

NanoNET модуль с интерфейсом USB

Дмитриев Сергей Анатольевич

Екимов Дмитрий Анатольевич

Мощевикин Алексей Петрович

кафедра информационно-измерительных систем и физической электроники

Петрозаводский государственный университет

<http://lab127.ru/>

В статье рассмотрены особенности подключения модулей стандарта nanoNET (IEEE 802.15.4a) к персональному компьютеру через интерфейс USB, а также описаны результаты испытания подобных модулей.

Введение

Скорость передачи данных в системах, построенных на основе электрических и оптических кабелей, обычно превышает соответствующие показатели в беспроводных сетях. Поэтому при построении гетерогенной системы коммуникаций именно сегмент радиосвязи является местом с наименьшей пропускной способностью.

В последнее время в связи с бурным развитием технологий беспроводной связи малого радиуса действия и сравнительно небольшой стоимости, таких как Wireless USB, Bluetooth 2.0 EDR, ZigBee, nanoNET и т.д., разработчики встают перед выбором аппаратного интерфейса, который можно было бы использовать для передачи данных из радиоканала в оконечное устройство (DTE). Поскольку во многих случаях этим устройством является компьютер, выбор невелик: либо стандартный набор – COM-порт, параллельный порт и USB, либо подключение радиомодуля непосредственно к внутренним шинам компьютера через специальную плату-адаптер. Первый способ более универсален, второй однозначно дает выигрыш в скорости передачи данных, но более сложен в реализации.

Технические способы реализации nanoNET-модулей

Основой любого небольшого коммуникационного устройства является микроконтроллер. Современные чипы на аппаратном уровне поддерживают не только RS-232 и RS-485 интерфейсы, но и USB и др. В предыдущих работах по изучению технологии nanoNET [1-5] авторы в основном тестировали только характеристики радиосвязи, не анализируя пропускную способность всей системы, включающей источник данных и место их хранения.

Простейшая схема экспериментов выглядела следующим образом.

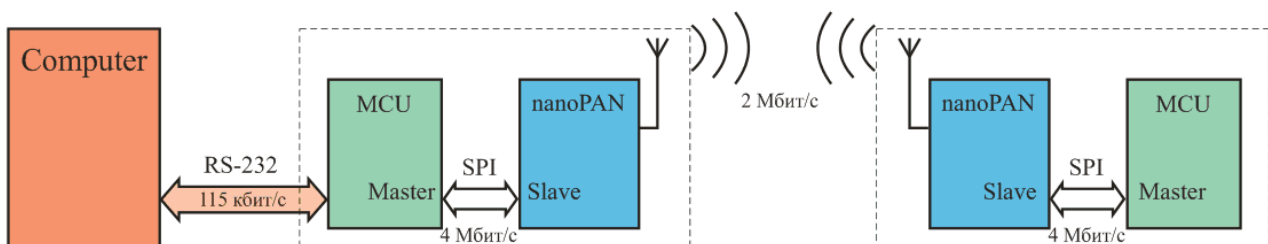


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментов по оценке качества радиосвязи стандарта nanoNET

Автономный радиомодуль состоял из трансивера nanoPAN 5361, выпускаемого компанией Nanotron Technologies GmbH (www.nanotron.com), и управляющего микроконтроллера ATmega32L серии AVR производства Atmel.

Передача данных осуществлялась между двумя модулями, первичные сбор данных и анализ качества связи производился микроконтроллером (на рисунке MCU слева), и лишь затем обработанная информация поступала в компьютер по интерфейсу RS-232. Характеристики асинхронных приемо-передатчиков контроллеров USART, встроенных в используемые ATmega32L, и их конфигурация не позволяли в режиме реального времени достигнуть высоких скоростей передачи данных от правого на рисунке 1 микроконтроллера MCU до компьютера слева.

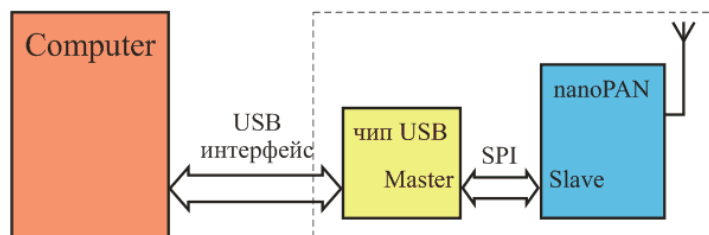


Рисунок 2 – Блок-схема USB-радиомодуля компании Nanotron Technologies GmbH

В 2007 году компания Nanotron Technologies GmbH представила новый радиомодуль, оснащенный USB интерфейсом (см. рисунок 2). В нем для повышения скорости передачи данных между приемо-передатчиком nanoNET и персональным компьютером используется микросхема преобразователя интерфейсов FT2232L производства FTDI (www.ftdichip.com). С одной стороны она подключена к шине USB, с другой напрямую к модулю nanoPAN 5361, таким образом, она использовалась в режиме моста USB – SPI. Такое решение нельзя назвать оптимальным, так как на прикладную программу, выполняющуюся на персональном компьютере, ложится низкоуровневое управление приемо-передающим модулем (инициализация, задание необходимых параметров, запуск приема/передачи и т.д.), что ведет к суммарному снижению максимальной скорости передачи данных.

Авторам во время тестирования этого USB-модуля не удалось продемонстрировать скорость передачи данных более 200 кбит/с даже после глубокой оптимизации процедур программы. Очевидно, что проблема здесь кроется в слишком длительных (для этой задачи) тайм слотах шины USB и менеджера задач операционной системы Windows XP (работа модуля в среде Unix не тестировалась), а также в необходимости частых смен направлений передачи (ввод / вывод) в режиме эмуляции взаимодействия с модулем nanoPAN по SPI.

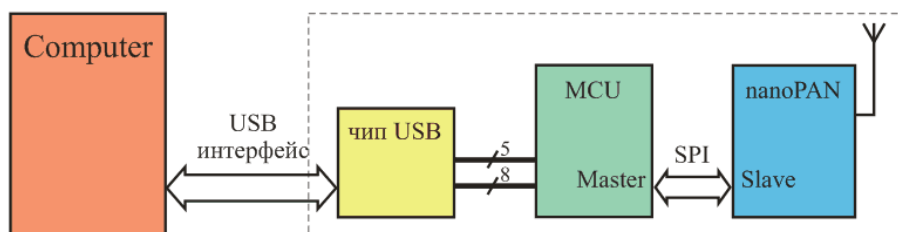


Рисунок 3 – Блок-схема USB-радиомодуля с дополнительным микроконтроллером

Для того чтобы процедуры отправки и приема кадров выполнялись намного быстрее, было предложено возложить контроль за этими функциями на встроенный микроконтроллер (см. рисунок 3). Таким образом, компьютер оперирует лишь с потоком байтов в обоих направлениях, а микроконтроллер занимается формированием кадров, определением момента приема / передачи данных, сменой режимов радиопередачи и другими низкоуровневыми процедурами.

К тому же, выбранная в качестве моста USB – MCU микросхема FT245RL производства FTDI, включенная в режиме параллельного порта (8 линий данных и 5 линий управления), обеспечивает более высокую скорость обмена данными между MCU и внутренними буферами FT245RL.

Использование чипов производства FTDI в обоих решениях обусловлено легкостью их применения, поскольку разработчик избавлен от необходимости вникать в тонкости функционирования интерфейса USB. Преобразователи FT2232L и FT245RL содержат аппаратные FIFO-буферы для принимаемых и передаваемых данных. Таким образом, использование данных микросхем в связке со свободно распространяемыми драйверами и библиотекой от FTDI, содержащей высокоуровневые функции, позволяет сделать полностью прозрачный для прикладного ПО высокоскоростной обмен данными с подключаемыми по USB устройствами.

FTDI предлагает для данной микросхемы два типа драйверов: D2XX Direct Drivers – драйвер с библиотекой функций, позволяющий достигать скоростей до 8 Мбит/с, и VCP Drivers – драйвер виртуального COM-порта. После его установки USB-устройство определяется системой как скоростной COM-порт. Максимальная скорость в этом случае составляет 2.4 Мбит/с. Данные драйвера свободно доступны на сайте FTDI под разные типы операционных систем; там же можно скачать документацию, примеры программ и специальную утилиту MProg (рисунок 4) для конфигурирования преобразователей интерфейсов.

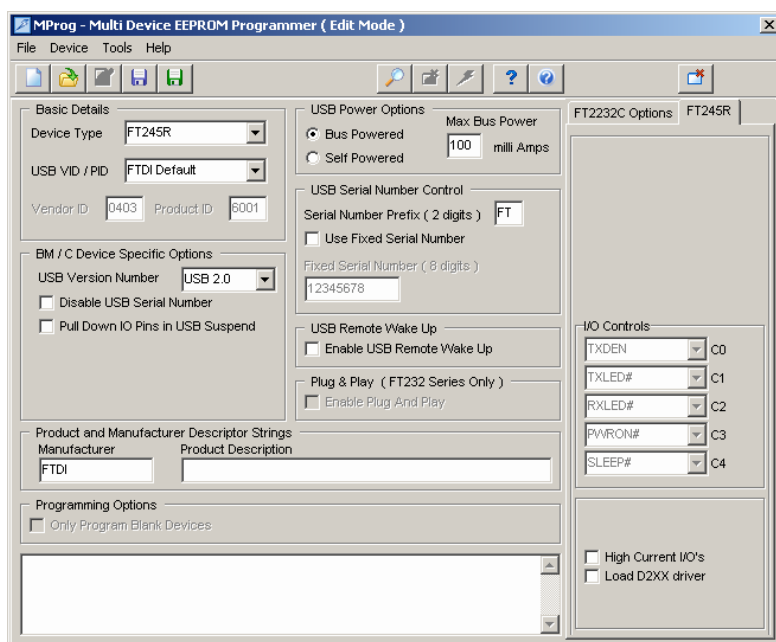


Рисунок 4 – Информационное окно программы MProg

Микросхема FT245RL содержит в себе EEPROM, хранящее передаваемые в компьютер при подключении устройства данные конфигурации (максимальный ток потребляемый устройством от контроллера USB, тип питания, серийный номер устройства, тип автоматически подгружаемого драйвера и др.).

USB-радиомодуль nanoNET, разработанный в Lab127

В соответствии с предложенной блок-схемой, приведенной на рисунке 3, было разработано устройство, которое содержит модуль nanoPAN 5361, микроконтроллер ATmega32L, осуществляющий низкоуровневое управление модулем приемо-передатчика и выполняющий обработку кадров и обмен информацией с компьютером через преобразователь интерфейсов FT245RL (см. рисунок 5).

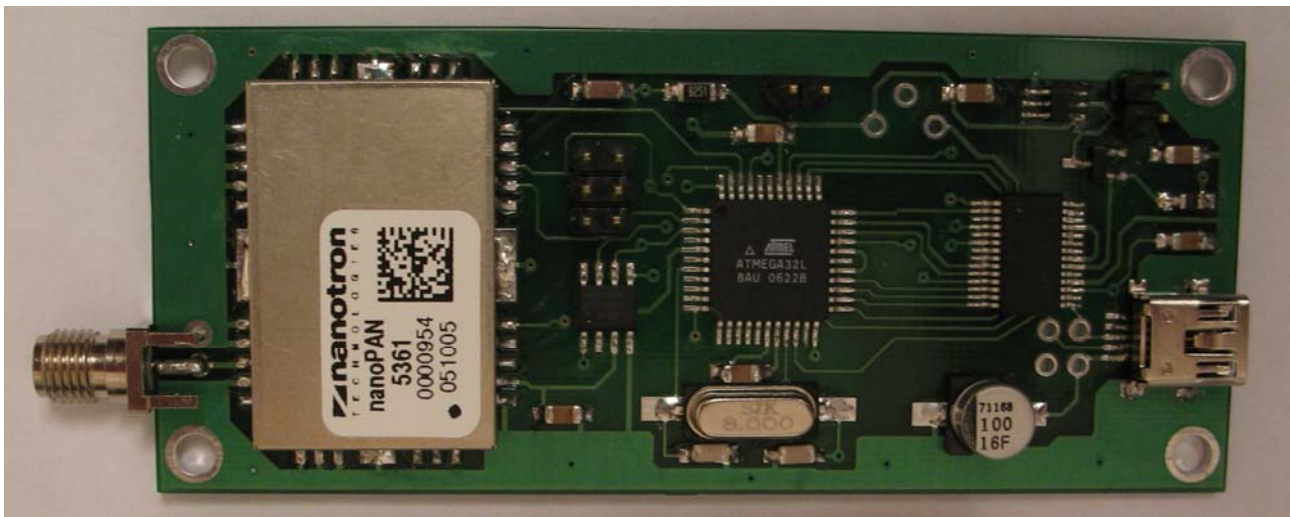


Рисунок 5 – Внешний вид разработанного USB-радиомодуля nanoNET

Микроконтроллер тактируется с помощью внешнего кварцевого генератора на 8 МГц. На разъемы выведены сигналы шины SPI, RX и TX универсального приемопередатчика, а также предусмотрена возможность подключения внешнего источника питания (например, во время программирования микроконтроллера). ATmega32L и nanoPAN5631 получают питание +3 Вольта от стабилизатора напряжения ADP3330, который в свою очередь подключен к шине USB +5 Вольт. Антенный разъем – SMA female.

Программное обеспечение и результаты экспериментов

Разработанный USB-радиомодуль тестировался двумя способами: в режиме сбора данных с одного модуля датчика и в режиме установления двунаправленного канала связи между двумя компьютерами.

В первом случае схема эксперимента соответствовала представленной на рисунке 1 за исключением того, что данные в компьютер поступали через интерфейс USB. Slave-модуль в непрерывном режиме осуществлял генерацию тестовых пакетов размером 128 байтов. Master-модуль передавал через USB все корректно принятые пакеты в компьютер, где они анализировались прикладной программой. В радиоканале были отключены ретрансмиссия кадров и подтверждение приема (Ack). В таких условиях удалось достичь скорости передачи данных ~620 кбит/с.

Во втором эксперименте для измерения скорости передачи данных с использованием пары USB-модулей была разработана программа для микроконтроллера ATmega32L, которая с одной стороны ожидала поступления данных из компьютера по шине USB, формировала пакеты и отправляла их по шине SPI трансиверу, а в обратном направлении считывала содержимое полученных по радиоэфире кадров и отправляла их в компьютер. Обнаружение возможности считывания данных, поступающих в прямом и обратном направлениях, происходило путем циклического опроса состояния готовности контроллера FT245RL и регистров статуса nanoPAN по шине SPI.

Встроенное программное обеспечение USB-радиомодулей было практически идентично (код для ATmega32L различался только MAC-адресами, назначаемыми трансиверам).

USB-радиомодули были подключены к разным компьютерам; на каждом из них были установлены драйвера FTDI для работы с микросхемой FT245RL в режиме Virtual Com Port и запущена стандартная программа Windows Hyper Terminal. После запуска терминалов символы, вводимые с клавиатуры на одной стороне, передавались по эфире и автоматически выводились на другом компьютере.

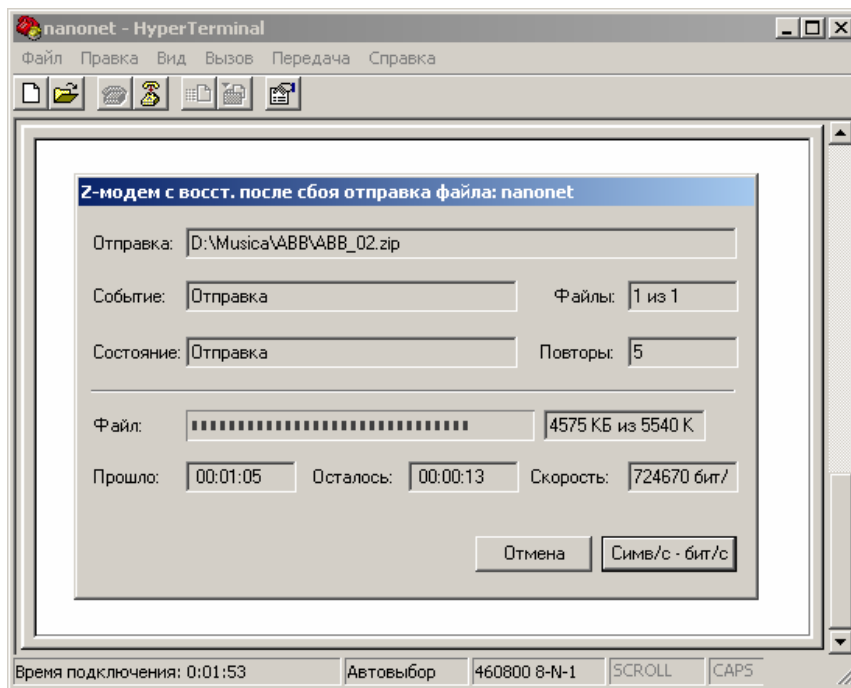


Рисунок 6 – Результаты тестирования скорости передачи с использованием USB-радиомодуля

В процессе тестирования для передачи большого количества данных (zip-архив) использовалась функция программы Hyper Terminal "Отправить файл" и был выбран протокол "Z-модем с восстановлением после сбоя". Корректность передачи информации была подтверждена успешной проверкой целостности архива. Максимальная скорость в этом случае составила более 720 кбит/с (см. рисунок 6). Тестирование происходило в режиме, когда на обоих модулях было включено подтверждение приема (Ack) и повторная передача испорченных пакетов до трех попыток включительно.

Анализ полученных цифр (~620 и >720 кбит/с) приводит к заключению, что в первом случае встроенный код был написан не очень оптимальным образом. И действительно, у программиста есть выбор, какой интерфейс (USB или SPI) чаще опрашивать микроконтроллеру? Скорость опроса трансивера nanoPAN на пару порядков более медленная [1], но иногда, когда не ожидаются данные из USB, приходится реализовывать именно такой режим: постоянно опрашивать трансивер, затрачивая на цикл более 100 мкс, и лишь изредка проверять состояние контроллера USB.

Все подпрограммы микроконтроллера были созданы на аппаратно-независимом языке (Си), часть из них может быть переведена на аппаратно-зависимый язык (Ассемблер AVR), что скажется на небольшом увеличении скорости передачи. Применение более быстрого, чем ATmega32L, микроконтроллера, использование аппаратных прерываний для отказа от программного опроса готовности, а также передача данных длинными (более 128 байтов) кадрами позволит достигнуть скоростей, близких к битовым в каналах радиопередачи (проблема уже обсуждалась в [1, 4]).

Заключение

Разработанная технология и модули могут быть использованы не только для передачи потоков данных между двумя компьютерами и в сетях датчиков, но и, например, для создания анализатора беспроводного трафика в сети nanoNET, необходимость в котором часто возникает при выявлении проблем с качеством связи и конфликтов. Дело в том, что существующие до настоящего времени USB-радиомодули производства компании Nanotron Technologies GmbH не позволяли передавать на компьютер, а затем обрабатывать, весь

сетевой трафик. Ограничением была именно низкая пропускная способность канала между трансивером и компьютером. Разработка встроенного программного обеспечения, использующего режим *promiscuous*, позволит в ближайшей перспективе создать такой анализатор на базе созданных USB-радиомодулей.

Благодарности

Данное исследование проведено в рамках проекта “Научно-образовательный центр по фундаментальным проблемам приложений физики низкотемпературной плазмы” (RUX0-013-PZ-06), поддерживаемого Министерством образования и науки РФ, Американским фондом гражданских исследований и развития (CRDF) и Правительством Республики Карелия, а также частично финансировалось Техническим Научно-исследовательским Центром Финляндии (VTT) в рамках договорных работ.

Литература:

1. Мощевикин А. П. Исследование скорости передачи данных в беспроводных сетях Nanonet // Беспроводные технологии. 2006. № 3 (04). С. 38–42.
2. Жиганов Е. Д., Красков С. Е., Мощевикин А. П. Исследование условий применимости приемопередатчиков стандарта Nanonet в беспроводных сетях датчиков // Беспроводные технологии. 2007. № 1 (6). С. 65–69. № 2 (7). С. 62–66.
3. Жиганов Е. Д., Мощевикин А. П. Аппаратная коррекция ошибок (FEC) в сетях стандарта nanoNET (IEEE 802.15.4a) // Беспроводные технологии. 2007. № 3. С. 52–55.
4. Мощевикин А. П., Чухарев А. Л. Передача длинных кадров в сетях стандарта nanoNET (IEEE 802.15.4a) // Беспроводные технологии. 2007. № 3. С. 56–59.
5. Жиганов Е. Д., Мощевикин А. П. Беспроводные сети датчиков на основе технологии nanoNET // Информационные технологии. 2007. № 11. С. 28–35.