**1)** При использовании групп БПЛА возникает множество сложнейших задач. Одна из которых – обеспечение радиосвязи внутри группы и группы с наземным пунктом управления. Классическим решением является использование централизованных иерархических стратегий управления, при которых связь с центральным устройством управления есть у некоторых БПЛА, каждый из которых передает команды аппаратам своей подгруппы. Наличие ключевых элементов группы, а также необходимость их постоянной связи с пунктом управления является проблемой.

В настоящей работе была поставлена цель разработать прототип децентрализованной системы связи группы БПЛА для передачи управляющих команд, не имеющую ключевых недостатков классических систем и удовлетворяющую следующим требованиям:

**Слайд**

Для того чтобы решить поставленную задачу можно прибегнуть к методам «роевого интеллекта».

**3)** В группе БПЛА, взаимодействующей на основе роевого интеллекта, каждый аппарат осуществляет взаимодействие лишь с некоторыми, ближайшими к нему в данный момент, аппаратами.

Энергозатратная связь с пунктом управления осуществляется лишь изредка, и, не всеми аппаратами группы, лишь для того, чтобы получить информацию о задачах, стоящих перед группой, и для того чтобы передать отчетную информацию о группе и ходе выполнения поставленной задачи.

Для соответствия основным требованиям, которые были представлены на предыдущем слайде, было принято решение использовать маломощные передатчики для организации связи внутри группы и мощного передатчика для связи с базовой станцией.

Следовательно, необходимо иметь по 2 приемопередатчика на борту каждого БПЛА. Один будет отвечать за связь отдельно взятого агента с другими БЛПА внутри группы, второй будет отвечать за связь группы с базовой станцией.

**4)** Частичным решением проблемы энергоэффективности является дифференцированный (по оптимальным условиям обеспечения радиосвязи) доступ между агентами к использованию радиоканала для связи с базовой станцией. В свое время доступ к радиоканалу между всей группой и наземным комплексом управления также дифференцирован по времени. **Слайд.**

При организации связи внутри группы (которую мы рассмотрим в следующем слайде) каждый БПЛА получает необходимую информацию о состоянии других БПЛА и хранит в памяти своего микроконтроллера. **Слайд.**

Надежность и энергоэффективность работы системы управления обеспечивается тем, что в каждый момент времени каждый элемент группы обладает одинаковой полезной информацией. Следовательно, с точки зрения информативности, все равно какой БПЛА будет связываться с пунктом управления. Поэтому связываться будет тот агент, который находится в наиболее выгодном положении в смысле энергоэффективности.

Проведя анализ (анализ приведен в отчете), установим время доступа к радиоканалу для группы и пункта управления равное 0.1с. Такая частота взаимодействия обеспечивает достаточную информативность для определенного класса решаемых задач.

Осталось определить кто именно из группы будет производить информационный обмен с базовой станицей. Т.к. каждый элемент группы обладает минимально необходимой информацией об остальных участниках группы (в том числе и RSSI с БС), исходя из принципа наименьших энергозатрат, доступ будет получать тот, у кого уровень RSSI с БС больше всех, а если есть пара агентов с одинаковым RSSI, то тот, у кого меньше уникальный ID.

**5)** Внутри группы БПЛА общаются при помощи маломощного радиомодуля. Во избежание коллизий в этом радиоканале также используется дифференцированный доступ к эфиру.

Каждый БПЛА при необходимости (обновлении полезной информации или через определенный промежуток времени) отправляет сообщение в строго отведенное для него время, а затем переходит в режим приема и анализирует информацию от других агентов.

Рассчитав время (расчет приведен в отчете), Выделим для передачи сообщения каждому БПЛА 20мс, чего будет с запасом достаточно. Тогда временная шкала занятости рассматриваемого радиоканала примет вид. **Слайд.**

Основу алгоритма взаимодействия с пунктом управления составляет передача сводной таблицы, заполняемой при организации связи внутри группы.

Каждый раз когда базовая станция инициирует соединение с группой (или группа с БС), конечным агентом с которым установлена связь передаются данные таблицы. На основании этой таблицы оператор при помощи программно-математического обеспечения базовой станции принимает управленческие решения для всей группы.

Отдельного внимания заслуживает механизм распространения команд от базовой станции по всей группе. Т.к. широковещательный радиосигнал от БС группе в силу неконтролируемых причин может не дойти до некоторых агентов, каждый БПЛА, при общении внутри группы вместе с другими данными передает 3 последние команды и время их получения от базовой станции. Следовательно, конечный участник группы, приняв такое сообщение и сопоставив последнюю команду с той, которая выполняется им в текущий момент времени, при несоответствии принимает решение о выполнении новой команды.

**6)** Объединив вышесказанное, формализуем основную часть алгоритма группвого взаимодействия:

1. В главном цикле все время формируется и обновляется таблица о состоянии группы;
2. С учетом доступа к внутреннему радиоканалу и обновлении полезной информации отправляем широковещательные сообщения группе с необходимой информацией;
3. Если есть важная информация для БС: формируем эту информацию, смотрим у кого в группе самый высокий RSSI, если у текущего БПЛА, то ждем доступа к внешнему радиоканалу и отправляем информацию БС, если у другого БПЛА, то отсылаем сформированную информацию ему с определенными пометками.
4. Если у текущего БПЛА самый высокий RSSI и было принято важное сообщение для БС от другого БПЛА, то ждем доступа к внешнему радиоканалу и отправляем сообщение БС.
5. Если получено сообщение от БС и у нас самый высокий RSSI или при равных RSSI меньший ID, то отправляем подтверждение базовой станции.

Автономность, энергоэффективность, скрытность обеспечивается разработанным алгоритмом взаимодействия и наличием двух приемопередатчиков на борту каждого БПЛА, режимом молчания, в котором БПЛА подавляющую часть времени используют режим радиомолчания. Осталось обеспечить надежность и достоверность.

**7)** Для обеспечения надежности и достоверности информационной защищенности связи приняты следующие меры:

* Acknowledge – механизм подтверждения сообщений. Основан на том, что каждое адресованное сообщение должно быть подтверждено. При неподтверждении сообщении отправляется заново с учетом доступа к радиоканалу.
* Подсчет контрольной суммы сообщения. В данной работе был выбран алгоритм CRC.

С учетом всего вышесказанного, проведя анализ, была разработана следующая структура пакета. **(Слайд).**

Это все, что касается разработки алгоритма.

**8)** Для реализации разработанных алгоритмов было разработано программно-математическое обеспечение: . **(Слайд).**

**9)** Начнем по порядку: **(Слайд).**

**10)** Блок-схема алгоритма. В главном цикле на каждой итерации выполняется 3 основных ветки программы: **(Слайд).**

1. *Обработка входящих данных Serial порта*
2. *Обработка входящих данных*
3. *Обработка данных от GPS/ГЛОНАСС модуля*

**11)** ПМО модуля на борту БПЛА и его основные функции. **(Слайд).**

**12)** Блок-схема алгоритма. В главном цикле на каждой итерации выполняется 5 основных веток программы: . **(Слайд).**

1. *Обработка входящих данных внутреннего*
2. *Обработка входящих данных внешнего*
3. *Сформирована важная информация для группы*
4. *Сформирована важная информация для наземного*
5. *Обработка данных от GPS/ГЛОНАСС*

**13)** ПМО ПЭВМ оператора и его основные функции. **(Слайд).**

**14)** Интерфейс разработанного ПМО ПЭВМ. **(Слайд).** Данную программу рассмотрим подробнее чуть позже.

**15)** В свою очередь было разработано аппаратное обеспечение. Функциональная схема модуля на борту БПЛА. Тут стоит обратить на наличие двух радиомодулей **(Слайд).**

**16)** Функциональная схема устройство сопряжения.

**17)** На основе разработанных функциональных схем были разработаны следующие электрические принципиальные схемы **(Слайд).**

**18) (Слайд).**

**19)** На основе принципиальных электрических схем показанных ранее был разработан следующий вариант конструктивного исполнения. **(Слайд).**

**20) (Слайд).** Если кого-то заинтересовало, то более подробно описано в отчете.

**21)** Также была произведена отработка некоторых критических ситуаций: **(Слайд).**

**22)** Также был произведен оценочный расчет энергоэффективности разработанной системы: Воспользовавшись формулой Введенского для определения напряженности поля были посчитаны необходимые потребляемые мощности радиомодулей внутреннего и внешнего каналов для определенных условий. В классических системах связь происходит только с базовой станцией. В разработанной системе происходит разделение на внутренний и внешний канал. При чем по внутреннему каналу передается до 90% всех сообщений. Исходя из этого предположения, посчитав, получим выигрыш по энергоэффективности и автономности в 10 раз.

**23) (Слайд).**

**24)** Оценочный расчет скрытности. В классической системе информационный обмен происходит все время в радиусе 15км. Следовательно группа будет обнаружена в этом радиусе. В настоящей работе была разработана система, которая большую часть времени «светится» в радиусе 2км и лишь изредка задействуются мощные передатчики. Таким образом, посчитав, показатели скрытности улучшаются в 8.62 раза.

**25)** На этом описательная часть заканчивается. И если уважаемая ГАК не возражает, то я хотел бы продемонстрировать некоторые аспекты работы разработанной системы. Для этого была создана следующая ситуация. **(Слайд).**