

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОКОЛА AX.25

Д. В. Резниченко, И. А. Шалатонин, А. А. Спиридонов,
М. В. Гранковская

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail rct.rezniche@bsu.by

Предложен вариант мониторинга удаленных объектов посредством сбора, обработки телеметрии и, при наличии необходимого функционала на принимающей стороне, отправкой корректирующих данных. Приведено описание и перечислены преимущества любительского пакетного протокола радиосвязи AX.25. Описаны принцип осуществления приема и передачи данных и устройство приемопередатчика.

Ключевые слова: микроконтроллеры; микропроцессорные системы; AX.25; IoT; радиосвязь; телеметрия; программно-определяемая радиосистема (SDR).

С развитием технологий и распространением интернета вещей (IoT), в особенности промышленного интернета вещей (IIoT), встал вопрос о создании систем, позволяющих организовать эффективный сбор и обработку данных с устройств для своевременного реагирования на инциденты и планирования дальнейшей работы производства с опорой на актуальные сведения. Решения данной задачи предполагает развитие методов удаленного мониторинга. В рамках работы рассмотрен один из методов реализации подобной системы с использованием протокола AX.25.

Протокол AX.25 работает на канальном уровне (уровень 2) модели OSI. Однако для успешной установки связи его реализация опирается на аспекты как физического уровня (уровень 1), так и, в меньшей степени, сетевого уровня (уровень 3). Рассмотрим основные параметры протокола на данных уровнях. Физический уровень в передаче данных отвечает за процесс формирования изменений уровней напряжения на передатчике для последующей модуляции. Прием сообщений представляет собой обратный процесс преобразования изменения уровней напряжения от передатчика в поток исходных данных. Протокол AX.25 не зависит от конкретной физической среды, используемой для передачи. Он может работать по различным каналам, используемым в любительской радиосвязи, включая диапазоны ОВЧ/УВЧ, спутниковые каналы и даже модуляцию звуковой карты для пакетного радио через Интернет. Физический уровень реализован согласно широко распространенному стандарту G3RUH для скорости передачи данных 9600 bps [1].

На канальном уровне протокол AX.25 использует три вида кадров для коммуникации: нумерованные (N) кадры (используются для установления/завершения соединения, отправки управляющей информации); супер-

визорные (S) кадры (используются для базового управления потоком данных и устранения ошибок в рамках связи в режиме соединения); информационные (I) кадры (основные кадры AX.25, несут фактическую полезную нагрузку данных, предназначенную для станции-получателя. Их можно использовать как в подключенном, так и в режиме без установления соединения).

На сетевом уровне протокол AX.25 не поддерживает сетевую маршрутизацию для доставки сложных пакетов через несколько переходов. Однако его можно использовать в качестве носителя для протоколов более высокого уровня, таких как NET/ROM или даже TCP/IP.

Протокол AX.25 широко используется для связи с малыми космическими аппаратами (МКА) и построения сетей пакетной передачи данных и обладает следующими достоинствами:

- каждый пакет AX.25 включает позывные отправителя и получателя, что обеспечивает автоматическую идентификацию станции во время передачи;
- AX.25 предлагает режимы как с установлением соединения, так и без него, что позволяет адаптировать его к различным потребностям связи;
- AX.25 может выступать в качестве носителя для протоколов более высокого уровня, таких как TCP/IP и NET/ROM;
- AX.25 включает поле дигипитера в структуру пакета. Дигипитеры – это станции, автоматически ретранслирующие пакеты, расширяя диапазон передачи за пределы прямой видимости между отправителем и получателем [2].

Для изучения протокола AX.25 и приобретения навыков работы с SDR трансиверами нами предложен лабораторный стенд, структурная схема которого представлена на рис. 1. Стенд прост в изготовлении и включает в себя приемопередатчик, работающий по протоколу AX.25, и комплект датчиков, поддерживающих протоколы I2C, SPI, подключаемых через отладочную плату STM32F429 disco. Стенд формирует кадры передачи телеметрии на станцию приема, выполненную на основе SDR-приемника и свободного программного обеспечения: SDR++, UZ7HO Sound Modem, AGW Online KISS [3].

Для реализации системы связи был использован отладочный комплект компании «Терраэлектроника» TE-CC430EV-433 на базе радиочастотного модуля TE-CC430F51-433 и отладочной платы MSP430-EXP430G2 (LaunchPad), производства компании «Texas Instruments (TI)». На рис. 2 приведена структурная схема отладочного комплекта. Микросхема CC430F5137 представляет собой систему-на-кристалле (СнК), которая состоит из микроконтроллерного ядра MSP430F5xx и многоканального RF-трансивера с низким энергопотреблением CC1101.

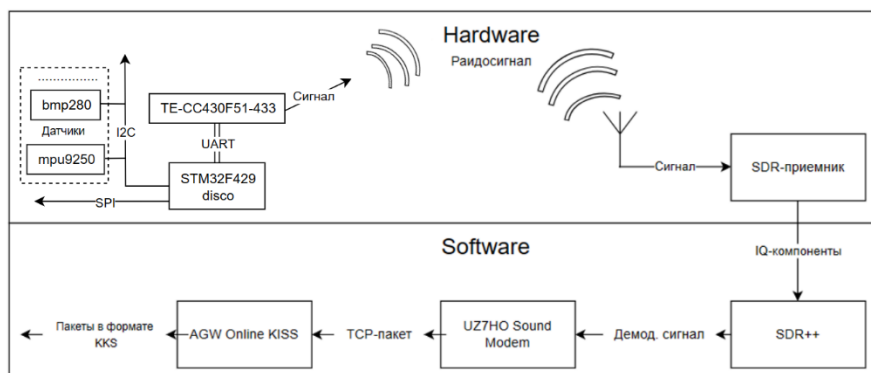


Рис. 1. Структурная схема системы приема-передачи данных

Микроконтроллерное ядро MSP430F5xx, входящее в состав СнК CC430F5137, имеет максимальную тактовую частоту 25 МГц, 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с частотой выборок 200 kSPS, набор последовательных интерфейсов (UART, 2xSPI, I2C, IrDA) и аппаратный модуль шифрования AES-128. Данный модуль предназначен для работы в безлицензионном ISM-диапазоне 433 МГц. [4]

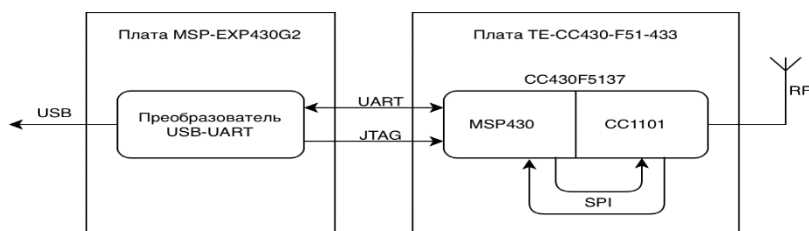


Рис. 2. Структурная схема отладочного комплекта TE-CC430EV-433

В AX.25 протоколе используется бит-ориентированный протокол канального уровня сетевой модели OSI: High-Level Data Link Control (HDLC), согласно которому кадры передаются кодированные модифицированным потенциальным кодом.

ПО микроконтроллера MSP430 должно реализовать алгоритм функционирования пакетного контроллера в KISS режиме работы:

- получать от радио приемопередатчика CC1101 демодулированные цифровые сигналы, декодировать и дескремблировать эти сигналы, выполнять разбор HDLC пакета, проверять целостность пакета и передавать на главный компьютер полезное содержимое по KISS-протоколу;
- получать от главного компьютера предназначенную для передачи информацию по KISS-протоколу, вычислять контрольную сумму, осуществлять формирование HDLC-пакета с последующим его скремблированием и кодированием, передавать полученный пакет на радио приемопередатчик CC1101.

На рис. 3 представлена структура разработанного ПО, удовлетворяющего перечисленным требованиям. Пунктирными стрелками отмечен путь, который проходят данные, передаваемые с главного компьютера, до того момента как попадут в эфир. Сплошными стрелками отмечен обратный путь.

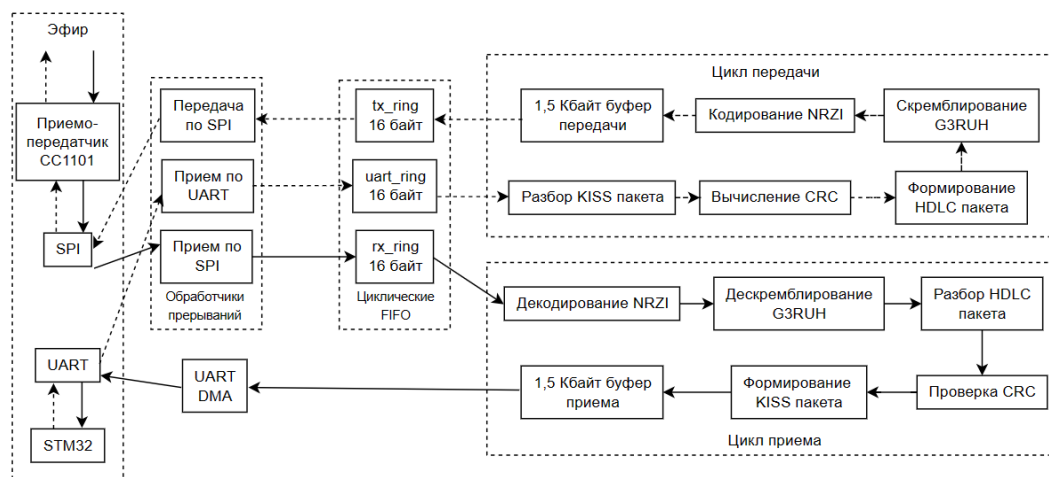


Рис. 3. Структурная схема ПО пакетного контроллера в KISS

Предложенный учебный комплекс позволяет изучить протокол AX.25, подключать новые датчики и приобрести навыки работы с SDR трансиверами. Учебный лабораторный комплекс используется при подготовке специалистов на кафедрах физики и аэрокосмических технологий и телекоммуникаций и информационных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бучинский Д.А., Семенович С. Н. Реализация физического уровня протокола любительской пакетной радиосвязи AX.25 университетского микроспутника [Электронный ресурс]. URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/159737> (дата обращения: 30.03.2024).
2. Beech A., Nielsen E., Taylor J. AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio // 1998. P. 133.
3. Учебно- методический комплекс на базе программно-аппаратных средств для лабораторной отработки нано и пикоспутников / Шалатонин И.А., Спиридонов А.А., Саечников В.А. [и др.] // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы Международной научно - практической конференции Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2017. Ч. IV. 250 с. С. 54-58
4. Радиочастотный модуль TE-CC430F51-433 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elmatrix.ru/upload/docs/te-cc430f51-433.pdf?ysclid> (дата обращения: 26.05.2024).