

Краевая научно-практическая конференция учебно-исследовательских работ
учащихся 6-11 классов «Прикладные и фундаментальные вопросы
математики и физики»

Математическое моделирование

Разработка командного взаимодействия военных БПЛА

Долгирев Владислав Дмитриевич,
11 кл., МБОУ «Лицей №1»,
Грибов Дмитрий Сергеевич
учитель физики

Пермь, 2017.

Оглавление

Введение	3
Теоретическая часть.....	6
Практическая часть	10
Приложения	14
Список литературы.....	19

Введение

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, дрон, беспилотник) – летательный аппарат без экипажа на борту. Обладают разной степенью автономности: от дистанционно управляемых до полностью автоматических. Также различаются по конструкции и ряду других параметров.

БПЛА предназначены для различных целей, но больше всего страны интересуются военными БПЛА. Заинтересованность в БПЛА складывалась исторически.

1933 год стал родоначальником всех дальнейших разработок. Именно в этот год, силами инженеров из Великобритании был разработан первый БПЛА, который был ещё и многократного использования. Проект получил название DH.82В «Queen Bee». Управлялся дистанционно с корабля. Использовался вплоть до 1943 года.

Мимо подобного новшества не смогли пройти мимо ни Германия, ни СССР, ни США. Так, Германия использовала управляемые бомбы Henschel Hs.293 и управляемые ракеты «Fritz X», которые успешно показали себя во время боевых действий в Средиземном море, однако они не пошли в массовое производство. В серийное производство пошли «самолёты-снаряды» «Фау-1».

США пошли по стопам Великобритании и запустили в массовое производство беспилотники «Radioplane QQ-2», которые использовали как самолёты-мишени. Более того, за время Второй Мировой, фирма Radioplane создала для ВВС США почти 15 тысяч подобных БПЛА, в том числе модели QQ-3 и QQ-14. Однако наиболее успешной разработкой США можно считать беспилотный ударный бомбардировщик Interstate TDR-1, который сравним лишь с Фау-1 и может считаться первым в мире беспилотным летательным аппаратом подобного типа и специализации. По 1944 год было выпущено несколько модификаций TDR-1: XTDR-1, TDR-1, XTD2R-1, XTD3R-1, XTD3R-2, TD3R-1. Однако, несмотря на обилие модификаций, в серийный выпуск попали лишь сам TDR-1 – более 180 штук и TD3R-1 – заказ в 40 штук, который, впрочем, позже был отменен.

Несмотря на то, что после Второй Мировой войны БПЛА так или иначе активно использовались лишь США и СССР, на данный момент ведущим лидером в разработке и применении беспилотников считается именно США. Достаточно сказать лишь то, что в 2012 году беспилотные летательные аппараты, состоявшие на вооружении ВВС США, составили 7494 штук, в то

время как пилотируемых аппаратов насчитывается почти 11 тысяч. Самыми известными беспилотными аппаратами считаются RQ-1 «Predator» и RQ-4 «Global Hawk»

В данный момент по значимости развития технологий в данной сфере необходимо отметить не только США, но и Россию, Израиль, а так же Великобританию, расширившую свой парк беспилотных летательных аппаратов в марте 2014 года.

В данный момент военные доктрины многих стран, которые имеют беспилотники, подразумевают их использование в качестве разведчиков или штурмовиков, которые могут нести с собой ракеты с ГСН (Головка Самонаведения) или бомбы. Отметим плюсы и минусы использования беспилотников:

Преимущества над обычными ЛА:

- Низкая стоимость производства. Производство одного военного БПЛА стоит \$4,03 млн. (RQ-1 «Predator»), в то время как полноценный самолёт стоит \$146,3 млн. (F/A-22 «Raptor»).
- Меньший расход топлива. RQ-4 «Global Hawk» может летать в радиусе 4445 км., при объёме топлива всего 8439 л. топлива. Для сравнения, F/A-22 «Raptor» летает на расстояние 2960 км.(Дальность с ПТБ(Подвесной Топливный Бак)), при объёме топлива 10512 л.
- Быстрое обучение операторов
- Высокая мобильность
- Данные отправляются в режиме реального времени
- Можно пожертвовать ради боевой задачи
- Уменьшение лётной эксплуатации в мирный период

Теперь рассмотрим недостатки:

- Низкая гибкость применения
- Высокая уязвимость систем связи
- Удручающие ЛТХ
- Низкая надёжность

В настоящее время конструкторские бюро пытаются создать полностью автономный БПЛА, способный выполнять задания без оператора: долетать до назначенной точки, распознавать и уничтожать цель, возвращаться. Во время разработки, конструктора столкнулись с проблемой – высокая уязвимость перед стандартными ЛА, при боевом столкновении, а также невозможность полёта на сверхнизких высотах. Но если вторая проблема решается быстрыми темпами, то первая проблема решается с трудом. Также авиапромышленность столкнулась с необычной проблемой: конструкции современных самолётов выдерживают перегрузку в 27G, в то время как обычный пилот выдерживает перегрузку в 7G, а наиболее подготовленный в 11G. Таким образом, можно сказать, что самолёты не используются в полную силу.

В конечном итоге, КБ пришли к выводу, что необходимо создавать группы БПЛА, которые будут взаимодействовать между собой.

Теоретическая часть

Цель: Разработать систему взаимодействия дронов внутри роя.

Задачи:

1. Написать эффективную систему взаимодействия между БПЛА.
2. Визуализировать полученную систему.
3. Провести численные испытания, для анализа эффективности данной системы.

Дроны могут выполнять множество задач, если их для этого приспособить: уничтожение ПВО или ПРО противника, перехват крылатых ракет, истребителей, ударных самолётов, бомбардировщиков и т.д. Эскадрилья дронов, содержащая разные типы БПЛА, может выполнять целые операции. Ниже приведена эскадрилья из следующих дронов:

- Разведывательный БПЛА
- Ударный (Штурмовой) БПЛА
- БПЛА превосходства в воздухе
- БПЛА с РЭБ

Ниже приведён примерный сценарий атаки на вражеское укрепление, состоящее из ПВО, танковых и пехотных соединений:

1. Разведывательные БПЛА, БПЛА превосходства в воздухе и БПЛА с РЭБ следуют к условной вражеской позиции.
2. Разведывательные БПЛА сканируют местность. С помощью тепловизора или иного прибора они получают данные о вражеских единицах: их кол-во, расположение, тип - путём картографирования местности они получают ландшафт данной местности.
3. БПЛА с РЭБ создают помехи для ПВО противника, а также получают их координаты.
4. БПЛА превосходства в воздухе, тем временем, охраняют остальных дронов от налёта вражеских истребителей.
5. Получив координаты ПВО, Ударные БПЛА выпускают ракеты, которые уничтожают ПВО.
6. Расчистив себе путь и устранив все возможные угрозы, Ударные БПЛА начинают атаку на наземные единицы.

Таким образом, эскадрилья БПЛА может выполнять сложные боевые задачи по ликвидации.

Перед военными встал вопрос: что делать, если ПВО будет очень много? Несмотря на дешевизну дронов, стоит избегать их потерь. Поэтому конструкторы из США рассмотрели создание роя дронов для подавления средств воздушной обороны.

Министерство обороны США проводит испытания роя беспилотников, предназначенных для радиоэлектронного и огневого подавления вражеских средств ПВО и ударов по позиционным районам наступательного оружия вероятного противника. Об этом заявил руководитель некогда одного из самых секретных подразделений Пентагона, управления стратегических возможностей - Уильям Ропер. «Они одноразового действия, летят на предельно малых высотах и могут быть использованы в том числе и как средство разведки. Вы можете иметь множество этих мини-беспилотников, причем ровно столько, сколько вам необходимо для выполнения боевой задачи в данном конкретном случае. Большое количество БЛА создает немалые преимущества перед противником. Он будет вынужден вкладывать в свою оборону гораздо больше средств и времени, чтобы надежно защитить себя от подобных роев», — объяснил Ропер.

Уильям Ропер уточнил: малоразмерные дроны могут быть без затруднений запущены с борта самолета-носителя.

Такие машины могут находиться в некоем подобии кассеты на борту истребителя или бомбардировщика и отправляться пилотом на выполнение боевой задачи одним нажатием кнопки. На многочисленных испытаниях в качестве носителей роя используются самолеты F-16 и F/A-18.

В США несколькими заинтересованными структурами организованы работы в данной области. В качестве примера можно привести программу LOCUST управления военно-морских исследований (ONR), а также проект агентства DARPA Gremlins.

Проект Gremlins, названный так в честь вымышленных существ — гремлинов, предполагает создание небольших беспилотных летательных аппаратов, способных объединяться в стаи и совместно выполнять различные задания. Предполагается, что «гремлинов» будут запускать с бомбардировщиков B-52 Stratofortress и B-1B Lancer и транспортных самолетов C-130 Hercules/Super Hercules с высоты 12,2 тысячи метров.

Пока речь идёт о ведении ими разведки и радиоэлектронном подавлении целей. Они будут подлетать к объектам противника как можно ближе и при одновременном массовом применении «забивать» каналы ПВО.

Вопрос о боевом применении «гремлинов» на данном этапе не ставится (возможно, пока о нём открыто предпочитают не говорить). Выполнив свою миссию, «гремлин» должен возвратиться к носителю, где специальным оборудованием возвратится на борт самолёта-«матки».

Военные специалисты провели несколько сот симулированных испытаний с целью изучения того, как система ПВО/ПРО Aegis, дополненная шестью крупнокалиберными пулемётами, и два зенитных артиллерийских комплекса Phalanx отреагируют на внезапное нападение 5 – 10 беспилотников, атакующих военное судно с разных направлений. Из-за миниатюрного размера БПЛА радары даже в условиях хорошей видимости фиксировали их приближение лишь на крайне малом расстоянии: менее двух километров. При скорости беспилотников около 250 км/ч, максимальное время на удар после обнаружения цели радаром составляло 15 секунд. Системы радиоэлектронного подавления Aegis никаким образом не могли повлиять на систему управления БПЛА. По причине малого расстояния Aegis не мог атаковать обнаруженные цели при помощи ракет-перехватчиков или 127-мм пушки. Уничтожить дроны можно было только на близком расстоянии при помощи пулемётов и комплексов Phalanx.

Было подсчитано, что в среднем 2,8 из 8 дронов полностью «проскакивали» самую «продвинутую» оборону. После переориентировки систем на максимальное противодействие «рою» беспилотников – путём обновления сенсоров и увеличения числа комплексов Phalanx и пулемётов – приведённый выше показатель уменьшился до 1 из 8. Если количество атакующих БПЛА возрастёт до нескольких десятков, самые современные американские системы, при максимальной подготовке под эту конкретную задачу, уничтожат лишь около семи дронов – из числа первых, приблизившихся к кораблю.

Таким образом, для повышения эффективности выполнения задач, эскадрилья должна взаимодействовать с данным роем БПЛА.

Бой между дронами имеет некоторые особенности. В этом случае есть несколько факторов, которые будут существенно влиять на исход сражения:

- БПЛА должен иметь более быстросействующую программу, чем у противника.
- Он должен знать приёмы высшего пилотажа, а также знать методы противодействия оным.
- Эскадрилья беспилотников должна иметь более совершенное командное взаимодействие, чем у противника.

В конечном итоге, складываются следующие требования к эскадрилье БПЛА, чтобы она смогла гарантированно уничтожить любого условного противника:

- Характеристики БПЛА должны соответствовать характеристикам обычным самолётов.
- Код программы ИИ беспилотника должен быть быстрым.
- У эскадрильи должно быть хорошее командное взаимодействие.
- БПЛА должны иметь хорошие вооружение.
- Дроны должны иметь хорошие РЛС, а также средства РЭБ.

Практическая часть

Практическая часть будет представлять из себя визуализацию командной системы. Данная визуализация будет выполняться в игровой среде разработки Unity на языке C#.

Существует несколько подходов формирования роя: нисходящий и восходящий. Восходящий подразумевает формирование роя из множества отдельных БПЛА в одну большую группу. В данном подходе один дрон взаимодействует со всеми. Нисходящий подход работает иначе: целый рой делится на более мелкие структурные единицы (*Приложение 2*). Дроны взаимодействуют между собой только внутри данных структурных единиц (*Приложение 1*).

У восходящего подхода есть ряд проблем. Во-первых, отсутствует возможность гибкого использования тактик, что очень сильно может отразиться на боевой эффективности роя. Во-вторых, взаимодействие одного дрона с целым роем может негативно сказаться на быстродействии искусственного интеллекта беспилотника, что повлечёт за собой снижение боевой эффективности. В-третьих, примитивность выполняемых задач. В-четвёртых, системе будет крайне сложно взаимодействовать со всеми беспилотниками одновременно. В итоге, восходящий подход не подходит для создания роя БПЛА.

Принцип нисходящего подхода заключается в том, что целый рой делится на более мелкие структурные единицы, называемые звеньями. Как правило, звено включает в себя до 8 боевых единиц. Это позволит снизить нагрузку не только на саму систему, но и на ИИ дрона. Деление на звенья даёт возможность использования разнообразных тактик. Дрону необходимо будет взаимодействовать только с теми беспилотниками, которые находятся внутри звена. Также, управление более малыми структурными единицами намного проще, чем управление каждым дроном в отдельности. Исходя из этого, звено будет выполнять задания эффективнее, чем если бы эту задачу выполнял целый рой.

Исходя из выше сказанного, нисходящий подход имеет существенные преимущества перед восходящим подходам.

Командная система представляет из себя виртуальную сеть. Сеть выступает в роли как центра управления, так и базы данных, в которой содержится информация о дронах. Роль центра управления она выполняет путём раздачи приказов беспилотникам. Из командного пункта поступает

приказ. Приказ обязательно содержит координаты боевой зоны, типы требуемых дронов (штурмовые, разведывательные, истребительные), тип задачи (разведка, уничтожение и т.д.), а также количество дронов, необходимых для выполнения задания. Приказ поступает в сеть. Сеть обрабатывает приказ и, на основе полученных данных, формирует первичную задачу (*Приложение 3*). Первичная задача – задача, предназначенная для всего авиакрыла. Далее, идёт формирование авиакрыла. Когда авиакрыло сформировалось, беспилотники вылетают в точку назначения. С самого начала формируются звенья из штурмовых БПЛА, в которые входят и БПЛА превосходства, для прикрытия, звенья из разведывательных БПЛА, с эскортом, и звенья из БПЛА превосходства.

Разведывательное звено вылетает раньше основной группы. При достижении пункта назначения, разведывательные БПЛА начинают поиск противников. Когда поиск заканчивается, дроны разведки отправляют полученные данные в сеть, которая, в свою очередь, выполняет обработку полученной информации и формирует вторичные задачи для каждого звена (*Приложение 4*). Вторичные задачи – задачи, предназначенные для звеньев. Стоит отметить, что вторичная задача, а также пройденный маршрут до боевой зоны, копируются в память БПЛА.

В бою могут возникнуть ситуации, когда звену нужна поддержка и необходим соответствующий запрос (*Приложение 5*). Тогда лидер начинает анализировать боевую обстановку, обращая внимание на следующие элементы:

- Тип противника (Модель самолёта противника, класс самолёта противника)
- Кол-во оставшихся ресурсов дронов, находящихся в данном звене (Кол-во боеприпасов, топлива и т.д.)
- Кол-во противников
- Вероятность уничтожения
- Тип угрозы (Полный расход ресурса, угроза уничтожения противником)

На основе данной информации, лидер формирует соответствующий запрос, который он отправляет в сеть. Запрос включает в себя кол-во требуемых дронов, тип требуемых дронов и ID звена. Сеть анализирует полученную информацию и расширяет соответствующее звено. Далее, свободному слоту ставится задача, соответствующая задаче дрона, похожего по типу, в звене. После, идёт поиск подходящего дрона. Если боевая

обстановка позволяет, то сеть может откреплять дроны от одного звена и закреплять их за другими.

При неспособности дрона продолжать бой, он покидает зону боевых действий и отправляется на базу.

Система командного взаимодействия, также, подразумевает и взаимодействие внутри звена. Данное взаимодействие можно разделить на два вида: взаимодействие между одинаковыми типами БПЛА и взаимодействие между разными типами БПЛА. Взаимодействие между разными типами подразумевает обмен информацией между дронами, а также прикрытие друг друга. Взаимодействие между одинаковыми типами БПЛА разное:

а) Разведывательные.

Разведывательные БПЛА взаимодействуют при сборе информации о локации противника и во время пребывания в режиме ППВО (Противо ПВО). Взаимодействие выражается в разделении зон, в которых будет проводится поиск, между разведывательными дронами.

б) Штурмовые.

Взаимодействие между Штурмовыми БПЛА выражается в распределении целей в данной зоне.

с) Истребительные.

Истребительные БПЛА взаимодействуют между собой во время атаки противника. Если противников больше, чем БПЛА в звене, то идёт распределение целей для каждого дрона. Если целей меньше, то звено делится на пары. Уничтожение противника в парах является наиболее эффективной тактикой, т.к. присутствует возможность для выполнения различных приёмов высшего пилотажа и тактик ведения воздушного боя в парах.

Командная система, также, подразумевает взаимодействие во время радиоэлектронных помех (*Приложение б*). При помехах дроны теряют связь с сетью, но, несмотря на это, они выполняют текущую задачу до конца. Тогда в дело вступают резервные способы связи. Дроны начинают собираться все вместе и распределяться так, чтобы в звене был хотя бы один разведывательный БПЛА. Во время действия помех разведывательные дроны начинают поиск источника помех. При его обнаружении они либо отдают соответствующий приказ штурмовым дронам, либо сами уничтожают источник средствами ППВО. Чтобы избежать конфликтов сети с дронами после переподключения, сеть очищает слоты в звеньях.

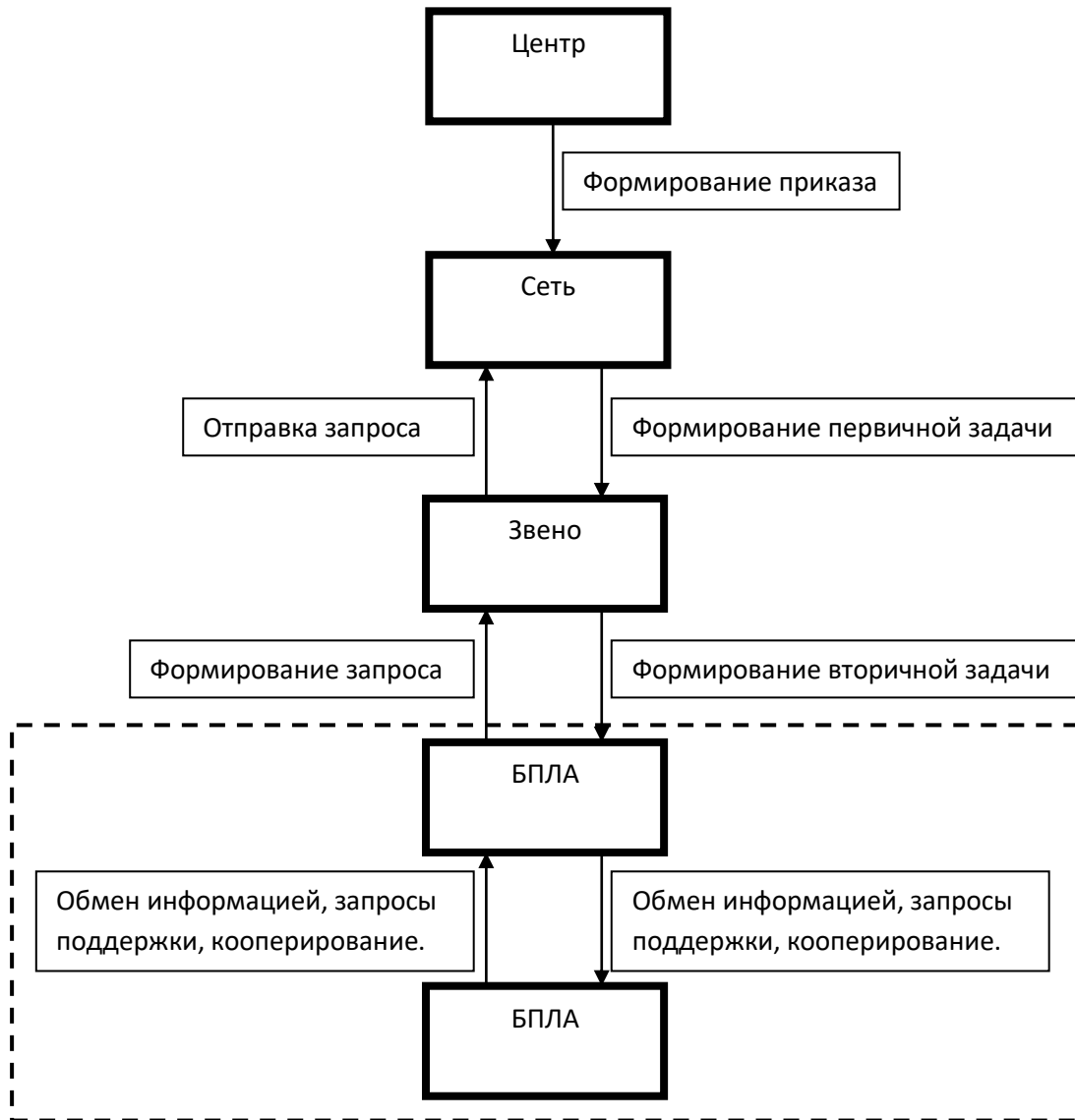
В визуализации будут реализованы основные алгоритмы ИИ для БПЛА, а также само моделирование системы, и будет представлять из себя моделирование боевой ситуации. В самой визуализации будут некоторые упрощения:

- Использование упрощённой физической модели.
- БПЛА без труда опознаёт противника и определяет его тип.
- В памяти БПЛА присутствует карта боевой зоны.
- У БПЛА есть резервные средства связи на случай радиопомех.
- Присутствует готовый ИИ.

В рамках игровой среды, сеть будет представлять из себя автономный объект. Звено будет является экземпляром производного класса от базового класса «Сеть». Взаимодействие между ними будет выполняться путём отправки сообщения одним из объектов другому. Дроны будут также являться автономными объектами. Они будут взаимодействовать между другими БПЛА и звеном аналогичным путём.

Приложения

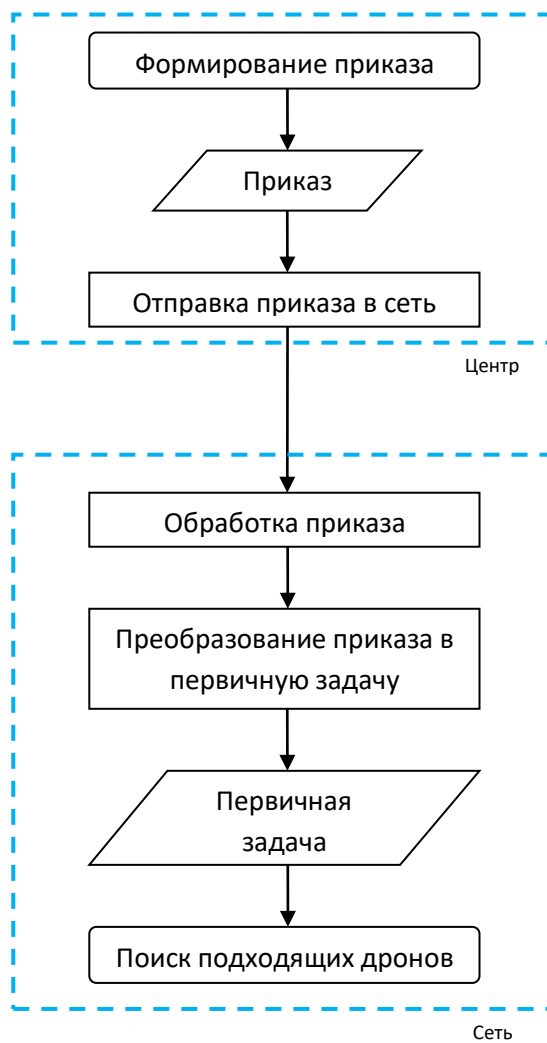
Приложение 1: Схема связи внутри авиакрыла.



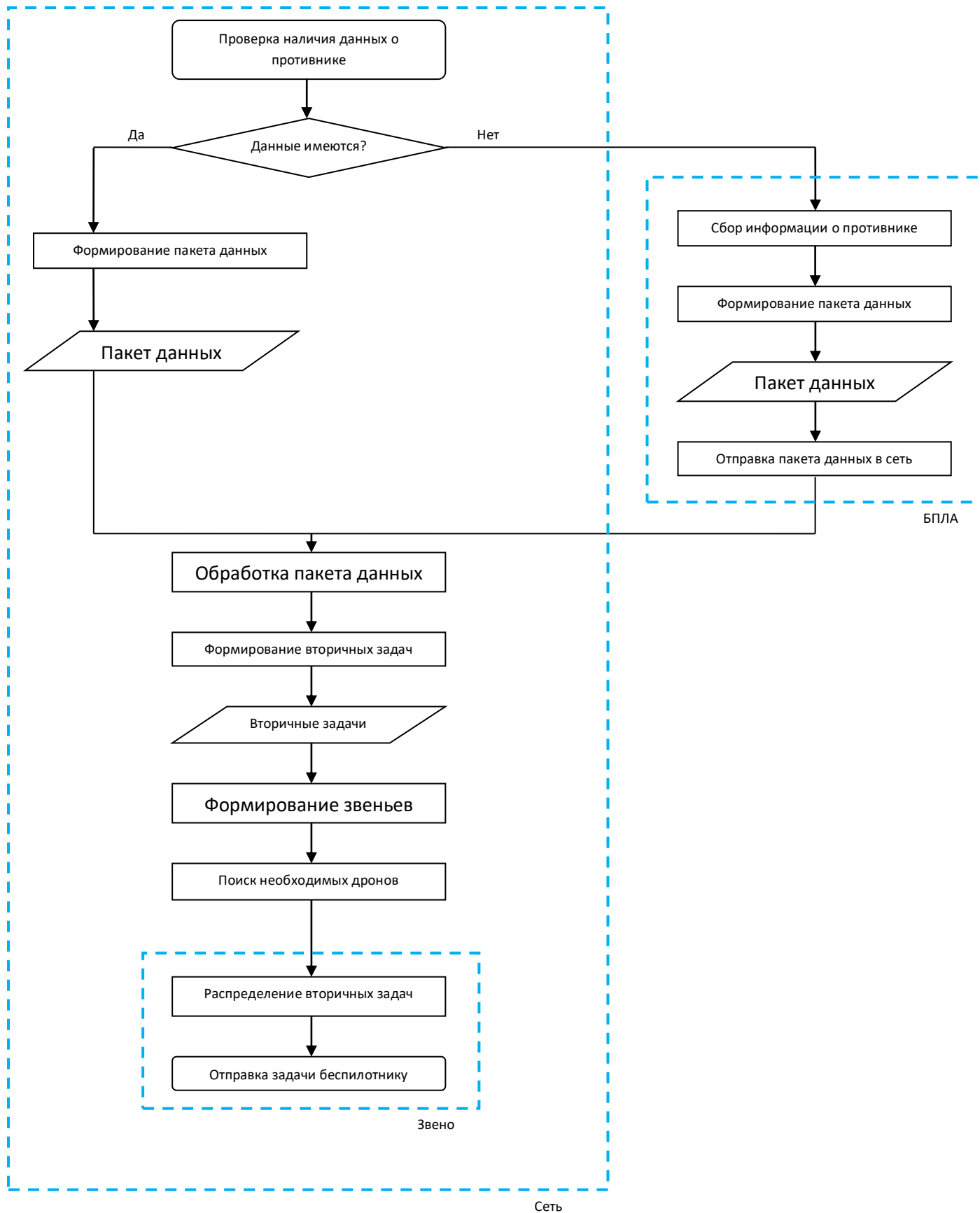
Приложение 2: Структура роя.



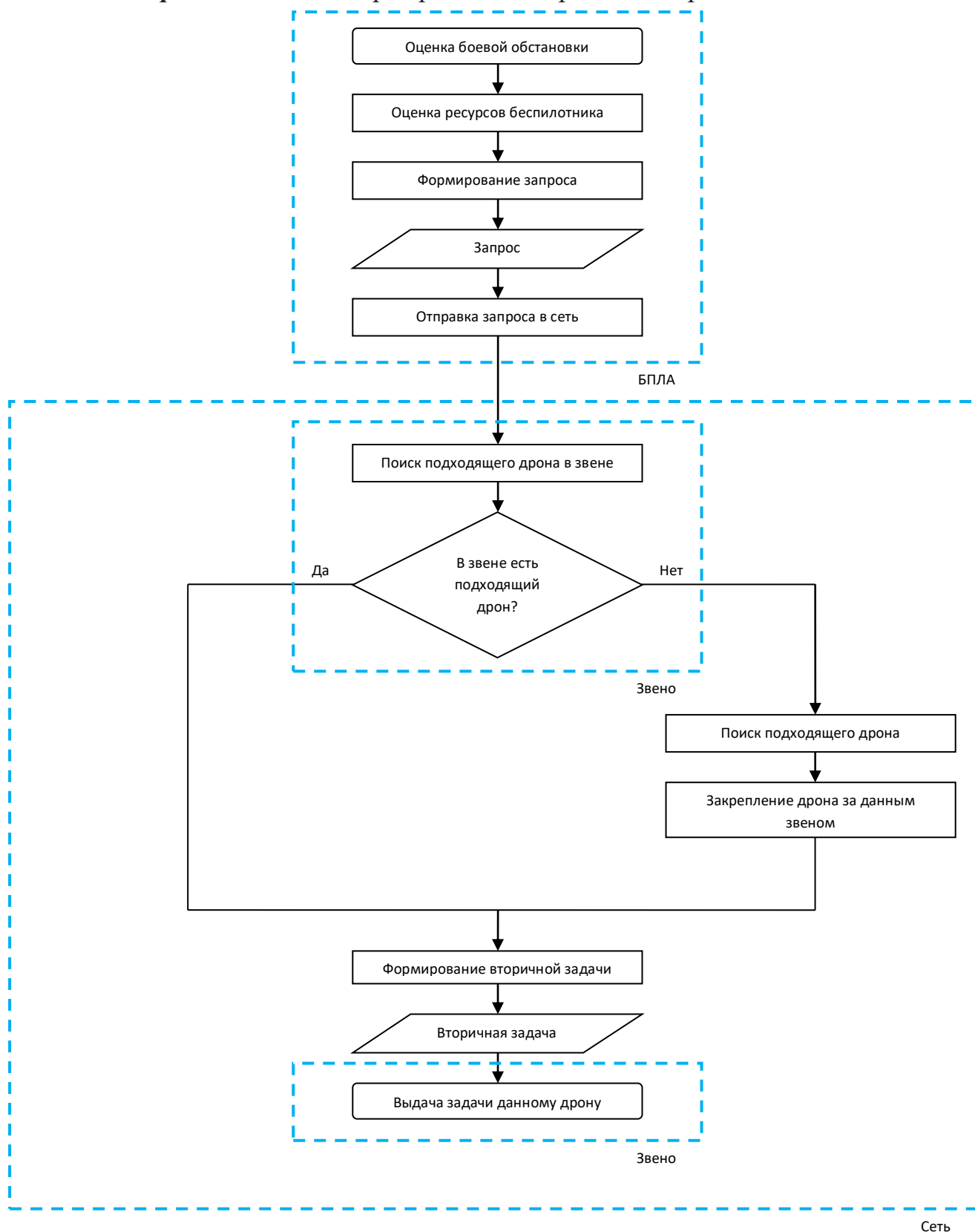
Приложение 3: Формирование первичной задачи.



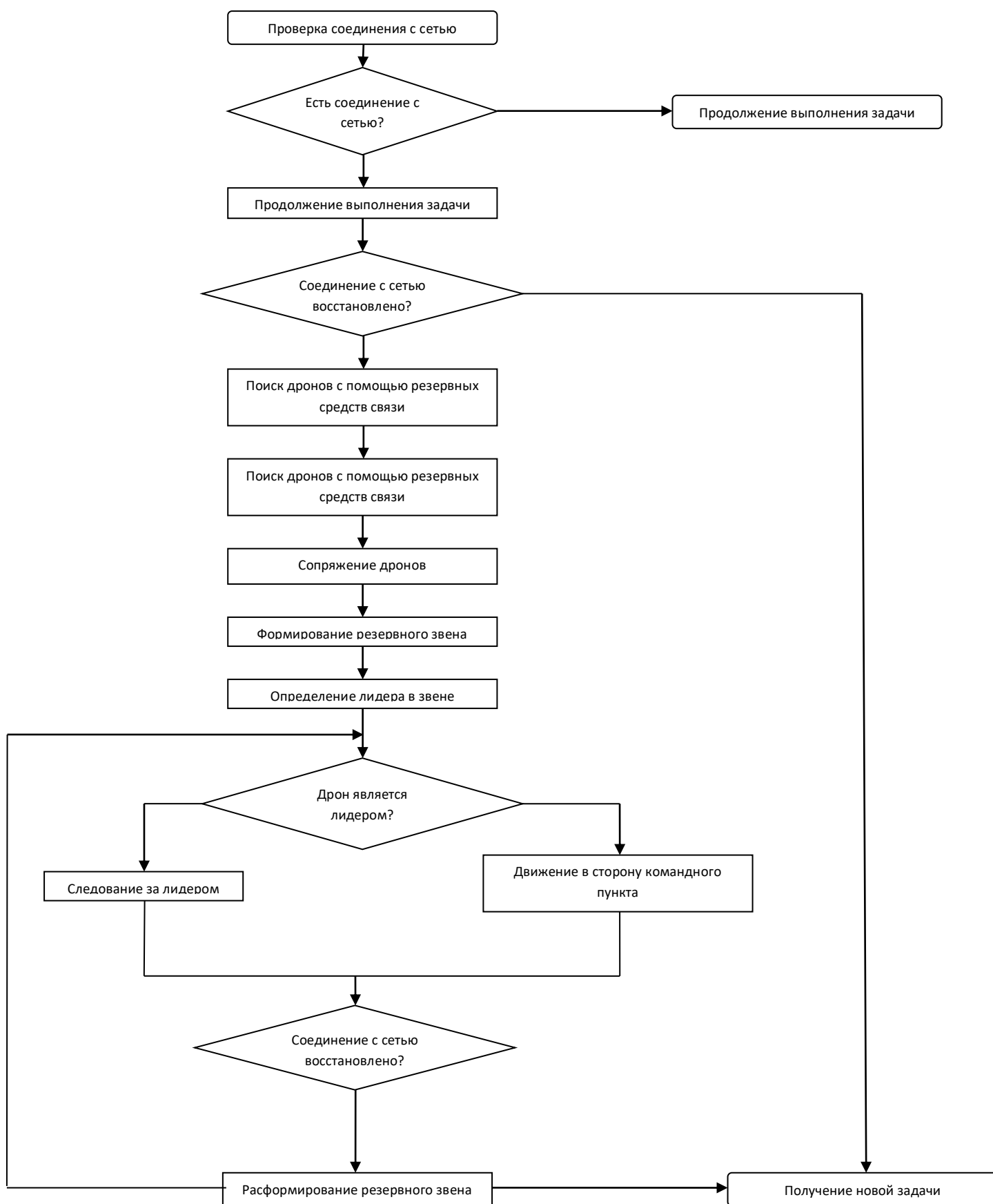
Приложение 4: Формирование вторичной задачи.



Приложение 5: Формирование запроса поддержки.



Приложение 6: Поведение дронов при радиопомехах.



Список литературы

- <http://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerial-vehicles/> - История развития беспилотных летательных аппаратов
- <http://avia.pro/blog/bespilotnye-letatelnye-apparaty-drony-istoriya> - Беспилотные летательные аппараты
- https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_in_World_War_I - Авиация Первой Мировой Войны
- https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_aviation - История авиации
- https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle - Беспилотные летательные аппараты
- <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/bespilotnye-letatelnye-apparaty/> - Беспилотные летательные аппараты
- <http://www.computerra.ru/70714/uav-types-n-tactic/> - Боевое применение БПЛА
- <http://www.dogswar.ru/forum/viewtopic.php?f=6&t=1548> – Боевое применение БПЛА
- <https://topwar.ru/27536-boevoe-primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov.html> - Боевое применение БПЛА
- https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence - Роевой интеллект
- <http://cezarium.com/swarm-of-drones/> - Рой дронов Пентагона
- <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/> - Теория алгоритма A*
- <http://www.airwar.ru/> - Авиационный справочник