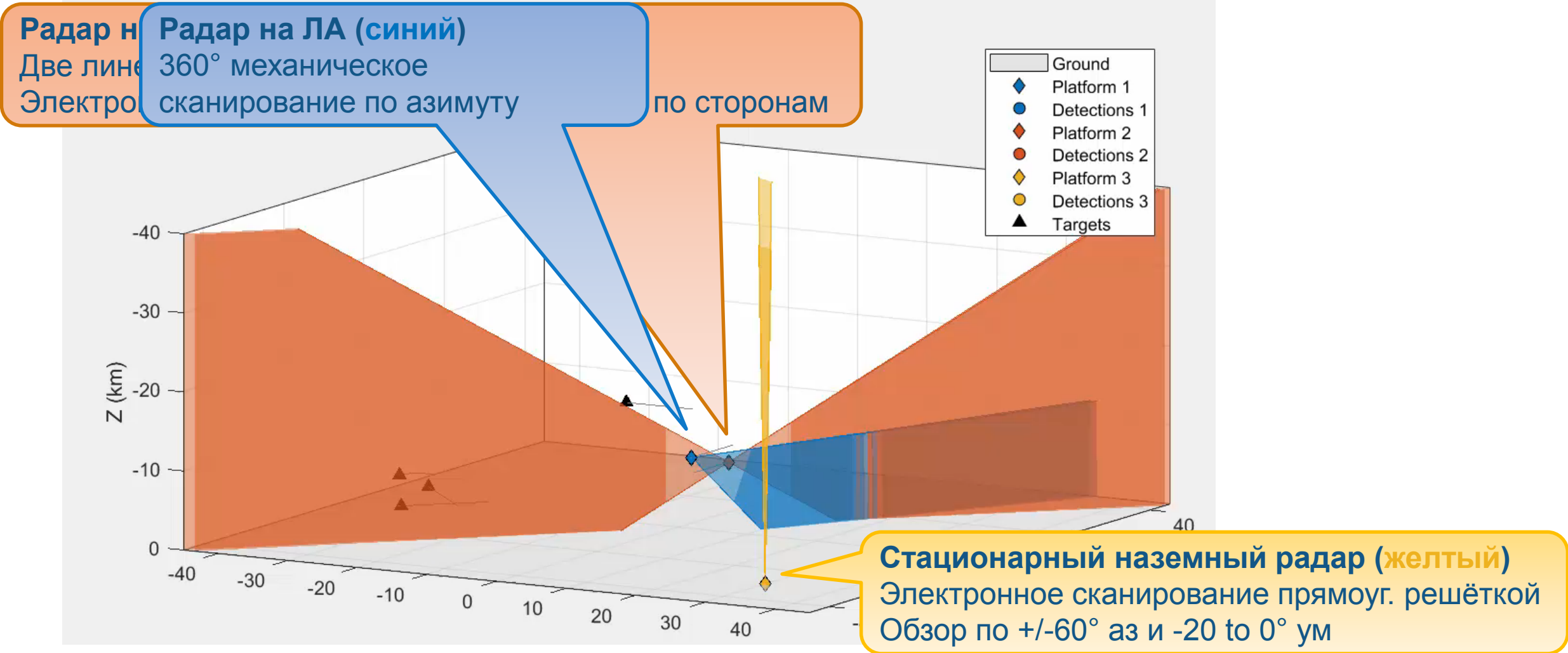


>> trackerTOMHT

Слежение за большим количеством объектов

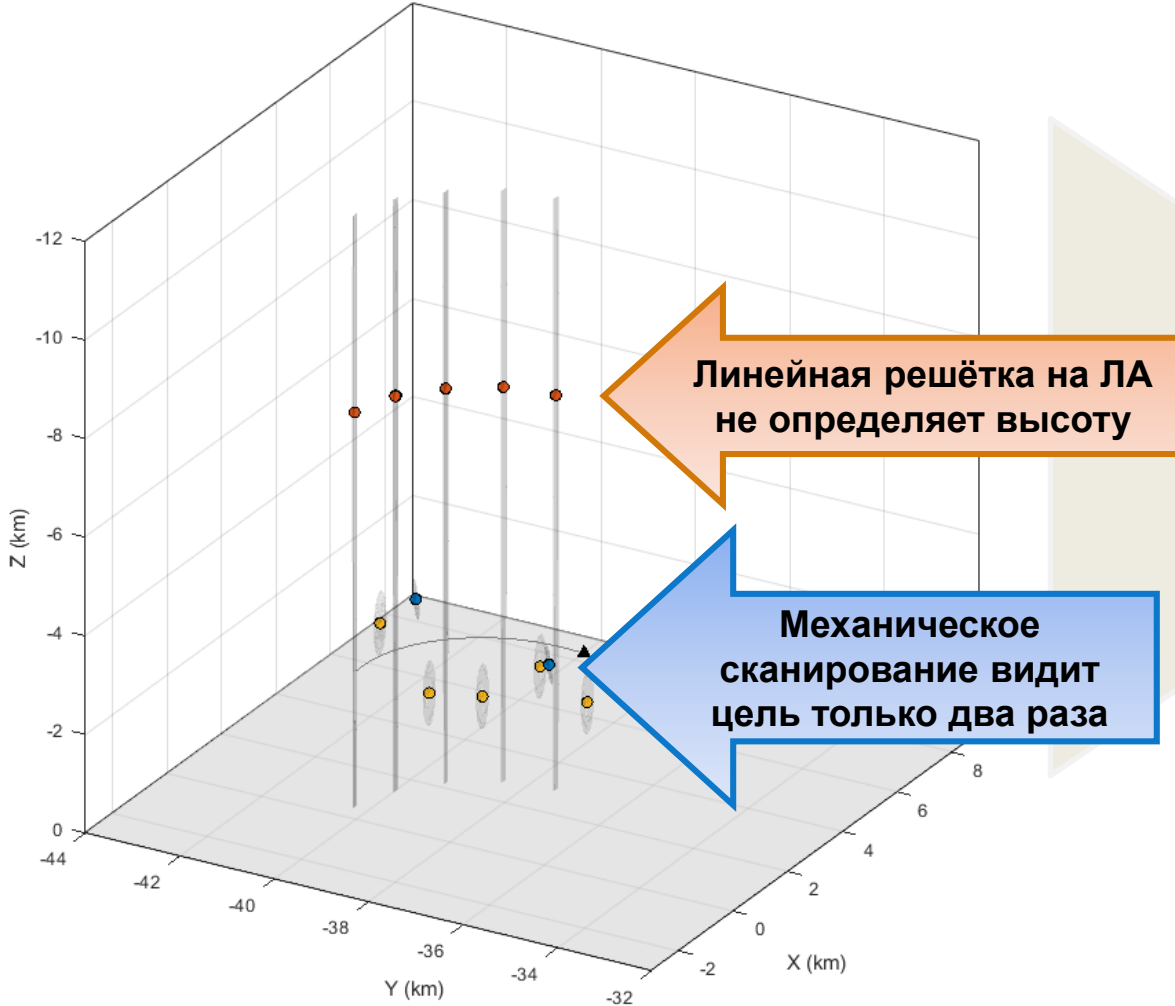


Сценарий с несколькими платформами (сенсорами)

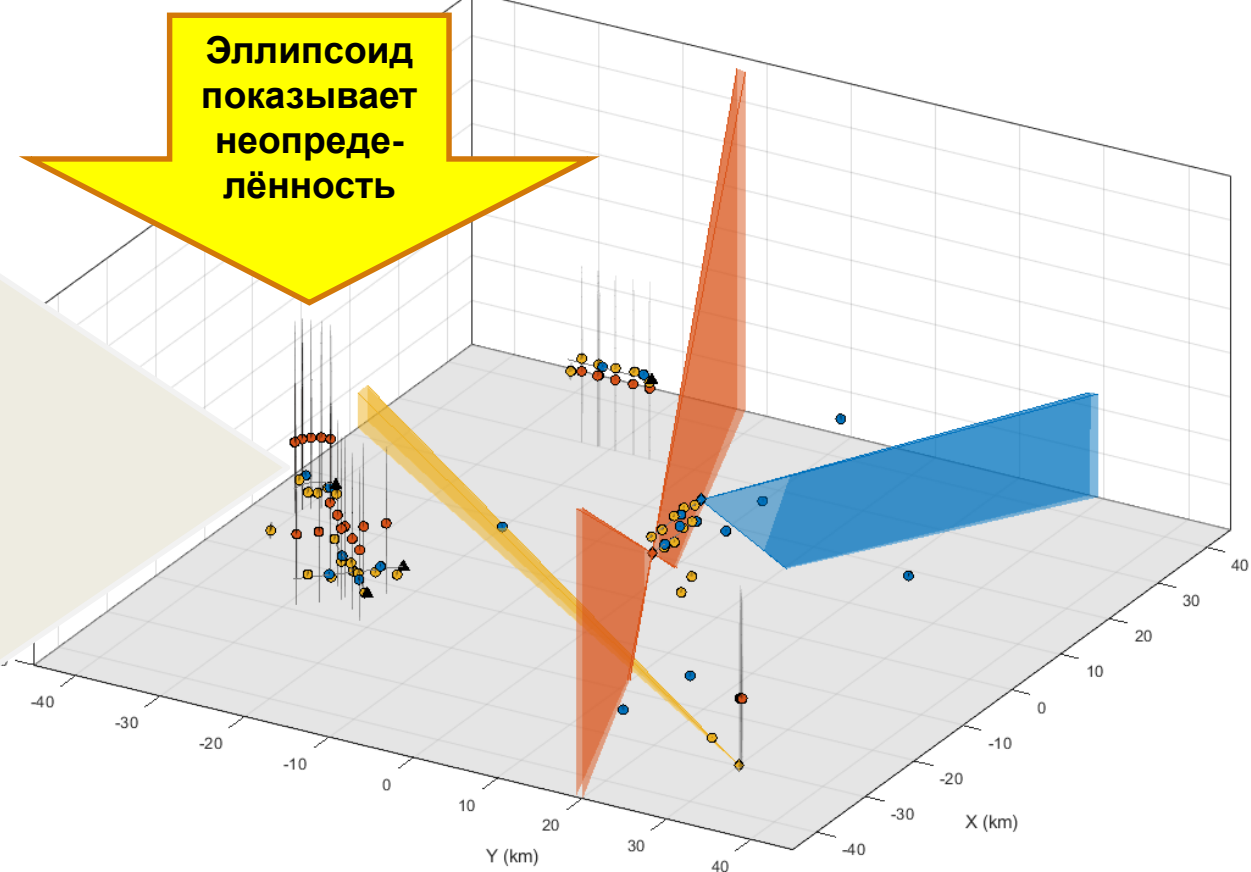


Визуализация обнаружений и неоднозначностей измерений

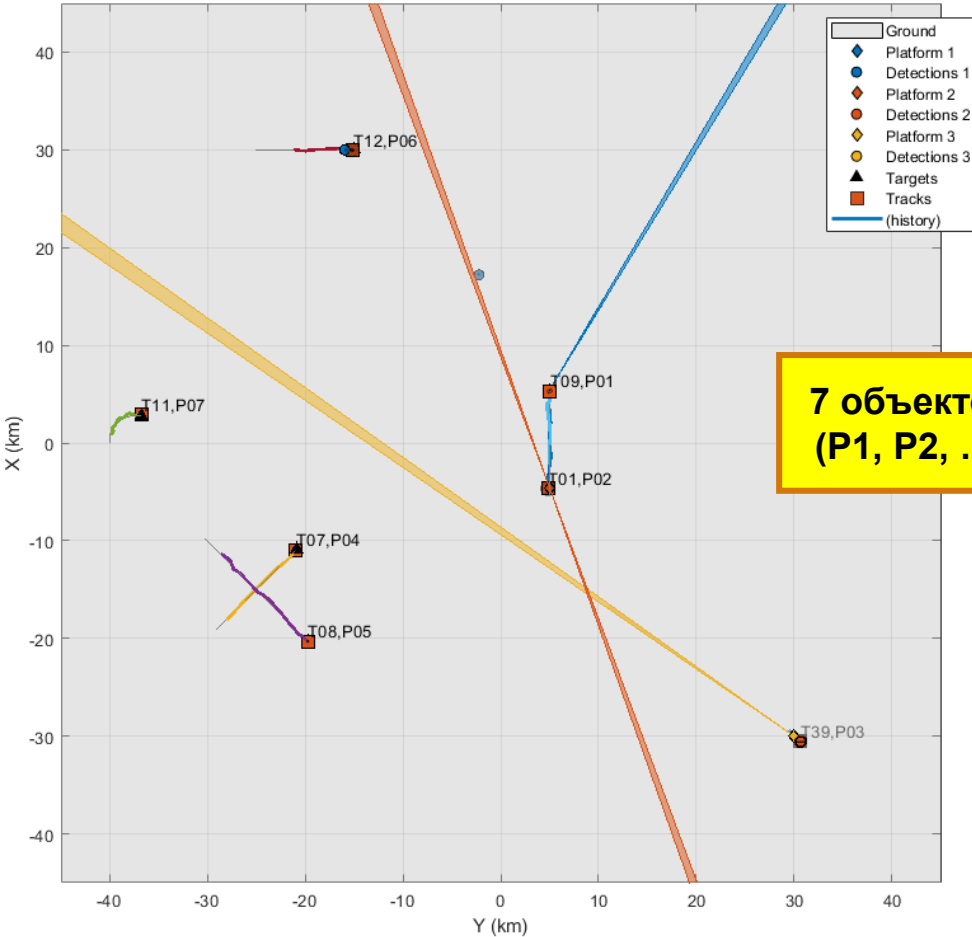
Jet Executing Horizontal Turn



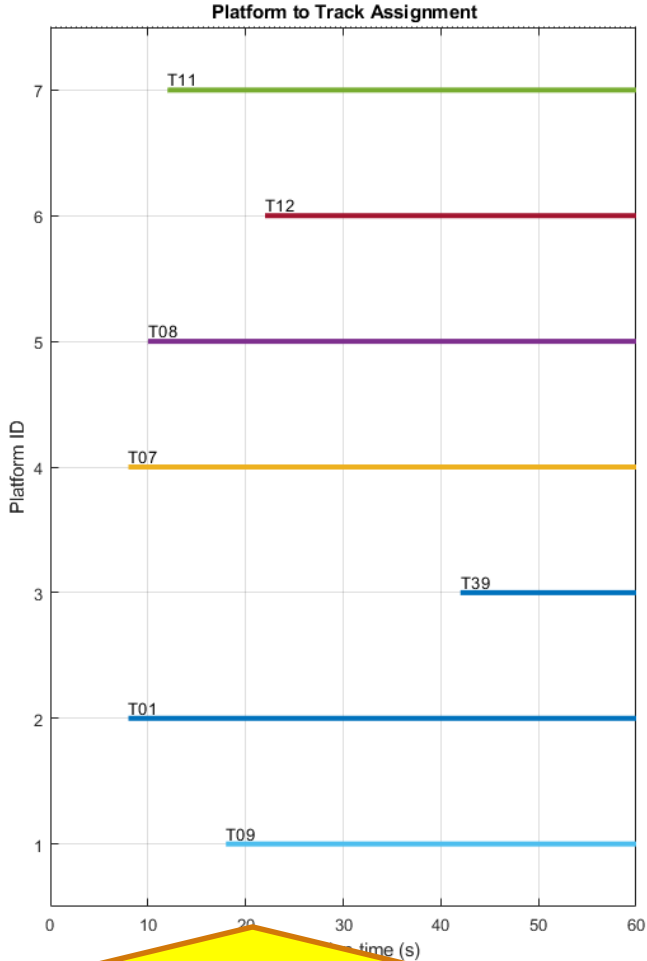
110 Detections Logged from 1500 Simulation Steps



Метрики привязки треков



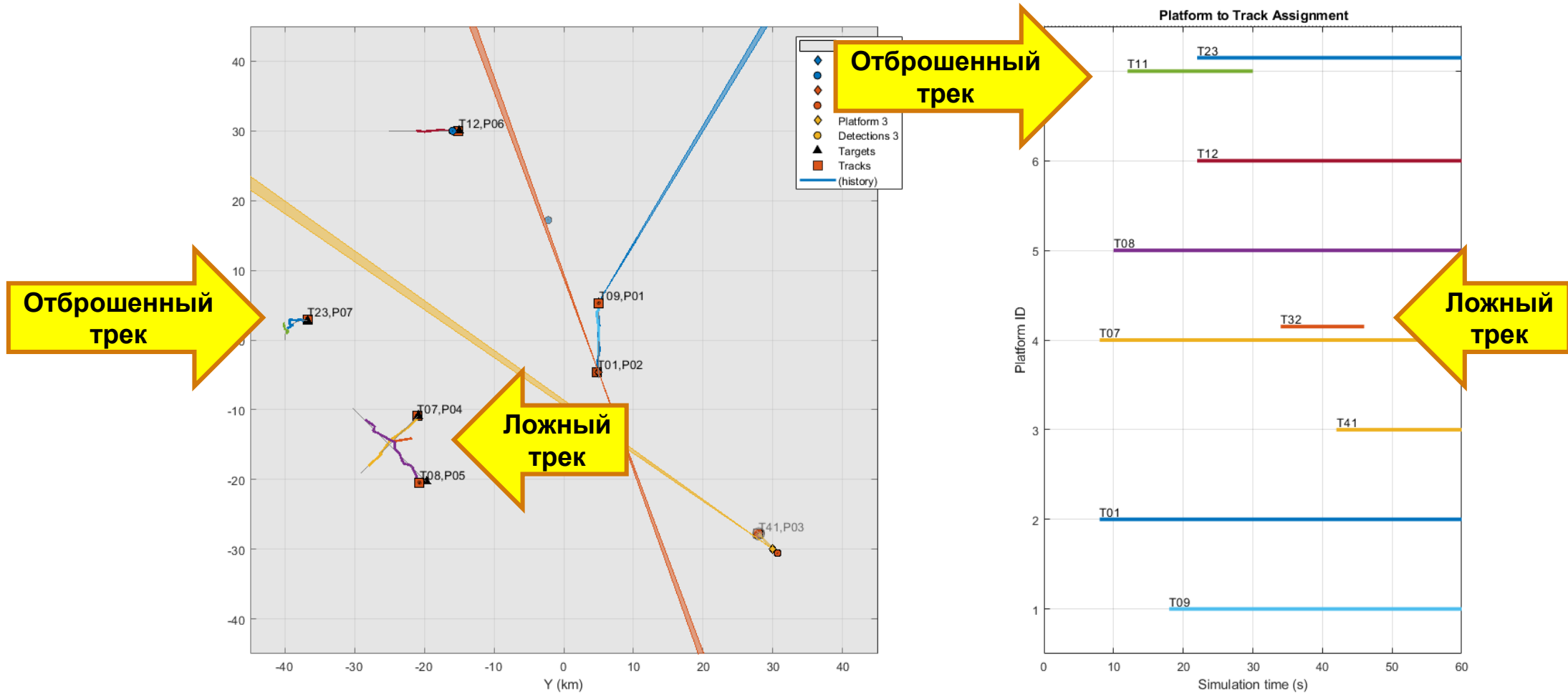
7 объектов (P1, P2, ...)



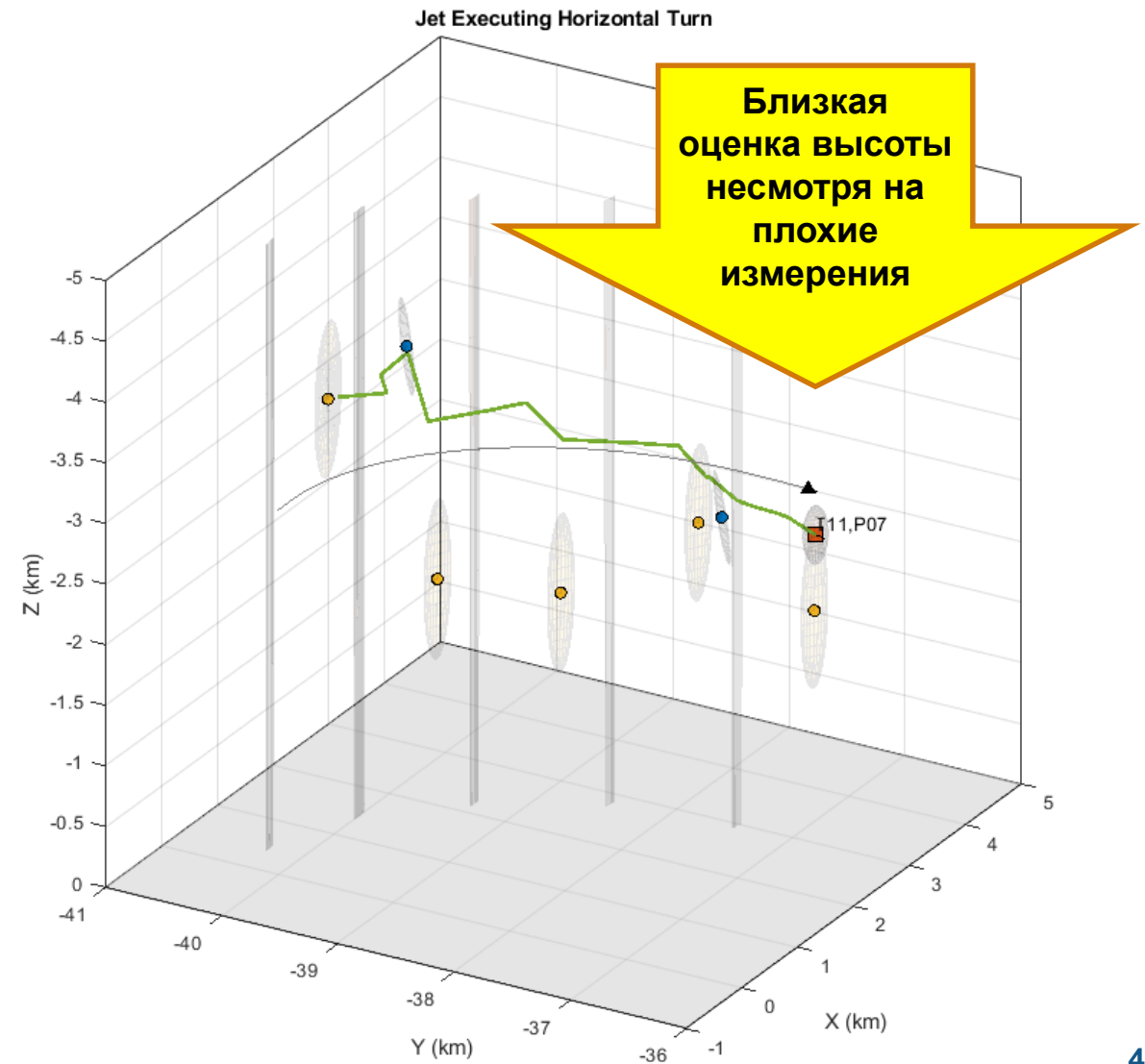
Трек T09 от P1

Время до подтверждения треков

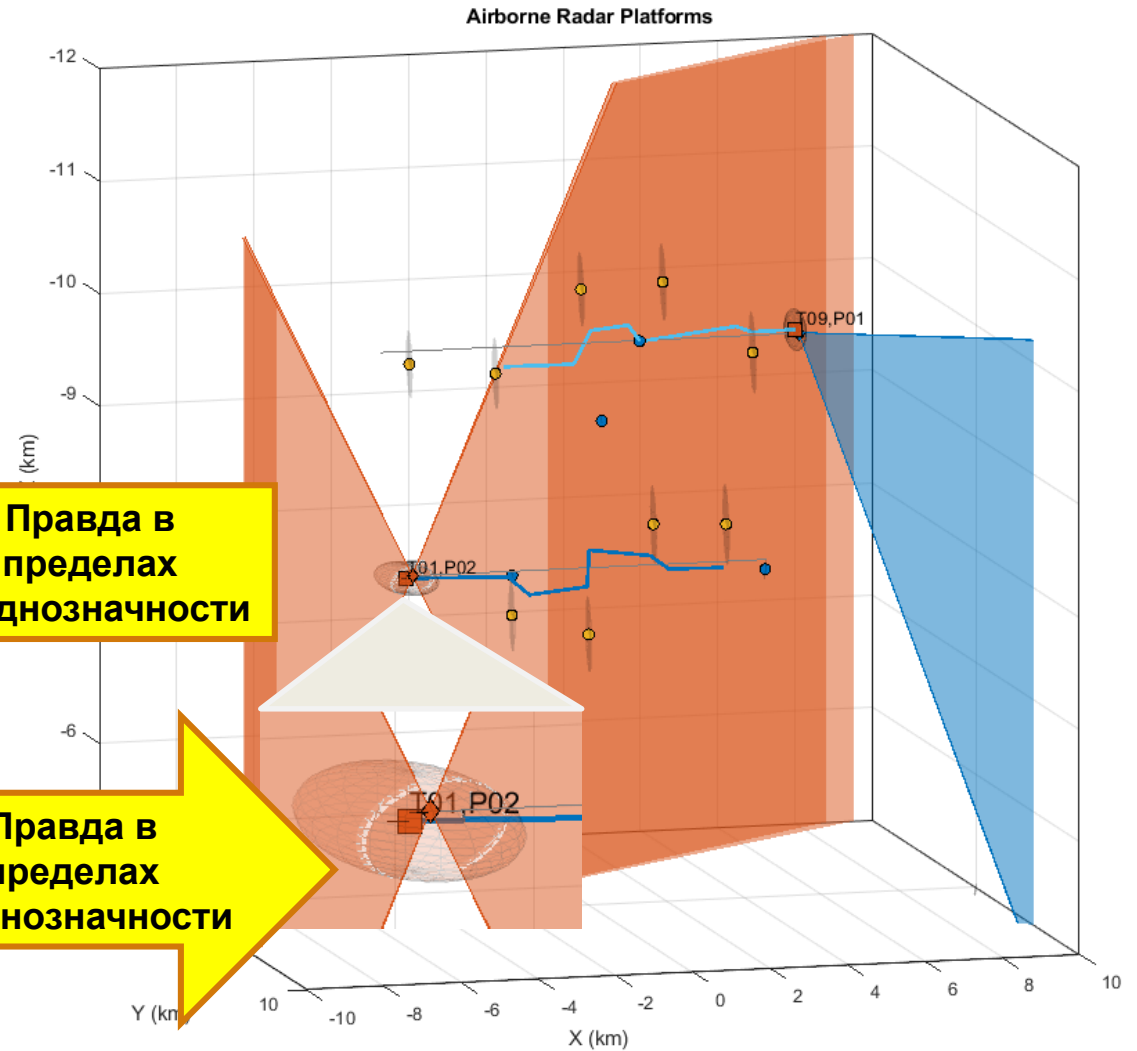
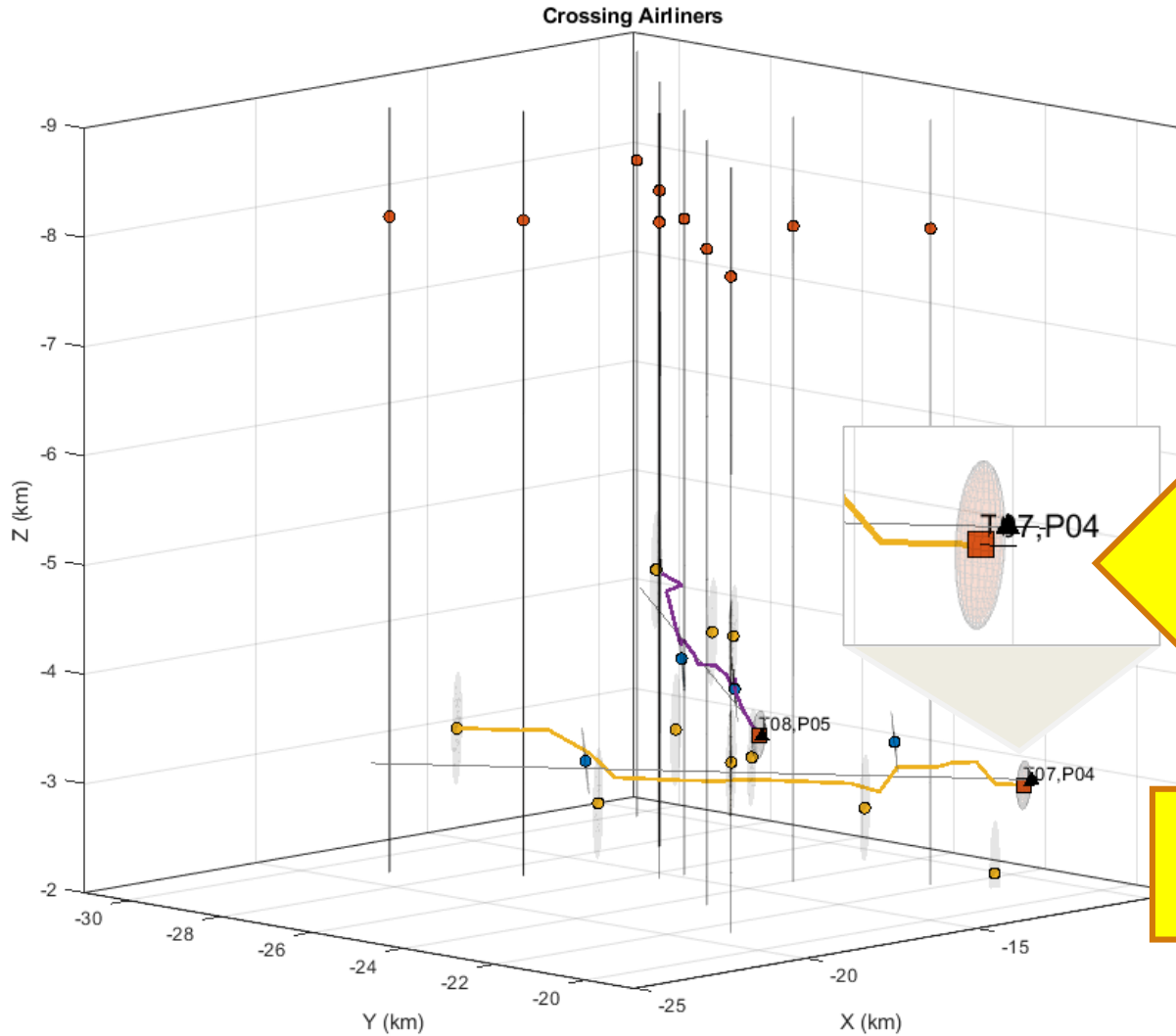
Метрики привязки треков



Визуализация точности формирования трека



Визуализация неоднозначностей

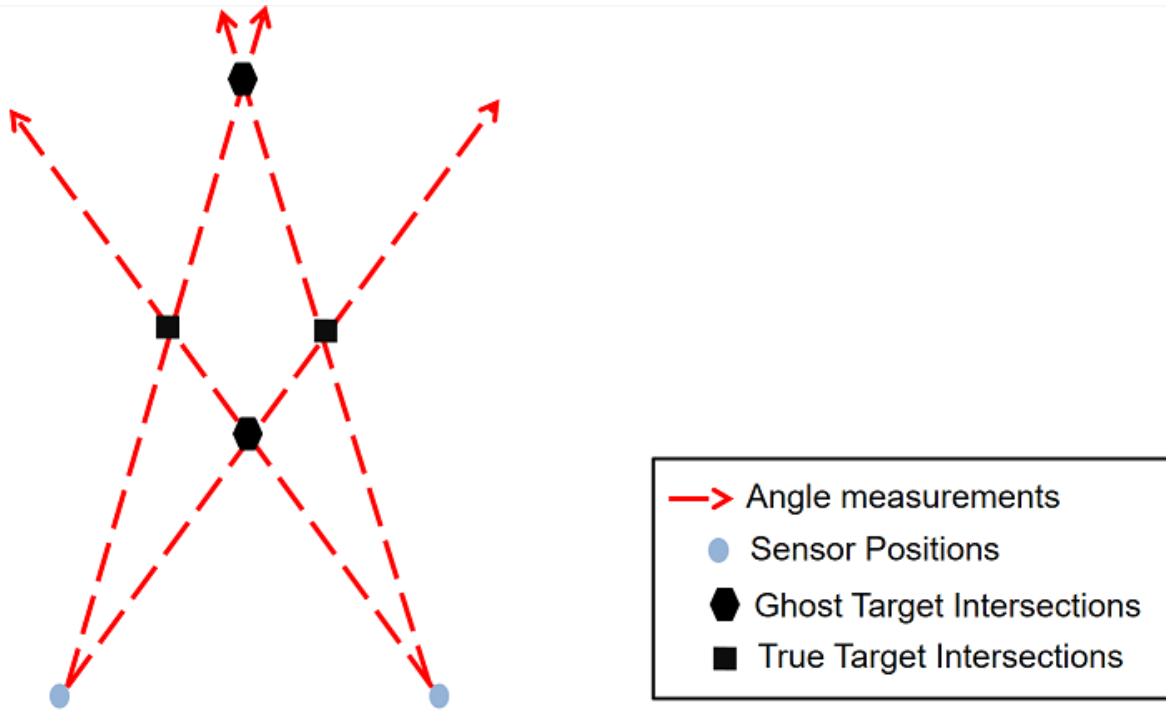


Правда в пределах неоднозначности

Правда в пределах неоднозначности

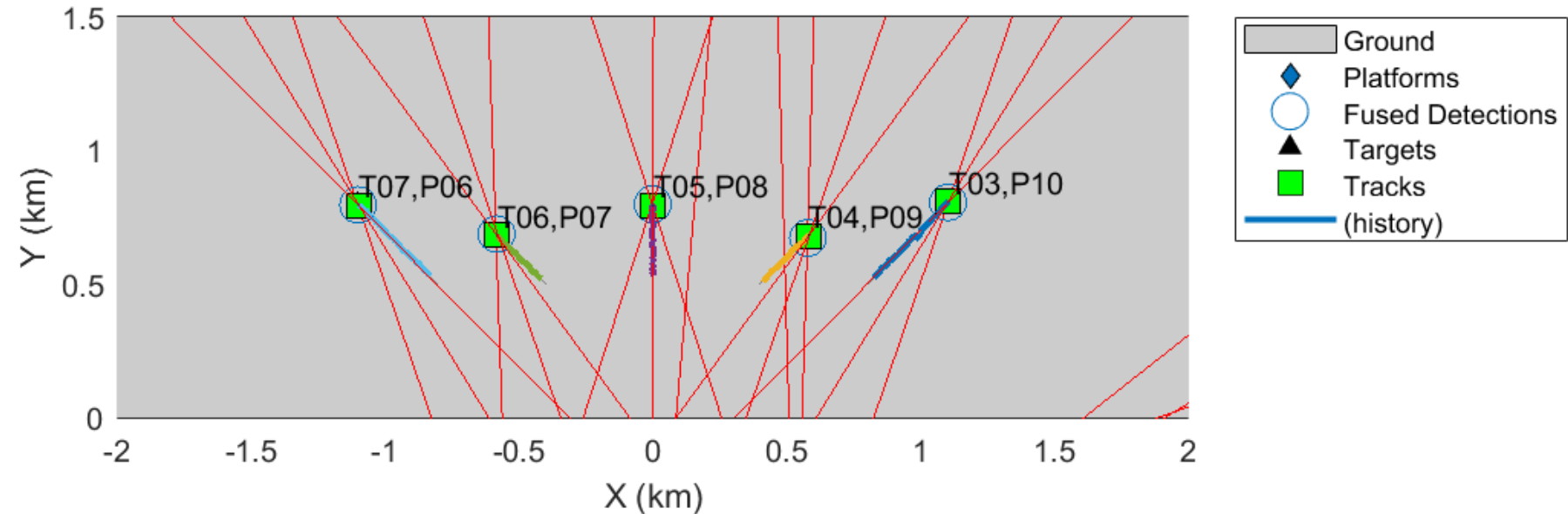
Сценарий с несколькими целями для пассивных сенсоров

Где истинные цели? Как убрать ложные?



Трекинг распределёнными синхронными пассивными сенсорами

3 «качественных» сенсора
5 целей



Обнаружения сенсоров

Слияние статических обнаружений

Объединённые обнаружения

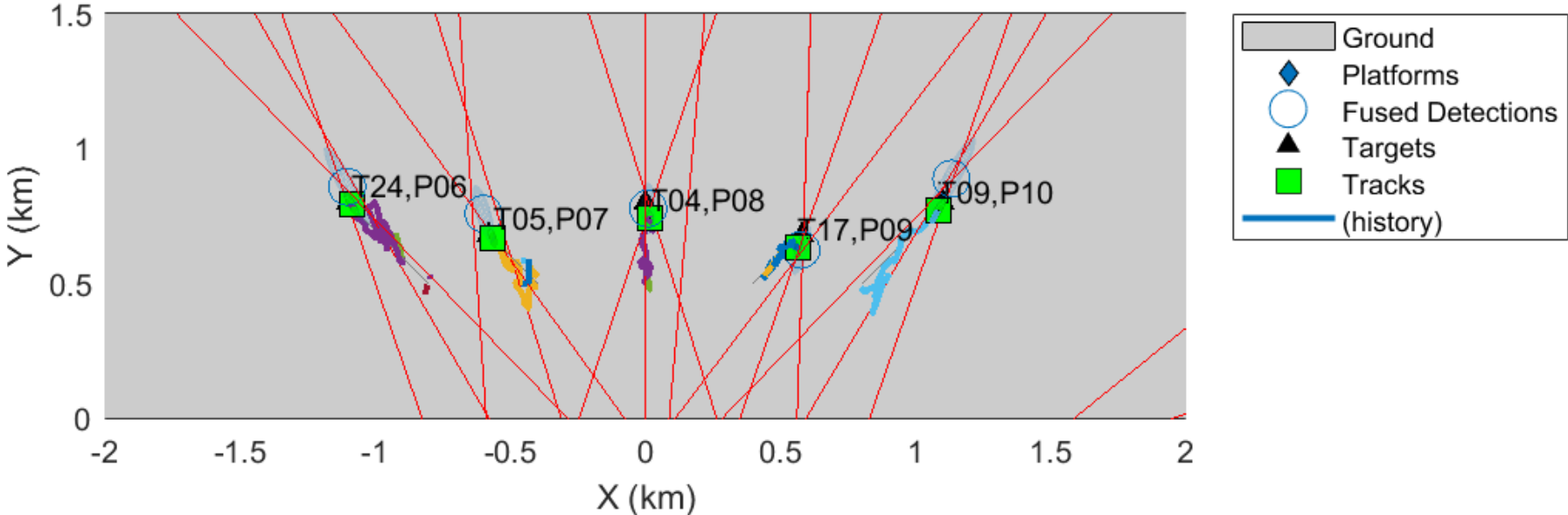
Общий трекер для динамического слияния

Треки

Статическое слияние данных ДО трекинга

Сравнение сценариев и метрики ошибок

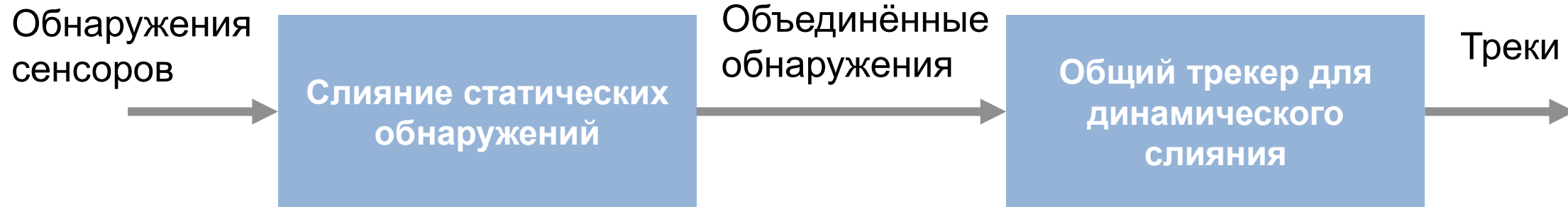
3 «плохих» сенсора
5 целей



API для метрик
 ложные треки
 брошенные треки
 заменённые треки
 ...

TrackID	AssignedTruthID	TotalLength	FalseTrackStatus
2	NaN	1	false
3	NaN	1	false
4	8	55	false
5	7	56	false
6	NaN	2	false
7	NaN	2	false
9	10	50	false
11	NaN	1	true
15	NaN	2	false
17	9	48	false

Ускорение работы трекера



**Встроенная
опция
параллельных
вычислений**

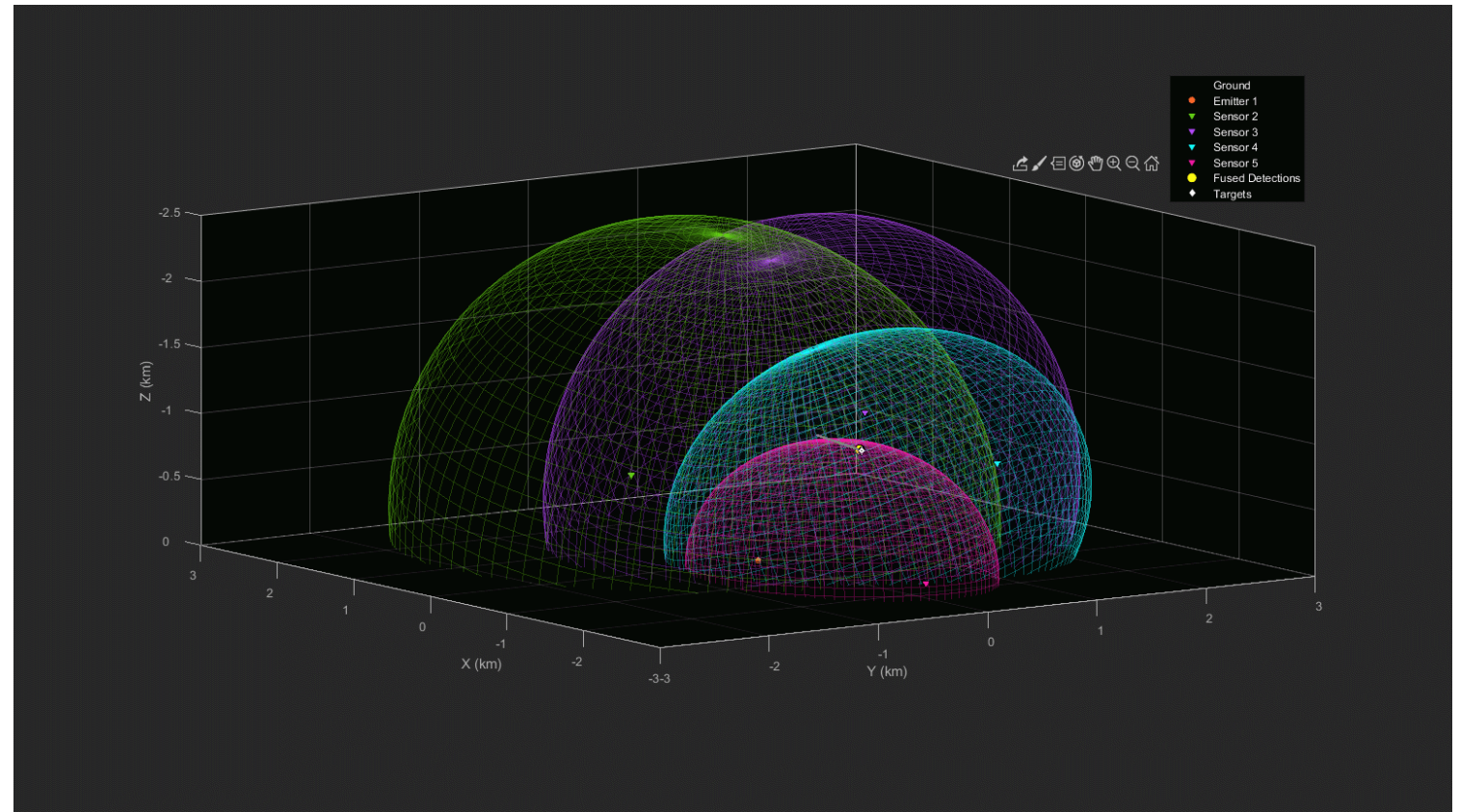
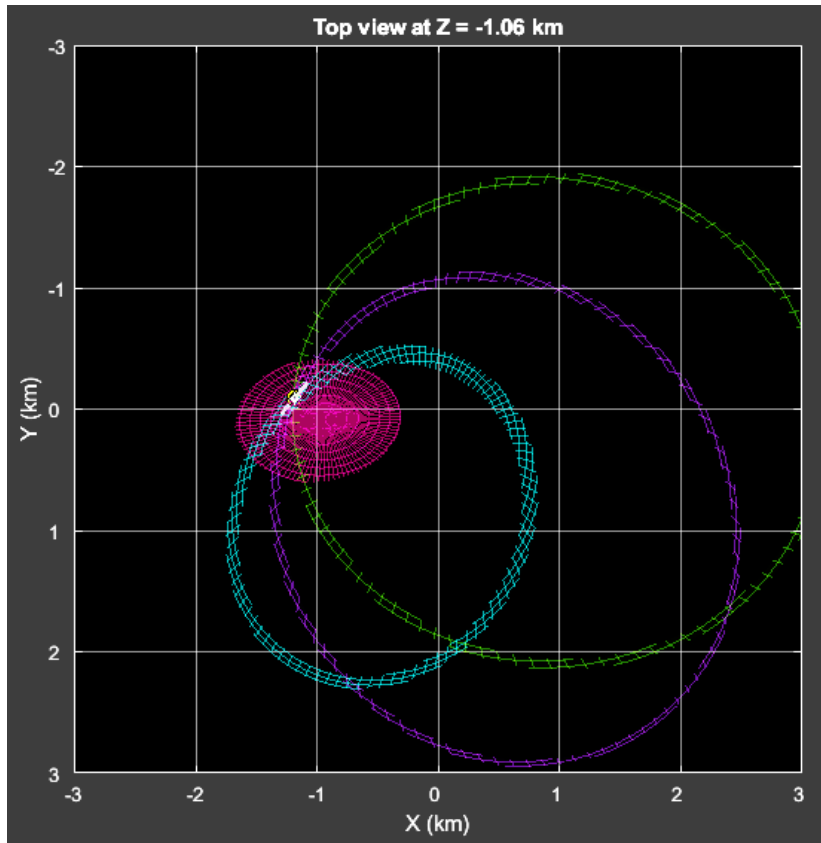
+

Генерация C кода

`MATLAB Code Execution time = 45.427`

`MEX Code Execution time = 0.27536`

Слежение за объектом в бистатическом радаре



Слежение за распределёнными объектами

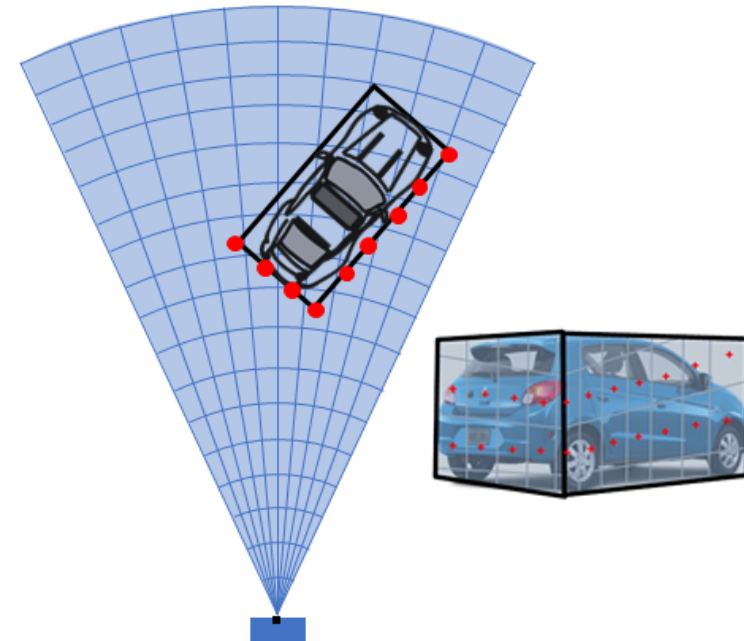
- **Точечная цель**

- Далёкие цели, описываемые точкой
- Одно обнаружение на объект



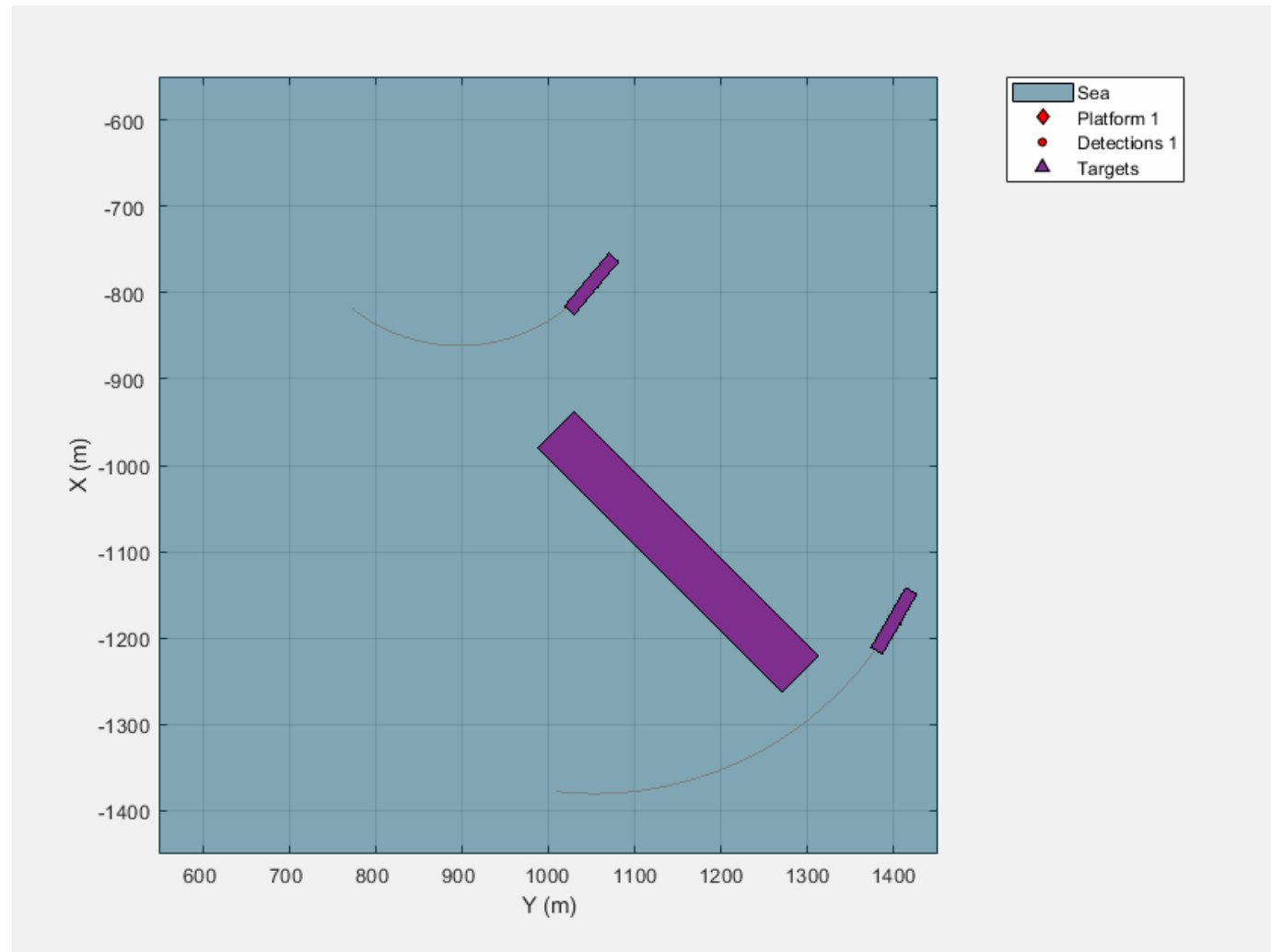
- **Распределённый объект**

- Сенсоры высокого разрешения
- Несколько обнаружений на объект

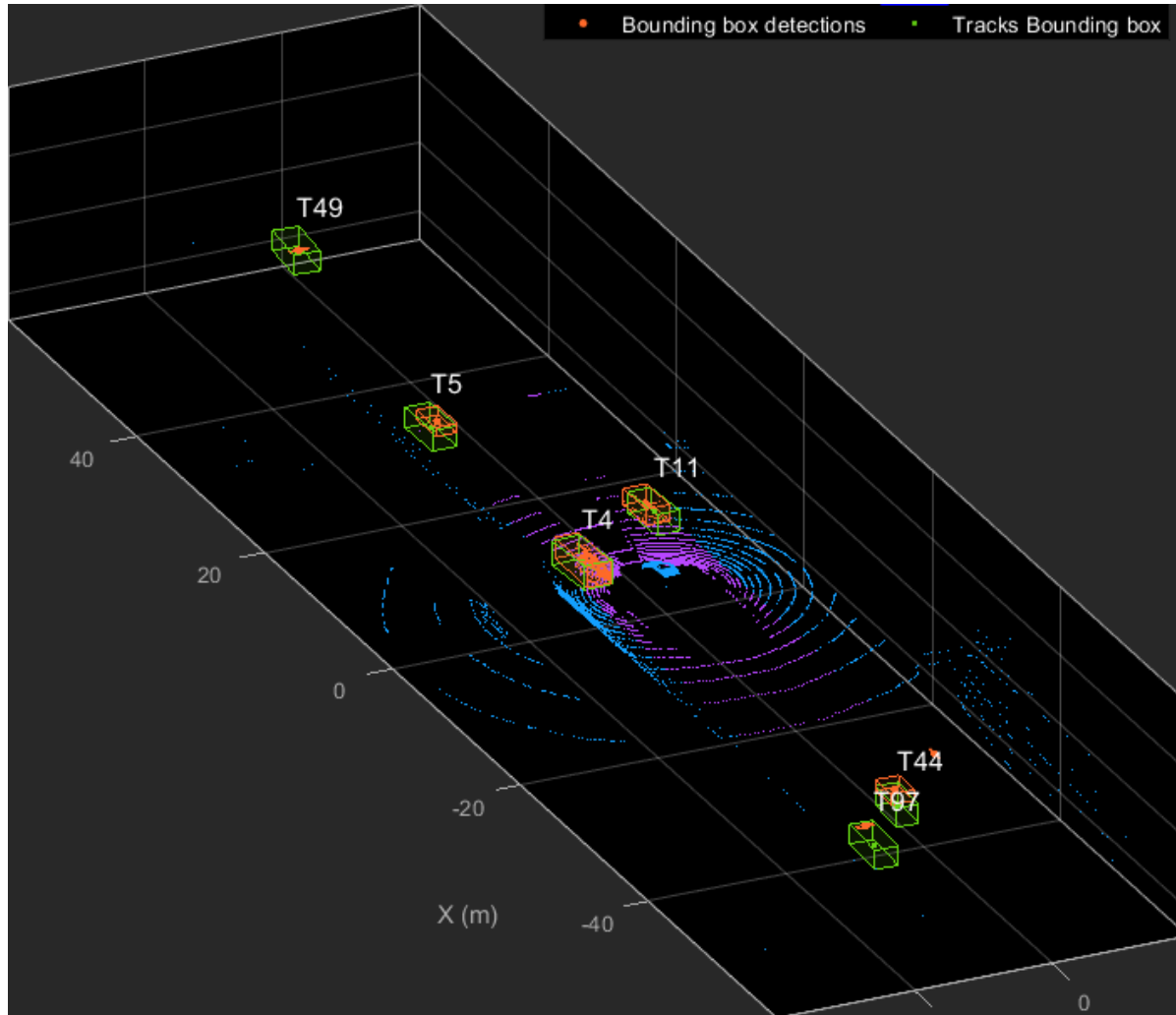


Слежение за распределёнными объектами - пример

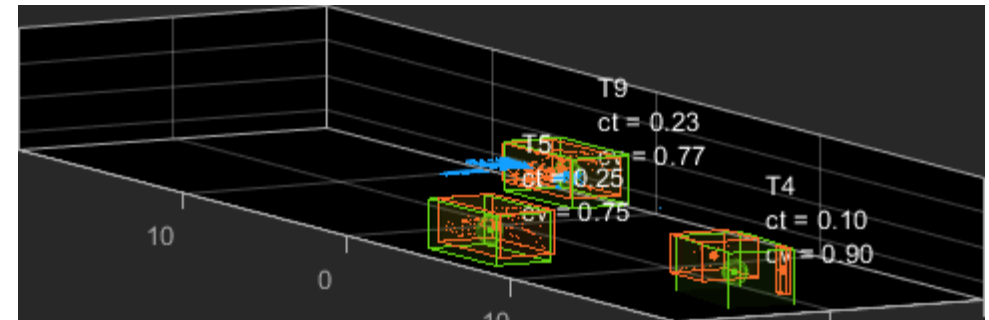
- Оценка положения, скорости, размера и ориентации



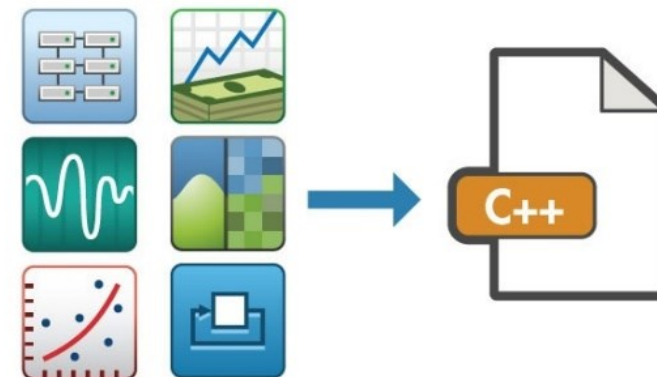
Слежение с ЛИДАРом: от облака точек до списка треков



Слежение за объектами на границе дальности сенсора



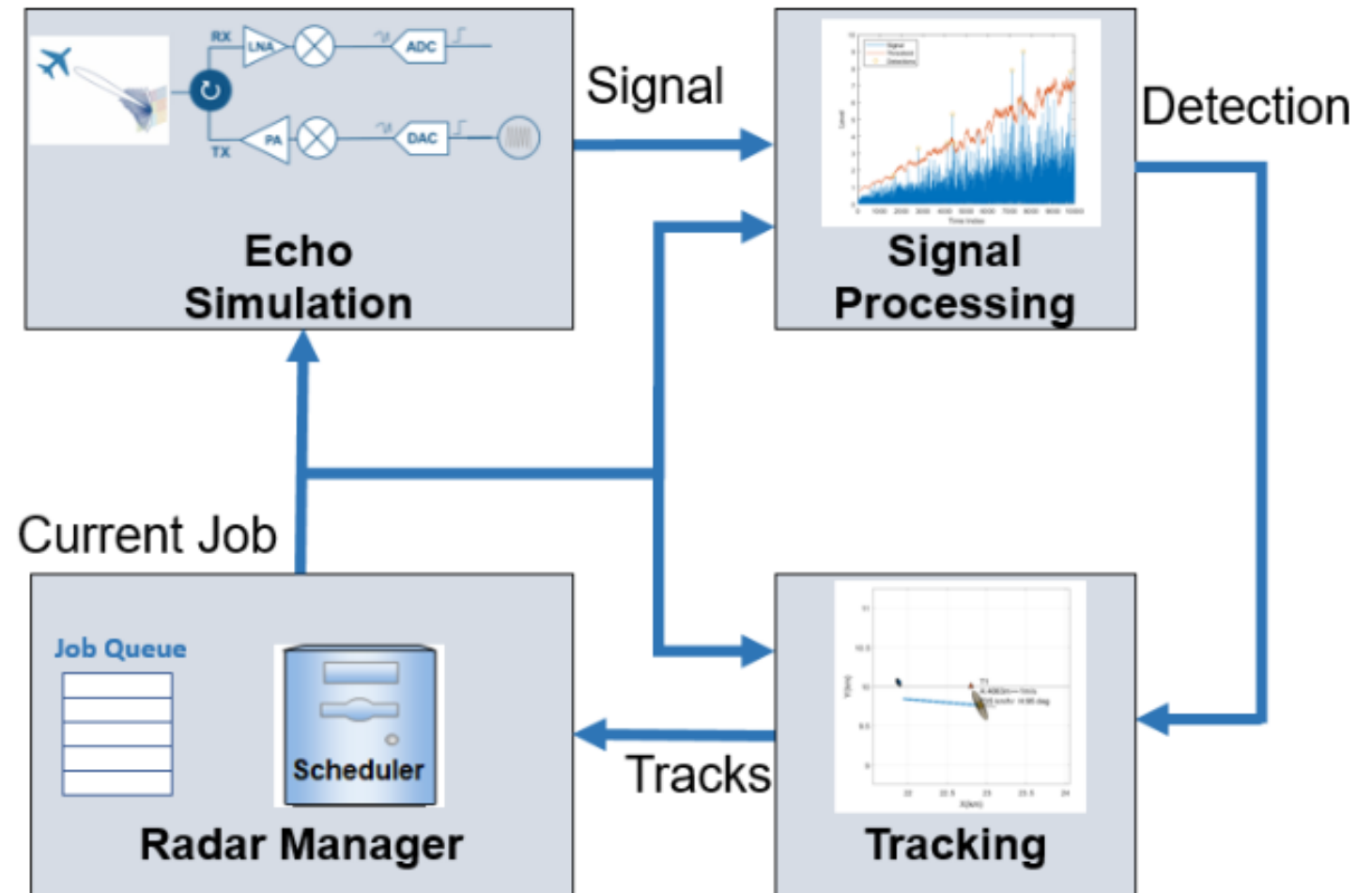
Слежение за перестраивающимися автомобилями



Генерация C кода с MATLAB® Coder™

Многофункциональный радар: поиск и слежение

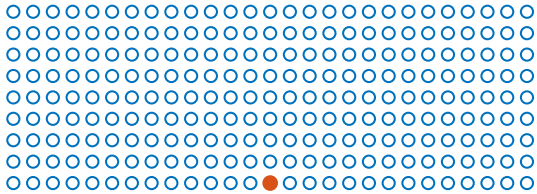
- Обработка сигналов + обработка данных (трекинг)
- Управление ресурсами
- Интеграция с **Phased Array System Toolbox**



Цель 1 обнаружена

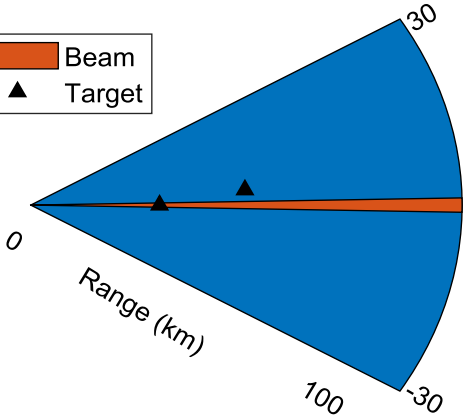
Search Beam Grid

- Beam grid
- Beam

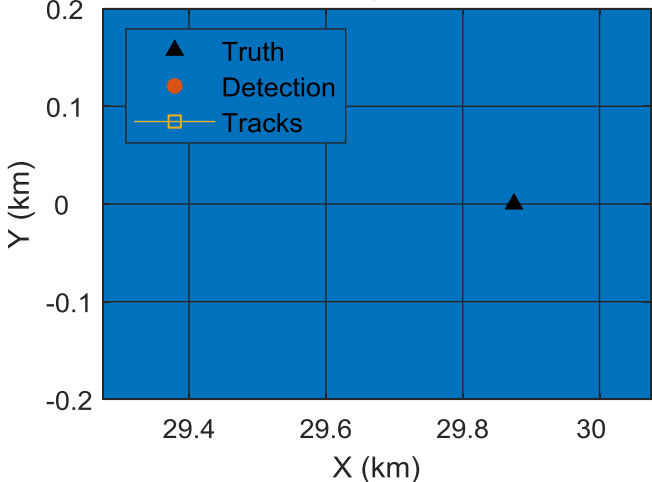


Radar Azimuth Coverage

- ▬ Beam
- ▲ Target



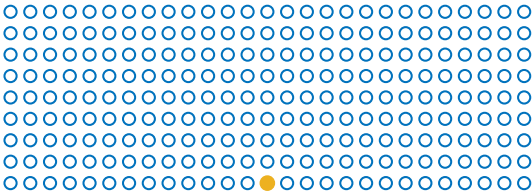
Target 1



0.000000 sec:	Search	[-30.000000 0.000000]
0.010000 sec:	Search	[-27.692308 0.000000]
0.020000 sec:	Search	[-25.384615 0.000000]
0.030000 sec:	Search	[-23.076923 0.000000]
0.040000 sec:	Search	[-20.769231 0.000000]
0.050000 sec:	Search	[-18.461538 0.000000]
0.060000 sec:	Search	[-16.153846 0.000000]
0.070000 sec:	Search	[-13.846154 0.000000]
0.080000 sec:	Search	[-11.538462 0.000000]
0.090000 sec:	Search	[-9.230769 0.000000]
0.100000 sec:	Search	[-6.923077 0.000000]
0.110000 sec:	Search	[-4.615385 0.000000]
0.120000 sec:	Search	[-2.307692 0.000000]
0.130000 sec:	Search	[0.000000 0.000000] Target detected at 29900.

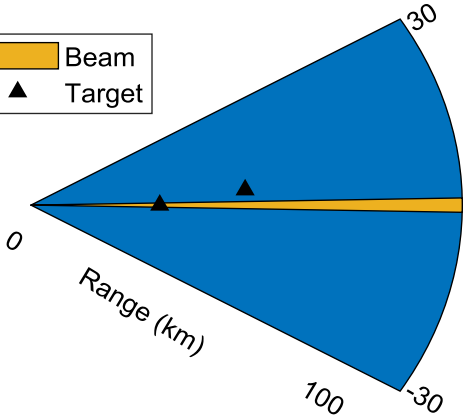
Search Beam Grid

○ Beam grid
● Beam



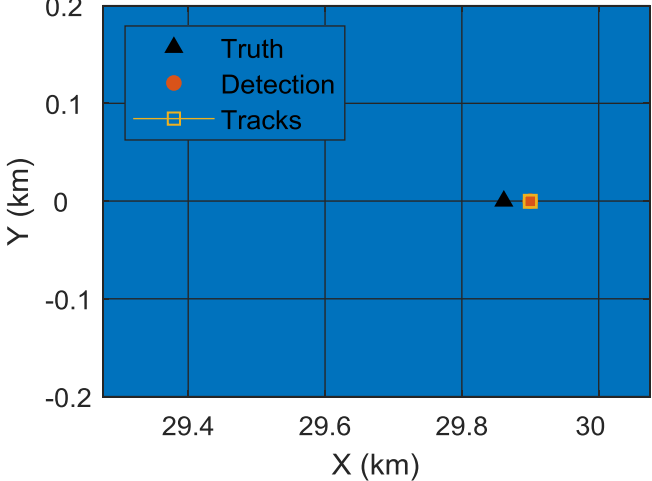
Radar Azimuth Coverage

■ Beam
▲ Target



Обнаружение подтверждено и создан Трек 1

Target 1



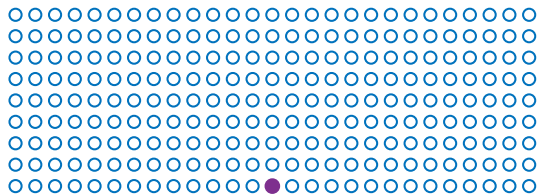
```

0.000000 sec: Search [-30.000000 0.000000]
0.010000 sec: Search [-27.692308 0.000000]
0.020000 sec: Search [-25.384615 0.000000]
0.030000 sec: Search [-23.076923 0.000000]
0.040000 sec: Search [-20.769231 0.000000]
0.050000 sec: Search [-18.461538 0.000000]
0.060000 sec: Search [-16.153846 0.000000]
0.070000 sec: Search [-13.846154 0.000000]
0.080000 sec: Search [-11.538462 0.000000]
0.090000 sec: Search [-9.230769 0.000000]
0.100000 sec: Search [-6.923077 0.000000]
0.110000 sec: Search [-4.615385 0.000000]
0.120000 sec: Search [-2.307692 0.000000]
0.130000 sec: Search [0.000000 0.000000] Target detected at 29900.000000 m
0.140000 sec: Confirm [-0.000586 -0.000034] Created track 1 at 29900.000000 m

```

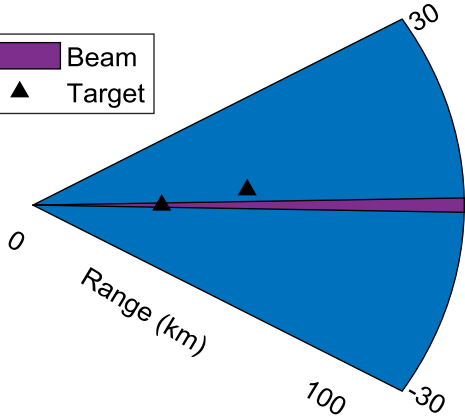
Search Beam Grid

○ Beam grid
● Beam



Radar Azimuth Coverage

■ Beam
▲ Target



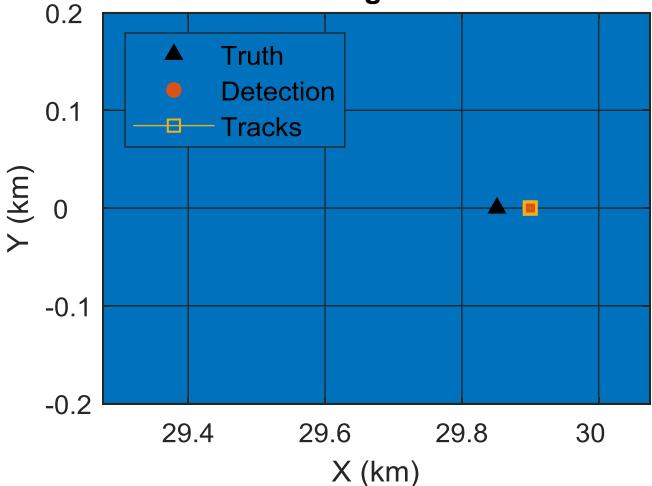
Трек 1 обновлён

```

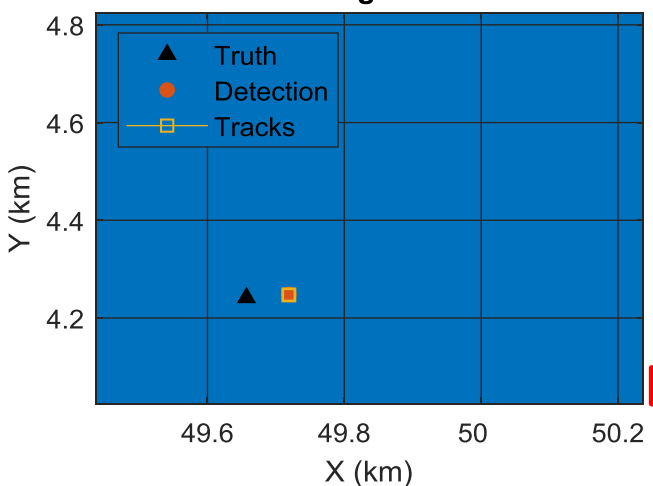
0.000000 sec: Search [-30.000000 0.000000]
0.010000 sec: Search [-27.692308 0.000000]
0.020000 sec: Search [-25.384615 0.000000]
0.030000 sec: Search [-23.076923 0.000000]
0.040000 sec: Search [-20.769231 0.000000]
0.050000 sec: Search [-18.461538 0.000000]
0.060000 sec: Search [-16.153846 0.000000]
0.070000 sec: Search [-13.846154 0.000000]
0.080000 sec: Search [-11.538462 0.000000]
0.090000 sec: Search [-9.230769 0.000000]
0.100000 sec: Search [-6.923077 0.000000]
0.110000 sec: Search [-4.615385 0.000000]
0.120000 sec: Search [-2.307692 0.000000]
0.130000 sec: Search [0.000000 0.000000] Target detected at 29900.000000 m
0.140000 sec: Confirm [-0.000586 -0.000034] Created track 1 at 29900.000000 m
0.150000 sec: Search [2.307692 0.000000]
0.160000 sec: Search [4.615385 0.000000] Target detected at 49900.000000 m
0.170000 sec: Confirm [4.881676 0.000739] Created track 2 at 49900.000000 m
0.180000 sec: Search [6.923077 0.000000]
0.190000 sec: Search [9.230769 0.000000]
0.200000 sec: Search [11.538462 0.000000]
0.210000 sec: Search [13.846154 0.000000]
0.220000 sec: Search [16.153846 0.000000]
0.230000 sec: Search [18.461538 0.000000]
0.240000 sec: Track [-0.000399 0.000162] Track 1 at 29900.000000 m>>

```

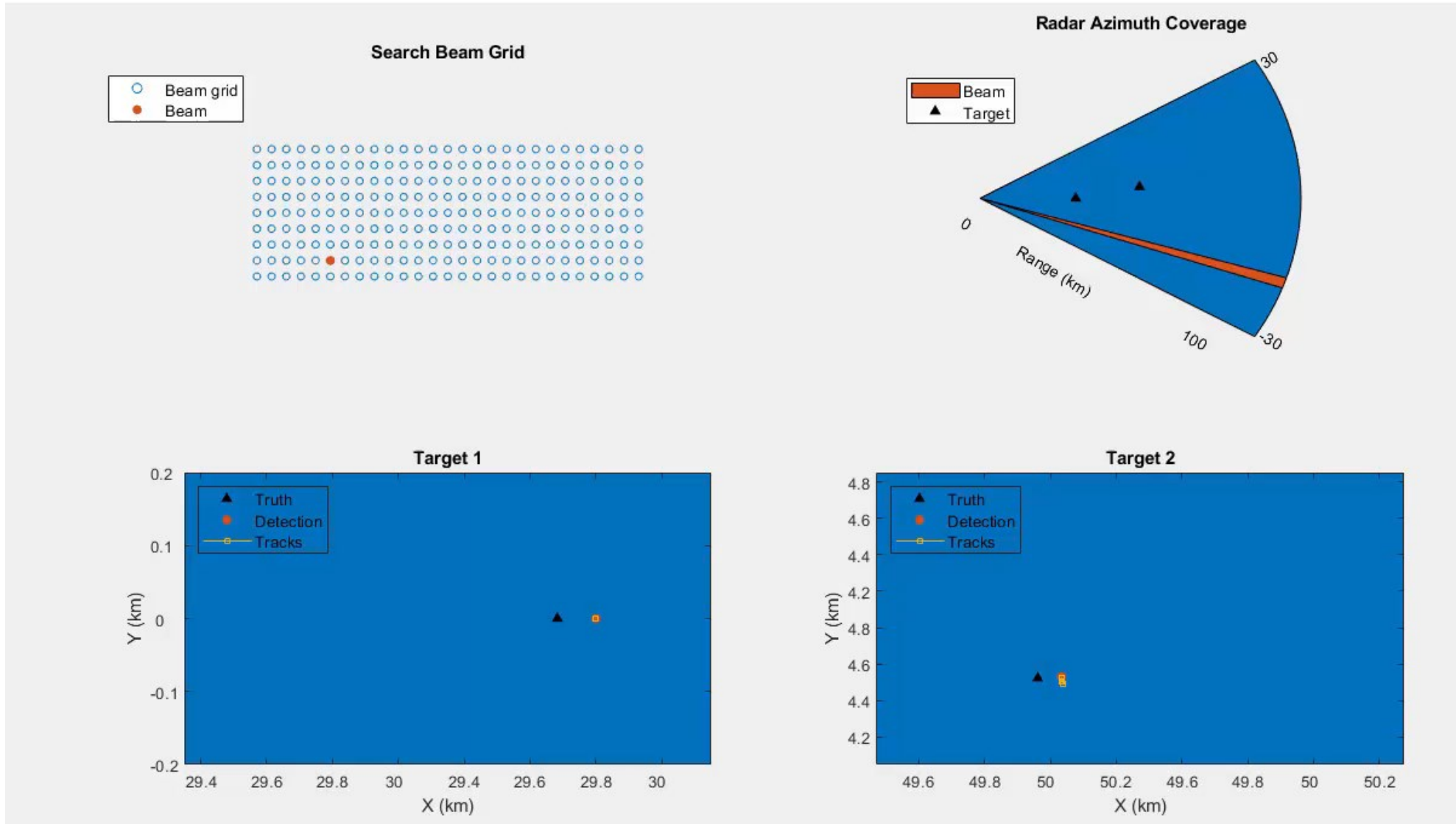
Target 1



Target 2



Многофункциональный радар: поиск и слежение



- Поиск
- Трек (подтв.)
- Трек (обнов.)

План семинара

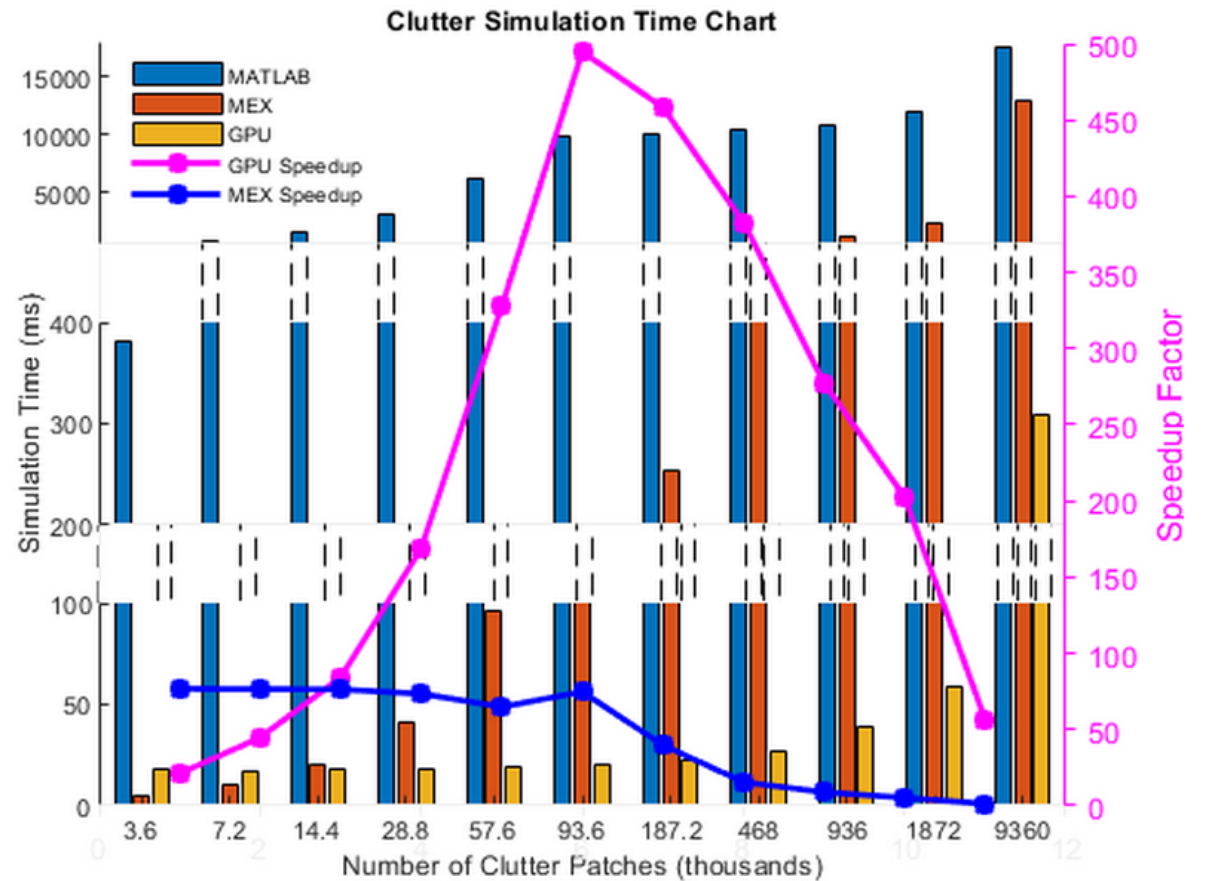
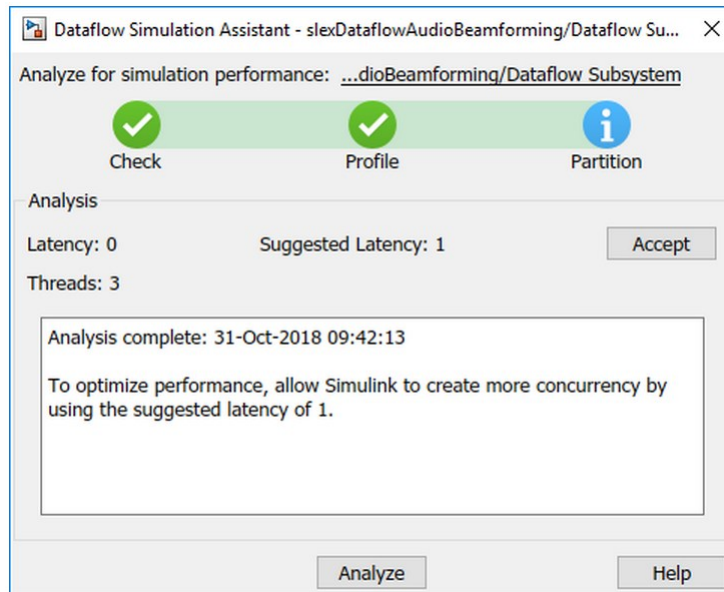
- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- Ускорение вычислений **12:30**
- Реализация алгоритмов на целевых платформах **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

План семинара

- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- **Ускорение вычислений** **12:30**
- Реализация алгоритмов на целевых платформах **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

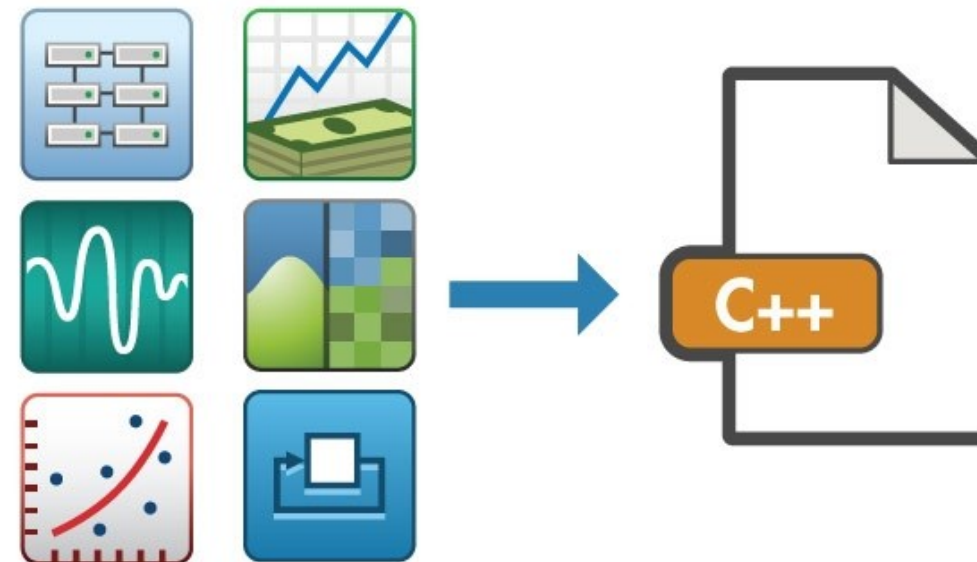
Техники ускорения вычислений

- Simulink Dataflow
- GPU Clutter Acceleration
- MATLAB Coder



MATLAB Coder

- Генерация C/C++ кода, *.lib, *.dll
- Интеграция алгоритмов в проект на другом языке
- Ускорение вычислений в **MATLAB**
- Реализация алгоритмов на целевом оборудовании

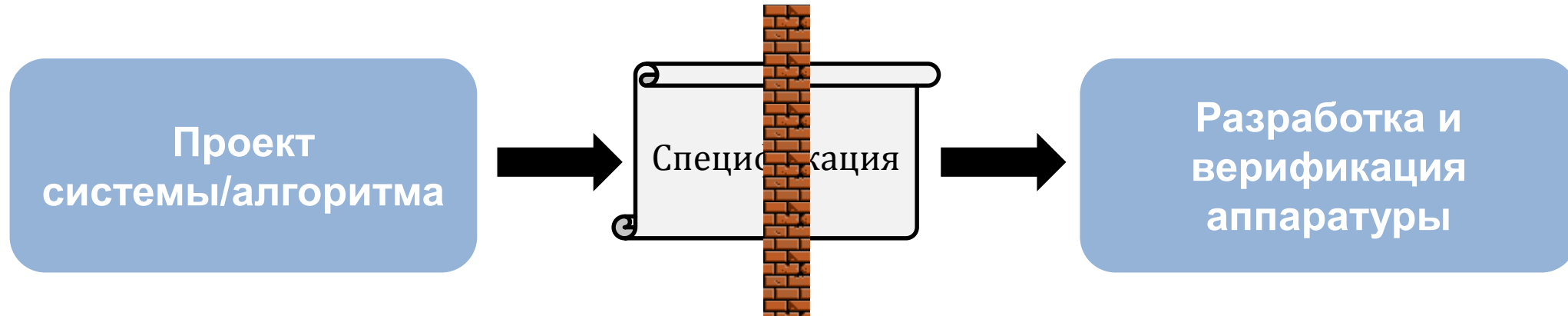


MEX-функции – это автоматически генерируемый интерфейс для выполнения **C**-кода в **MATLAB**. С помощью **MEX** можно верифицировать автоматически сгенерированный код в среде **MATLAB**, а также заметно ускорить выполнение вычислительно сложных операций.

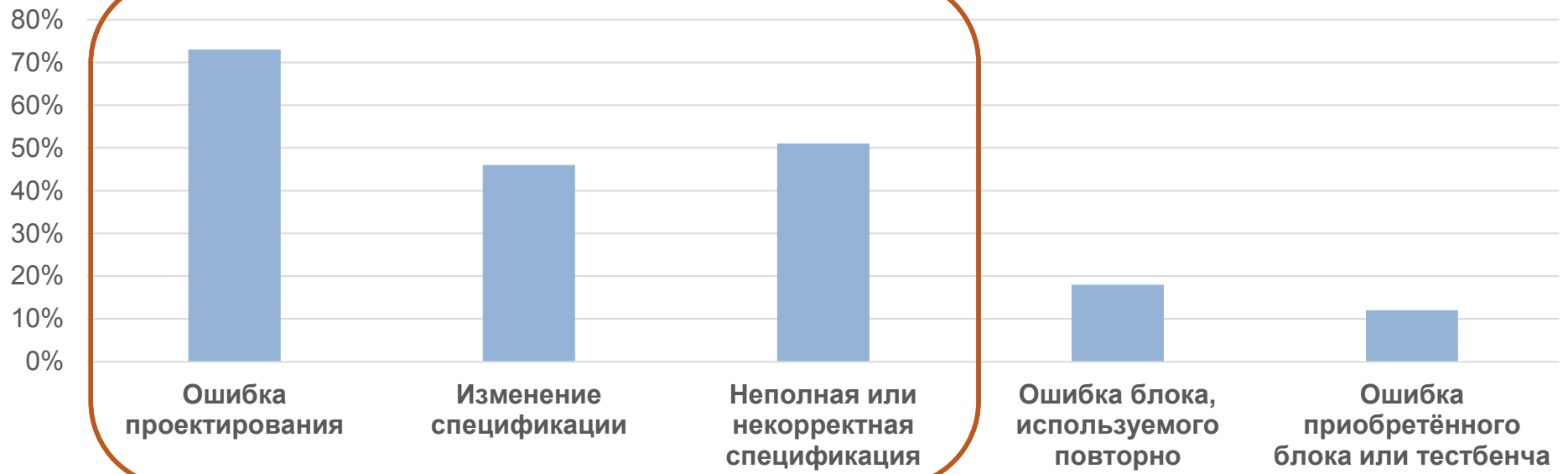
План семинара

- Модельно-ориентированное проектирование **10:00**
- Комплексное моделирование РЛС **10:30**
- Трекинг, слияние данных, управление ресурсами РЛС **11:00**
- **ПЕРЕРЫВ** **12:00**
- Ускорение вычислений **12:30**
- **Реализация алгоритмов на целевых платформах** **13:00**
- **ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ** **14:00**

Проблемы классического подхода к разработке



Основная причина ошибок на целевой платформе*:



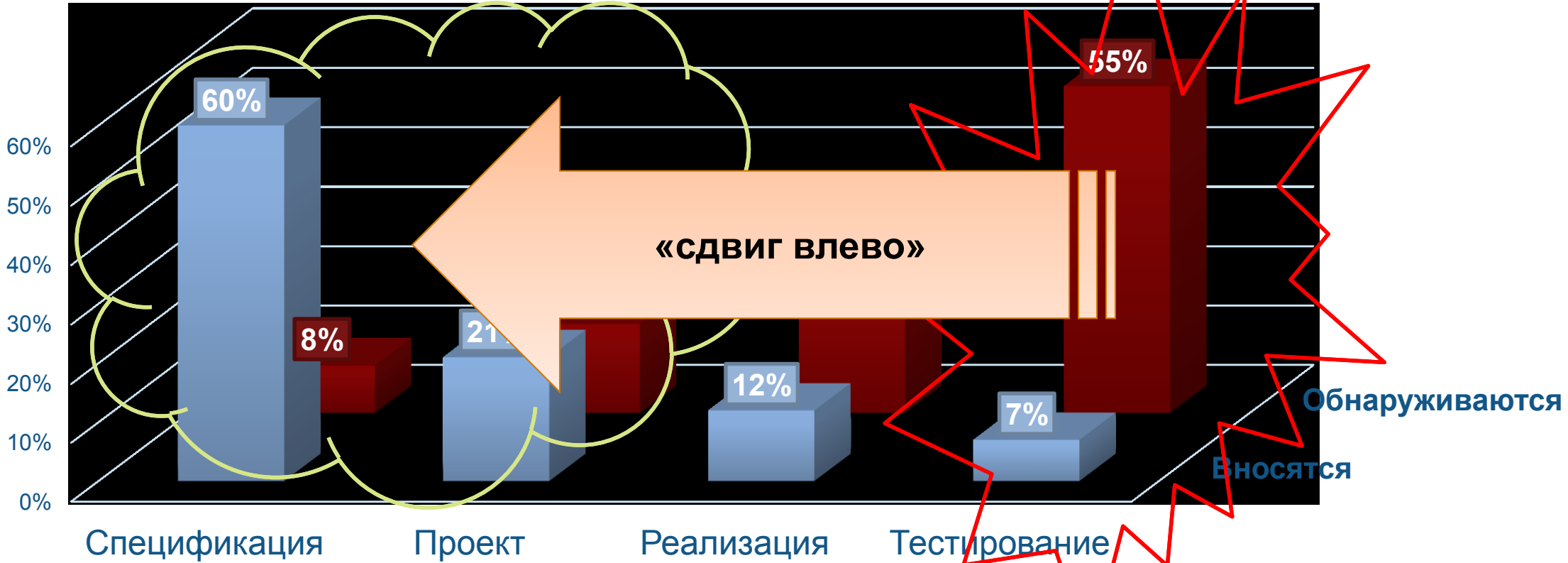
■ % проектов с указанным типом ошибки, возможны множественные ответы

* Исследование 2016 года от Mentor Graphics / Wilson Research, фокус на разработку FPGA/ASIC

«Сдвиг верификации влево»

Clive Maxfield and Kuhoo Goyal
"EDA: Where Electronics Begins"

Где ошибки вносятся и... обнаруживаются



Упор на моделирование и симуляцию

Традиционная
верификация

Этапы разработки систем на ПЛИС в МОП



ВЕРИФИКАЦИЯ

Fixed-Point Designer и Fixed-Point Tool

The screenshot displays the Fixed-Point Tool interface for converting a Simulink model. The main window shows a table of results for various SRP subsystems. The table includes columns for Name, Run, CompiledDT, SpecifiedDT, ProposedDT, Accept, SimMin, and SimMax. Below the table, there is a visualization of simulation data showing histograms of all results in the model. The histograms show the distribution of values for different data types, with a legend indicating the number of potential overflows, in-range values, and potential underflows.

Name	Run	CompiledDT	SpecifiedDT	ProposedDT	Accept	SimMin	SimMax
SRP Subsystem...	Ranges(Double)	double	fixdt(1,13,11)	locked		0	0.0189208984...
SRP Subsystem...	Ranges(Double)	double	fixdt(1,13,11)	locked		0	0.0189208984...
SRP Subsystem...	Ranges(Double)	double	fixdt(1,17,15)	fixdt(0,17,22)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0.0189819335...
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: auto	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: auto	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: Same ...	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: Same ...	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: Same ...	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)		Inherit: Same ...	n/a			
SRP Subsystem...	Ranges(Double)	double		numerictype(0,...)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	186
SRP Subsystem...	Ranges(Double)	double		numerictype(0,...)	<input checked="" type="checkbox"/>	127	127

Property	Minimum	Maximum
Shared Simula...	0	0.0189208984375
Simulation	0	0.0189208984375
Shared Model-...	0	0
Model-Required	0	0

	Potential Overflows	In-Range	Potential Underflows
Positive Values	0	2424	56
Negative Values	0	0	0

Number of times zero occurred: 24

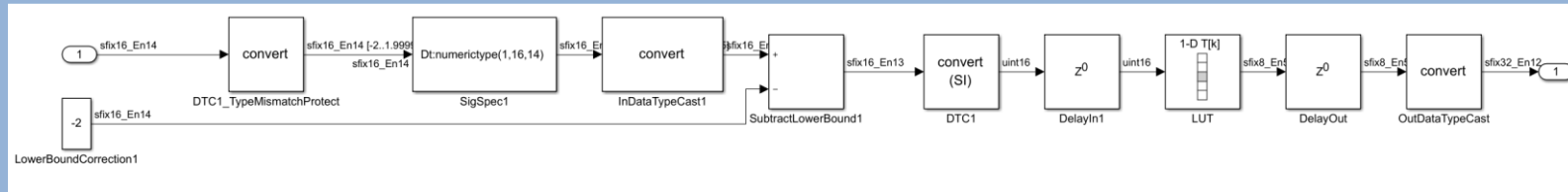
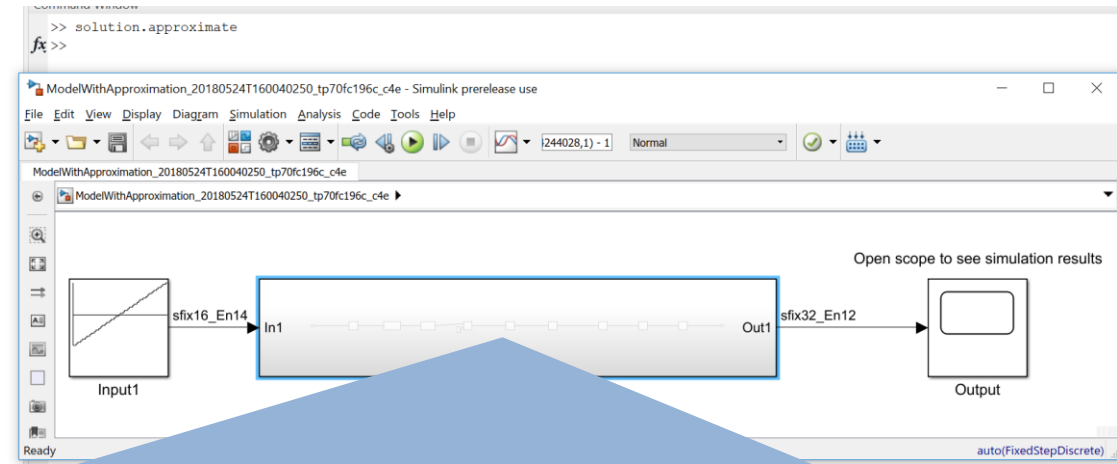
- Новый упрощённый интерфейс
- Анализ динамического диапазона в режиме симуляции или расчёта
- Гистограммы значений каждой величины, контроль переполнений и потери точности
- Сравнение результатов

Аппроксимация функции MATLAB

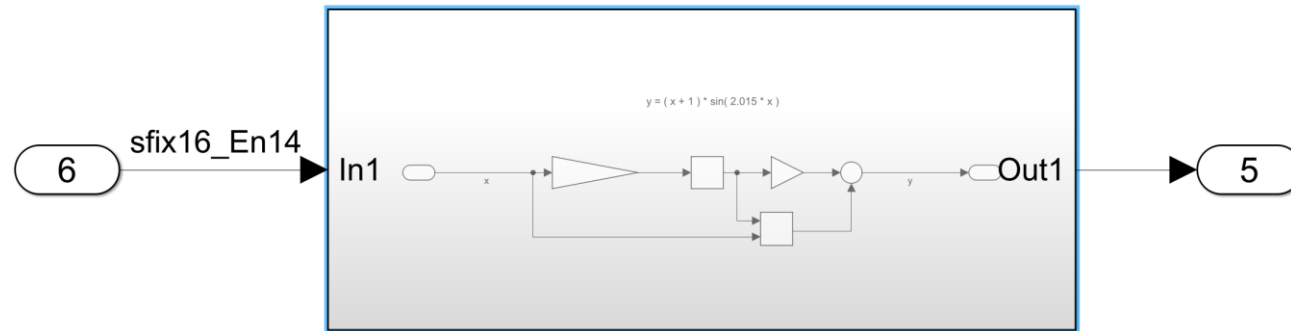
`problem = FunctionApproximation.Problem('tanh')`

`solution = solve(problem)`

`approximate(solution)`



Аппроксимация подсистемы таблицей LUT



.lem)							Error (Max,Current)
Feasible	Table Size	Breakpoints Wls	TableData Wl	BreakpointSpecification			
0	2	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 3.769775e+00
0	4	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.425049e+00
0	8	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 3.598633e-01
1	16	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 7.421875e-02
0	12	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.467285e-01
1	14	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.054688e-01
1	13	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.188965e-01
0	2	16	16	EvenSpacing			1.250000e-01, 3.757080e+00
0	4	16	16	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.418945e+00
0	3	16	16	EvenSpacing			1.250000e-01, 2.976074e+00

.lem)							Error (Max,Current)
Feasible	Table Size	Breakpoints Wls	TableData Wl	BreakpointSpecification			
1	13	16	8	EvenSpacing			1.250000e-01, 1.188965e-01

solution =

1x1 [FunctionApproximation.LUTSolution](#) with properties:

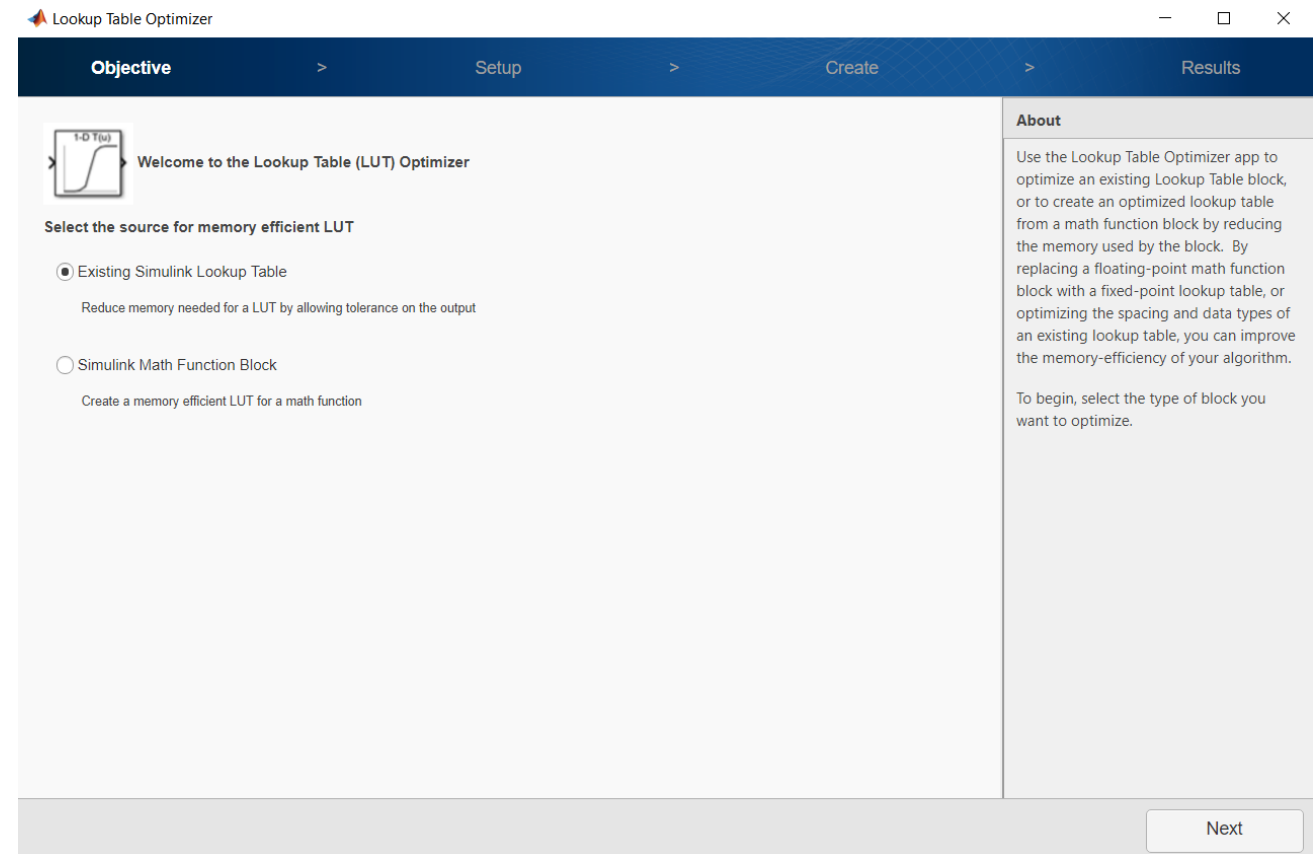
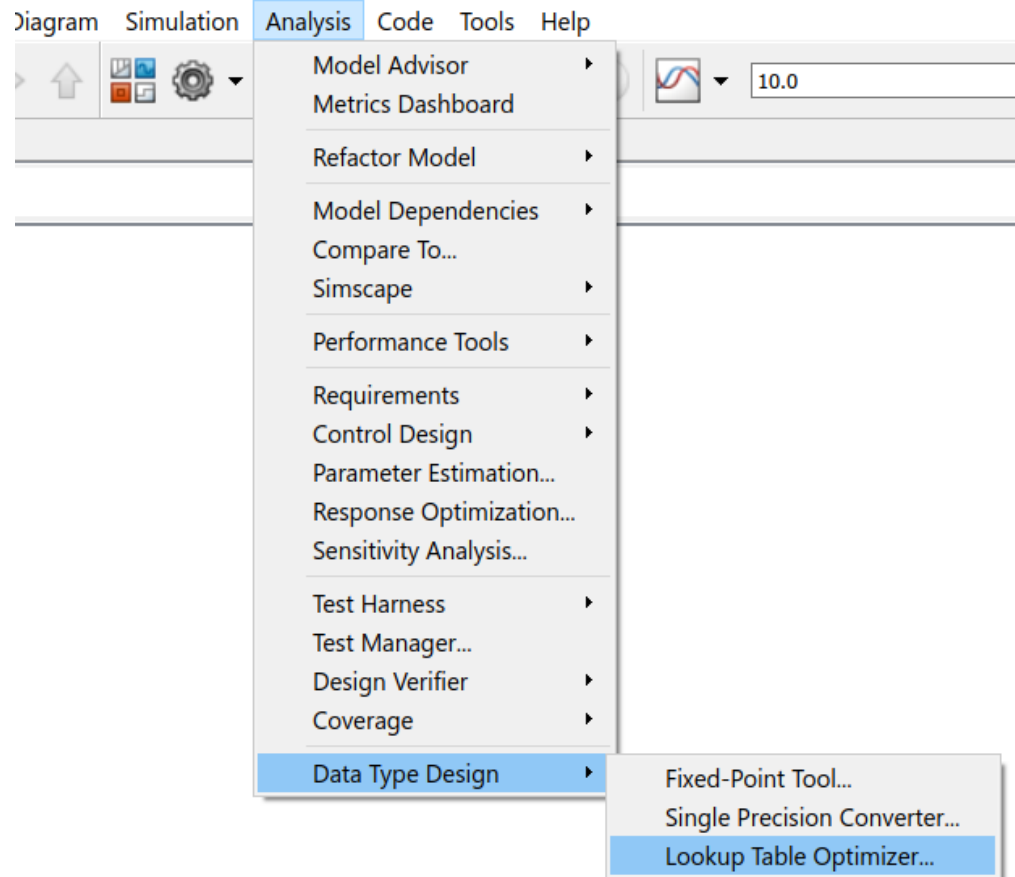
ID: 6
Feasible: "true"

```
problem = FunctionApproximation.Problem('mysystem/mysubsystem')
```

```
solution = solve(problem)
```

```
approximate(solution)
```

Lookup Table Optimizer



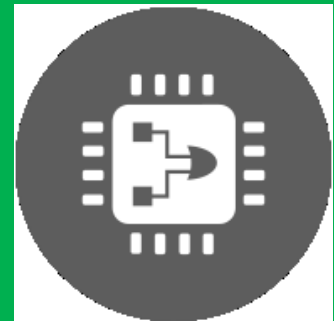
Технологии генерации исполняемого кода

**Embedded
Coder**



- Автоматическая генерация оптимизированного **C** и **C++** кода для встраиваемых процессоров и микропроцессоров массового производства

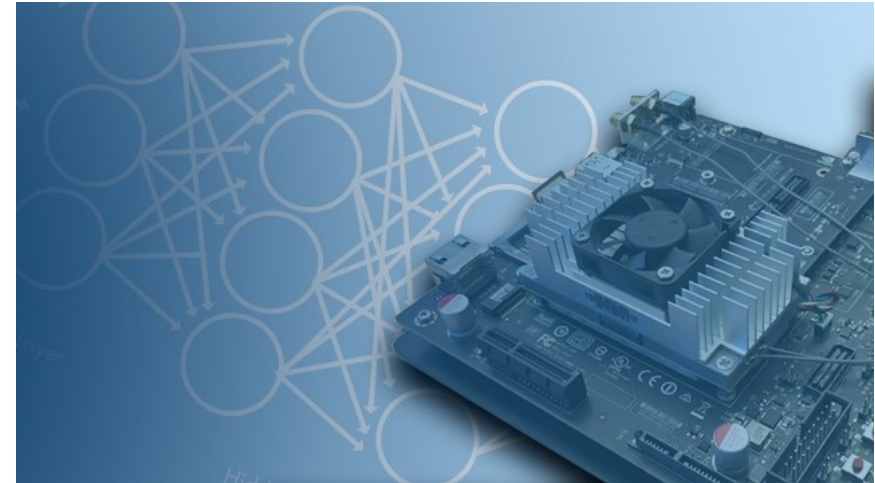
HDL Coder



- Автоматическая генерация синтезируемого **Verilog** или **VHDL** кода из подмножества функций **MATLAB**, моделей **Simulink** и диаграмм **Stateflow**

GPU Coder

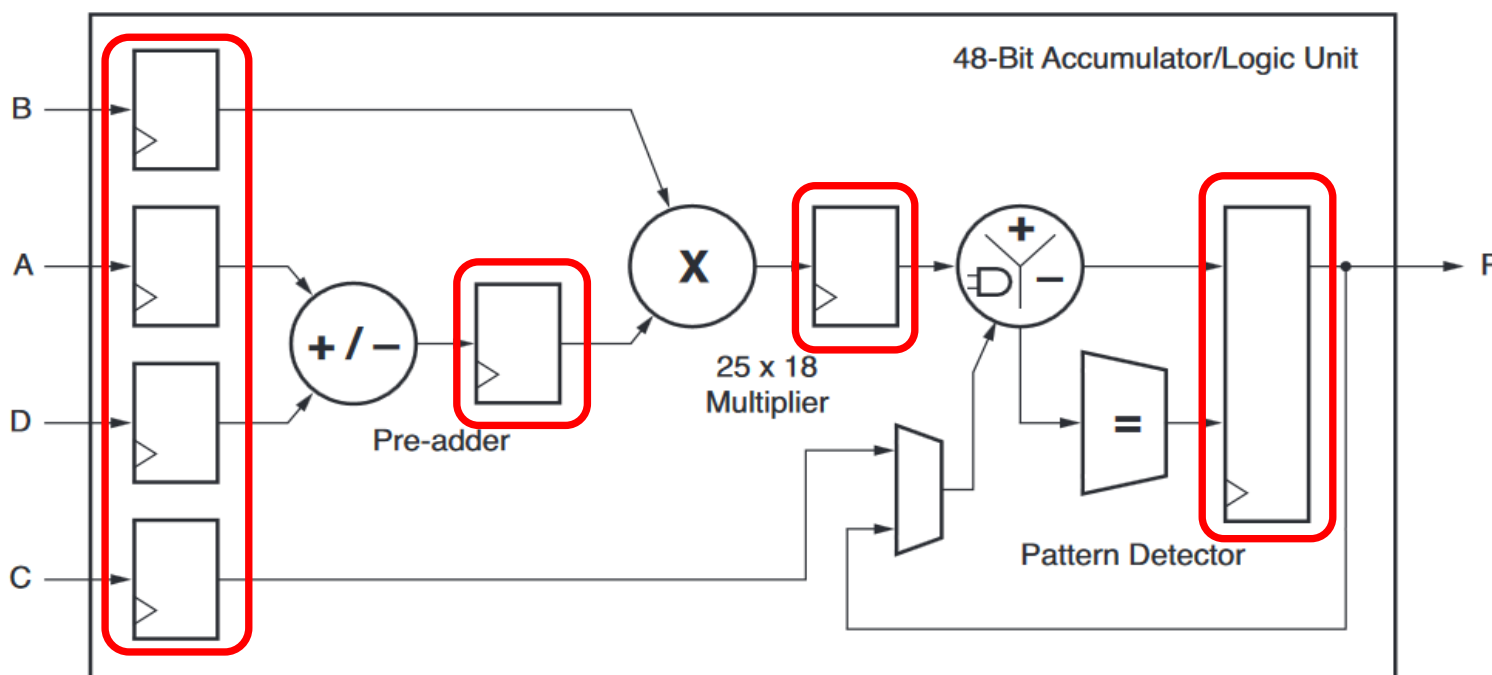
- Генерация оптимизированного **CUDA[®]** кода из **MATLAB[®]**
- Вызов библиотек **NVIDIA: cuDNN, cuSolver и cuBLAS**
- Интеграция в виде исходного кода, статических или динамических библиотек
- Прототипирование на **NVIDIA Tesla[®]** и **NVIDIA Tegra[®]**
- Тестирование в режиме программа-в-контуре (SIL) с **Embedded Coder[®]**



Аппаратные оптимизации HDL

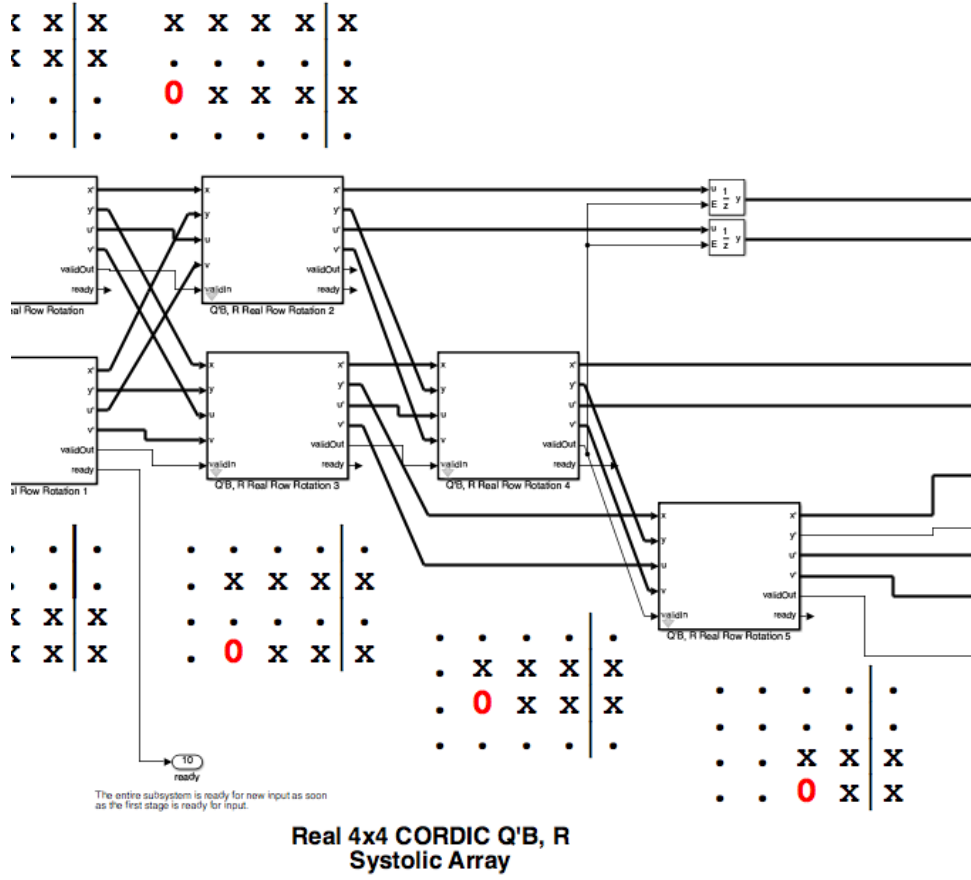
- Эффективное размещение алгоритма на кристалле
- Утилизация **BlockRAM** и **DSP Slice**
- Выбор аппаратной реализации арифметических операций
- Нахождение баланса между скоростью и площадью за счёт конвейеризации и сериализации

Xilinx DSP48E



Готовые примеры моделей для ЦОС

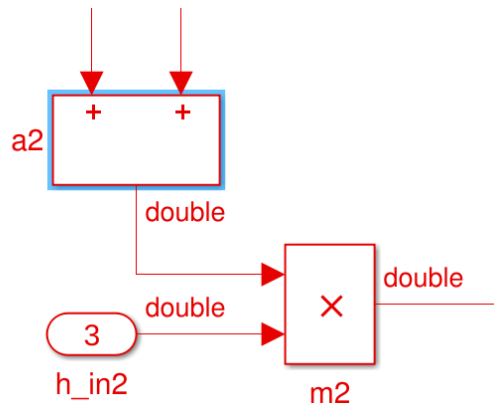
- Оптимизированные КИХ-фильтры (выбор архитектуры)
- Адаптивные фильтры
- Оптимизированный высокоскоростной модуль БПФ
- Прямой синтез частоты (NCO)
- QR-разложение матрицы на основе CORDIC
- Кодеки, высокоскоростной channelizer
- LTE HDL Toolbox



Типы данных с плавающей точкой для HDL

R2018b

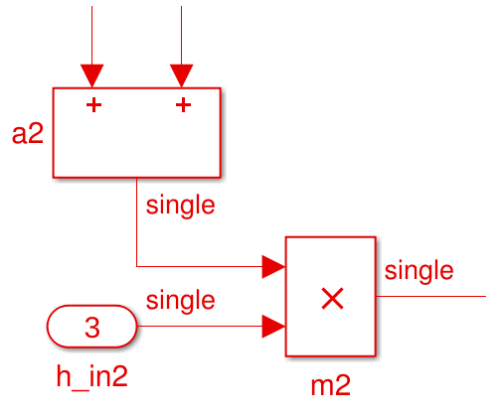
Double Precision



Радарные системы

R2016b

Single Precision



Множество поддерживаемых операторов

FUTURE RELEASE

Half Precision

```
>> half(pi)
  half
  3.1406
```

Глубокое обучение



Большой динамический диапазон

Меньше ресурсов и памяти

Поддержка матричных операций

R2018b

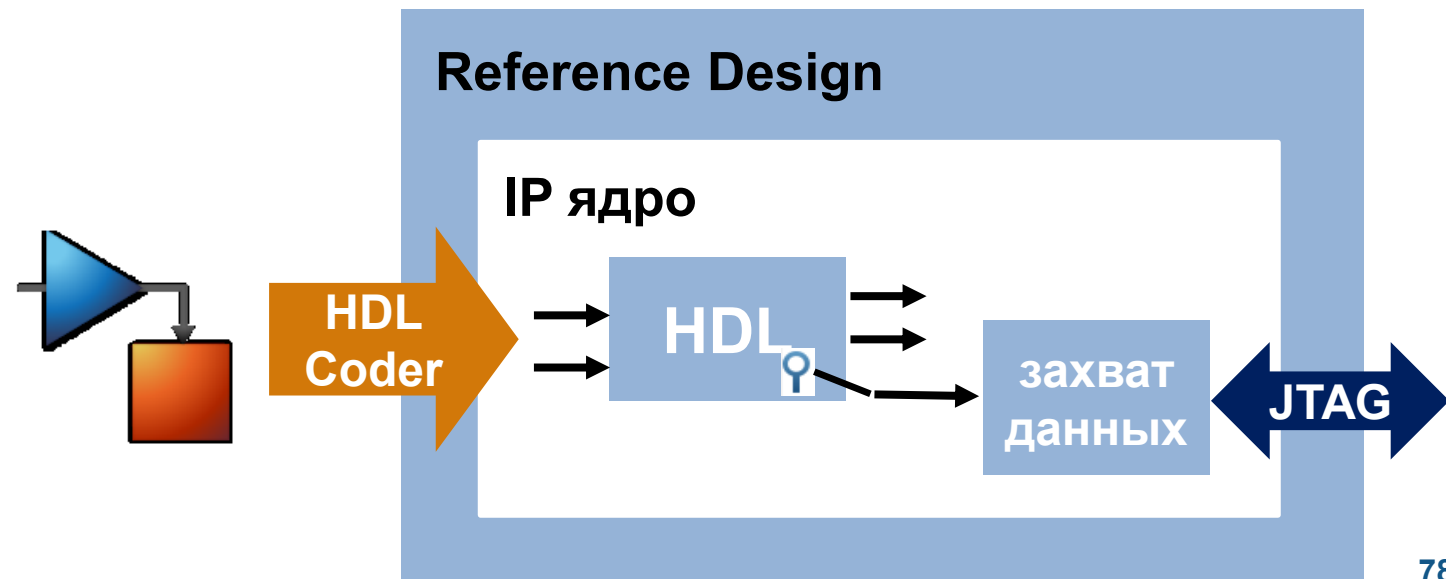
- Assignment
- Abs
- ArithShift
- Assertion
- Bias
- Bit Concat
- Bit Reduce
- Bit Rotate
- Bit Shift
- Bit Slice
- Bit Clear
- Bit Set
- Bitwise Operator
- ComplexToReallmag
- Concat
- Constant
- Coulomb & Viscous Friction

- Dead Zone Dynamic
- DataTypeConversion
- Delay
- Extract Bits
- From
- Goto
- Gain
- Logic
- MLFB
- MatrixConcat
- Memory
- Multiport Switch
- Mux
- Product
- RateTransition
- ReallmagToComplex
- RelationalOperator

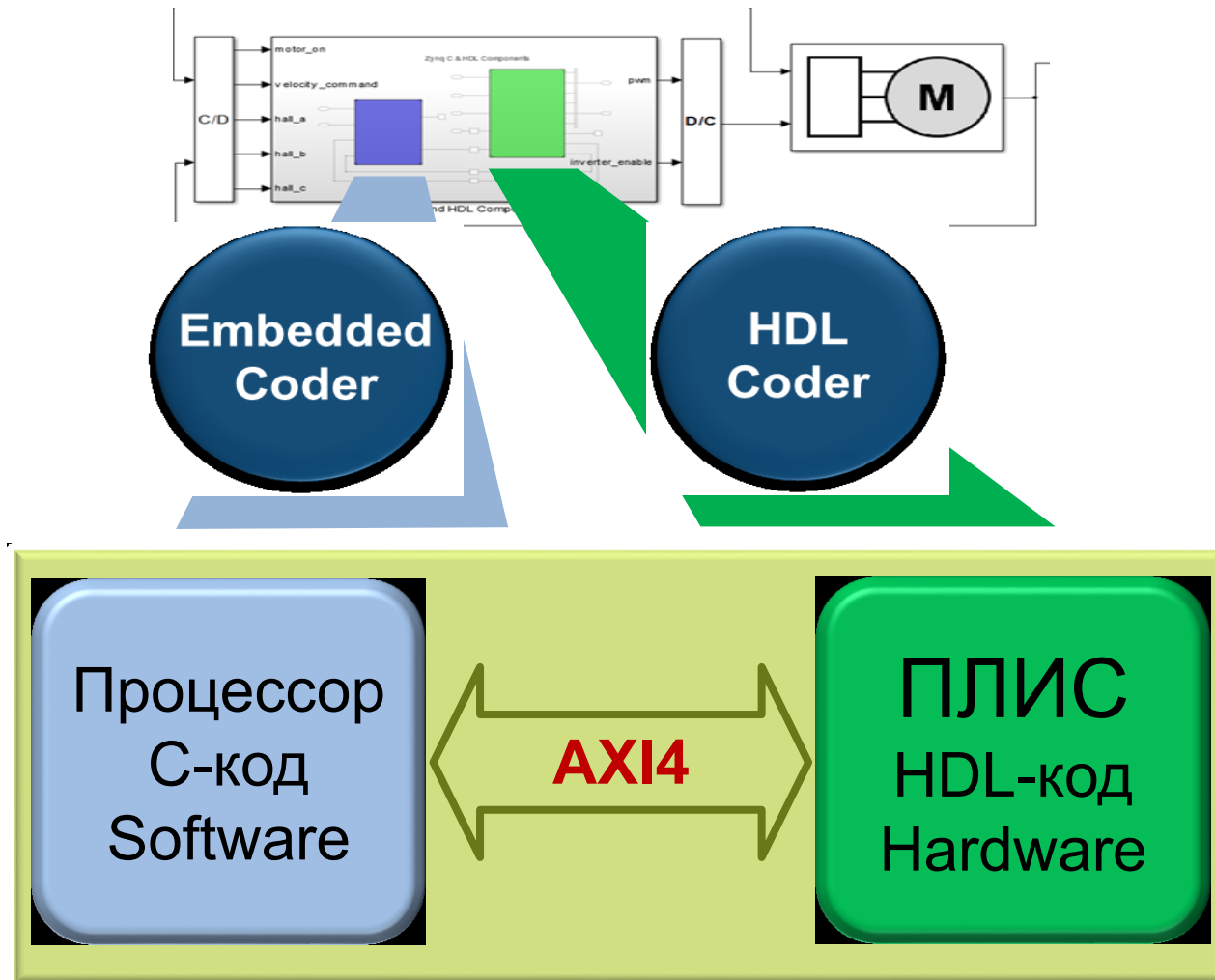
- Relay
- Reshape
- Rounding
- Saturate
- Saturation Dynamic
- Selector
- Signum
- Split
- Sum
- Switch
- Tapped Delay
- Transpose
- Wrap To Zero
- ZeroOrderHold

Верификация HDL-кода с HDL Verifier

- Генерация и импорт тестовых векторов в любой HDL-симулятор
- Стандартные форматы тестовых векторов - *.vhd, *.v
- Ко-симуляция с ModelSim (QuestaSim) или Cadence Incisive
- Генерация компонентов SystemVerilog DPI
- Верификация в режиме ПЛИС-в-контуре
- Захват сигналов из ПЛИС

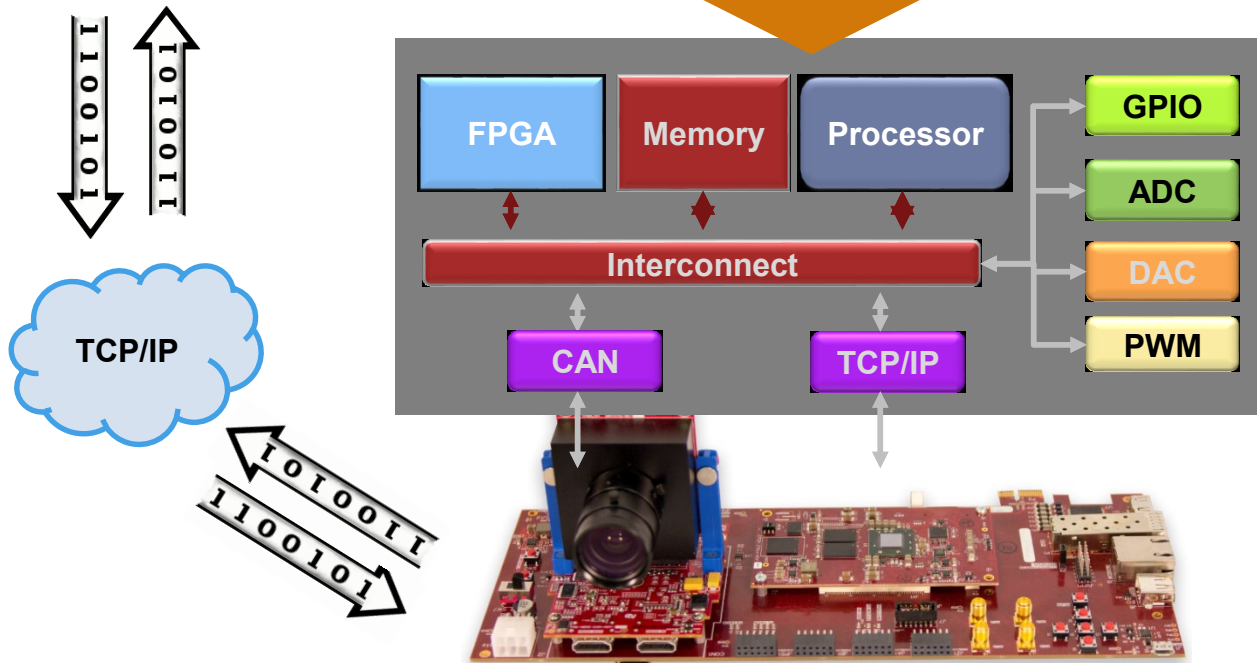
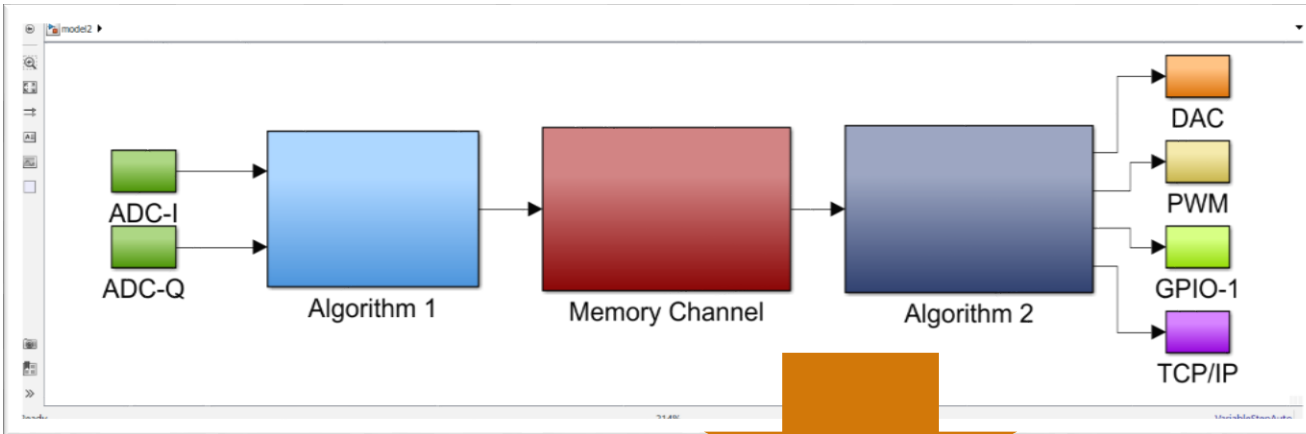


Разделение проекта на СнК



- Системы-на-кристалле, такие как **Xilinx Zynq** и **Intel (Altera) SoC**, содержат на одном чипе процессорную систему и ПЛИС, которые связаны между собой интерфейсом **AXI4**
- **HDL Coder** и **Embedded Coder** позволяют генерировать код для обоих вычислителей из одной модели

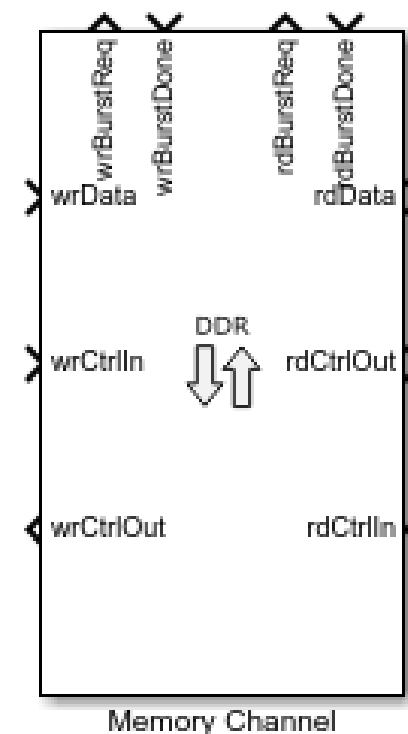
Симуляция архитектуры с SoC Blockset



- Симуляция алгоритмов и аппаратно-программной архитектуры
 - Память
 - Внутр./внешн. соединения
 - I/O
 - Планировка задач
- Реализация на поддерживаемых платформах
- Профилировка производительности в режиме external mode

Модели передачи данных

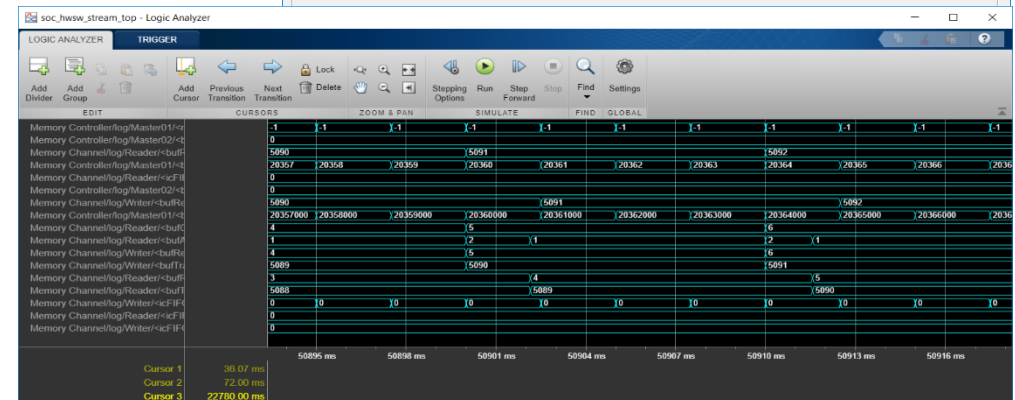
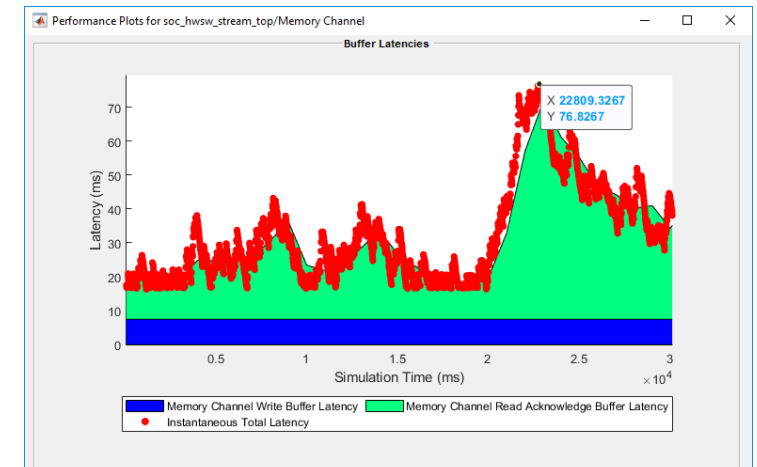
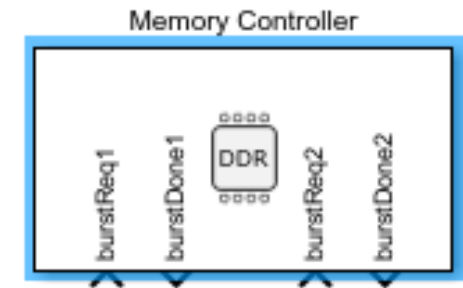
- Блоки памяти
 - Register
 - Shared memory
- Различные протоколы
 - AXI4-Stream to Software via DMA
 - AXI4-Stream FIFO
 - AXI4-Stream Video FIFO
 - AXI4-Stream Video Frame Buffer
 - AXI4-Random Access



Модели передачи данных

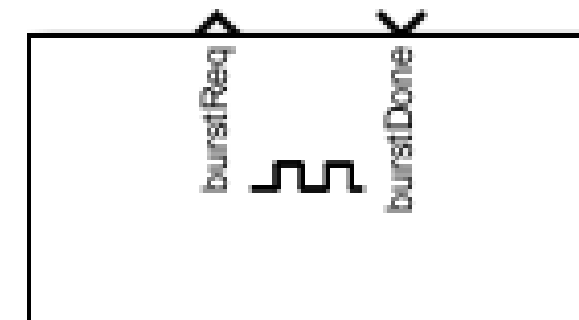
- Блок **Memory controller**

- Регулирует доступ к общей памяти
- Поддерживает несколько каналов
- Различные протоколы регуляции доступа
- Логирование и отображение производительности
 - задержка
 - burst
 - полоса
- Отображение состояний в Logic Analyzer



Модели передачи данных

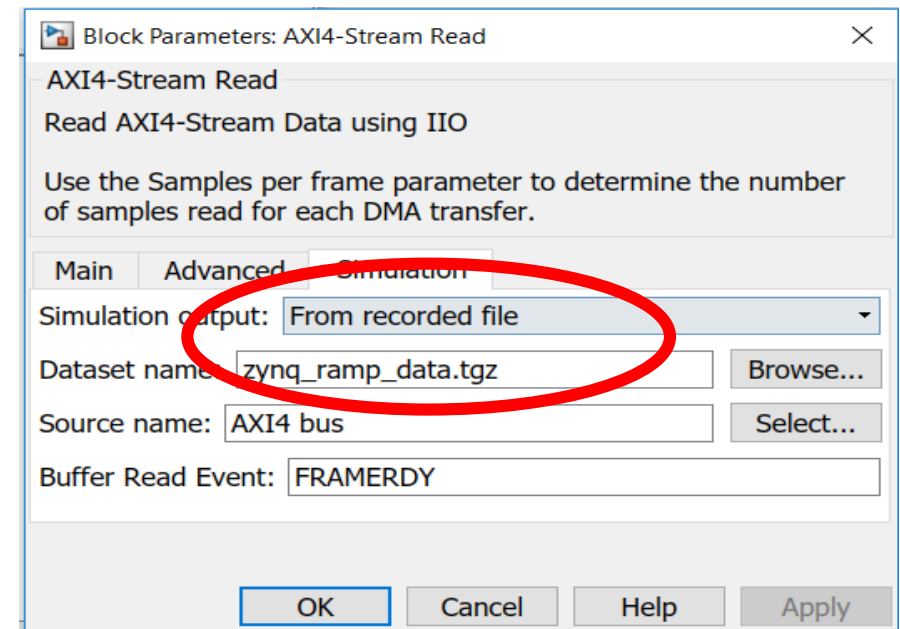
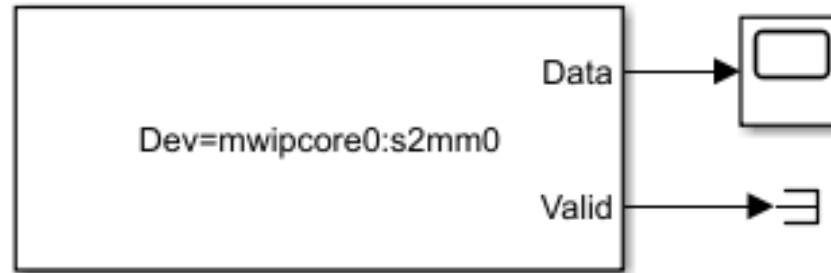
- Блок **Memory traffic generator**
 - Генерация запросов чтения-записи для памяти
 - Оценка производительности вашего DUT памяти



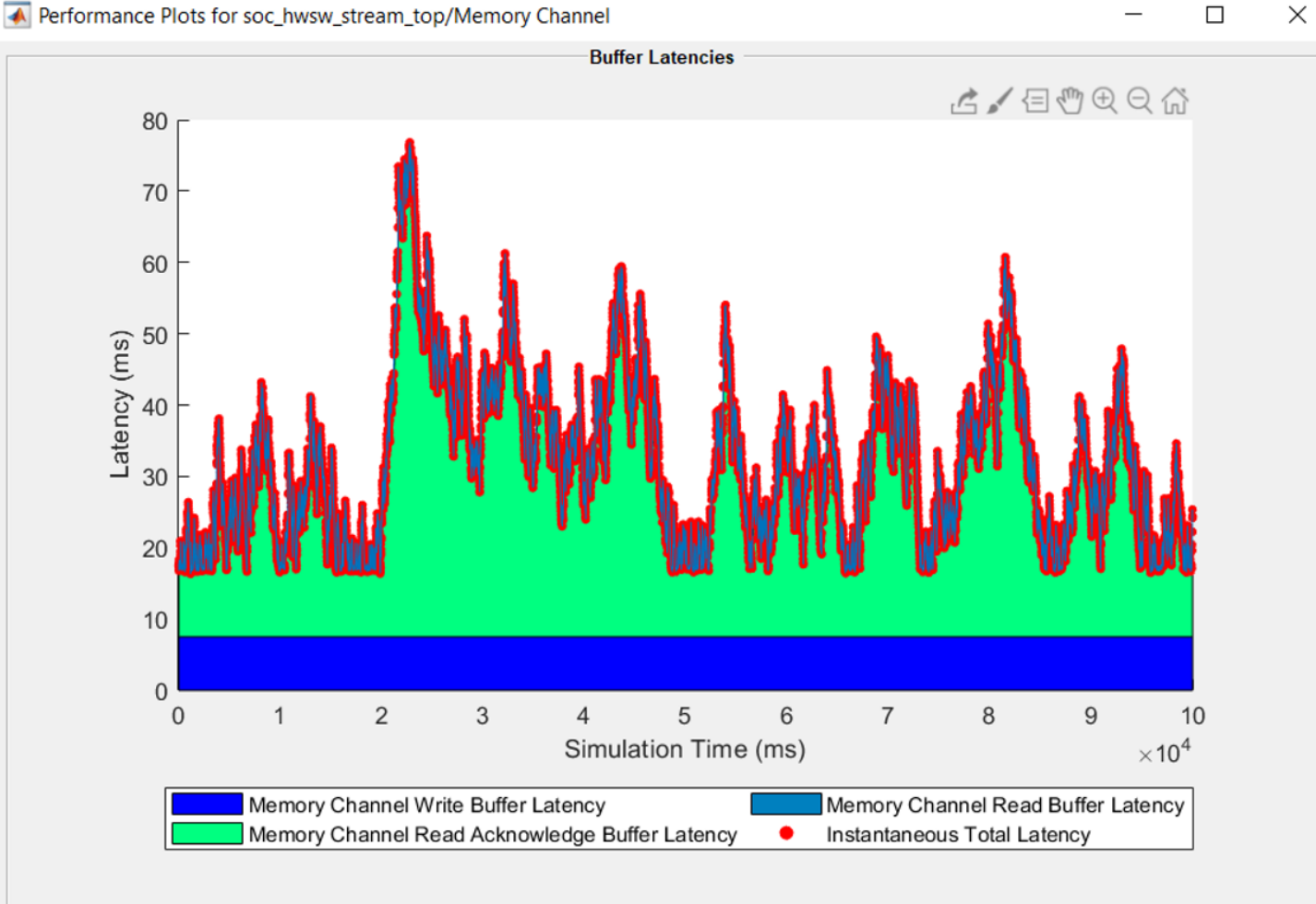
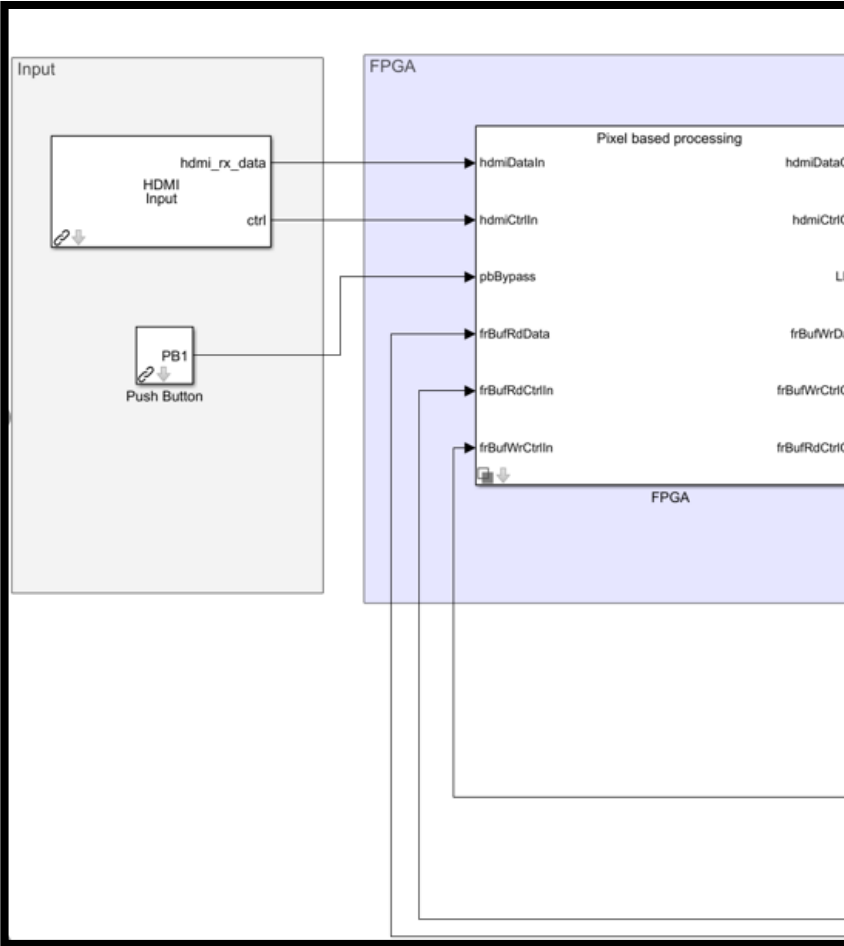
Memory Traffic Generator

Модели I/O

- I/O процессора
 - TCP Read/Write
 - UDP Read/Write
 - Register Read/Write
- I/O аппаратной логики
 - DIP Switch
 - LED
 - Pushbutton
 - I2C Master
- Симуляция с реальными I/O данными

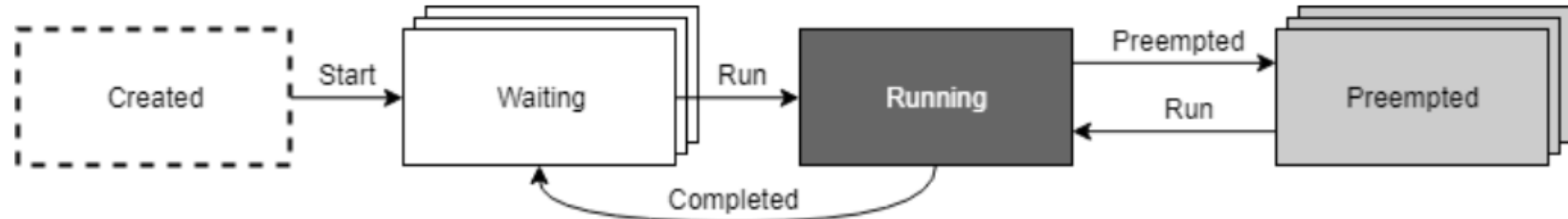


Модели передачи данных



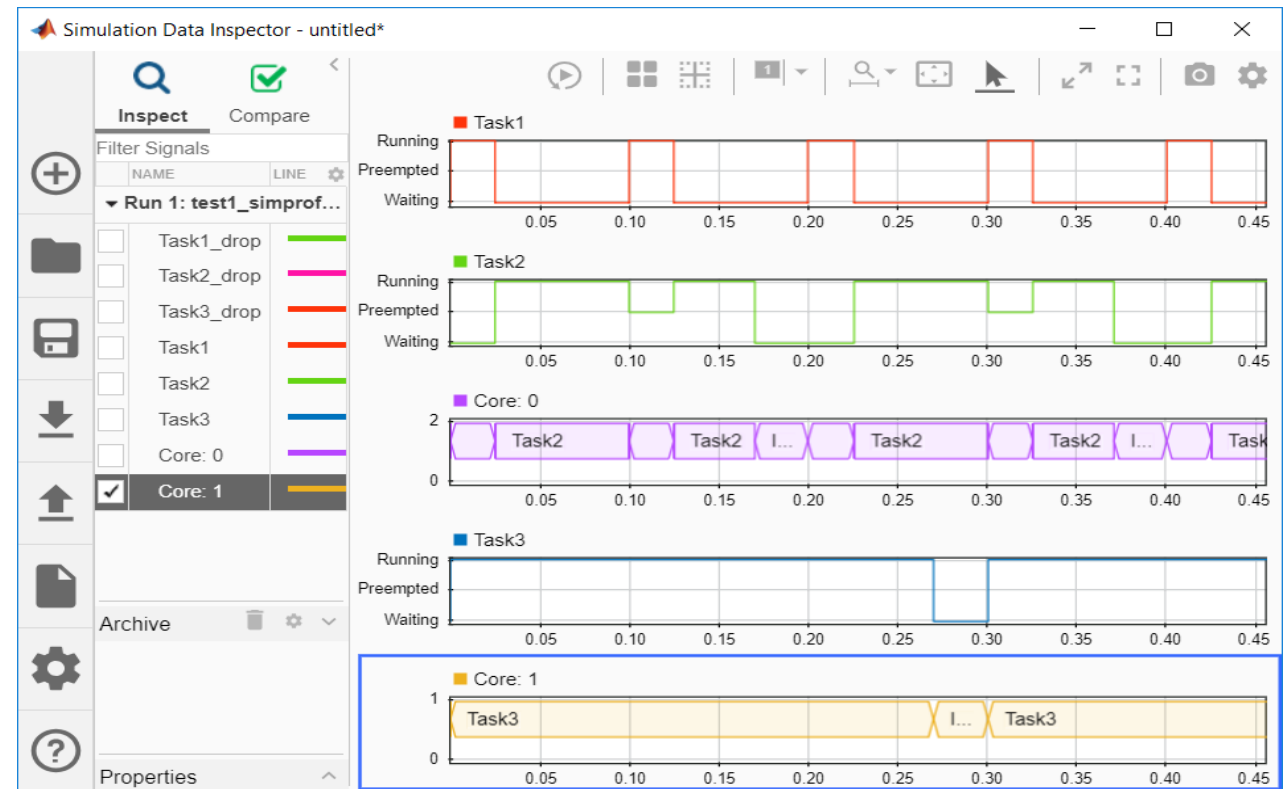
Модели выполнения задач

- Задача – это часть модели Simulink, ограниченная дискретно выполняемой или вызываемой функцией подсистемой
- Исполнение задач в «железе» регулируется операционной системой



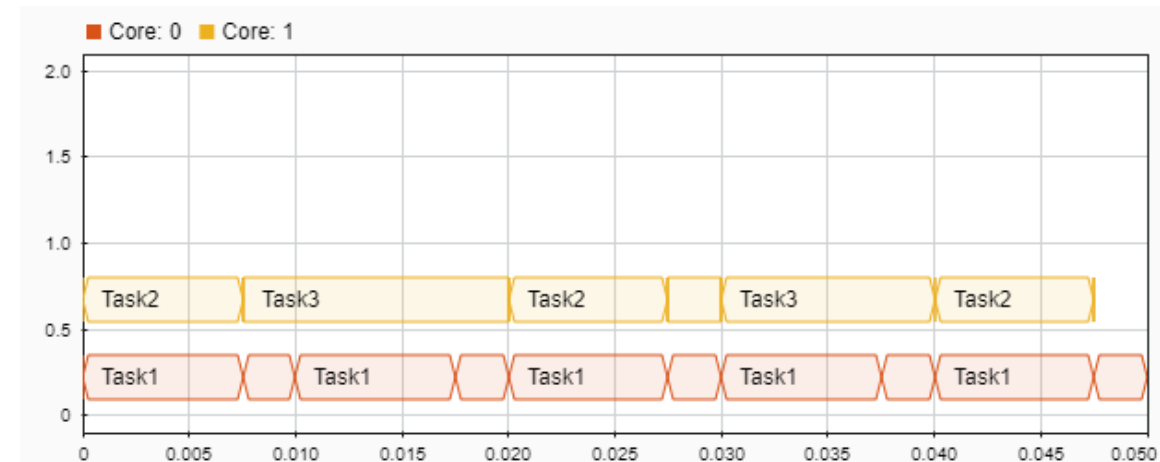
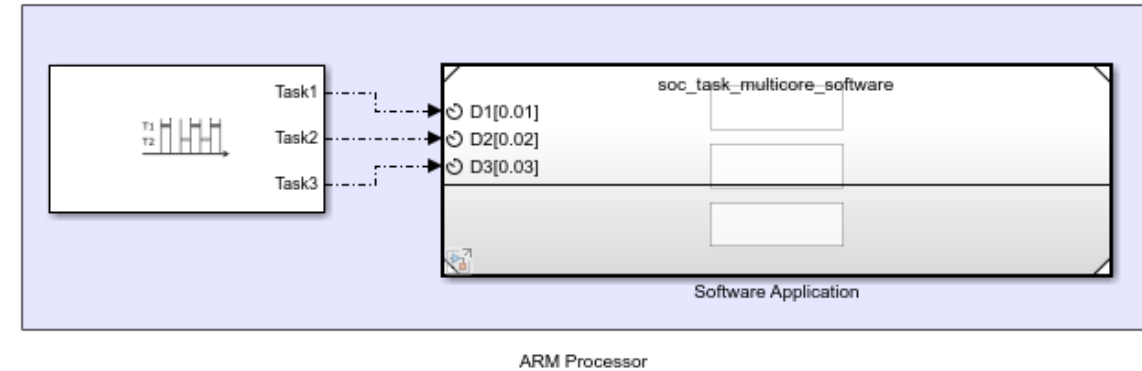
Модели выполнения задач

- Блок **Task manager**
 - вероятностная модель
 - из файла данных
 - или входных портов на блоке
 - запуск по времени или событию
- Параметры
 - период, длительность
 - триггер
 - приоритет
 - ядро процессора
- Визуализация в SDI



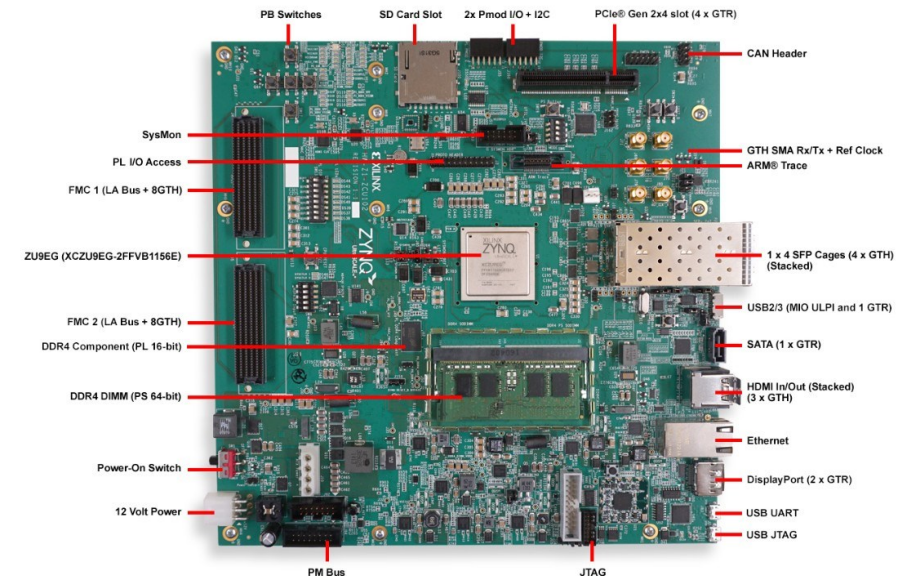
Модели программных алгоритмов

- Обнаружение переполнения задач и принятие необходимых мер
- Визуализация прав и приоритетов
- Симуляция многоядерного исполнения
- Запись и воспроизведение исполнения задач в симуляции



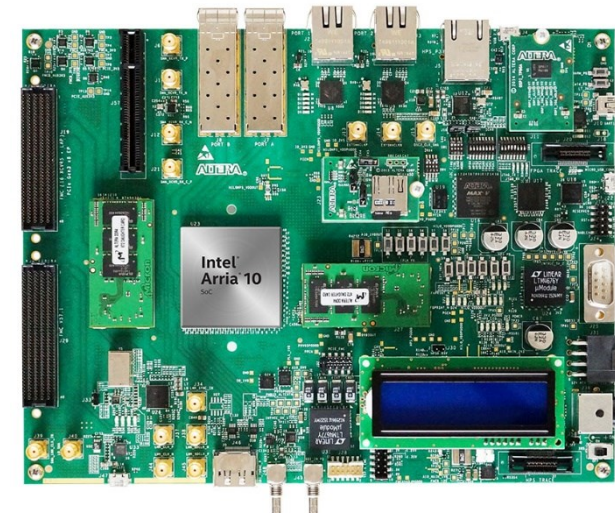
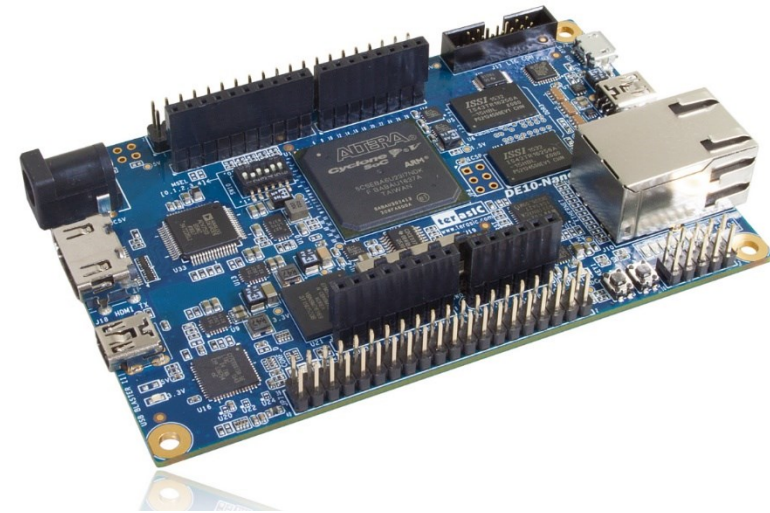
Реализация на платформах Xilinx SoC и FPGA

- Инструменты
 - Vivado Design Suite 2018.2
- Платы
 - FPGA: Artix-7 35T Arty, Kintex-7 KC705
 - Zynq 7000: ZC706, ZedBoard
 - Zynq UltraScale+: ZCU102
- I/O модули
 - HDMI Tx/Rx
 - AD9361 Rx/Tx
 - ADAU17612 codec



Реализация на платформах Altera SoC и FPGA

- Инструменты
 - Intel Quartus Prime Standard Edition 18.0
 - Intel SoC FPGA Embedded Development Suite (EDS) 18.0
- Платы
 - Arria 10 SoC Development Kit
 - Cyclone V SoC Development Kit
- I/O модули
 - нет



Разработка модема на ПЛИС

Компания:

 **RadioGigabit**

Задача:

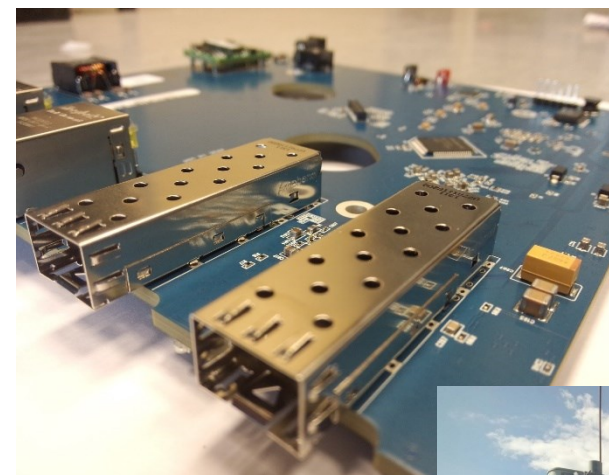
Разработка высокоскоростного модема на **ПЛИС** для радиорелейной системы связи

Решение:

Использование модельно-ориентированного подхода на основе среды **Simulink** для всех этапов разработки от создания протокола до генерации кода IP-блоков на языке описания аппаратуры **Verilog**

Результаты:

Успешное выполнение проекта и завершение разработки в **четырёхмесячный** срок, что было бы невозможно при применении традиционной методологии



Совместный проект с КБ Радар

Задачи:

1. Разработка системной модели радиолокационного распознавания для БПЛА
2. Разработка C и HDL кода под Zynq-7000
3. Разработка пакета поддержки аппаратуры (драйвера устройств)

Результаты:

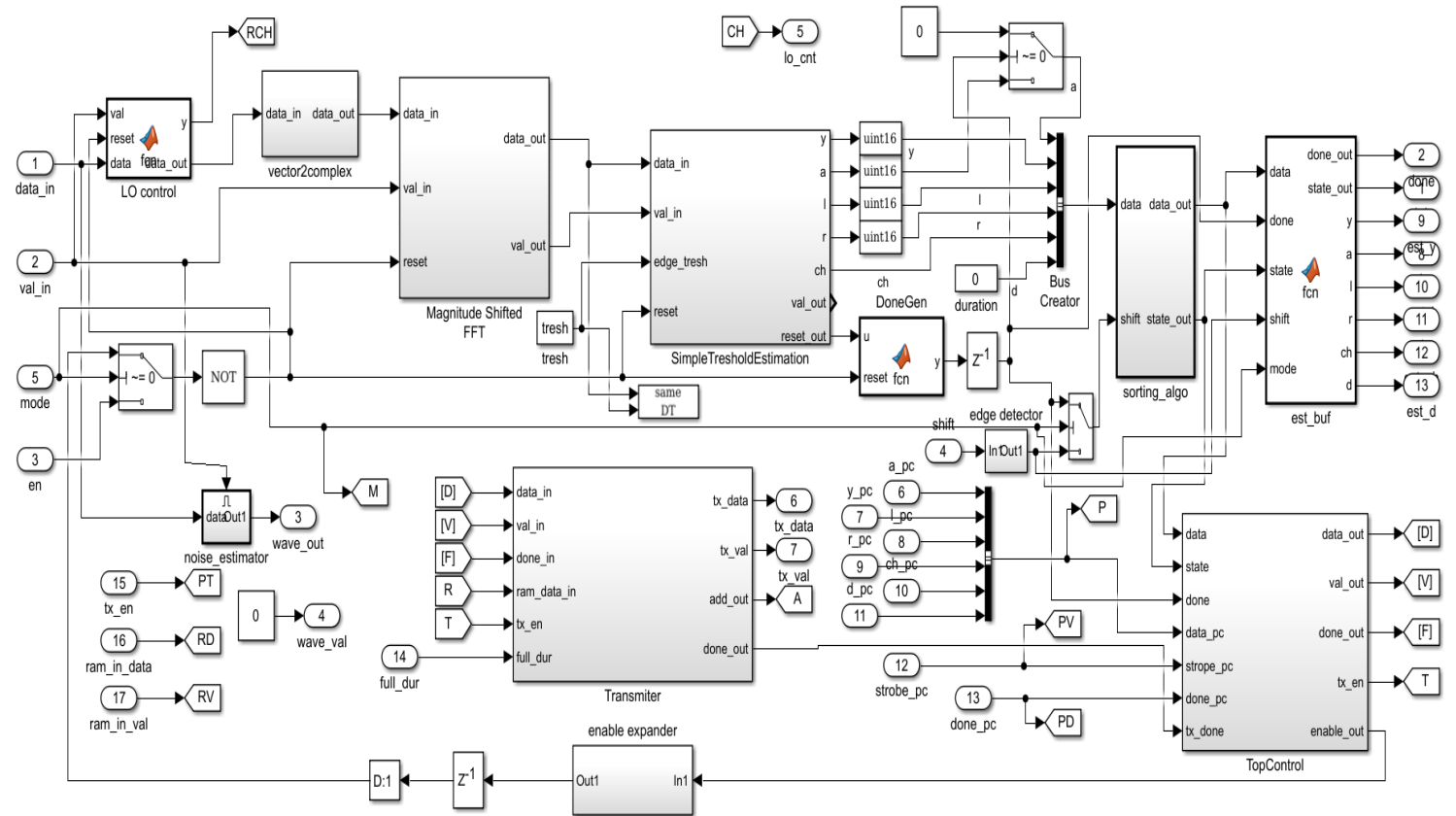
1. Системная модель позволила проработать различные архитектуры и выбрать архитектуру с меньшим количеством компонентов под заданные требования (амплитудный детектор реализован в цифровом виде)
2. Отладка алгоритмов на модели с последующим однозначным переносом на аппаратуру
3. Разработка драйверов под периферию Zynq-7000



Подсистема РЭБ - КБ Радар

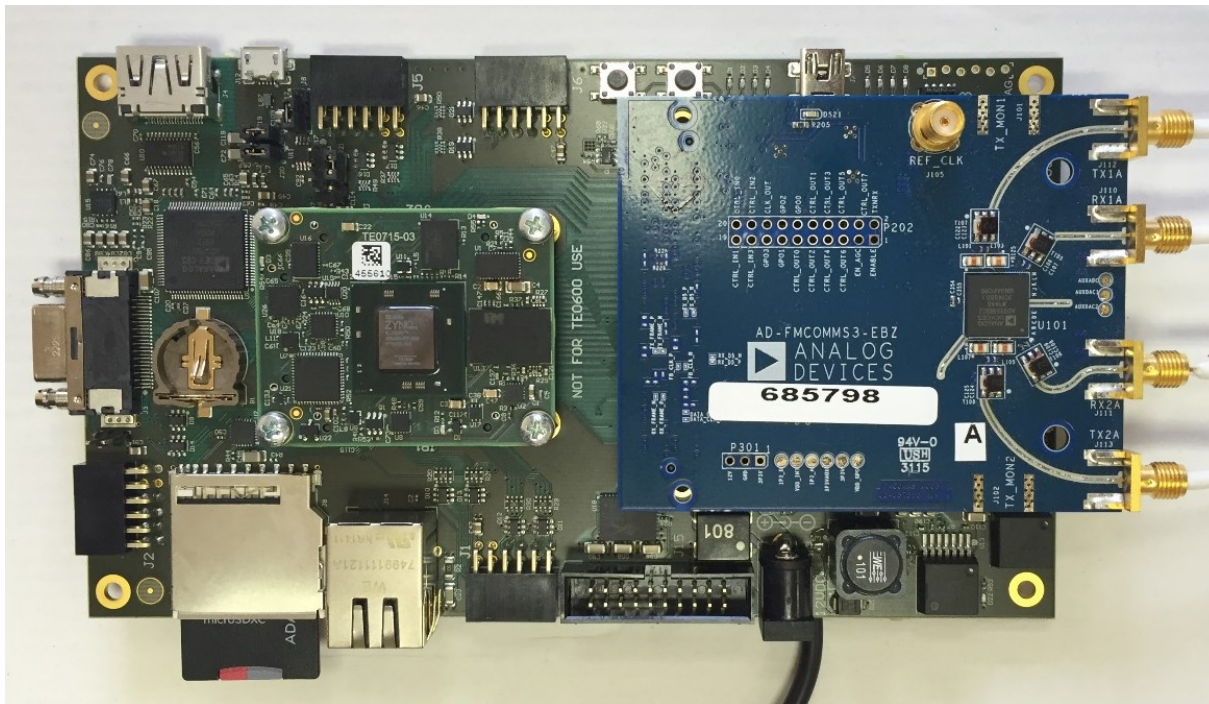
Результаты:

1. Построена системная модель, содержащая алгоритмы ПЛИС и ARM, отлажена их взаимная работа на модели.
2. Смоделирован и реализован в HDL алгоритм сортировки с оптимальностью $O(n)$ – линейная сложность.
3. Получен HDL код с требуемой производительностью.
4. Прототип разработан за 3 месяца.



Совместный проект с КБ Луч

Задача: разработка системы видеосвязи для ЛА на базе стандарта IEEE 802.11 для Концерна ВЕГА



Результаты:

1. **Функциональность**
 - OFDM модуляция
 - Ширина канала – 5-40 МГц
 - MIMO 2
 - LDPC кодирование
2. **Время разработки – 4 месяца**
3. **Целевая платформа - ПЛИС Zynq-7035**

Контакты

Центр Инженерных Технологий
и Моделирования




ЭКСПОНЕНТА


info@exponenta.ru

tech@exponenta.ru

 Москва, 2-й Южнопортовый проезд,
д. 31, стр. 4

 +7 (495) 009 65 85

 info@exponenta.ru
tech@exponenta.ru

 matlab.ru
exponenta.ru