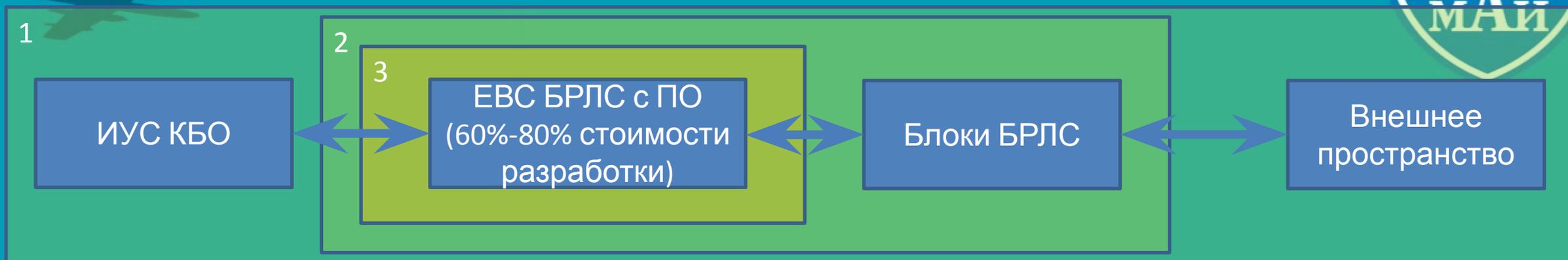




**Разработка программного обеспечения
управления режимами и оценки
результатов работы бортовой
радиолокационной станции
истребителя в составе стенда
математического моделирования.**

Выполнил
Студент группы
МСО-402Б
Петров А.Ю.
Руководитель:
Абрашов С.Ю.

Постановка задачи



Способ отработки программного обеспечения	Плюсы способа	Минусы способа
1. Отработка в условиях полета	Полная проверка в реальных условиях	Очень высокая стоимость и длительные сроки отработки
2. Отработка в наземных условиях в составе БРЛС	Проверка программного обеспечения во взаимодействии с аппаратурой Возможность отладки в режиме реального времени	Высокая стоимость Необходимость воздания СВЧ имитационного оборудования Ограниченные имитационные возможности
3. Отработка в наземных условиях в составе	Возможность создания большого числа рабочих мест	Необходимость создания достоверной имитационной



Цель работы

- Разработать решение (программное или аппаратное), позволяющее осуществлять управление режимами работы БРЛС и оценку результатов в процессе отладки программного обеспечения БРЛС на стенде математического обеспечения, в том числе в автоматическом режиме.

Необходимые к решению задачи

- Разработка гибкого интерфейса управления режимами работы БРЛС и соответствующей программы управления
- Разработка программного модуля оценки результатов работы БРЛС в режиме работы «Воздух-воздух»
- Разработка программного модуля визуализации целевой и тактической обстановки с привязкой к картографической информации при работе БРЛС
- Разработка программного модуля, позволяющего проводить автоматизированное тестирование программного обеспечения БРЛС на основе сценариев

Разработка интерфейса и программы



Средство создания интерфейса	Плюсы средства <u>управления</u>	Минусы средства
Microsoft Visual Studio	Стандартное средство для ОС Windows	Отсутствие кроссплатформенности Малое число доступных визуальных компонентов
Qt	Кроссплатформенность	Большой размер приложений Низкая скорость работы приложений Непрозрачность работы с визуальными компонентами
C++ Builder	Большое число визуальных компонентов	Отсутствие кроссплатформенности

Способы формирования управления в РВ	Плюсы способа	Минусы способа
ОС РВ	Дешевизна решения	Малая распространенность ОС РВ Трудность сопряжения с интерфейсом
RTX для Windows	Дешевизна решения	Нестабильная работа Мало число поддерживаемых устройств
Внешний аппаратный шлюз	Жестко контролируемое РВ	Сложность реализации аппаратного решения

МО. Интерфейс программы

- Более 300 органов управления на разных страницах
- Унификация преобразования данных (значений) компонентов в коды управления БРЛС
- Индексация и программная доступность всех элементов управления

The screenshot shows the RMP (Remote Monitoring Panel) interface. It features a top menu with options like 'Карты', 'Диффер', and various system modes. The main area is divided into several sections:

- Left Panel:** A 'Полусфера' (hemisphere) display showing target positions on a grid, with a 'Номер зоны' (zone number) and 'ЦУ по скорости' (speed-based target ID).
- Top Center:** Control buttons for 'ВКГ', 'ФКМ', 'Режим ББВ', 'Вертолёт', 'ЛЧМ', 'ДО', 'РТЦ', 'НЧПИ', 'РЦГ', 'Конпенс. помех', and 'ПРО'.
- Right Panel:** Radar displays for 'Азимут ЦЗ ББВ' (B-BV target azimuth) and 'Угол места ЦЗ ББВ' (B-BV target elevation angle).
- Bottom Section:** A 'Ряд присоединения' (connection row) with 'Иниатор ВЦ' (VC initiator) and 'Вариант шитатора ВЦ' (VC shifter variant) controls. It also shows 'Обнаружено более 17ти целей' (More than 17 targets detected).
- Bottom Right:** A 'Компоненты окон' (window components) section with 'Стандартная компонента' and 'Пользовательская компонента' options, and a 'Каналы обмена' (communication channels) section with 'Ethernet' and 'MPIO' settings.

This screenshot shows a different view of the RMP interface. It features a large central green radar display. The interface includes:

- Top Menu:** Similar to the first screenshot, with 'Карты', 'Диффер', and system mode options.
- Left Panel:** 'Дальн. ЦЗ' (range target ID) and 'Азимут ЦЗ' (azimuth target ID) displays.
- Right Panel:** 'Угол места ЦЗ ИДЗ' (IDZ target elevation angle) and 'ИДЗ по № цели' (IDZ by target number) displays.
- Center:** A large green circular radar display.
- Bottom Section:** 'Компоненты окон' (window components) and 'Каналы обмена' (communication channels) settings, including 'Ethernet' and 'MPIO'.
- Bottom Right:** 'Атака НЦ' (NC attack) controls and 'Число целей ПКС/АС' (number of targets PKC/AS) display.

```
//Режимы
//NPP ID Name CommandCmpnt1 KvitancCmpnt | Padr Word MLrз Nrz CSR sign Min Max KPadr KWord KMLrз KNrz KCSR Ksign KMin KMax
{ 0, "IUS_W-X", "BB-X", (void*)&(RzButtonW-X), (void*)&(RzButtonW-X), 2, 3, 13, 1, 1, 1, 0, 1, 2, 3, 13, 1, 1, 1, 0, 1, }
{ 1, "IUS_VP-X", "BP-X", (void*)&(RzButtonVP-X), (void*)&(RzButtonVP-X), 4, 2, 12, 1, 1, 1, 0, 1, 4, 2, 12, 1, 1, 1, 0, 1, }
```

Формирование управления БРЛС



Формирование циклограммы управления

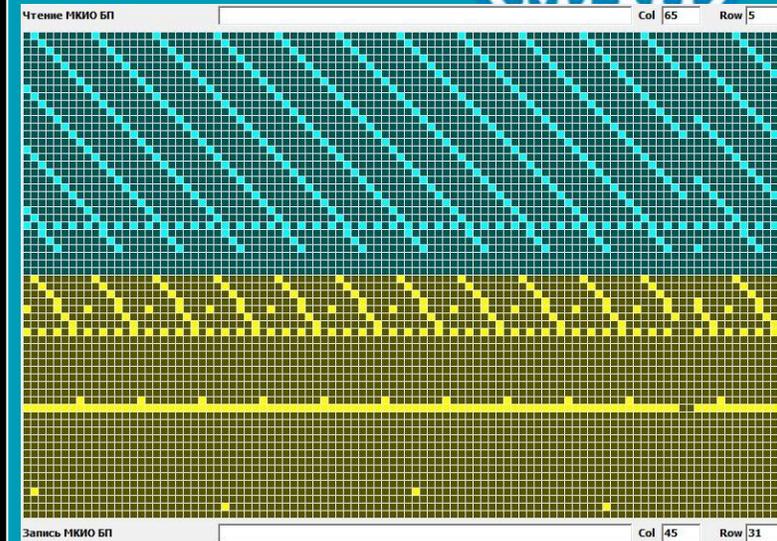
- Распределение передаваемых данных по тактам управления
- Распределение запрашиваемых данных по циклам управления

Формирование и прием данных

- Опрос элементов управления
- Упаковка данных
- Отправка данных в аппаратный блок
- Прием данных с результатами БРЛС из аппаратного блока
- Распаковка данных по элементам управления

```
float __fastcall TForm::ReadComponentValue(void **component)
{
    if (!component)
        return 0;
    TComponent* compon = *(TComponent**)(component);
    AnsiString cName = compon->ClassName();

    else if (cName == "TRzButton")
    {
        TRzButton* button = (TRzButton*)compon;
        return button->Down;
    }
    else if (cName == "TRzEdit")
    {
        TRzEdit* edit = (TRzEdit*)compon;
        try
        {
            if (fabs(StrToFloat(edit->Text))>0.0f)
                edit->Color = clLime;
            else
                edit->Color = clWhite;
            return StrToFloatDef(edit->Text, 0);
        }
        catch (...)
        {
            edit->Color = clRed;
            return 0;
        }
    }
}
```



```
void __fastcall TForm::SetComponentValue(void **component, float value)
{
    if (!component)
        return;
    TComponent* compon = *(TComponent**)(component);
    AnsiString cName = compon->ClassName();

    else if (cName == "TRzButton")
    {
        TRzButton* button = (TRzButton*)compon;
        button->Down = value;
    }
    else if (cName == "TRzEdit")
    {
        TRzEdit* edit = (TRzEdit*)compon;
        edit->Text = value;
    }
}
```

Оценка результатов работы БРЛС в режимах ВВ

(оценка точностных характеристик обнаруженных



Данные контрольной задачи

Модуль сравнения и оценки

Полученные от БРЛС результаты

- Сопоставление данных БРЛС и контрольной задачи по времени
- Вычисление мгновенных ошибок
- Выполнение статистической обработки

Критерии

$$kD = \left(\frac{D_{\text{ИМИТ}} - D_{\text{ИЗМ}}}{\text{Gate}D} \right)^2 \quad kEv = \left(\frac{Ev_{\text{ИМИТ}} - Ev_{\text{ИЗМ}}}{\text{Gate}Ev} \right)^2$$

$$kV = \left(\frac{V_{\text{ИМИТ}} - V_{\text{ИЗМ}}}{\text{Gate}V} \right)^2 \quad kEg = \left(\frac{Eg_{\text{ИМИТ}} - Eg_{\text{ИЗМ}}}{\text{Gate}Eg} \right)^2$$

Формируем матрицу

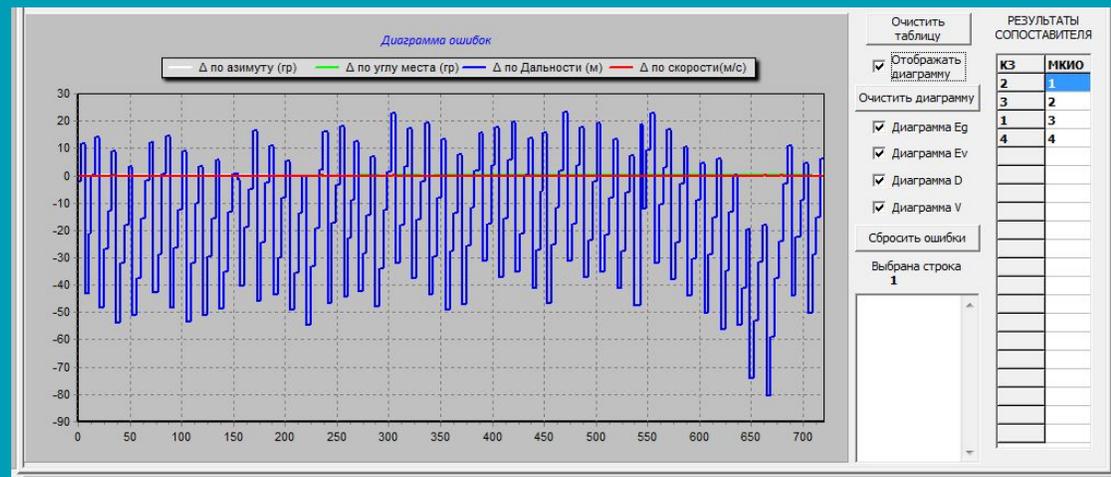
$$a_{ij} = kD + kV + kEg + kEv$$

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}

Поиск минимального коэффициента в матрице

Вычеркиваем гипотезу, привязываем цели

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}



Разработка ПО управления и оценки результатов работы БРЛС в составе стенда Визуализация целевой и тактической обстановки



- Отображение целевой информации в табличном виде
- Отображение целевой информации и траекторий движения на карте

1) ГСК в ГДСК

Носителя

$$X_n = \left(\frac{R_0}{\sqrt{1+(1-e^2)\tan^2\varphi_n}} + h_n \cos\varphi_n \right) \cos\lambda_n$$

$$Y_n = \left(\frac{R_0}{\sqrt{1+(1-e^2)\tan^2\varphi_n}} + h_n \cos\varphi_n \right) \sin\lambda_n$$

$$Z_n = \frac{R_0(1-e^2)\tan\varphi_n}{\sqrt{1+(1-e^2)\tan^2\varphi_n}} + h_n \sin\varphi_n$$

2) Расчет в БССК

$$X_{\text{бССК_ВЦ}} = D \cdot \cos Ev \cdot \sin Eg$$

$$Y_{\text{бССК_ВЦ}} = D \cdot \cos Ev \cdot \cos Eg$$

$$Z_{\text{бССК_ВЦ}} = D \cdot \sin Ev$$

3) Преобразование из БССК в ГДСК ВЦ

$$X_{\text{ВЦ}} = X2_{\text{ВЦ}} + X_n$$

$$Y_{\text{ВЦ}} = Y2_{\text{ВЦ}} + Y_n$$

$$Z_{\text{ВЦ}} = Z2_{\text{ВЦ}} + Z_n$$

где:

$$X2_{\text{ВЦ}} = X1_{\text{ВЦ}} \cdot \cos\omega + Y1_{\text{ВЦ}} \cdot \sin\omega$$

$$Y2_{\text{ВЦ}} = -X1_{\text{ВЦ}} \cdot \sin\omega + Y1_{\text{ВЦ}} \cdot \cos\omega$$

$$Z2_{\text{ВЦ}} = Z1_{\text{ВЦ}} \quad X1_{\text{ВЦ}} = X_{\text{бССК_ВЦ}}$$

$$Y1_{\text{ВЦ}} = Y_{\text{бССК_ВЦ}} \cdot \cos\tau + Z_{\text{бССК_ВЦ}} \cdot \sin\tau$$

$$Z1_{\text{ВЦ}} = Z_{\text{бССК_ВЦ}} \cdot \cos\tau - Y_{\text{бССК_ВЦ}} \cdot \sin\tau$$

$$\tau = -\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_n\right) \quad \omega = -\left(\frac{\pi}{2} + \lambda_n\right)$$

4) Преобразование из ГДСК в ГСК

Вычисление

долготы:

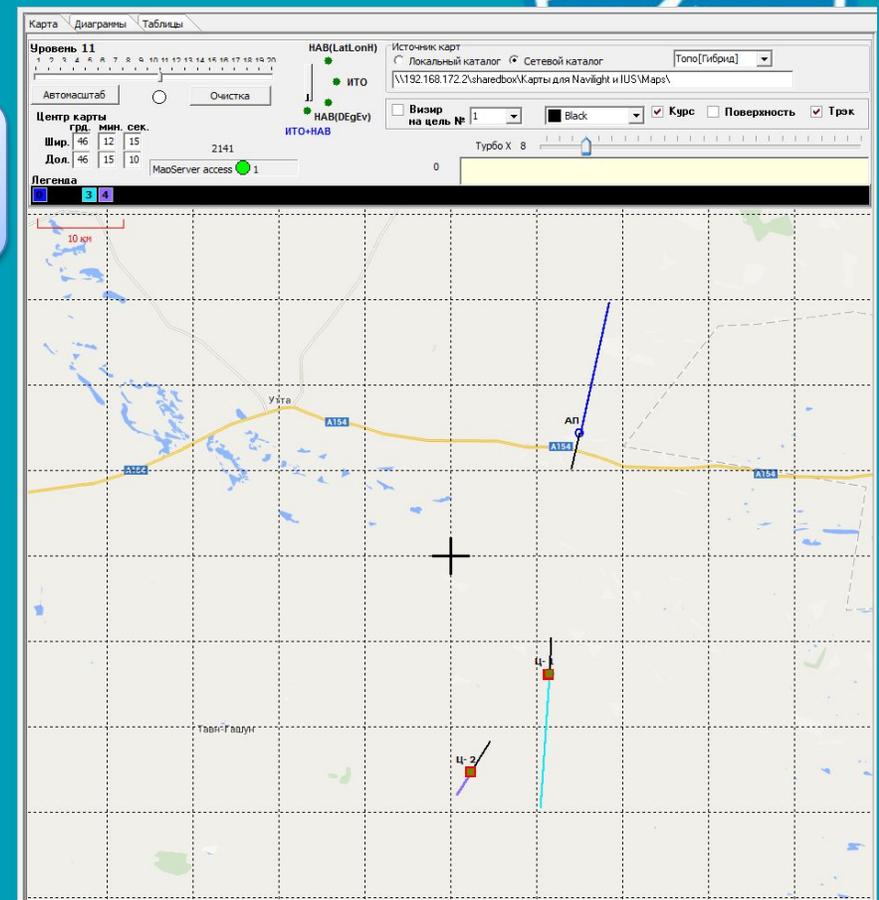
$$\lambda_{\text{ВЦ}} = \arctan \frac{Y_{\text{ВЦ}}}{X_{\text{ВЦ}}}$$

Вычисление широты может быть выполнено только методом последовательных приближений

$$\varphi_{\text{ВЦ}} = \arctan \left(\frac{Z_{\text{ВЦ}}}{Dt \cdot (1 - Et)} \right) \text{ где:}$$

$$Dt = \sqrt{X_{\text{ВЦ}}^2 + Y_{\text{ВЦ}}^2} \quad h_{\text{ВЦ}} = \frac{Dt}{\cos\varphi_{\text{ВЦ}} - N} \quad e^2 = 2 \cdot \alpha - \alpha^2$$

$$Et = \frac{e^2}{1 + h_{\text{ВЦ}}/N} \quad N = \frac{R}{\sqrt{1 - E^2 \cdot \sin^2\varphi_{\text{ВЦ}}}}$$



Разработка ПО управления и оценки результатов работы БРЛС в составе стенда Визуализация целевой и тактической обстановки



4) Преобразование из ГСК ВЦ в XY

карт

Размер тайла 256x256 пикселей независимо от

Размер всей карты: $N \times N$ тайлов

где $N = N * 256$ – размер

$PpR = \frac{size}{2\pi}$ – количество пикселей на радиус

$$X = \frac{size}{2} + Lon * PpR$$

$exc = \frac{\sqrt{R_3^2 - R_2^2}}{R_3}$ – эксцентриситет земли

$$atanh = 0.5 * \log\left(\frac{1+z}{1-z}\right) - exc * 0.5 * \log\left(\frac{1+z*exc}{1-z*exc}\right)$$

где $z = \sin(Lat)$

$$Y = \frac{size}{2} - atanh * PpR$$

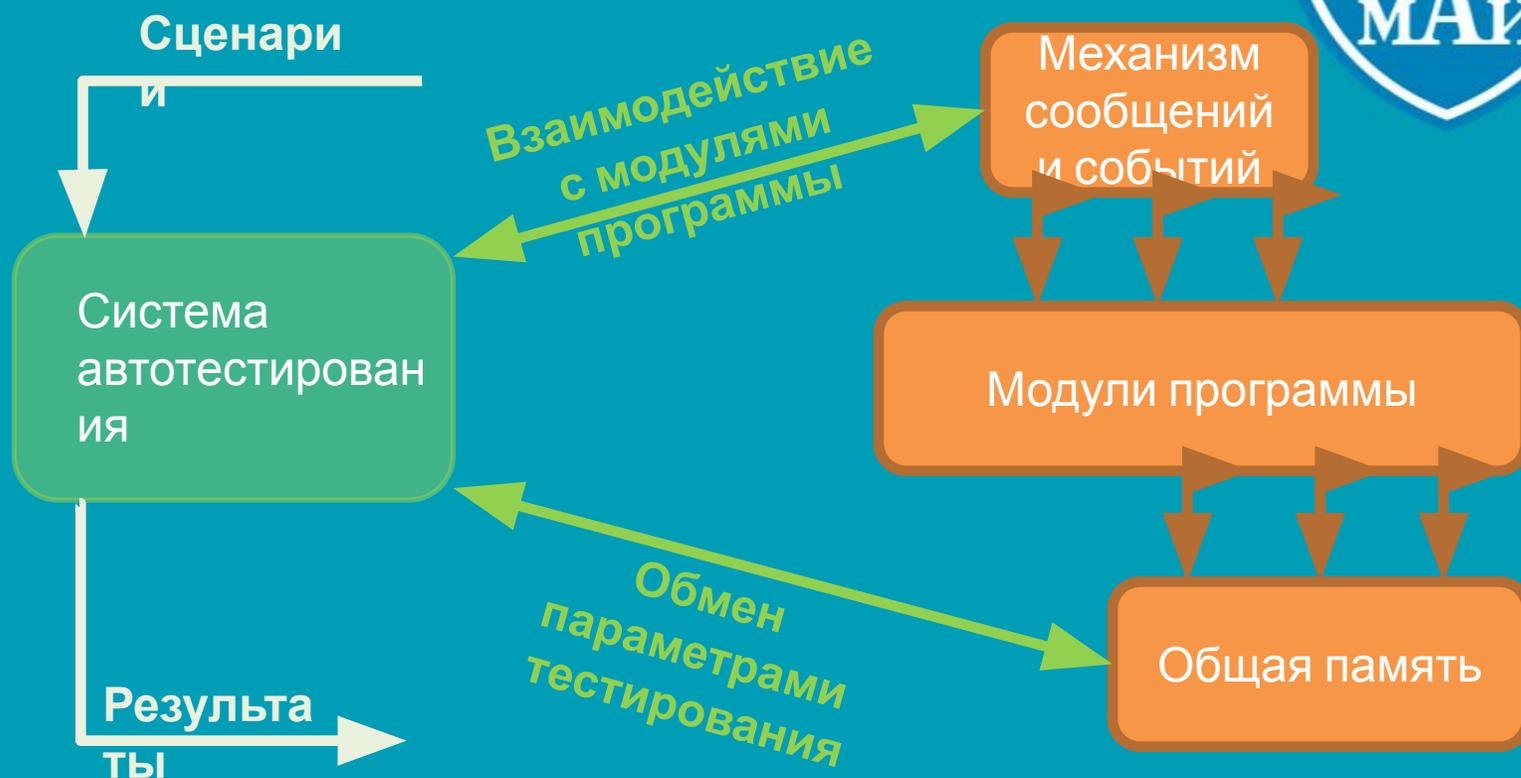
№ базовой траектории 0			Цель2				
Lat (град)	48.421154	Угл. скор. X (град/сек)	-0.000	Lat (град)	48.855	Опознавание	свой
Lon (град)	47.384811	Угл. скор. Y (град/сек)	-0.000	Lon (град)	47.247	Доп.пр. ГО	0-нет признака
H (метры)	1000.000000	Угл. скор. Z (град/сек)	0.000	H (м)	1000.000	Видимость АП	1
V (м/с)	400.000	a_x (м/с2)	0.000	Курс (град)	179.684	Видимость ПП	0
Курс (град)	-0.254034	a_y (м/с2)	0.000	Vсблж [АП] (м/с)	979.625	Скорость (м/с)	600.000
Крен (град)	-0.000013	a_z (м/с2)	0.000	Eg [АП] (град)	-11.559	Тангаж (град)	0.000
Тангаж (град)	0.000000	Курс гироск. (град)	-0.254	Ev [АП] (град)	-0.221		
Vn (м/с)	399.996	Цз УМ (град)	-0.275	D [АП] (м)	49279.457		
Ve (м/с)	-1.773	Цз Аз (град)	-0.175	A [АП]	1500.000		
Vh (м/с)	0.000	ЦУ D (м)	61245	Vсблж [ПП] (м/с)	0.000		
Угол атаки (град)	-0.000	Nzone (град)	1	Eg [ПП] (град)	0.000		
Угол скольж (град)	-0.004	Цз УМ L(град)	-0.227690	Ev [ПП] (град)	0.000		
Число M	1.175	Цз Аз L(град)	-23.022677	D [ПП] (м)	0.000		
Уверт (м/с)	400.000			A [ПП]	0.000		
Курс орт. (град)	0.000						
Сигма	10.000						

Воздушные цели									
№ цели	№ цели СВМ	Eg Угол аз	Ev Угол мес	D дальн	V Скор	Изм Азимут	Изм Уг Мес	Изм Дальн	Изм скор
1	1	-132,028198242	0,0494384765	11,5	184,1308593	-132,0281982	0,0494384765	11,5	184,13085937
2	2	-0,37902832031	-0,0494384765	11,9921875	-898,2421875	-0,379028320	-0,049438476	11,9921875	-898,2421875
3	3	69,1589355468	-0,063171386	10,7265625	-406,8359375	69,15893554	-0,063171386	10,7265625	-406,8359375
4	4	-113,02734375	-0,021972656	25,6171875	359,375	-113,0273437	-0,021972656	25,6171875	359,375
5	5	100,277709960	-0,063171386	22,578125	165,185546	100,2777099	-0,063171386	22,578125	165,1855468

МО.
Модуль автоматического тестирования



- Сценарии на основе интерпретируемого языка
- Доступ из сценария к элементам управления БРЛС
- Доступ из сценария к результатам работы БРЛС
- Формирование документов-отчетов MS Word на основе шаблонов



Язык создания сценариев	Плюсы языка	Минусы языка
C#	Удобная статическая типизация данных	Трансляция через .NET Framework
Python	Широкие возможности ЯП	Высокий порог вхождения
Lua	Низкий порог вхождения	Динамическая типизация данных



Результаты работы

- Разработано программно-аппаратное решение, позволяющее осуществлять управление режимами работы БРЛС и оценку результатов в процессе отладки программного обеспечения БРЛС на стенде математического обеспечения, в том числе в автоматическом режиме.

В процессе работы

- Разработан интерфейс и программа управления режимами работы БРЛС с возможностью оперативной корректировки протокола взаимодействия
- Разработан программный модуль автоматизированной оценки результатов работы БРЛС в режимах «Воздух-воздух»
- Разработан программный модуль визуализации целевой и тактической обстановки с привязкой к картографической информации и возможностью трассирования траекторий
- Разработан программный модуль, позволяющий проводить автоматизированное



Спасибо за внимание!