Определение местоположения мобильного объекта

с помощью приемопередатчиков nanoLOC фирмы Nanotron

Алексей Аникин
aap@efo.ru

Российские разработчики уже имели возможность познакомиться с технологией беспроводного радиодоступа NanoNET компании Nanotron [1-3]. Напомним, что эта технология может эффективно использоваться в ситуациях, когда требуется высокая скорость передачи данных по радиоканалу в условиях дефицита электроэнергии и сложной помеховой обстановки. Для устройств nanoNET характерны скорости передачи данных до 2 Мбит/с, низкое энергопотребление и высокая устойчивость к действию помех, как естественного природного, так и искусственного происхождения.

К достоинствам технологии nanoNET можно отнести также то, что согласно решению № 07-20-03-001 Государственной Комиссии по радиочастотам от 7 мая 2007 года, разрешено ее свободное использование (при условии, что мощность излучения не превышает 100 мВт внутри помещений и 10 мВт вне помещений).

В этом году компания Nanotron объявила о выпуске новых кристаллов, поддерживающих технологию nanoNET, но в то же время способных решать задачу определения местоположения приемопередатчика в пределах радиосети. Новая микросхема, позволяющая совместить возможности беспроводной передачи данных и определения местоположения, получила название nanoLOC.

До сих пор единственной общедоступной радиосистемой, способной решать задачу определения координат мобильных объектов, была глобальная спутниковая система GPS. Эта система обладает рядом несомненных преимуществ, таких как точность определения координат, общедоступность, малые габариты GPS-приемников. Но у нее есть и существенный недостаток — система утрачивает свою работоспособность внутри закрытых помещений.

Между тем именно внутри помещений часто необходимо быстро и точно определить положение некоторого объекта. Например, в больнице от оперативности, своевременности и точности поступающей информации о состоянии больничного оборудования может зависеть здоровье, и даже жизнь человека. Аналогичная ситуация может возникнуть при функционировании системы противопожарной безопасности, когда требуется непрерывно вести контроль состояния всей системы и в случае возникновения тревожного сигнала быстро локализовать источник его поступления. Можно привести еще целый ряд ситуаций, в которых наряду с высокоскоростной передачей данных требуется определять местоположение источника поступления этих данных в пределах некоторого закрытого помещения. Решение данной проблемы с помощью проводных коммуникаций, прокладываемых внутри зданий и сооружений, является весьма дорогостоящим, а в тех случаях, когда объект, местоположение которого требуется определять, совершает перемещения, — и вовсе невозможным. Использование же беспроводных технологий компании Nanotron позволяет не только снизить затраты на монтаж и эксплуатацию оборудования, но и эффективно решать задачи, которые в прежних условиях считались неразрешимыми.

Среди существующих подходов к определению местоположения объекта можно выделить следующие.

Первый из них, применяемый преимущественно в радиолокации и радионавигации военного назначения (системы мониторинга воздушного пространства, наведения оружия и др.), основан на определении углового положения объекта T (рис. 1) относительно контрольных точек R_1 и R_2.

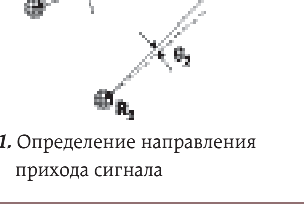

Рис. 1. Определение направления прихода сигнала

Местоположение данного объекта на плоскости однозначно определяется углами θ_1 и θ_2, отсчитываемыми от некоторых заранее оговоренных направлений (пунктир на рис. 1). Недостаток такого подхода заключается в том, что для определения угла необходимо использовать достаточно дорогостоящую и громоздкую антенную

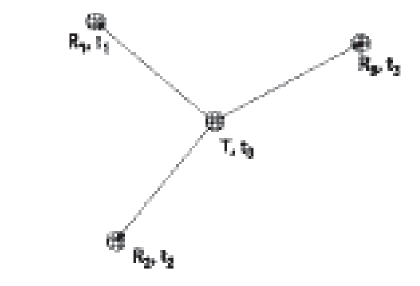

Рис. 2. Определение местоположения объекта по трем контрольным точкам

решетку, представляющую собой матрицу, составленную из отдельных антенн, обладающих определенными свойствами и расположенных в определенном порядке.

Другой подход к определению местоположения объекта T (рис. 2), также применяемый преимущественно в военных навигационных системах, связан с измерением времени распространения радиосигнала от объекта T до каждого из объектов R_1, R_2 и R_3, координаты которых заранее известны. Скорость распространения радиоволн известна, поэтому, измерив разности момента времени излучения t_0 сигнала и моментов времени t_1, t_2 и t_3 его прихода на объекты R_1, R_2 и R_3, соответственно, можно однозначно определить координаты объекта T на плоскости. Такой подход требует синхронизации по времени между всеми объектами T, R_1, R_2 и R_3 с точностью до нескольких пикосекунд, что существенно повышает стоимость всей системы и затрудняет ее эксплуатацию.

Компания Nanotron, взяв за основу второй из рассмотренных подходов, предложила свой метод определения локального местоположения объекта, позволяющий обойтись без жесткой временной синхронизации между объектами системы. Этот метод получил название Symmetric Double Sided Two Way Ranging (SDSTWR). Он основан на использовании теории оптимальной обработки сигналов. Заключается он в следующем. Представим систему, состоящую из двух объектов A и B (рис. 3). Расстояние между объектами неизвестно, и его необходимо измерить. Объект A посылает объекту B пакет данных с запросом на измерение расстояния и фиксирует момент времени отправки этого пакета. Объект B получает пакет данных от объекта A и через некоторое заранее известное время, необходимое для обработки запроса, высылает объекту A подтверждение. Объект A получает подтверждение от объекта B и фиксирует момент времени прихода этого подтверждения. Далее объект A, зная время, прошедшее между излучением пакета данных с запросом на измерение расстояния и получением подтверждения, может вычесть из него время, затраченное объектом B на обработку запроса. Разделив полученный результат на два, объект A будет знать время прохождения радиосигнала до объекта B. Скорость распространения радиоволн известна и равна скорости света, следовательно, не составит труда вычислить расстояние между объектами A и B.

Указанную процедуру измерения расстояния между объектами A и B для большей надежности можно проделать несколько раз, а затем вычислить среднее значение этого расстояния. Измерив расстояния от мобильного объекта до четырех контрольных точек с известными координатами, можно однозначно определить его местоположение в трехмерном пространстве.

Описанный метод SDSTWR был использован фирмой Nanotron в кристаллах nanoLOC. Низкое энергопотребление, но вместе с тем высокая помехоустойчивость и надежность достигнуты за счет использования для передачи информации особого вида сигналов, называемых линейно-частотно-модулированными (ЛЧМ).

ЛЧМ-сигнал представляет собой синусоиду с частотой, изменяющейся по линейному закону от некоторого начального до некоторого конечного значения. При этом частота может как нарастать, так и уменьшаться. В приемопередатчиках nanoLOC или nanoNET для формирования ЛЧМ-сигнала используется дисперсионная линия задержки, которая также служит и для его обработки при приеме, реализуя функции оптимального фильтра. Отклик оптимального фильтра ЛЧМ-сигнала определяется автокорреляционной функцией (АКФ) этого сигнала. Расположение главного максимума АКФ вдоль оси времени t в приемнике будет пропорционально времени запаздывания сигнала относительно некоторого начального момента времени.

С учетом сказанного можно упрощенно пояснить процесс определения расстояния между объектами A и B в методе SDSTWR с помощью рис. 4. Передатчик объекта A формирует ЛЧМ-сигнал путем подачи на дисперсионную линию задержки его АКФ (сигнала $U_1(t)$ на рис. 4). Одновременно фиксируется момент времени t_1, относительно которого будет измеряться запаздывание формируемого ЛЧМ-сигнала. Далее полученный ЛЧМ-сигнал $U_2(t)$ на выходе дисперсионной линии задержки объекта A излучается в эфир, принимается объектом B, ретранслируется с задержкой $T_{обр}$ и принимается снова объектом A. Приемник объекта A осуществляет обработку принятого сигнала пропусканием его через дисперсионную линию задержки и фиксирует его запаздывание

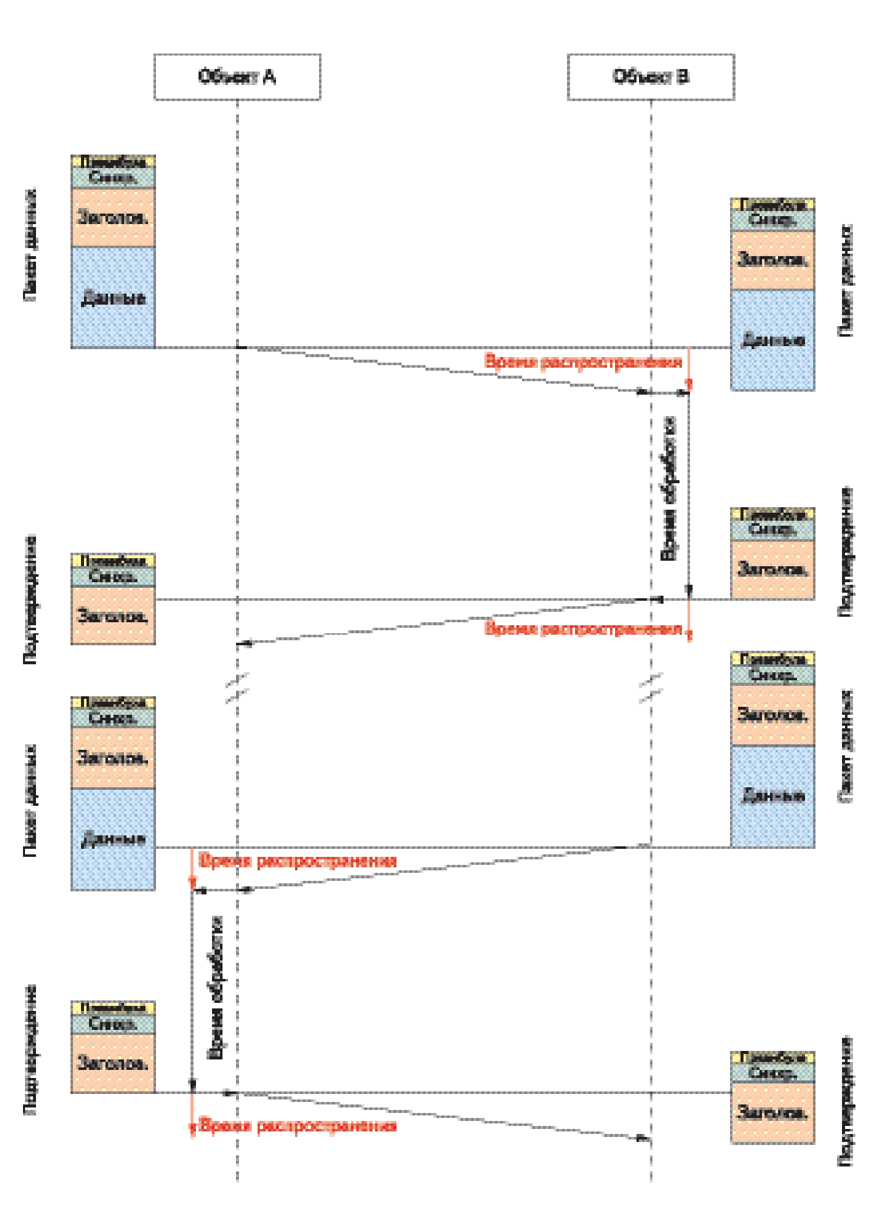

Рис. 3. Иллюстрация работы SDSTWR-метода определения локального местоположения объекта фирмы Nanotron

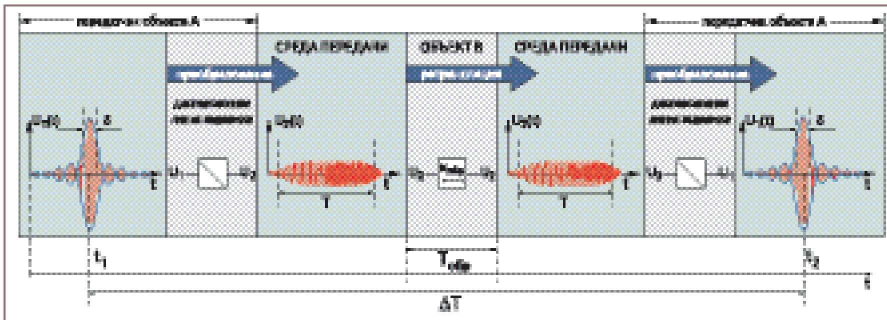

Рис. 4. Определение задержки ЛЧМ-сигнала в методе SDSTWR

$\Delta T = t_2 - t_1$. Далее расстояние D между объектами A и B вычисляется по простой формуле:

$$D = \frac{\Delta T - T_{obr}}{2C},$$

где C — скорость света.

Острота пика АКФ δ определяет точность измерения времени запаздывания радиосигнала $U_2(t)$ и является величиной, обратно пропорциональной ширине его частотной полосы ΔF (рис. 5). При заданной частотной полосе ΔF ЛЧМ-сигнал обладает наименьшей возможной шириной δ главного пика своей АКФ.

Амплитуда главного пика АКФ пропорциональна площади спектра сигнала, попадающего в полосу ΔF (рис. 5). Совершенно очевидно, что при заданной полосе частот ΔF и прочих равных условиях, таких как амплитуда и длительность, ЛЧМ-сигнал обладает АКФ максимальной амплитуды по сравнению с сигналами, использующими другие виды модуляции. За счет этого достигается хорошая заметность (обнаруживаемость) отклика оптимального фильтра ЛЧМ-сигнала на фоне шумов и прочих помех, присутствующих в радиоэфире (рис. 6).

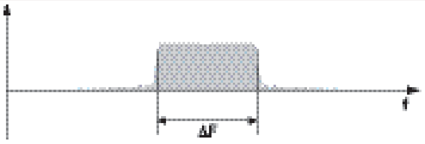

Рис. 5. Спектр ЛЧМ-сигнала

Информационная емкость канала связи или максимально достижимая скорость передачи данных согласно теореме Шеннона определяется как:

$$V = \Delta F \log_2\left(\frac{E_s + E_0}{E_0}\right) \text{ (бит/с)},$$

где E_s — энергия сигнала, а E_0 — энергия шумов, попадающих в полосу сигнала ΔF за время приема сигнала. Теорема Шеннона позволяет оценить максимальную скорость передачи данных в определенной помеховой обстановке (заданной энергии шумов E_0). Поскольку, как было отмечено ранее, при фиксированной частотной полосе ΔF ЛЧМ-сигнал обладает наибольшей возможной энергетикой, вполне логично ожидать достижения максимально высоких скоростей передачи данных в заданном частотном диапазоне.

Эффективная ширина спектра передаваемого ЛЧМ-сигнала в приемопередатчиках nanoLOC составляет 20 МГц, в отличие от приемопередатчиков nanoNET с шириной спектральной полосы 64 МГц. Но зато nanoLOC предусматривает использование 3 неперекрывающихся или 7 перекрывающихся частотных каналов FDMA (Frequence Divisin Multiple Access). Это позволяет использовать несколько локальных беспроводных сетей в пределах одного помещения. Максимальная мощность передатчика nanoLOC составляет 1 мВт.

В данный момент устройства nanoLOC доступны в нескольких видах. Это непосредственно сам приемопередатчик nanoLOC TRX Transceiver, а также следующие устройства, использующие в своем составе данный приемопередатчик:

1. Модуль nanoLOC RFM, имеющий в своем составе все компоненты, необходимые для соединения nanoLOC Tranceiver с антенной и с внешними устройствами управления и обработки, готовый к монтажу на различные платы радиотехнического назначения.
2. Радиомодуль nanoLOC USB Stick. Это полностью готовый к самостоятельному использованию модуль, включающий nanoLOC RFM, антенну, USB-разъем для подключения к внешним устройствам и микрочип FTDI 2232L, служащий для сопряжения nanoLOC RFM с интерфейсом USB. Дополнительного питания не требуется.
3. Отладочная плата nanoLOC ATMega Development Board (рис. 7). Плата содержит модуль nanoLOC RFM, программируемый микроконтроллер ATmega 128L, антенну, разъем RS-232, разъем питания на +3 В, а также целый ряд периферийных устройств, таких как светодиодные элементы, кнопки, порты ввода/вывода и др.
4. Отладочный набор nanoLOC ATmega Development Kit. Представляет собой комплект, в состав которого входят пять плат nanoLOC ATMega Development Board (далее, nanoLOC DK Board), радиомодуль nanoLOC USB

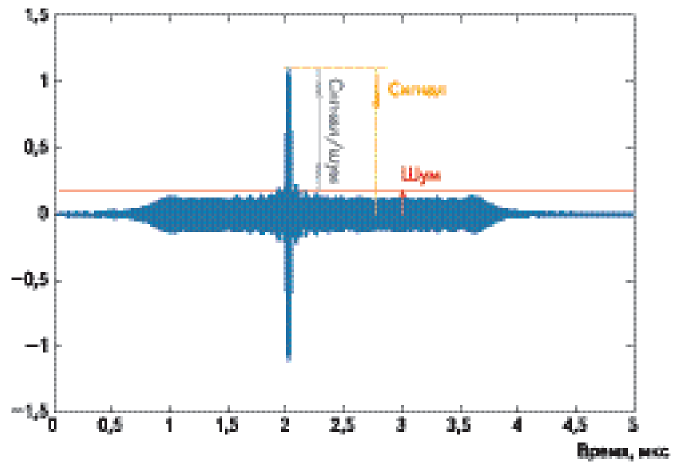

Рис. 6. Выделение ЛЧМ-сигнала на фоне шума

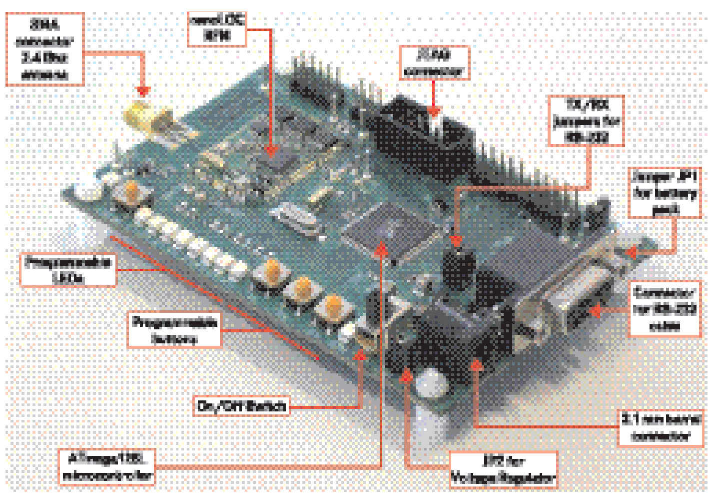

Рис. 7. Отладочная плата nanoLOC ATMega Development Board

Stick, а также все необходимые аксессуары и документация. Основную стоимость комплекта составляет программное обеспечение, включающее демонстрационные программы с открытыми исходными кодами и библиотеки функций для инициализации приемо/передатчика, передачи данных и определения местоположения.

Для того чтобы трехмерные координаты некоторого узла сети, изменяющего свое местоположение в пространстве, могли быть однозначно определены, необходимо, чтобы эта сеть содержала как минимум четыре других узла, координаты которых заранее известны. Поэтому отладочный комплект nanoLOC ATmega Development Kit содержит пять отладочных плат nanoLOC DK Board с кристаллами nanoLOC. Четыре платы должны выступать в качестве узлов с известными координатами (опорных узлов), относительно которых будут измеряться координаты пятой платы (подвижного узла).

В комплект nanoLOC ATmega Development Kit, как уже упоминалось, входит модуль nanoLOC USB Stick, служащий для передачи данных о состоянии радиосети на персональный компьютер через стандартный интерфейс USB. Эта возможность крайне полезна на этапе разработки и отладки протокола функционирования сети.

Остановимся более подробно на программном обеспечении, поставляемом в комплекте nanoLOC ATmega Development Kit. Оно представляет собой набор демонстрационных проектов, полностью обеспечивающих работоспособность отладочного комплекта nanoLOC ATmega Development Kit в следующих пяти режимах:

1. Измерение координат узла радиосети в трехмерном пространстве и передача этих координат на персональный компьютер с целью их наглядного отображения.
2. Измерение расстояния между двумя произвольными узлами радиосети и передача измеренного значения на персональный компьютер.
3. Дистанционное управление светодиодами одной платы нажатием на клавиши другой платы.
4. Проверка наличия связи между двумя отладочными платами.
5. Использование отладочных плат nanoLOC DK Board в качестве модемов для передачи текстовых данных с одного персонального компьютера на другой.

Следует отметить, что возможности по измерению местоположения некоторого узла сети или дистанции между двумя соседними узлами этой сети используются только в первых двух демонстрационных режимах.

Приемопередатчики nanoLOC несколько отличаются от известных приемопередатчиков nanoNET своими электрическими характеристиками, адресами и конфигурацией внутренних регистров. Несмотря на это, общая структура драйвера для кристалла nanoLOC TRX Transceiver практически идентична nanoNET TRX Transceiver. Добавлено только несколько специфических функций, использующихся непосредственно для измерения дистанции методом SDSTWR, определения координат и инициализации. Причем эти функции скомпилированы в объектный библиотечный файл libranging.a для микроконтроллеров семейства AVR. Эта библиотека используется при компиляции исходных кодов проекта, написанного на языке Си, и создания выходного HEX-файла, прошиваемого далее в отладочную плату.

В заключение хотелось бы отметить, что радиомодули nanoNET и nanoLOC уже могут использоваться в различных технических приложениях, начиная от локальных самоорганизовывающихся радиосетей, функционирующих в сложной помеховой обстановке, и заканчивая специфическими приложениями, как, например, передача видеоданных по радиоканалу с подвижного объекта или сбор, обработка и передача данных о быстро вращающихся или совершающих иные движения деталях машин и механизмов. Все это свидетельствует о том, что разработки фирмы Nanotron обладают высоким потенциалом и являются перспективными для применения в российских условиях. БТ

Литература

1. Артеев В., Долгушин С. Беспроводные сети nanoNET // Беспроводные технологии. 2005. № 1.
2. Мощевикин А. Исследование скорости передачи данных в беспроводных сетях nanoNET // Беспроводные технологии. 2006. № 3.
3. Кривченко Т., Кривченко И., Долгушин С., Артеев В., Федоров В., Ламберт Е., Курилин А. Беспроводная связь в системах мониторинга и управления // Электронные компоненты. 2005. № 5.