

# Беспроводные сети NanoNET

**Владимир Артеев**  
arteev@efo.ru

**Сергей Долгушин**  
dsa@efo.ru

## Технология Nanotron

Линейно-частотная модуляция (ЛЧМ или CSS), используемая приемопередатчиками Nanotron, повышает помехоустойчивость за счет того, что мощность сигнала «размывается» по определенному диапазону частот, и при воздействии узкополосных помех теряется только часть передаваемого сигнала, так что двоичная информация затем может быть восстановлена в приемнике.

Линейно-частотные импульсы, используемые приемопередатчиками Nanotron для передачи двоичных данных, имеют фиксированную длительность и линейно нарастающую или спадающую частоту несущей. Формирование передаваемого ЛЧМ-сигнала и обработка принимаемого осуществляются с помощью дисперсионной линии задержки, выполненной на базе ПАВ-фильтра (рис. 1). Для передачи сигнала используется диапазон 2,4 ГГц. Ширина используемого частотного канала при этом составляет 64 МГц и значительно превышает ширину частотных каналов таких технологий, как ZigBee и Bluetooth, которые также используются для беспроводной передачи в данном диапазоне. Это дает возможность приемопередатчикам Nanotron работать на более высоких скоростях и с более высокой степенью надежности передавать данные в условиях сложной помеховой обстановки.

## Приемопередатчик nanoNET TRX

Компания Nanotron предлагает использовать приемопередатчик nanoNET TRX для реализации беспроводных соединений в диапазоне 2,4 ГГц. Радиус действия этого приемопередатчика может достигать 900 метров в пределах прямой видимости и 60 метров в помещении. Достоинство nanoNET TRX — высокая скорость передачи данных (до 2 Мбит/с). Выходная мощность сигнала может программно задаваться в диапазоне от -30 дБм (1 мВт) до 8 дБм (6,3 мВт). Чувствительность приемника nanoNET TRX составляет -92 дБм.

В последнее время беспроводная передача данных как способ передачи данных между устройствами сбора данных и управления стала пользоваться большой популярностью среди разработчиков. На рынке появилось большое количество приемопередатчиков, использующих различные частотные диапазоны и способы кодирования. Методы беспроводной связи диапазона 2,4 ГГц для повышения помехоустойчивости используют технологию расширения спектра (*Spread Spectrum*). Наиболее популярными из них являются метод расширения спектра прямой последовательностью и метод расширения спектра скачкообразным изменением частоты. Компания Nanotron предложила использовать другой метод расширения спектра — линейно-частотную модуляцию (*Chirp Spread Spectrum, CSS*), позволяющую не только улучшить качество связи при более сложной помеховой обстановке, но и увеличить скорость передачи данных до 2 Мбит/с.

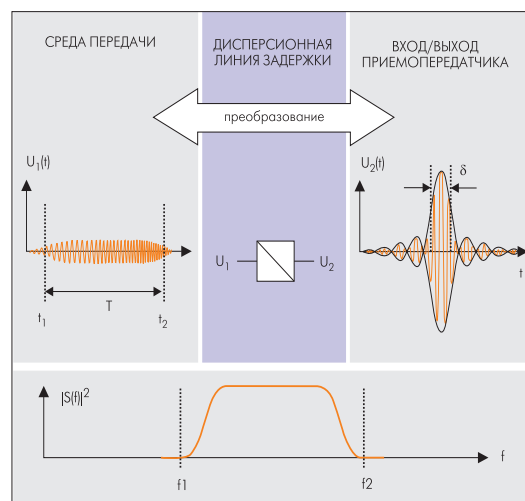


Рис. 1. Технология Nanotron

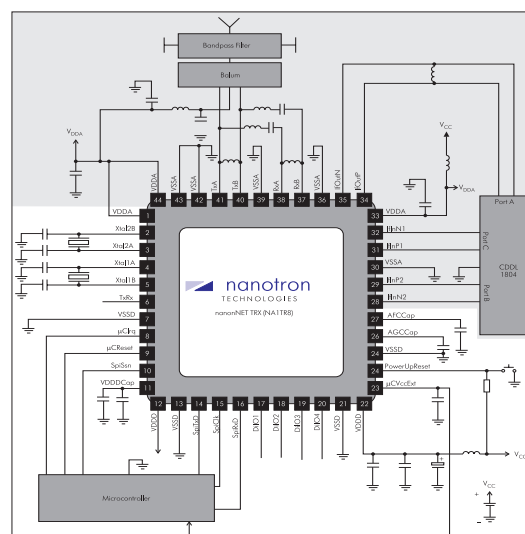


Рис. 2. Пример включения приемопередатчика nanoNET TRX

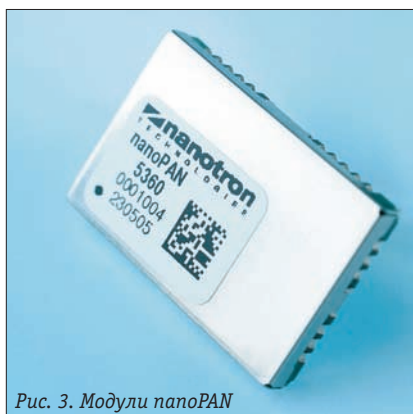


Рис. 3. Модули nanoPAN

Еще одной привлекательной особенностью данного приемопередатчика является достаточно низкое энергопотребление, которое было достигнуто за счет того, что первичная обработка линейно-частотного импульса выполняется аналоговым способом. Это позволяет использовать его в переносных устройствах с батарейным питанием. Ток потребления приемопередатчика в режиме передачи составляет 78 мА, в режиме приема 35 мА и 1,5 мкА — в «спящем» режиме (hibernate).

Кроме аналоговой части, приемопередатчик nanoNET TRX имеет цифровые узлы: часы реального времени, MAC-контроллер и SPI. Часы реального времени позволяют выводить приемопередатчик из «спящего» режима в заданные моменты времени. MAC-контроллер реализует два способа доступа к среде: CSMA/CA (множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий) и TDMA (множественный доступ с временным разделением каналов). Узел SPI осуществляет связь приемопередатчика с хост-контроллером.

Пример включения приемопередатчика представлен на рисунке 2. Область, выделенная серым цветом, является рекомендованной частью схемы. Основные узлы этой части — дисперсионная линия задержки (CDDL) и согласующий трансформатор (Balun). Дисперсионная линия задержки является необходимым элементом схемы и поставляется в комплекте с приемопередатчиком. Согласующий трансформатор позволяет обеспечить максимальную передачу выходной мощности приемопередатчика антенне путем согласования выходного сопротивления приемопередатчика и входного сопротивления антенны. Напряжение питания nanoNET TRX может меняться в пределах от 2,4 до 3,6 В.

### Модули nanoPAN

Время разработки конечного изделия может быть значительно сокращено, если

Таблица 1. Характеристики модулей nanoPAN

Наименование	nanoPAN 5360	nanoPAN 5361
Полосовой фильтр	есть	нет
Выходная мощность, дБм	6	8
Чувствительность приемника, дБм	- 90	- 92
Температурный диапазон, °С	-40...+85	
Размеры модуля, мм	20×30×3,5	

использовать готовые радиочастотные модули, содержащие всю необходимую обвязку к приемопередатчику. Компания Nanotron предлагает модули nanoPAN (рис. 3), которые можно использовать как для знакомства с приемопередатчиком, так и для использования в качестве готовых радиочастотных узлов в разрабатываемом устройстве. Модули содержат сам приемопередатчик nanoNET TRX, а также все необходимые внешние компоненты, включая дисперсионную линию задержки. Для обеспечения работоспособности этого модуля необходимо лишь подключить к нему антенну и управляющий микроконтроллер. Сейчас выпускаются два модуля: nanoPAN 5360 и nanoPAN 5361. Отличием модуля nanoPAN 5360 является дополнительный полосовой фильтр. Наличие такого фильтра позволяет получить лучшее качество связи при более высоком уровне внешних помех. Характерные особенности модулей nanoPAN представлены в таблице 1.

### Модуль с усилителем

На основе модуля nanoPAN 5361 создан мезонинный радиомодуль с усилите-

лем — Power Module (рис. 4). Выходная мощность усилителя достигает 20 дБм (100 мВт), что позволяет увеличить дальность передачи данных до 2500 метров в пределах прямой видимости и до 100 метров в помещении. Чувствительность такого модуля составляет -89 дБм. Увеличение мощности выходного сигнала повлекло за собой увеличение энергопотребления. Ток потребления такого модуля в режиме передачи при выходной мощности 20 дБм составляет 300 мА, в режиме приема — 35 мА.

### Программное обеспечение

Для создания сетевых приложений на базе приемопередатчика nanoNET TRX компания Nanotron предлагает, в зависимости от сложности беспроводного соединения, использовать один из двух пакетов программного обеспечения: Driver Software или Portable Protocol Stack (PPS). Оба пакета предоставляются в исходных кодах на языке C. Пакет Driver Software обеспечивает управление режимами работы приемопередатчика и содержит функции для приема и передачи сообщений. Пакет PPS

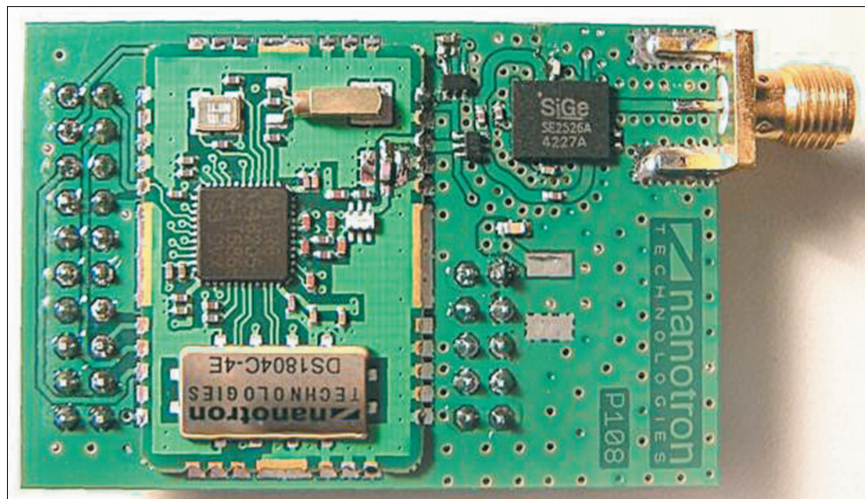


Рис. 4. Радиомодуль с усилителем

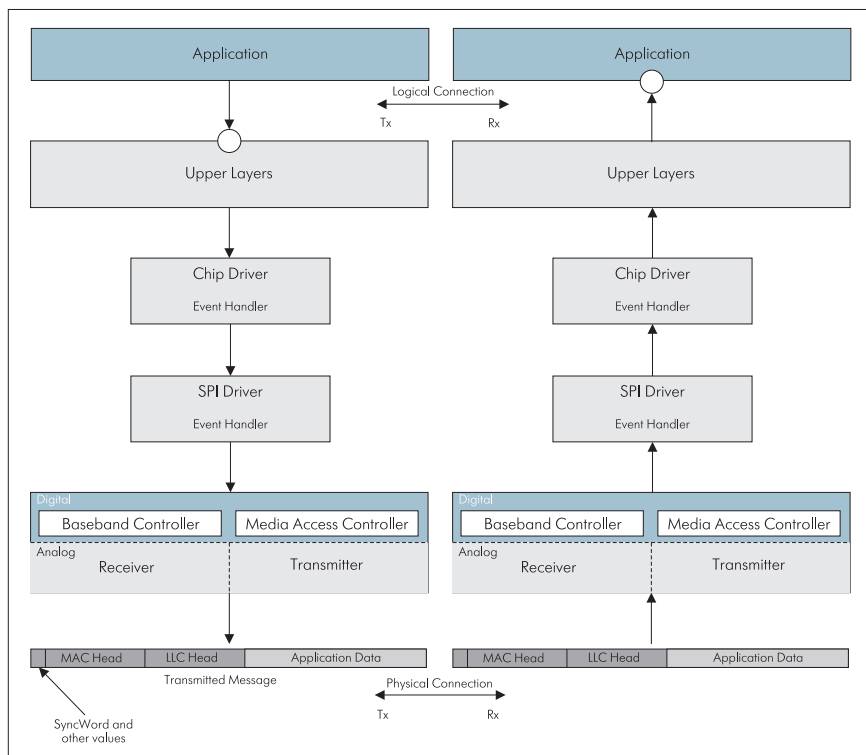


Рис. 5. Модель программного обеспечения Driver Software

позволяет реализовать сложные сетевые топологии.

Driver Software — программное обеспечение, реализующее передачу данных MAC-уровня в приемопередатчик через SPI. Основными функциями пакета Driver Software являются инициализация приемопередатчика, прием и передача сообщений по радиоканалу. Данное программное обеспечение можно использовать как для знакомства с приемопередатчиком, так и для реализации беспроводных соединений с топологией «точка-точка» и «звезда». Также этот пакет можно использовать в качестве базиса для разработки своего стека протоколов для более сложных беспроводных сетей. Модель Driver Software представлена на рисунке 5.

В состав Driver Software входит простое консольное приложение winppr (рис. 6), предоставляющее возможность управлять приемопередатчиком с персонального

компьютера. Приложение winppr позволяет установить адрес источника, настроить адрес получателя и начать обмен данными по радиоканалу. Главная особенность программы winppr заключается в том, что она предоставляется в исходных кодах. Это значит, что имеющийся код без особых сложностей может быть портирован на любой микроконтроллер. Такая особенность снимает необходимость использовать какой-либо конкретный микроконтроллер в качестве хост-процессора. Единственное условие использования такого кода — это наличие C-компилятора для выбранного микроконтроллера. Основными функциями драйвера являются: инициализация и управление приемопередатчиком, управление адресацией, отправка/прием широкополосных сообщений, фильтрация адресов, контроль ошибок, включение/выключение схемы запроса повторной передачи, включение/выключение коррекции ошибок (Forward Error Correction).

```
C:\Nanotron\winpp\Debug>winpp
ver:1. rev:99
Usage:
src <mac addr>          set local MAC address
dest <mac addr>         set destination MAC address
port <port addr>        set the parallelport address
exit                    exit application
chat                    start communication
help                    this menu
[ESC]                   leave chat mode
nn> _
```

Рис. 6. Программа winppr

Пакет Driver Software предоставляется бесплатно в комплекте с продукцией Nanotron.

Portable Protocol Stack (PPS) — ключевой элемент беспроводных сетей nanoNET, он предназначен для создания сетевых приложений для устройств на базе приемопередатчиков nanoNET TRX. Основной особенностью пакета PPS является возможность его переноса на любую микропроцессорную платформу (от 8-разрядных микроконтроллеров до 32-разрядных), а также способность работать как под управлением операционной системы, так и без нее. Имеется возможность конфигурировать PPS (подключать/отключать отдельные уровни стека протоколов в соответствии с требованиями приложения) при помощи вспомогательных скриптов. Обращение приложения к PPS осуществляется посредством API-функций высокого уровня, что упрощает структуру приложения и облегчает процесс разработки программы.

Модель программного обеспечения PPS представлена на рисунке 7. Полезной особенностью архитектуры PPS является то, что все уровни стека взаимодействуют друг с другом посредством универсального интерфейса ULI (Universal Layer Interface). Такое взаимодействие позволяет безболезненно исключать ненужные и добавлять необходимые уровни стека для обеспечения наилучшего соответствия программного кода поставленной задаче.

Коротко рассмотрим функции каждого уровня PPS.

Верхний уровень — уровень приложения (Application Layer). Он отвечает за инициализацию стека протоколов, конфигурирование приемопередатчика, а также за прием и передачу пакетов внутри беспроводной сети.

Под уровнем приложения располагается уровень интерфейса приложения — Application Interface Layer (AIL). Он представляет собой интерфейс взаимодействия PPS и приложения и не зависит от конфигурации PPS.

Уровень AIL дает возможность приложению использовать службы, предоставляемые более низкими уровнями, например, такие как включение/выключение необходимых уровней стека протоколов, просмотр всех передаваемых пакетов в сети, конфигурирование MAC-адреса и сетевой маски узла, управление режимом работы узла (конечный узел, шлюз), маршрутизация пакетов, фильтрация пакетов по адресу, конфигурирование приемопередатчика.

Далее следует уровень Logical Link Control (LLC). Данный уровень предостав-

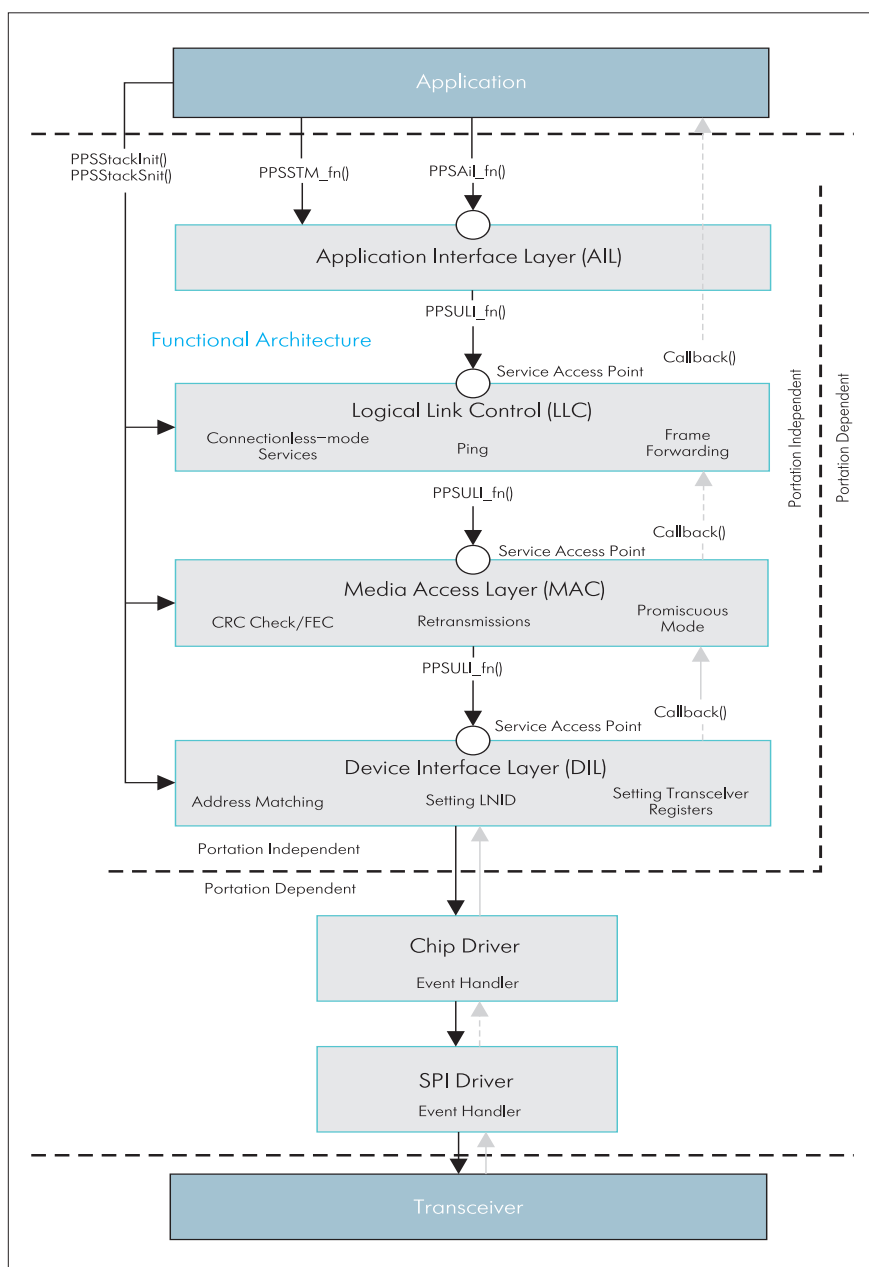


Рис. 7. Модель PPS

ляет сервисы, в первую очередь предназначенные для установления соединения между узлами сети и управления ими. На уровне LLC действуют следующие службы: посылка сообщения без подтверждения доставки, посылка сообщения с аппаратным подтверждением доставки, посылка сообщения с программным подтверждением доставки, обнаружение и удаление повторных пакетов. LLC также может иметь дополнительный модуль Frame Forwarding Module. Он разрешает или запрещает данному сетевому узлу участвовать в ретрансляции пакетов. Кроме того, уровень LLC дает возможность задействовать дополнительную службу Pi-

ng Service, которая позволяет определить, находится ли в данный момент определенный узел в сети или нет.

Уровень MAC, следующий за уровнем LLC, осуществляет программную поддержку функций встроенного MAC-контроллера приемопередатчика. К ним относятся: поддержка двух способов доступа к среде (TDMA или CSMA/CA), прием и передача пакетов, контроль при помощи циклического избыточного кода (CRC), коррекция ошибок. Кроме поддержки встроенных функций MAC-контроллера приемопередатчика уровень MAC-пакета, PPS предоставляет следующие службы: включение/выключение

режима просмотра всех передаваемых пакетов в сети, управление адресацией, прием широкоэмительных сообщений.

Device Interface Layer (DIL) — нижний уровень стека протоколов, он обеспечивает обмен сообщениями MAC-уровня между хост-контроллером и приемопередатчиком по SPI. Службами DIL-уровня являются: запись/чтение регистров приемопередатчика, конфигурирование приемопередатчика, управление пакетами, контроль ошибок в принимаемых пакетах.

Физический уровень реализован на приемопередатчике nanoNET TRX. Именно приемопередатчик осуществляет обмен данными по радиоканалу.

Для обеспечения работоспособности стека протоколов на аппаратную часть приемопередатчика узла накладываются следующие минимальные требования: наличие 8-разрядного микроконтроллера с объемом ОЗУ не менее 2 кбайт и объемом ПЗУ не менее 16 кбайт.

В отличие от пакета Driver Software программное обеспечение PPS является коммерческим продуктом.

В заключение хотелось бы заметить, что описанные приемопередатчики и модули могут найти широкое применение в системах мониторинга и управления, в охранных системах и в устройствах домашней автоматизации. На базе продукции Nanotron могут быть разработаны как простые беспроводные соединения («точка-точка» и «звезда»), так и сложные беспроводные сети с маршрутизацией. Высокая скорость передачи данных и хорошая помехозащищенность выгодно отличает технологию Nanotron от таких технологий, как ZigBee и Bluetooth. Вместе с тем следует учитывать, что из-за необходимости использования дисперсионной линии задержки решение от Nanotron оказывается несколько более дорогим. Компания Nanotron продолжает совершенствовать свою технологию, и в перспективе ожидается появление приемопередатчиков со скоростью передачи данных до 8 Мб/с.

## Литература

1. Data sheet nanoNET TRX NA1TR8 (www.nanotron.com) .
2. nanoNET TRX Driver and Driver Demo User Guide.
3. Portable Protocol Stack Version 2.0 (Introduction) .
4. Беспроводная связь в системах мониторинга и управления // Электронные компоненты, 2005. № 5.