

Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «РГРТУ»

Факультет радиотехники и телекоммуникаций  
Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

### КУРСОВАЯ РАБОТА

по теме «Радиосистема управления беспилотными объектами»  
по дисциплине «Системы и сети связи с подвижными объектами»

Выполнил:  
ст. гр. 719  
Дудин П.А.

Проверил:  
доц. каф. ТОР  
Бакке А.В.

Рязань 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети ...</b>	<b>3</b>
1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы. Выделение основного и дополнительного видов информационного трафика, пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной (ТК) сетью услуг передачи данных. ....	3
1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети. ....	6
1.3. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика. ....	9
1.4. Пояснение функционального состава оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений. ....	10
<b>Список литературы и используемых источников.....</b>	<b>12</b>

## 1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети

### 1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы. Выделение основного и дополнительного видов информационного трафика, пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной (ТК) сетью услуг передачи данных.

#### 1.1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы.

В качестве прикладного решения в контексте данной темы рассматривается применение беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащенного модулем видеокамеры, в целях охраны протяженных территорий, путем аэросъемки.

В данной системе оператор (пилот) с помощью пульта управления (ПУ) имеет возможность пилотировать БПЛА, принимать с модуля видеокамеры БПЛА видеопоток в режиме реального времени и телеметрические данные летательного аппарата, при этом обеспечивается шифрование всего трафика в системе. Концепция сети представлена на рисунке 1.

Посредством приложения пульта управления осуществляется обработка принятого трафика видеоданных и вывод на дисплейный модуль картинки.

Под телеметрическими данными понимается информация, поступающая с датчиков, используемых на БПЛА. Примером таких датчиков являются: барометрический датчик, датчик визуального позиционирования, ультразвуковой датчик, вольтметр. Предполагается, что на летательном аппарате используется до восьми датчиков.



Рисунок 1 – концепция сети

#### 1.1.2. Выделение основного и дополнительного видов информационного трафика.

Выделим основной и дополнительный виды информационного трафика.

Основным видом информационного трафика, передаваемого операционной системой пользователя, в данной радиосистеме является трафик команд управления движением. Дополнительным видом – трафик служебных сообщений, необходимых для организации радиосоединения и поддержания работоспособности радиосистемы в целом. Служебные сообщения обеспечивают выполнение, например, задач аутентификации, авторизации в радиосети.

Основным видом информационного трафика, получаемого приложением пользователя, является трафик видеоданных, а дополнительным – трафик телеметрических и служебных сообщений, трафик сообщений (отчетов) о доставке команд управления.

*1.1.3. Пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной (ТК) сетью услуг передачи данных.*

Рассмотрим отношение «пользователь-сеть» с помощью анализа вида нарастающей детализации.

Первый уровень детализации (рис. 2) показывает логическое взаимодействие оператора и БПЛА: оператор отправляет команды управления беспилотным аппаратом, БПЛА отправляет видеопоток и данные телеметрии, а также служебные уведомления о доставке (исполнении) команд. Между оператором и БПЛА присутствует протокол обмена сетевыми сообщениями.



Рисунок 2 – первый уровень детализации

На втором уровне детализации (рис. 3) представлено оборудование и приложение оператора, необходимые для осуществления связи пилота и БПЛА. Оператор взаимодействует с пультом управления, БПЛА взаимодействует с контроллером управления. Между оборудованием устанавливается протокол обмена данными.

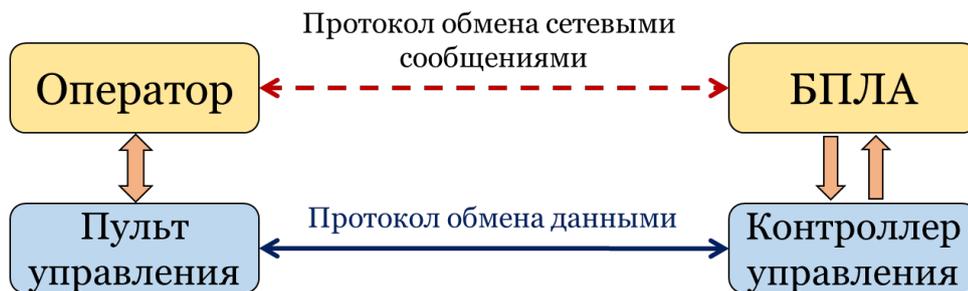


Рисунок 3 – второй уровень детализации

Третий уровень детализации (рис. 4) рассматривает службы, посредством которых взаимодействует оборудование. Служебный обмен поддерживается служебными сообщениями. Взаимодействие служб передачи и приема команд в прямом направлении осуществляет передачу команд управления на БПЛА от оператора, в обратном направлении – отправку сообщений (уведомлений) о получении и обработке команд.

Службы трансляции и приема видеотрафика обеспечивают предоставление оператору услуги получения видеопотока от БПЛА с выбранным качеством. Службы сбора и обработки телеметрии осуществляют передачу оператору телеметрических сообщений. Между службами устанавливаются протоколы взаимодействия служб.

Взаимодействие с службами осуществляется посредством операционных систем. За связь оператора и операционной системы отвечает удобный для использования человеком интерфейс. В свою очередь БПЛА связан с операционной системой посредством двух интерфейсов: интерфейса управления кинематикой (ИУК) и интерфейса видеомодуля (ИВ).

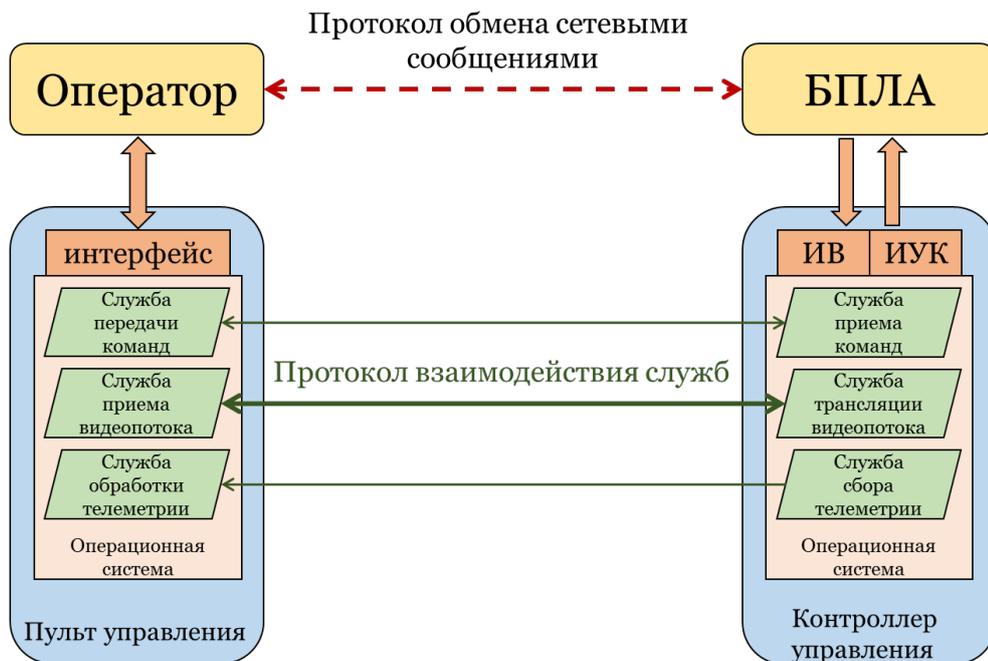


Рисунок 4 – третий уровень детализации

На четвёртом уровне детализации (рис. 5) учитывается физическая передача данных между сетевыми объектами. Взаимодействие организуется посредством радиомодемов пульта управления и БПЛА, с помощью которых реализуется радиоканал.

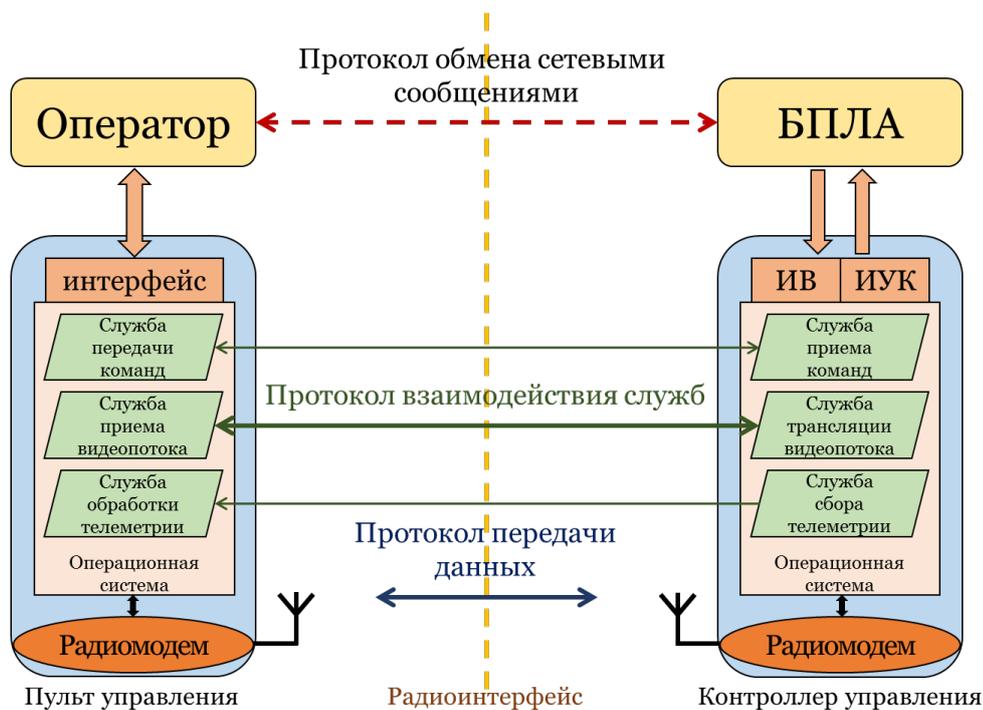


Рисунок 5 – четвертый уровень детализации

**1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети.**

*1.2.1. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы.*

В предлагаемой радиосистеме используется радиосоединение, образованное двумя сетевыми объектами: пультом управления оператора и контроллером управления БПЛА, следовательно, используется топология типа «точка-точка» (рис. 6). Радиосеть в составе радиосистемы предназначена для обеспечения взаимодействия радиотерминалов пульта управления и БПЛА.

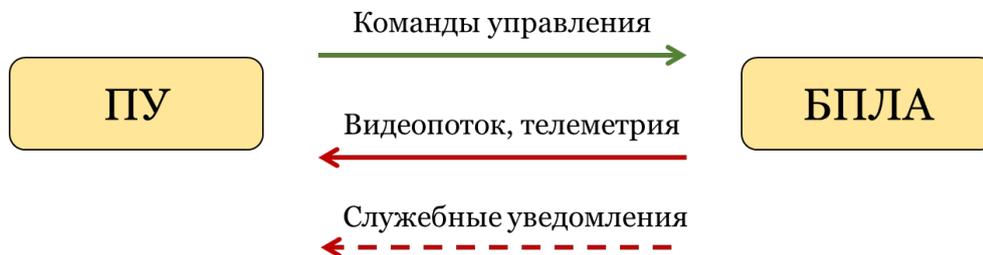


Рисунок 6 – топология сети

### 1.2.2. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений.

Рассмотрим разработанную многозвеневую модель сети (рис. 7). В данной модели имеется два ключевых звена доставки сообщений: пульт управления и контроллер управления БПЛА.



Рисунок 7 – двухзвеневая модель сети

### 1.2.3. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети.

Сеанс предоставления ТК услуги начинается с запроса услуги оператором (пользователем) посредством включения пульта управления (на данном этапе подразумевается, что питание на БПЛА активировано и БПЛА находится в режиме ожидания). Пульт управления посылает в эфир широковещательное сообщение (ШВС). Контроллер БПЛА детектирует это сообщение, идентифицирует пульт и инициирует обмен ключами шифрования. В результате устанавливается соединение между пультом и контроллером летательного аппарата, сеанс предоставления услуги считается начатым.

Исполнение услуги состоит в обработке и передаче пультом команд оператора. При этом оператор имеет возможность запрашивать трансляцию данных телеметрии и видеопотока с выбранным качеством.

Сеанс предоставления услуги завершается путем выключения пульта управления, при этом пультом отправляются команды о прекращении трансляций видеопотока и телеметрии, и команда завершения сеанса управления. В ответ БПЛА отправляет подтверждение и в зависимости от своего текущего положения (на земле или в полете) принимает решение: перейти в режим ожидания сразу или вернуться на место взлёта и после приземления вернуться в режим ожидания.

#### 1.2.4. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети.

Стратегия поведения контроллера пульта управления состоит из трех наиболее общих состояний. Первое состояние – это режим, связанный с образованием радиосети и последующим обнаружением БПЛА. Во втором состоянии пульт управления готов к работе, есть стабильный канал связи, но передачи команд управления пока нет, также отсутствует прием видеотрафика. В данном режиме поддерживается работоспособность сети. И третий режим – это активный режим, в этом режиме после соответствующего запроса начинается прием телеметрии и видеотрафика. Далее происходит «активная» работа: осуществляется передача команд управления, обмен служебными сообщениями, прием видеопотока и данных с датчиков (телеметрия). Вышесказанное иллюстрирует схема рисунка 8.

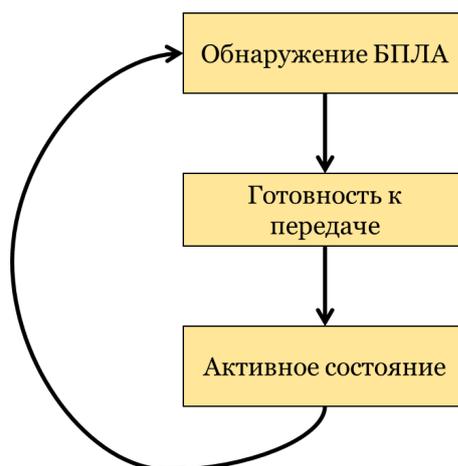


Рисунок 8 – стратегия поведения контроллера пульта управления

Контроллер управления БПЛА имеют схожую стратегию поведения, которую можно описать тремя основными состояниями. В первом (исходном) состоянии контроллер способен обнаруживать ШВС от пульта управления. При успешном начале сеанса связи контроллер переходит в режим готовности к приему команд и запросов пульта управления – это второе основное состояние. В третьем (активном) состоянии происходит реализация главной задачи – прием команд и передача видеотрафика и служебных данных.

Для наглядности стратегия поведения контроллера изображена на схеме рисунка 9.



Рисунок 9 – стратегия поведения контроллера БПЛА

### 1.3. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.

#### 1.3.1. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи.

Основной информационный трафик в прямом направлении передачи представлен данными команд управления. Для оценки потока этих данных предлагается, что в проектируемой системе для комфортного управления БПЛА используется до 16 различных команд управления, например, команды «вверх», «вниз», «вправо», «влево» и их производные, команды запросы видеотрафика и телеметрии. Каждая команда передается не чаще 4 раз в секунду, что достаточно для управления БПЛА в пределах заданного качества. Таким образом, для данного типа трафика необходима передача до 4 сообщений в секунду.

В обратном направлении передачи основной информационный трафик представлен потоком видеоданных с БПЛА. Предполагается, что на БПЛА установлен видеомодуль с максимальным разрешением съемки 640×480 пикселей, частотой записи 25 кадров в секунду и глубиной цвета 24 бита, а также с используется стандарт сжатия H.264 (коэффициент сжатия 95). С помощью несложных расчетов можно вычислить, что для заданных параметров качества видео необходима пропускная способность не более 9,22 Мбит в секунду.

Так как передача видео в максимальном качестве может быть ограничена качеством соединения, пользователю предлагается переход на «облегченный» режим трансляции. При этом осуществляется более сильное сжатие, а также понижение частоты кадров до 12 кадров в секунду. В таком случае требования к пропускной способности снижаются до 2,3 Мбит в секунду. Таким образом, вводится второй профиль работы обратного канала трафика для видеотрафика.

Дополнительный вид трафика в обратном направлении представлен в виде телеметрических данных. Телеметрические данные генерируются датчиками, используемыми на БПЛА. Предполагается, что на летательном аппарате используется не более восьми датчиков, а опрос и передача данных с них осуществляется не чаще 1 раза в секунду. Таким образом, для передачи данных телеметрии необходима передача до 1 сообщения в секунду. Под служебными сообщениями понимается отправка контроллером БПЛА данных необходимых для работоспособности радиосистемы в соответствии с заданными требованиями. Такими сообщениями являются, например, данные о качестве сигнала. Для трафика служебных сообщений выделяется передача 4 сообщений в секунду.

Характеристика информационного трафика схематично иллюстрируется рисунком 10.



Рисунок 10 – характеристика информационного трафика

### 1.3.2. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.

Стоит отметить, что качество доставки информационных сообщений и трафика должно удовлетворять требованию вероятности ошибки на бит  $P_b = 10^{-7}$ .

1. Для команд управления требуется безошибочная передача в первую очередь, так как от этого напрямую зависит качество предоставления услуги.
2. Для видеотрафика допускается прием с ошибками, в пределах заданной вероятности ошибки на бит.
3. Для телеметрических данных так же допускается прием с ошибками, в пределах заданной вероятности ошибки на бит.
4. Для служебных уведомлений требуется гарантированная доставка.

### 1.4. Пояснение функционального состава оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений.

В составе пульта управления присутствуют следующие функциональные модули.

1. Модуль обработки и управления – является основным элементом и предназначен для управления взаимодействием всех функциональных модулей, он принимает и обрабатывает служебные сообщения и данные видеотрафика. В прямом направлении отправляет на радиомодем трафик команд управления.
2. Радиомодем – обеспечивает взаимодействие сетевых объектов через физическую среду, посредством образованной им радиосети.
3. Модуль памяти – хранит постоянные и оперативные сведения, необходимые для передачи данных и работы радиосистемы в целом и связан с модулем обработки и управления.
4. Дисплейный модуль – служит для визуального представления видеоданных, а также для отображения сообщений телеметрии, полученных от модуля обработки и управления.
5. Модуль взаимодействия – осуществляет обработку команд управления подаваемых оператором и их передачу на модуль обработки и управления.

Функциональный состав пульта управления схематично представлен на рисунке 11.

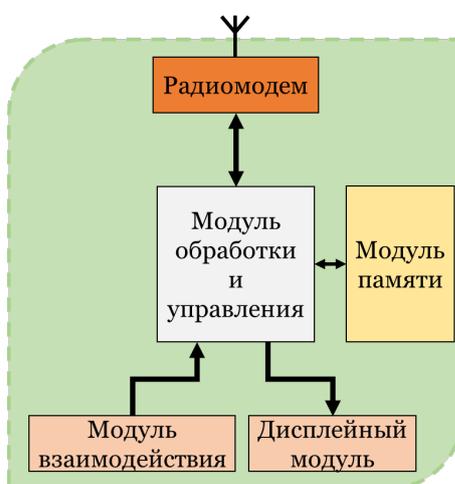


Рисунок 11 – функциональный состав пульта управления

Контролер управления БПЛА имеет отличие от пульта управления в следующих элементах.

1. Модуль обработки и управления – является основным элементом и предназначен для управления взаимодействием всех функциональных модулей, он обрабатывает и передает служебные сообщения и данные видеотрафика. В прямом направлении принимает на радиомодем трафик команд управления.
2. Радиомодем – обеспечивает взаимодействие сетевых объектов через физическую среду, посредством образованной им радиосети.
3. Модуль памяти – хранит постоянные и оперативные сведения, необходимые для передачи данных и работы радиосистемы в целом и связан с модулем обработки и управления.
4. Видеомодуль – используется для получения трафика видеоданных и передачи на модуль обработки и управления для последующей обработки.
5. Модуль управления кинематикой – служит для управления полетом БПЛА, он обрабатывает полученные команды управления от модуля обработки и управления.
6. Датчики телеметрии – необходимы для предоставления оперативных данных о состоянии БПЛА и полете (высота, скорость, координаты, заряд аккумулятора и т.п.), трафик образованный датчиками передается на модуль обработки и управления.

Функциональный состав контроллера управления БПЛА иллюстрируется рисунком 12.

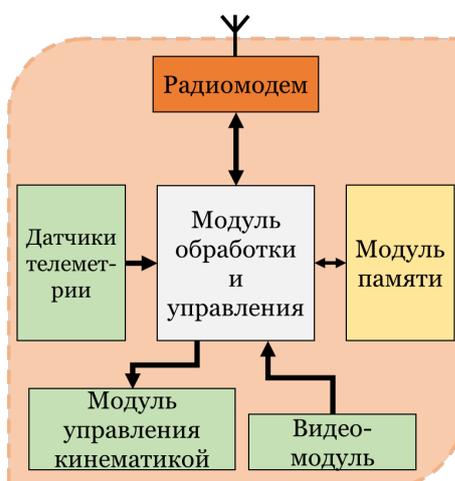


Рисунок 12 – функциональный состав контроллера управления БПЛА

### Список литературы и используемых источников

1. Лекции по курсу «Системы и сети связи с подвижными объектами» / А.В. Бакке – Рязань, 2020.
2. [Радиосистема управления беспилотными объектами. Часть 1 / А.В. Баранова – Рязань, 2018.](#)
3. [Радиосистема управления беспилотным аппаратом. Часть 1 \(исправленная\) / И.И. Макаркин – Рязань, 2017.](#)
4. [Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015 – 312 с.](#)