1 слайд

Титульный

2 слайд

Целью дипломной работы является разработка дуплексной низкоскоростной системы связи для применения в комплексах БПЛА. Данная система связи должна обеспечивать связь дальностью не менее 100 км, с вероятностью битовой ошибки не менее 10-8 . Скорость передачи данных должна быть не меньше 20 кБит/с

3 Слайд

Под заданные требования было разработано устройство со следующими характеристиками.

4 Слайд

Широкополосный радиосигнал LoRa представляет собой сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), который основан на использовании широкополосных радиосигналов с большой базой B, много большей единицы

Передатчики LoRa формируют ЛЧМ радиосигналы с шириной спектра 125, 250 или 500 кГц

Принцип передачи символов информации блока данных физического уровня посредством широкополосного радиосигнала LoRa заключается в частотном смещении относительно опорного ЛЧМ радиосигнала

5 Слайд

Рассказать про схему

Устройство имеет несколько цепей питания, одна из которых запитывает УМ, а вторая цифровую часть устройства. В состав модема входят два радиотракта, каждый из которых состоит из приемопередатчика, усилителя мощности, малошумящего усилителя, полосового фильтра и антенного ключа. Также имеется внешний разъем для программирования.

6 Слайд

Рассказать про модем

Радиотракты разведены на разных сторонах платы для уменьшения взаимного влияния на друг друга.

7 Слайд

При работе устройства в дуплексном режиме работы на каждом из модемов один из каналов находится в режиме приема, а второй в режиме передачи. При таком режиме работы коллизии не возникают и не требуется никакой синхронизации.

8 Слайд

В полудуплексном режиме работы устройства каждый из каналов модемов работает как на прием, так и на передачу. В таком режиме работы возникает возможность коллизий во время передачи данных на модемах. Для их предотвращения был реализован метод разделения канала по времени. Необходимым условием этого метода является синхронизация шкал времени устройств, относительно которых распределяется время в эфире по временным слотам на прием и на передачу.

На текущий момент длительности временных слотов равны и составляют 108 мс. В этом значении учитываются защитные интервалы, необходимые для учета времени переключения радиомодуля из приемника в передатчик и на оборот, а также программные задержки.

9 Слайд

При разработке ПО использовался генератор кода CubeMX, операционная система FreeRTOS, на Python разрабатывалось ПО для отладки системы, на PyQt был написан графический интерфейс для тестирования системы.

На рисунке представлена структурная схема работы ПО. Из него видно, что в работе участвуют несколько программных потоков. В потоках UART\_TASK\_RX/TX происходит обработка входных и выходных данных передаваемых через последовательных порт. В потоке APP\_TASK происходит обработка данных принимаемых через последовательный порт и радио, а также подготовка данных для отправки в порт и радио. В потоке RADIO\_TASK происходит взаимодействие с радио. В потоке IRQ\_TASK происходит обработка прерываний поступающих от радио.

10 Слайд

Для синхронизации устройств был реализован алгоритм по которому происходила корректировка шкал времени устройств. Согласно этому алгоритму устройство отправляющее кадр MASTER\_REQ устанавливает в нем временную метку отправки сообщения. По приему этого кадра другое устройство вычисляет оценку времени отправителя и устанавливает это значение в своем таймере. В ответ устройство принявшее кадр MASTER\_REQ отправляет кадр SLAVE\_RESP. Рассинхронизация устройств не превосходила 100 мкс.

11 Слайд

Было проведено тестирование дальности связи. Устройства были разнесены на 1.5 км. Тесты проводились в поле. Во время тестирования удалось достичь значений дальности приведенных на слайде. Процент потерь во время тестирования не превышал 4 %. Данные потери были связаны с тем что устройства были подняты на недостаточную высоту, в следствии чего не выполнялось условие прямой видимости, также рядом присутствовала жилая застройка, что также могло вносить помехи в эфир.

12 Слайд

На рисунке представлены фотографии с тестов. На них видно оборудование использованное для тестов, а также графический интерфейс который был написан мною.

13 Слайд

На слайде приведены результаты тестирования при передаче сигнала через СВЧ кабели. Данный тест выполнялся для того чтобы оценить процент потерь в условиях отсутствия внешних помех. Между СВЧ кабелями было создано дополнительное затухание в 30 дБ для дополнительного ослабления сигнала. Результаты тестов показали, что процент потерь пакетов не превышает 0.2 %.

10 Слайд

Рассказать про диаграмму потоков

Связать Слайд 10 и Слайд 9

В общем случае система ведет себя следующим образом:

- При запуске устройство инициализируются радиомодуль, последовательные интерфейсы, создаются все необходимые службы ядра ОС;

- Далее начинается процесс синхронизации аппаратных таймеров устройств, который закончится после того, как одно из устройств примет синхро-кадр и ответит на него;

- После синхронизации устройство переходит в стандартный режим работы в котором оно ожидает данные из последовательных портов в ожидании сообщений от пользователя и одновременно прослушивает радио эфир в ожидании от сообщений от удаленного устройства;

- В случае приема данных через последовательный порт, процедура обработки сообщений из данного интерфейса декодирует их и кладет указатель на эти данные в очередь для аппликейшена, которая в свою очередь кодируют их необходимым образом и кладет в очередь для радио. После чего процедура радио обнаруживая, что в очереди появились новые данные достает их оттуда, кодирует необходимым образом и отправляет

- В случае приема радиосообщения процедура радио кладет в очередь указатель на эти данные в очередь для процедуры аппликейшена где данные декодируются и отправляются в очередь выбранного последовательного порта. После чего процедура последовательного порта обнаруживая, что в очереди появились новые данные достает их оттуда, кодирует необходимым образом и отправляет.

11 Слайд

Так как первоначально радиомодем SX1276 был выключен требуется произвести его инициализацию. Каждое из устройств на этом этапе имеет одинаковые права. После каждое из устройсв генерирует случайное число, уходит в сон на это значение времени и после пробуждения запускает приём с заданным тайм-аутом. Далее программа ожидает прерывания от радиомодема, сигнализирующее либо о событии приема (RX\_DONE, RX\_TIMEOUT, RX\_ERROR), либо о событии передачи (TX\_DONE, TX\_TIMEOUT). Далее рассмотрим действия программы в зависимости от принятого события.

**RX\_DONE**

Программа анализирует принятый кадр. Если принятый кадр является кадром MASTER\_REQ, то программа корректирует синхронизирующий таймер, становится ведомым устройством, отправляет кадр SLAVE\_RESP и переходит в стандартный режим работы. Если принятый кадр был кадром SLAVE\_RESP, то устройство остается ведущим и переходит к стандартому режиму работы. Если же принятый кадр не является ни кадром MASTER\_REQ, ни кадром SLAVE\_RESP, то устройство перезапускает аппаратный таймер и отправляет кадр MASTER\_REQ, продолжая считать себя ведущим устройством.

**TX\_DONE**

Программа переводит радиомодем в режим приёма.

**TX\_TIMEOUT**

Данное событие связано с аппаратной невозможностью радиомодема отправить кадр, радиомодем сбрасывается и инициализируется по новой. После инициализации делается рандомная задержка и запускается прием на заданное время.

**RX\_TIMEOUT**

Время отведенное под прием закончилось. Кадр не был принят. Выполняется перезапуск аппаратного таймера и отправляется кадр MASTER\_REQ.

**RX\_ERROR**

Не сошлась контрольная сумма. Выполняются те же действия что и для RX\_TIMEOUT.

12 Слайд

В расчёте участвуют три временных точки: *t*A, *t*B, *t*C, а также время распространения кадра *timeOnAir*. Время *t*A является временем отправки синхронизирующего кадра. Это время выставляется в значении временной шкалы ведущего устройства:

Время *t*B рассчитывается исходя из известного времени затрачиваемого на распространение синхронизирующего кадра от передатчика к приемнику *timeOnAir* и времени *t*A:

Далее, чтобы посчитать оценку времени на стороне ведомого устройства необходимо учесть время *dTick*, затраченное на обработку синхронизирующего кадра. Это время рассчитывается исходя из разности времени приема прерывания от приемопередатчика и текущего времени, данное значение времени рассчитывается на стороне ведомого устройства. Итоговое, оценочное значение времени ведущего устройства на стороне ведомого:

13 Слайд

Рассказать про результаты тестирования системы