

Идентификация потоков грузов RFID-метками

на основе беспроводных сетей ZigBee

Александр Еркин, к. т. н.
AlexErk@macroteam.ru

Рост грузооборота во всем мире заставляет искать эффективные средства идентификации грузов, чтобы обеспечить надежный и оперативный контроль за их сохранностью и местонахождением. Простейшим методом автоматизации учета товаров является нанесение меток со штрих-кодами и их считывание с помощью оптических сканеров. Однако свойственные этому методу серьезные недостатки — медленная обработка при большом потоке, уязвимость к механическому повреждению, зависимость считывания от ориентации предмета, короткий радиус действия при считывании — привели к необходимости поиска более эффективных решений. Таким решением стала радиочастотная идентификация RFID (Radio Frequency Identification), предоставляющая существенно больше возможностей по идентификации. В ее основе лежит технология получения с помощью радиоволн информации от специальной метки, размещенной на объекте. По существу, это метод запроса-ответа, использовавшийся для опознавания «своих» самолетов еще во время Второй мировой войны.

В 1948 г. теоретические основы RFID-технологии изложил Гарри Стокман в работе «Коммуникации посредством отраженного сигнала» (Communication by Means of Reflected Power). Теория воплотилась в практику в 1973-м, когда в США Марио Кардулло получил патент на «Пассивный радиопередатчик с памятью», в котором была, по сути, описана современная RFID-технология. Патент Кардулло предусматривает использование в качестве средства передачи информации радиоволн, света и звука. Первая демонстрация действующих прототипов современных RFID-чипов (на эффекте обратного рассеяния), как пассивных, так и активных, была проведена в Исследовательской лаборатории Лос-Аламоса в 1973 г. Портативная система работала на частоте 915 МГц и использовала 12-битные метки. Первый патент, в котором уже прямо упоминалась аббревиатура RFID, был выдан Чарльзу Уолтону в 1983 г.

В настоящее время технологии РЧ-меток активно развиваются, их сфера применения неуклонно расширяется, и появилось множество типов меток, которые различаются по рабочей частоте, источнику питания, типу

памяти, форм-фактору и т. п. [1, 2]. По типу используемой памяти различают следующие RFID-метки:

- RW (Read and Write) — содержат идентификатор и блок памяти для чтения/записи информации. Данные в них могут быть перезаписаны многократно.
- WORM (Write Once Read Many) — кроме уникального идентификатора, содержат блок однократно записываемой памяти, которую в дальнейшем можно многократно читать.
- RO (Read Only) — данные записываются лишь один раз, при изготовлении. Такие метки пригодны только для идентификации. Новую информацию в них записать нельзя и их практически невозможно подделать.

По типу питания все РЧ-метки можно разделить на пассивные и активные. Пассивные метки не имеют собственного источника питания и запитываются энергией считывающего устройства. Они самые простые, компактные и дешевые. Активные метки содержат собственный источник питания, они сложнее и значительно дороже пассивных, но дальность их действия и скорость работы в десятки и сотни раз больше. Эти различия определяют преимущественные сферы применения РЧ-меток [3].

Дешевые пассивные метки уже используются для маркировки относительно недорогих товаров массового спроса, например в супермаркетах. Благодаря применению РЧ-меток можно усовершенствовать процесс покупки вплоть до полного самообслуживания, включая оплату. Уже не нужно каждый товар подносить к считывателю, как в случае со штрих-кодами, достаточно провести тележку с покупками вблизи считывателя, и информация обо всех товарах окажется в кассе. Остается только расплатиться по счету. При наличии банковской карты покупатель просто подносит карту к терминалу, кассир уже не нужен. Кстати, такие карты используются также в турникетах общественного транспорта.

Однако для идентификации грузов в контейнерах при массовых перевозках пассивные метки не пригодны из-за малой дальности действия, здесь нужны только активные метки. Например, при перевозке партии грузов на корабле, поезде или в автофургоне может отсутствовать доступ к каждому контейнеру. Если же каждый контейнер снабжен активной РЧ-меткой, то его

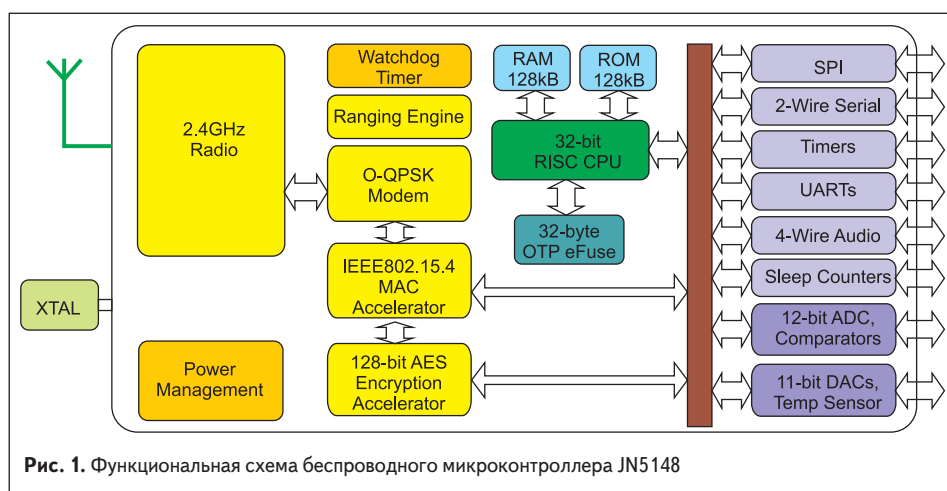


Рис. 1. Функциональная схема беспроводного микроконтроллера JN5148

можно идентифицировать на расстояниях в десятки и сотни метров за доли секунды. Преимущества использования активных меток многократно возрастают, если эти метки являются узлами сети ZigBee [4]. В этом случае, подключившись к одному из узлов, можно войти в сеть и по цепочке получить информацию обо всех грузах, расположенных на большой территории — на складе, в трюме, в вагоне. Обмен данными происходит очень быстро, и поэтому идентификационную информацию можно получить без остановки транспорта, например при пересечении пограничного поста автофургоном или поездом. Еще одним преимуществом объединения меток в сеть является возможность получения информации о координатах любой метки, что может быть полезным, например, при поиске местонахождения определенного контейнера на складе или на корабле. Цель данной статьи — обратить внимание разработчиков на класс сетевых систем РЧ-идентификации. Поскольку они только начинают развиваться, а ценность практи-

ческих приложений вполне очевидна, то для разработчиков возникает довольно обширное поле деятельности. Рассмотрим особенности технической реализации активных систем РЧ-идентификации.

Активная RFID-метка

Системы РЧ-идентификации (RFID) используют радиочастотное электромагнитное излучение для чтения/записи информации на небольшое устройство, называемое меткой, или транспондером. RFID-система состоит из считывающего устройства и множества радиочастотных датчиков — меток с встроенной антенной, приемопередатчиком и батареей. Датчик-метка может содержать данные о типе объекта, стоимости, весе, температуре, логистических кодах и т. п. Обязательными элементами активной РЧ-метки являются ресивер (приемопередатчик), микропроцессор, память, антенна, батарея питания и интерфейс для записи информации (программирования). В современных разработках ресивер и микропроцессор объединены в одну БИС, называемую беспроводным микроконтрол-

лером. На рис. 1 приведена функциональная схема одного из лучших беспроводных микроконтроллеров универсального назначения JN5148 фирмы NXP (ранее компания Jennic). Для работы МК требуется подключить внешний кварцевый резонатор, несколько резисторов и конденсаторов и микросхему флеш-памяти с последовательным считыванием для обеспечения начальной загрузки системы в момент включения (рис. 2). Программирование РЧ-метки можно осуществлять через один из двух портов UART. Ниже приведены основные характеристики МК.

Приемопередатчик:

- частота 2,4 ГГц, соответствие стандарту IEEE802.15.4;
- система позиционирования;
- 128-битное шифрование данных AES;
- MAC-ускоритель с пакетным форматированием, CRC, проверкой адреса и перезапросом при недопустимом количестве ошибок, таймеры;
- возможность передачи данных на скоростях 500 и 667 кбайт/с;
- «спящий» режим для экономного потребления;
- напряжение питания 2,0–3,6 В, возможность работы от литиевой батарейки;
- потребление в спящем режиме 0,12 мкА;
- потребление в спящем режиме с включенным таймером 1,25 мкА;
- ток потребления при передаче 18 мА;
- ток потребления при приеме 15 мА;
- чувствительность приемника –95 дБм;
- мощность передатчика 2,5 дБм.

Микроконтроллер:

- 32-битовый RISC-процессор с частотой 4–32 МГц;
- низкое энергопотребление;
- переменная величина кодовых слов для эффективного программирования;
- ПЗУ 128 кбайт и ОЗУ 128 кбайт; MAC IEEE802.15.4 и элементы беспроводных сетевых стеков включены в ПЗУ устройства;
- интерфейс JTAG для отладки;
- четыре 12-разрядных АЦП, два 12-разрядных ЦАП, два компаратора;
- три таймера/счетчика;
- два порта UART;
- порт SPI с пятью режимами;
- двухпроводной последовательный интерфейс;
- четырехпроводной цифровой аудиоинтерфейс;
- охранный таймер и схема Power-on-Reset;
- до 21 DIO.

Диапазон рабочих температур –40...+85 °С. Корпус QFN с 56 выводами 8×8 мм.

JN5148 поддерживает спящий режим с низким потреблением (около 1 мкА), в котором тактовая частота ЦПУ снижается до 4 МГц. Благодаря этому режиму срок службы литиевой батареи РЧ-метки может составлять несколько лет. Наличие ПЗУ объемом 128 кбайт позволяет поддерживать как стек ZigBee PRO (около 90 кбайт), так и приложение пользователя одновременно. МК поддерживает протоколы IEEE802.15.4 и ZigBee PRO и совместим с протоколом 6LoWPAN и с собственным стеком JenNet.

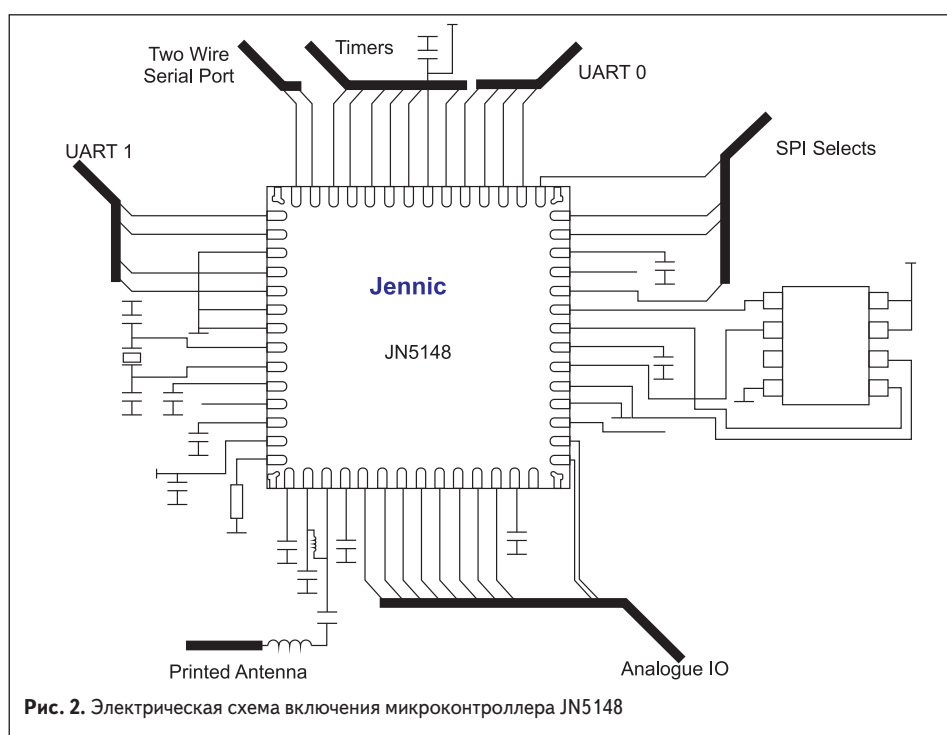


Рис. 2. Электрическая схема включения микроконтроллера JN5148

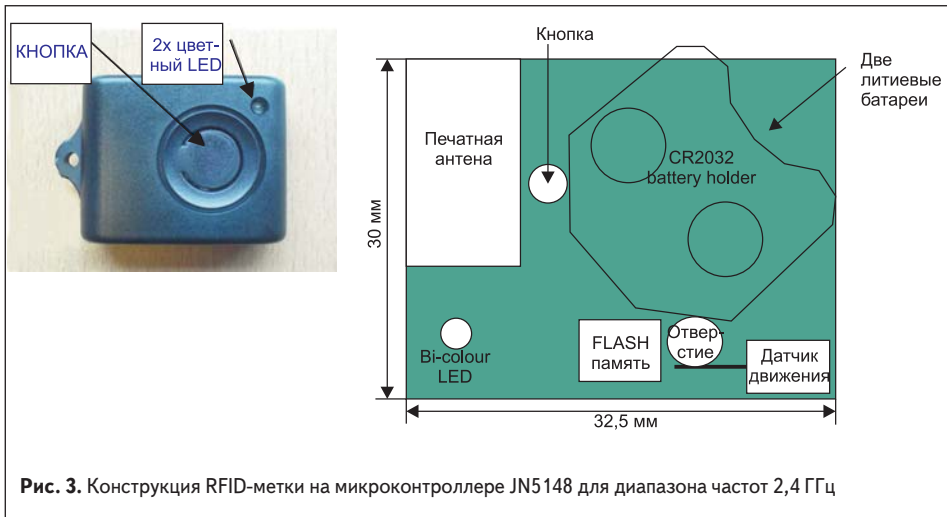


Рис. 3. Конструкция RFID-метки на микроконтроллере JN5148 для диапазона частот 2,4 ГГц

Для считывания информации с РЧ-метки данного типа можно использовать точно такой же прибор (рис. 2), но запрограммированный для подключения к компьютеру. Такая возможность имеется благодаря сетевому принципу работы. Поскольку рассматриваемый МК спроектирован для работы в сети ZigBee, то он имеет встроенное программное обеспечение (стек протокола) для автоматического поиска и соединения с аналогичным устройством. Выполнить ридер можно в виде USB-донгла, вставляемого в порт компьютера с соответствующим программным обеспечением для дешифровки данных по протоколу IEEE802.15.4. Ток потребления такого адаптера не превышает 32 мА. Для МК JN5148 имеется также программное обеспечение для организации интернет-шлюза (по протоколу IPv4), поэтому с ридером можно работать напрямую через Интернет.

В качестве примера реализации на рис. 3 показаны внешний вид РЧ-метки и конструкция печатной платы на МК JN5148. Такая РЧ-метка работает на частоте 2,4 ГГц, обнаруживается на расстоянии до 100 м и может работать без замены батареи до пяти лет. Все элементы RFID-датчика, включая антенну и литиевую батарею, размещаются на двухсторонней печатной плате 30×32,5 мм.

Объединение RFID-меток в сеть ZigBee

Сеть ZigBee является распределенной самоорганизующейся сетью из множества однотипных элементов, соединенных радиоканалом. Каждый узел представляет собой описанную выше метку. Протокол работы любого узла предусматривает прием данных, передачу собственных данных и ретрансляцию данных смежных узлов. Благодаря взаимосвязи смежных узлов область покрытия подобной сети может составлять многие километры.

Стандарт ZigBee определяет, какими свойствами должны обладать устройства, входящие в сеть; каким образом пакет информации передается от одного узла сети к другому; как обеспечивается безопасность передачи информации; как новое устройство подключается к сети, какова ее топология (какой узел в сети является главным, какой — подчиненным). В спецификации стека предусмотрены три типа устройств: координа-

тор, маршрутизатор и оконечное устройство. Координатор инициализирует сеть, управляет ее узлами, хранит информацию о настройках каждого узла, задает номер частотного канала и идентификатор сети PAN ID, а в процессе работы может являться источником, приемником и ретранслятором сообщений. Маршрутизатор отвечает за выбор пути доставки сообщения, передаваемого по сети от одного узла к другому, и в процессе работы также может являться источником, приемником или ретранслятором сообщений. Оконечное устройство не участвует в управлении сетью и ретрансляции сообщений, являясь только источником/приемником сообщений.

ZigBee поддерживает сложные топологии сетей (рис. 4), в которых данные от конечного узла могут идти в центр сбора не только напрямую, но и через промежуточные узлы. За счет этого дальность связи может быть весьма значительной, несмотря на короткий радиус действия отдельных устройств. В сети теоретически может быть объединено до 65 тыс. устройств, поскольку возможна 16-разрядная адресация узлов ($2^{16} = 65536$). В расширенном варианте разрядность адресов может быть увеличена до 64.

Замечательной особенностью сети ZigBee является сохранение ее работоспособности в случае

появления или исчезновения какого-либо узла. Это свойство основано на том, что каждый узел следит за своими «соседями», постоянно обновляя маршрутные таблицы на основе оценки мощности принятых от них сигналов. В результате при изменении пространственного расположения «соседей» или удалении из сети одного из устройств вычисляется новый маршрут следования сообщения. Для работы склада или при переупаковке груза это свойство становится совершенно необходимым — контейнеры могут прибывать и убывать. Очевидно, в этом случае сеть должна иметь топологию MESH — каждый узел связан с каждым (рис. 4), а координатором сети является считывающее устройство.

При использовании микроконтроллеров JN5148 появляется возможность определения координат меток [5]. Эта возможность основана на наличии в МК встроенного модуля (блок Ranging Engine на рис. 1) определения расстояния между узлами на основе измерения времени пролета сигнала — технология ToF (Time of Flight). Знание координат позволяет, например, легко найти груз с заданным идентификационным номером.

Проектирование сети из RFID-меток

Рассмотрим основные этапы процесса проектирования системы ZigBee. Соприжение с датчиком, выбор типа антенны и флеш-памяти, источника питания и корпуса модуля — вот все, что нужно сделать на «железном» уровне. Вся остальная часть разработки производится на программном уровне и заключается в программировании спецификаций сети, датчиков и оконечных устройств (обычно это компьютеры). В комплект программного обеспечения входит несколько типовых применений, и тогда достаточно просто задать некоторые спецификации.

Сначала формируются узлы сети, которые работают с оконечными устройствами. Разработчику необходимо обеспечить сопряжение датчика с МК по одному из портов, определить режимы работы, форматы данных, составить форматы для вывода данных из сети и прописать все это в ПЗУ МК. Сетевой стек беспроводных протоколов содержит уникальный MAC-адрес IEEE802.15.4, которым снабжается каждый из официально

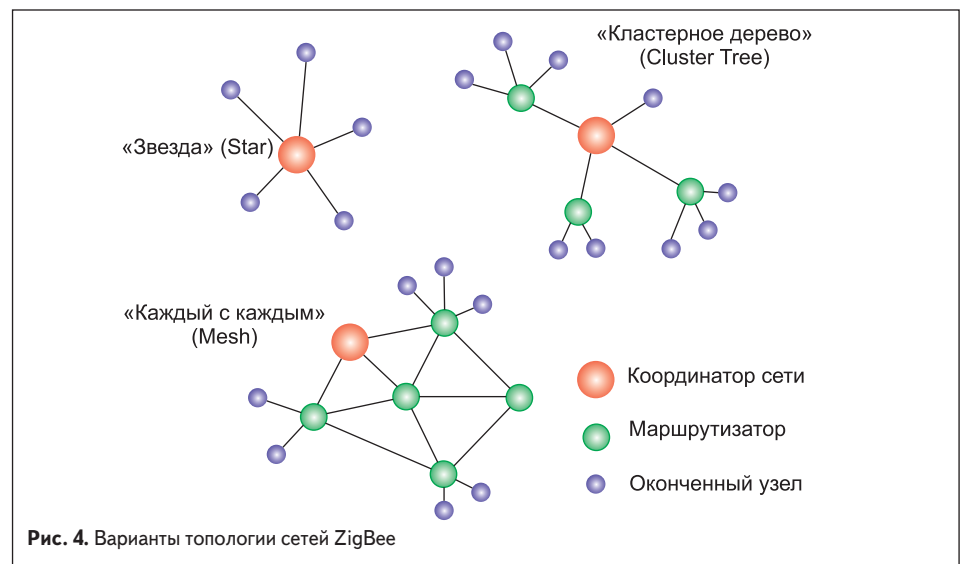


Рис. 4. Варианты топологии сетей ZigBee

поставляемых модулей. Благодаря объему памяти 128 кбайт, JN5148 может поддерживать стек ZigBee PRO и почти любое типовое приложение одновременно. При необходимости может быть обеспечена совместимость с сетевым протоколом для IP-соединения 6LoWPAN и с собственным стеком JenNet.

Для разработчиков, использующих МК JN5148, имеются бесплатные программные пакеты нескольких уровней сложности (бинарный пакет начального уровня, JN-SW-4041, JN-SW-4040, JN-SW-4035, JN-SW-4031, Cygwin Command Line интерфейс и др.) и ряд библиотек к ним (SDK Libraries). Разработчикам предоставляется комплект программного обеспечения JN-RD-6009-Active-RFID, в который входят все необходимые программы для прошивки ПЗУ микроконтроллера которые позволяют с минимальными усилиями адаптировать алгоритм работы RFID-системы к особенностям задачи пользователя.

- Пакет JN-SW-4041 Eclipse Integrated Development Environment (IDE) является вторым поколением платформы для разработки программного обеспечения Jennic. Содержит средства создания и управления проектом, редактор кода со встроенным контролем синтаксиса, навигацию по источникам кодов, утилиту конфигурирования графического RTOS и инструменты визуальной отладки. Поддерживаемые продукты: JN5148 802.15.4, ZigBeePRO, JenNet. Пакет позволяет разрабатывать программы на основе языка программирования C/C++. В него входят интегрированная среда проектирования (IDE) фирмы Eclipse (версия Ganymede-SR2-win32), отладочные инструменты для инициализации и создания бинарных файлов, компилирующие инструменты и программатор флеш-памяти. Имеются драйверы для работы с последовательными портами, программирования по порту JTAG и проведения проверки функционирования дерева сети.
- Пакет JN-SW-4031 Code::Blocks Integrated Development Environment (IDE) предоставляет все возможности, которые требуются от интегрированной среды проектирования (IDE), включая полное управление проектом, редактирование кодов источников, управление конфигурацией и построением проекта, утилиту для программирования флеш-памяти и встроенный отладчик. Поддерживаемые продукты: JN5148 802.15.4, JenNet, ZigBee2004, 6LoWPAN.
- Пакет Cygwin Command Line Interface (CLI) является общим для обоих SDK, содержит пакет инструментов разработки для Linux-подобного интерфейса, работающего в Windows и предназначенного для пользователей, которые предпочитают использовать файлы для создания и управления проектом.

Области применения систем активных RFID

Автоматизация учета грузов на складах

При транспортировке и размещении на складе груза, снабженного РЧ-меткой, его местонахождение легко отслеживать и автоматически регистрировать в общей базе данных. Система

позволяет резко сократить время обработки груза при прохождении пунктов досмотра и упрощает поиск крупногабаритных грузов на больших складах.

Контроль за имуществом

Во многих видах деятельности, имеющих дело с имуществом, теряются миллионы долларов на то, чтобы обеспечить гарантию безопасности имущества, или на отслеживание условий его хранения. Беспроводные МК Jennic с соответствующим ПО позволяют разработать системы оперативного контроля и сопровождения имущества. Платформа сопровождения имущества на основе стандарта IEEE802.15.4 предоставляет возможность создавать надежное RFID-решение активного типа с длительным временем работы датчика от батареи. Встроенные в микроконтроллер JN5148 датчики могут измерять температуру и влажность в месте нахождения имущества: они посылают на заранее выбранный приемник данные периодически, оставаясь большую часть времени в режиме сна, в котором практически нет потребления энергии. 64-разрядный идентификационный адрес MAC ID датчика обеспечивает уникальность информации при передаче ее по сети. Такая система отслеживания имущества снижает число ошибок при его хранении. Ключевые особенности системы:

- наличие шифрования AES для безопасной передачи;
- датчики для измерения наряду с функцией бирки;
- сетевые возможности считывателей облегчают развертывание системы;
- низкая стоимость референс-дизайна;
- более пяти лет работы от батареи в типовых задачах.

Автоматизация управления движением общественного транспорта

Технология RFID может быть использована для учета времени въезда и выезда транспортных средств (автотранспорта, троллейбусов, трамваев) на территории предприятий [6]. Автоматизация подразумевает присвоение каждому транспортному средству РЧ-метки с уникальным идентификационным номером. При выезде из парка или во время проезда мимо контрольных учетных точек происходит регистрация этих событий в единой базе данных предприятий для дальнейшего анализа. Учет автобусов, трамваев, троллейбусов на промежуточных участках может помочь в формировании картины потока общественного транспорта в течение дня. В таких случаях на метку накладываются определенные требования:

- работа при отрицательных температурах;
- вандалоустойчивость;
- водонепроницаемость;
- считывание данных на большом расстоянии.

RFID-контроль местонахождения транспортных средств на СТО

На транспортное средство прикрепляется РЧ-метка, в момент попадания ее в зону действия считывателя в базу данных заносится соответствующая запись. Аналогично заносится запись о выходе метки из контролируемой зоны. Это

позволяет отслеживать местоположение автомобилей в боксах, на подъемниках или в других местах станций техобслуживания, в которых будет вестись контроль. Возможна реализация сервиса по предоставлению клиенту информации о транспортном средстве через веб-сервер, автоматическое оповещение клиента о завершении работ по электронной почте, SMS.

Активные РЧ-метки позволяют отказаться от использования сотовой сети для контроля за маршрутом транспортных средств. За пределами контрольных точек метка может с определенной периодичностью накапливать информацию от приемника GPS о местонахождении автомобиля. При прохождении пункта считывания эта информация автоматически сбрасывается диспетчеру, который может просмотреть основные точки маршрута и проконтролировать тем самым движение автомобиля без использования GSM-канала. Хотя стоимость активной метки сравнима со стоимостью недорогого GSM-модема, отсутствие затрат на трафик и поддержание отдельного номера в сотовой сети позволяет во много раз снизить расходы на содержание системы контроля транспортных средств.

Выводы

Основные преимущества технологии активных RFID:

- Для считывания информации не требуется прямая видимость радиочастотной метки, поэтому с целью обеспечения скрытности и сохранности она может располагаться внутри упаковки (если она не металлическая).
- Скорость чтения меток может достигать 1000 шт. в секунду.
- Возможно практически одновременное чтение большого количества меток.
- Метка может содержать большой объем информации, причем есть возможность ее изменения.
- С меткой можно работать удаленно на большом расстоянии.
- Устройство долговечно и обладает высокой степенью безопасности, которая обеспечивается применением уникального идентификатора, назначаемого на заводе при ее изготовлении, а также шифрованием данных, записываемых в метку.
- Метка устойчива к воздействию окружающей среды, поскольку ее всегда можно поместить в любую защитную полимерную оболочку.

Литература

1. Василий О. Радиочастотные метки в поле зрения // Сети и телекоммуникации. 2007. № 12.
2. RFID: спорная технология будущего. www.nestor.minsk.by/kg/2009/10/kg91018.html.
3. RFID-решения. www.vital-ic.com.
4. Еркин А. Н. Особенности проектирования беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic // Беспроводные технологии. 2010. № 2.
5. Еркин А.Н. Новые возможности беспроводных сетей ZigBee: измерение координат и скоростей узлов Jennic // Беспроводные технологии. 2011. № 1.
6. Keytex rfid traffic registration system. www.keytex.ru/index.php?page=products_view&id=1.