



МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)



Реализация согласованного перестроения группы БЛА под управлением автопилота Pixhawk

асп. Михайлов Никита Андреевич

г. Москва 2016

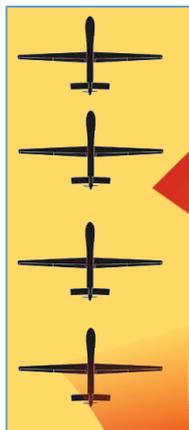
Постановка задачи

Целью данной работы является повышение эффективности согласованного перестроения группы, за счет:

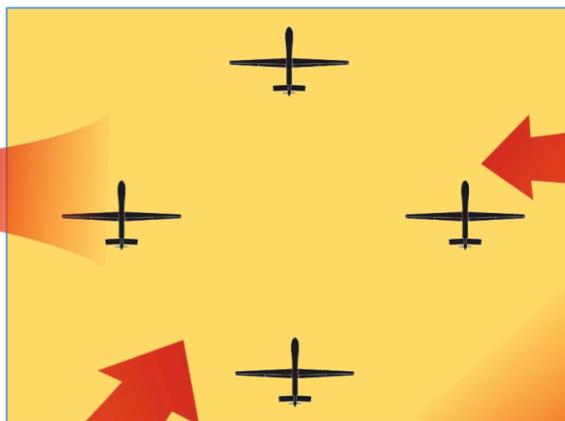
- Формирования модели пространственного положения группы;**
- Разработки алгоритма согласованного перестроения с учетом сформированной модели;**
- Разработки программного комплекса, реализующего предложенные алгоритмы, и работающего на базе полетного контроллера PixHawk.**

Различные типы построения группы

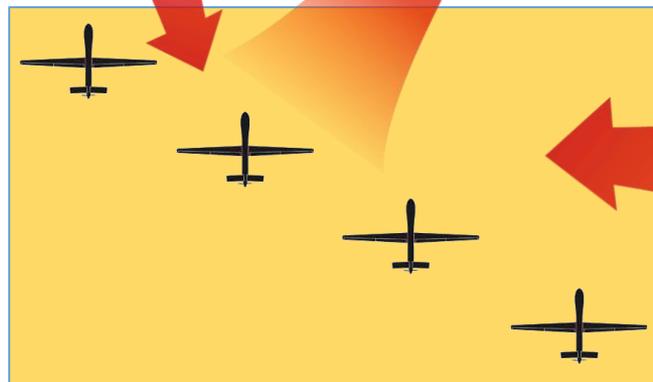
Колонна



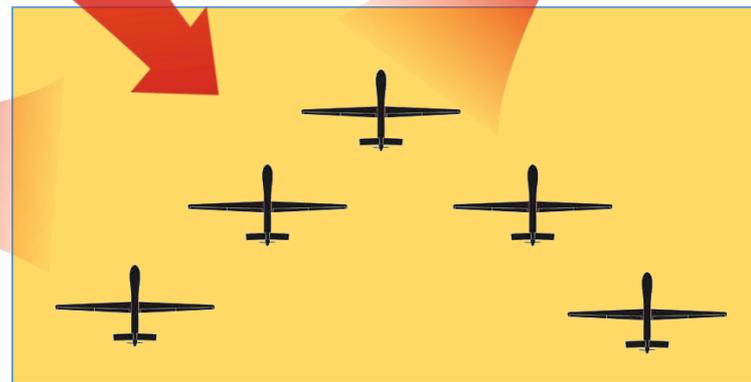
Ромб



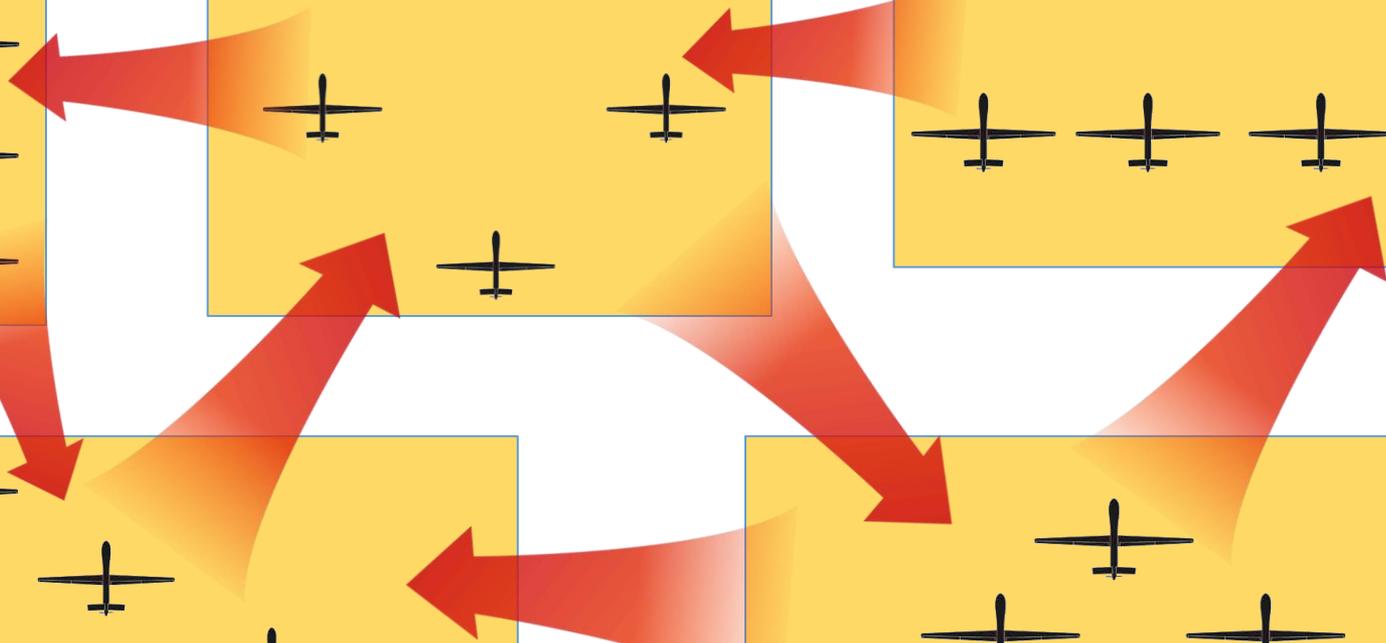
Фронт



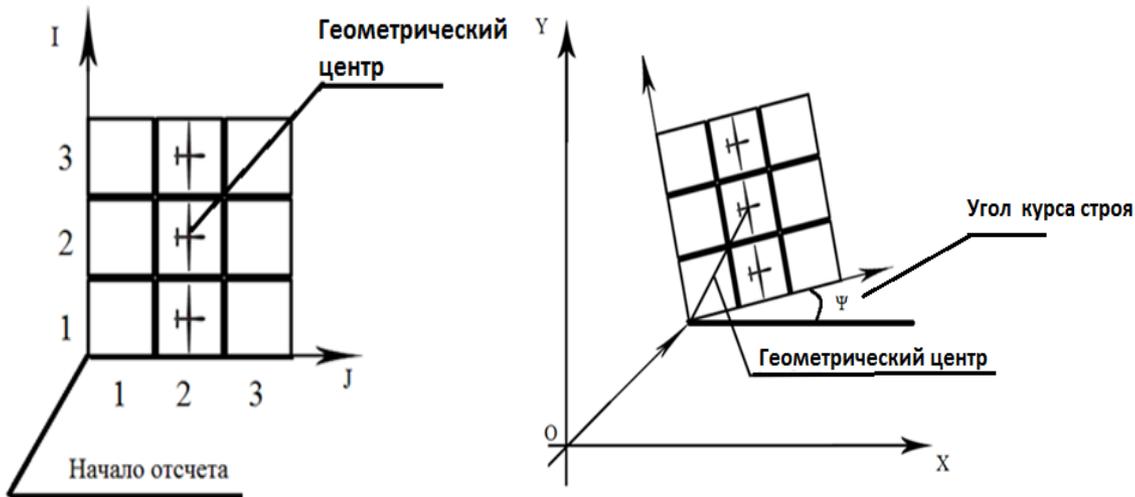
Пеленг



Клин

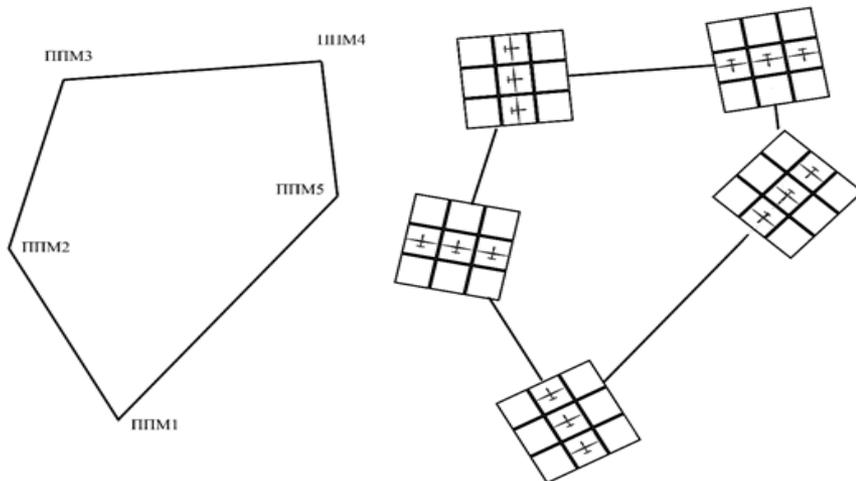


Математическая модель строя



1) Пространство в горизонтальной плоскости разбивается на сетку размером $N \times N$, где N – количество аппаратов в группе.

2) Размер ячеек соответствует требуемым значениям интервалов и дистанций между аппаратами.



ППМ1: $\Phi 1 - x = 0, y = 0, \psi = 2.35$

ППМ2: $\Phi 1 \rightarrow \Phi 2 - x = -35, y = 35, \psi = 1.22$

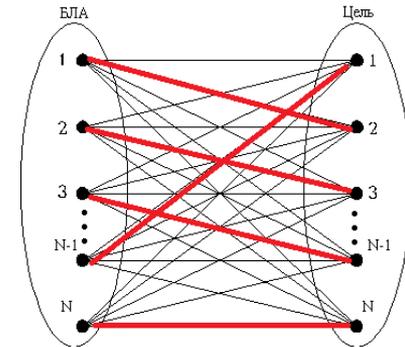
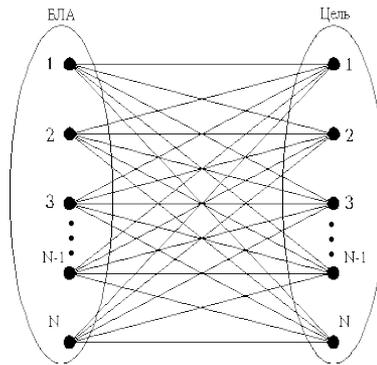
ППМ3: $x = -17, y = 81, \psi = 0.17.$

и т.д.

Задача о назначениях

Задача о назначениях

Суть задачи о назначениях - отыскать такую совокупность положений в новой формации (БЛА-Целевое положение), при которых суммарная длина переходов была бы минимальна.

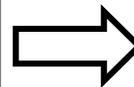


Полный двудольный граф переходов

Массив назначений

Клин	[1, 1] – 1
	[2, 2] – 2
	[3, 1] – 3
Колонна	[2, 3] – 1
	[2, 2] – 2
	[2, 1] – 3

1,1	1,2	1,3
2,1	2,2	2,3
3,1	3,2	3,3



1,1	1,2	1,3
2,1	2,2	2,3
3,1	3,2	3,3

1,1	1,2	1,3
2,1	2,2	2,3
3,1	3,2	3,3

Схема алгоритма согласованного перестроения

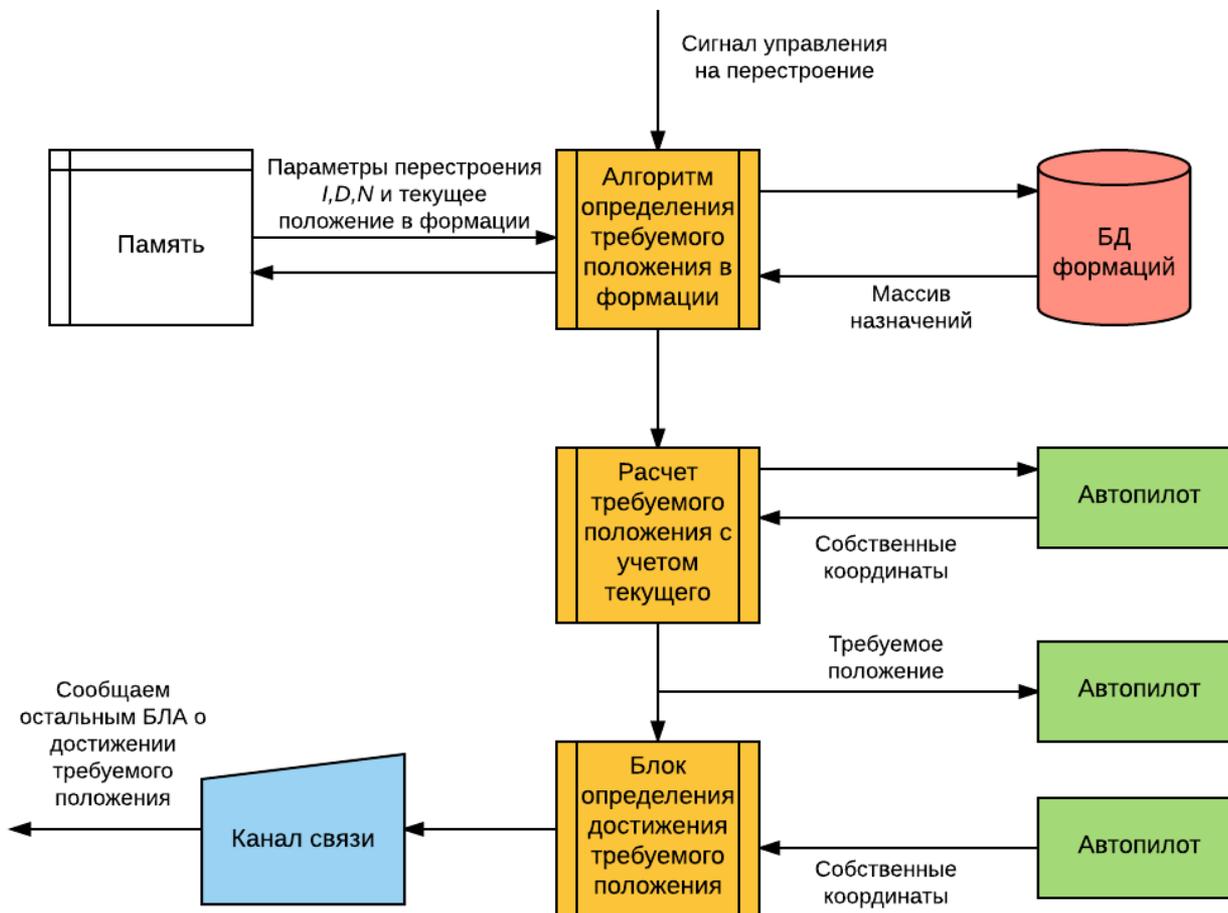
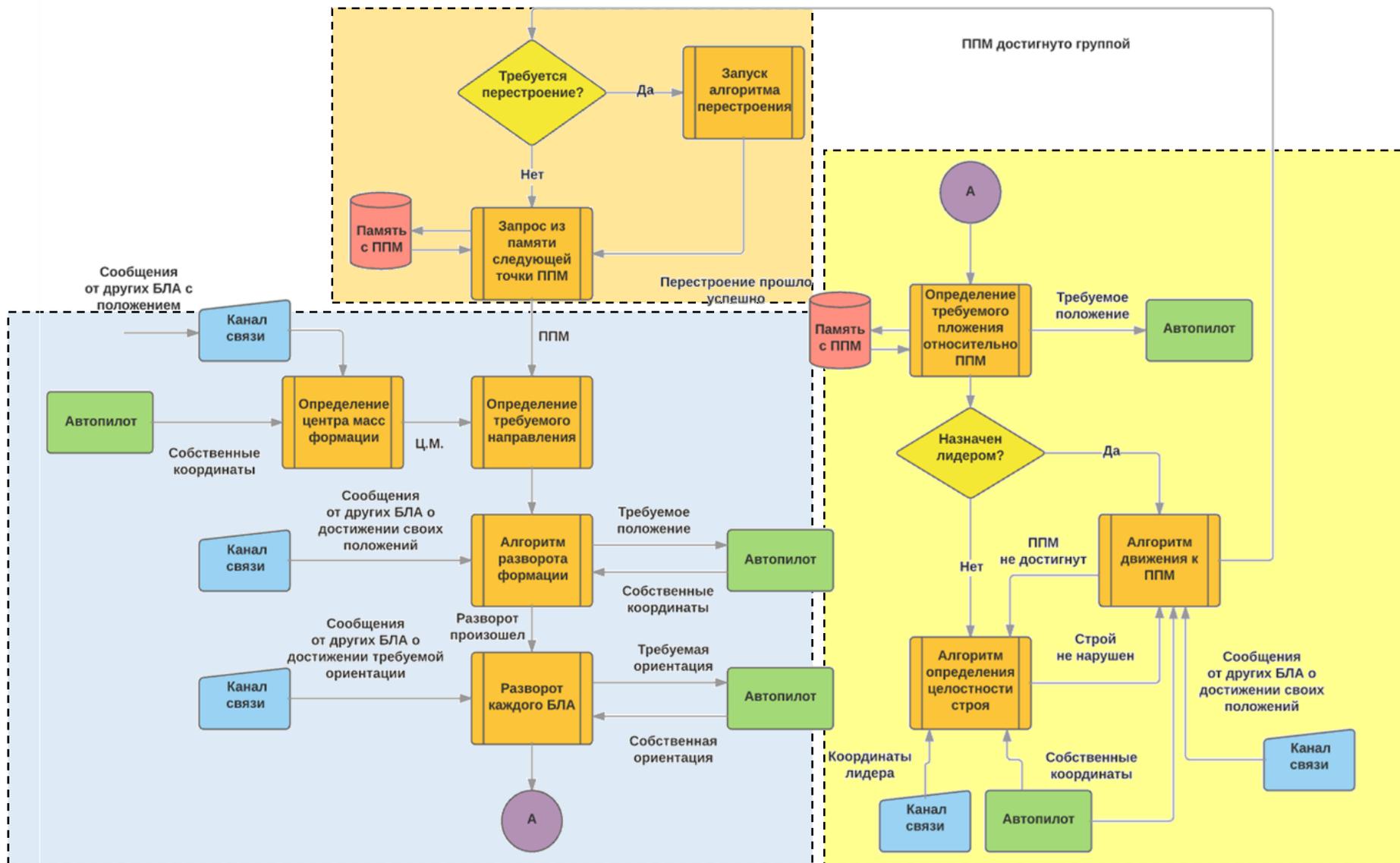
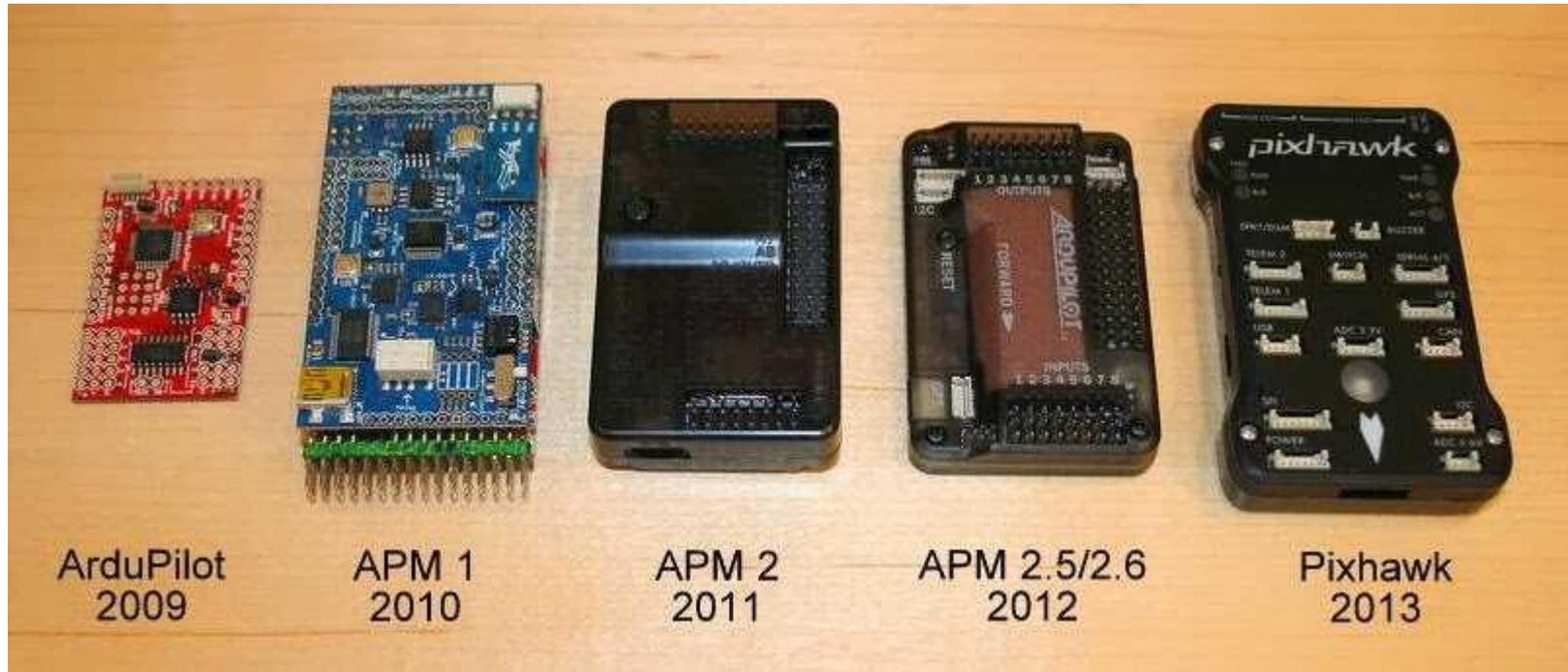


Схема алгоритма согласованного управления



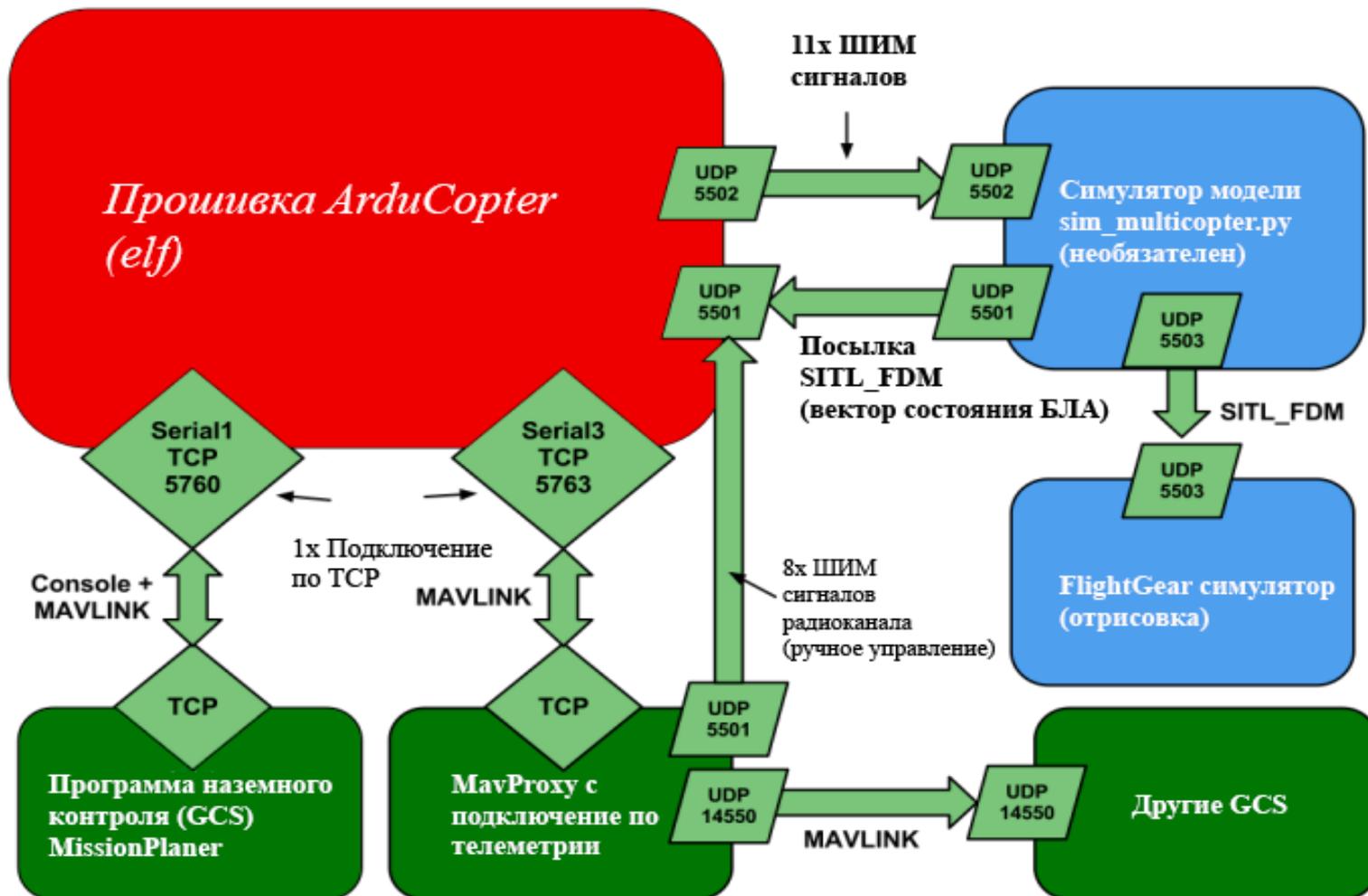
Автопилот Pixhawk



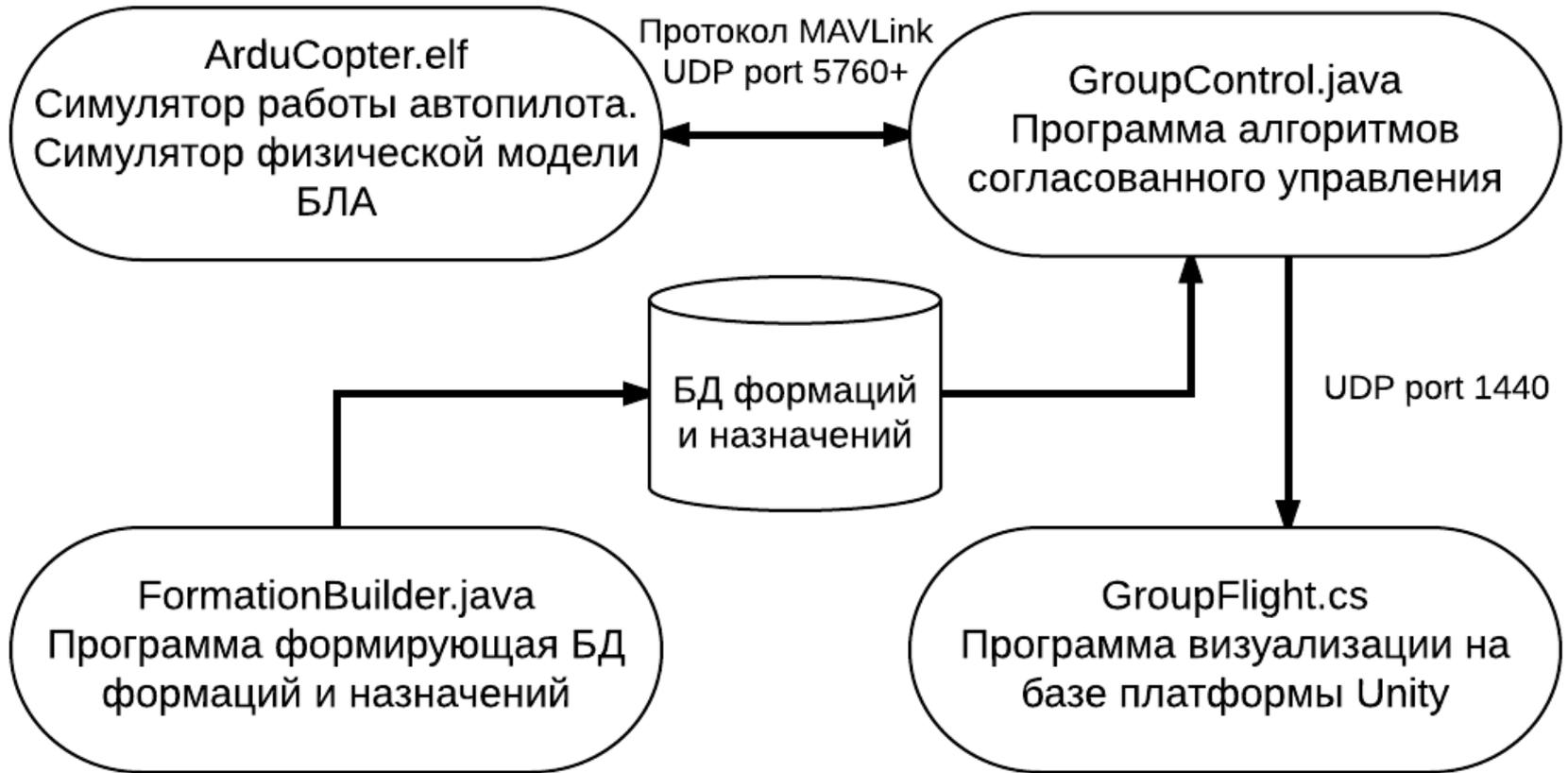
1. Исходный код прошивки автопилота: <https://github.com/ArduPilot/ardupilot>
2. Сайт разработчиков автопилота: <http://ardupilot.org/ardupilot/index.html>

Режим работы автопилота SITL

Архитектура SITL



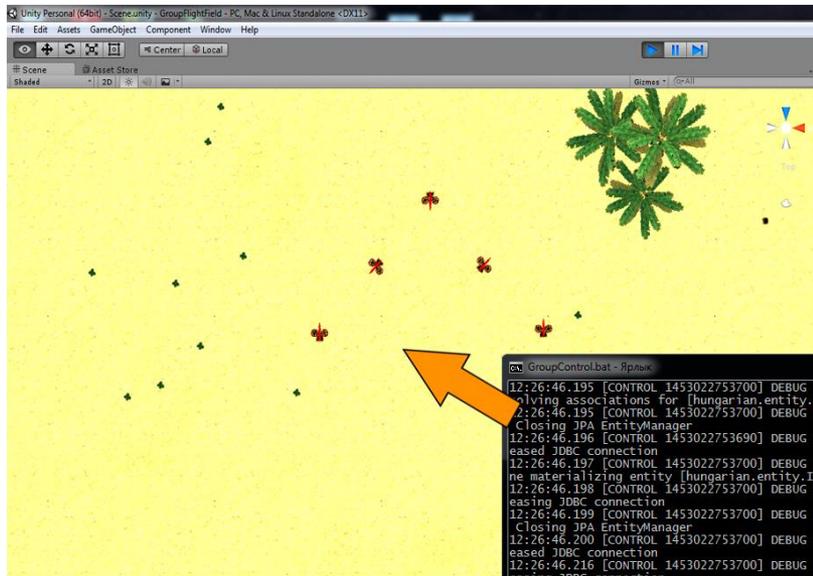
Структура разработанного ПО



Запуск программного комплекса

Визуализация работы на базе Unity

Симуляторы
Автопилота и
БЛА



ПО
Управления
группой

```
5  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 84  
HARDCODE target_NED_received  
HARDCODE payload 00000000022C808  
HARDCODE pos 0 vel 1 acc 1 mask 29176  
HARDCODE x -9.933719 y 0.092302 z -13.946002  
ax 0.000000 vx 0.000000 vz 0.000000  
ay 0.000000 az 0.000000  
yaw 0.000000 yaw_rate 0.000000 mask 29176  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0
```

```
4  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 84  
HARDCODE target_NED_received  
HARDCODE payload 00000000022C808  
HARDCODE pos 0 vel 1 acc 1 mask 29176  
HARDCODE x -4.933719 y 0.092302 z -13.946002  
ax 0.000000 vx 0.000000 vz 0.000000  
ay 0.000000 az 0.000000  
yaw 0.000000 yaw_rate 0.000000 mask 29176  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0
```

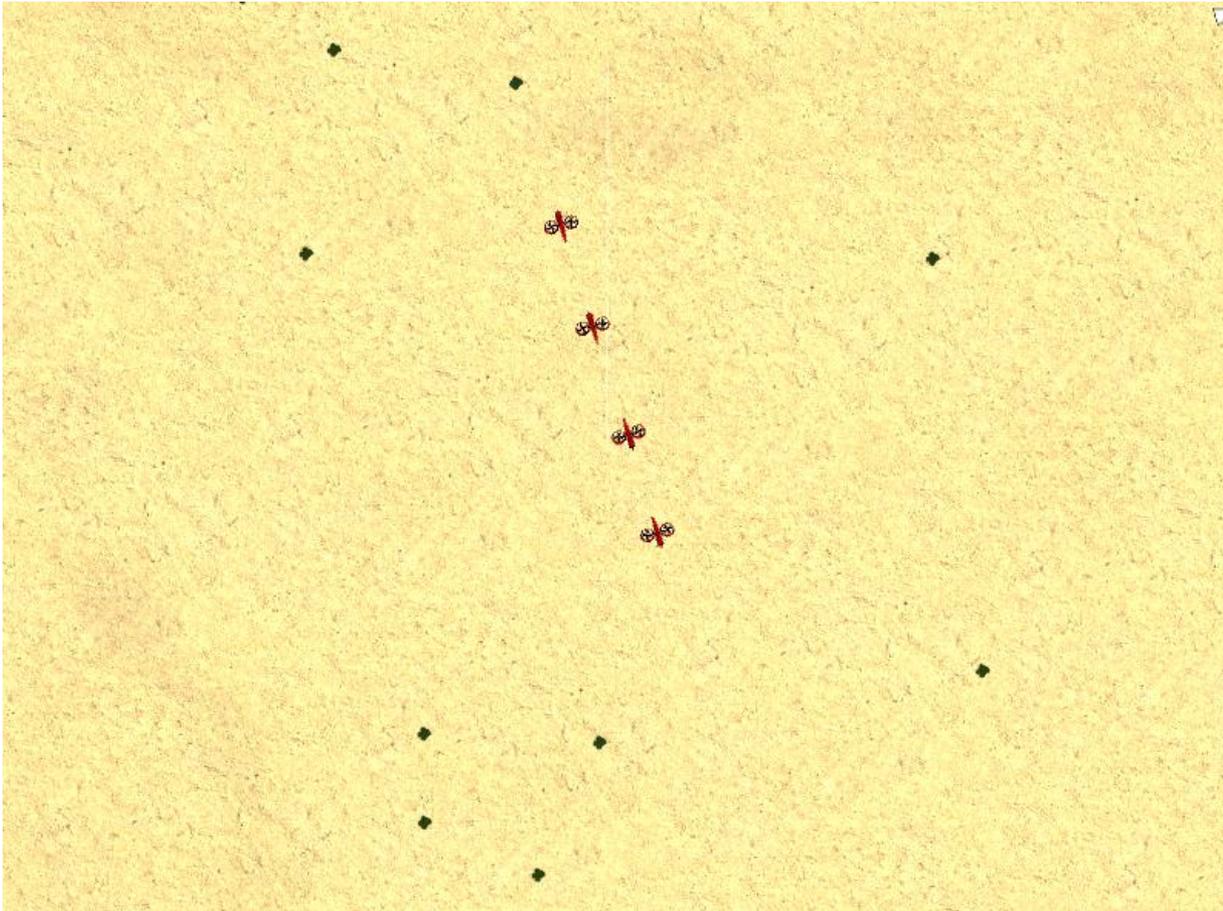
```
GroupControl.bat - Ярлык  
12:26:46.195 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.engine.internal.TwoPhaseLoad - Re  
solving associations for [hungarian.entity.InitPositionEntity#хххуу5]  
12:26:46.195 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.s.o.jpa.EntityManagerFactoryUtils -  
Closing JPA EntityManager  
12:26:46.196 [CONTROL 1453022753690] DEBUG o.h.e.j.i.LogicalConnectionImpl - Re  
leased JDBC connection  
12:26:46.197 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.engine.internal.TwoPhaseLoad - Do  
ne materializing entity [hungarian.entity.InitPositionEntity#хххуу5]  
12:26:46.198 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.e.j.i.LogicalConnectionImpl - Re  
leased JDBC connection  
12:26:46.199 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.s.o.jpa.EntityManagerFactoryUtils -  
Closing JPA EntityManager  
12:26:46.200 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.e.j.i.LogicalConnectionImpl - Re  
leased JDBC connection  
12:26:46.216 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.e.j.i.LogicalConnectionImpl - Re  
leased JDBC connection  
12:26:46.237 [CONTROL 1453022753700] DEBUG o.h.e.j.i.LogicalConnectionImpl - Re  
leased JDBC connection  
4 START mavlink.control.commands.FlightToFormationCommand83757d110  
3 START mavlink.control.commands.FlightToFormationCommand87a1f7104  
2 START mavlink.control.commands.FlightToFormationCommand830818ca  
1 START mavlink.control.commands.FlightToFormationCommand85ca92caf  
2 DONE mavlink.control.commands.FlightToFormationCommand830818ca
```

```
1  
/cygdrive/e/workspace/ardupilot/our/ArduCopter  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 84  
HARDCODE target_NED_received  
HARDCODE payload 00000000022C808  
HARDCODE pos 0 vel 1 acc 1 mask 29176  
HARDCODE x 10.066281 y 0.092302 z -13.946002  
ax 0.000000 vx 0.000000 vz 0.000000  
ay 0.000000 az 0.000000  
yaw 0.000000 yaw_rate 0.000000 mask 29176  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0
```

```
2  
/cygdrive/e/workspace/ardupilot/our/ArduCopter  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 84  
HARDCODE target_NED_received  
HARDCODE payload 00000000022C808  
HARDCODE pos 0 vel 1 acc 1 mask 29176  
HARDCODE x 5.066281 y 0.092302 z -13.946002  
ax 0.000000 vx 0.000000 vz 0.000000  
ay 0.000000 az 0.000000  
yaw 0.000000 yaw_rate 0.000000 mask 29176  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0
```

```
3  
/cygdrive/e/workspace/ardupilot/our/ArduCopter  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 84  
HARDCODE target_NED_received  
HARDCODE payload 00000000022C808  
HARDCODE pos 0 vel 1 acc 1 mask 29176  
HARDCODE x 0.066281 y 0.092302 z -13.946002  
ax 0.000000 vx 0.000000 vz 0.000000  
ay 0.000000 az 0.000000  
yaw 0.000000 yaw_rate 0.000000 mask 29176  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0  
HARDCODE RECEIVED id 0
```

Результаты для 4 БЛА



Миссия:

1. Начальное построение «Колонна»;
2. Сменить формацию на «Клин»;
3. Первая точка ППМ
 $X = 0, Y = 50$;
4. Сменить формацию на «Колонна»;
5. Вторая точка ППМ
 $X = 50, Y = 50$;
6. Сменить формацию на «Фронт»;
7. Третья точка ППМ
 $X = 50, Y = 0$;
8. Сменить формацию на «Ромб»;
9. Четвертая точка ППМ
 $X = 0, Y = 0$;

Выводы

- 1. Предложена модель математического описания строя;**
- 2. Разработан алгоритм согласованного перестроения БЛА в составе группы;**
- 3. Разработан программный комплекс, реализующий предложенные алгоритмы, и работающий на базе полетного контроллера PixHawk;**
- 4. Проведено компьютерное моделирование работы алгоритма, которые показали работоспособность предложенных алгоритмов.**