**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».

**2)** 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.

**3)** 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 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 общаться 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.

**4)** 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.

Управленческим решением БС является формирование кода команды, который способен распознать любой участник группы (коды команд закладываются перед выполнением целевой задачи в энергонезависимую память).

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.

**5)** 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.

**6)** Вспомним требования, предъявляемые к создаваемой системе. **Слайд.** 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 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).**

**8) – 9)** Разработаны следующие функциональные схемы. Как правило, на каждом БПЛА необходимо иметь модуль СРНС, следовательно, рациональным решением будет производить синхронизацию бортовых часов по GPS/ГЛОНАСС.

**10)** На основании функциональных схем разработана принципиальная схема модуля на борту БПЛА

**11)** Вариант конструктивного исполнения.

**12) – 15)** На основе разработанных алгоритмов было разработано следующее программно-математическое обеспечение.