

Исследование условий применимости приемопередатчиков

стандарта nanoNET

в беспроводных сетях датчиков

Евгений Жиганов
Сергей Красков
Алексей Мошевикин
alexsmou@lab127.karelia.ru

В последнее время зарубежными и отечественными фирмами часто разрабатываются сети датчиков, построенные на основе беспроводных технологий. Такие сети можно использовать для экологического мониторинга, контроля местоположения транспортных объектов, удаленной регистрации набора физических параметров объектов, в том числе в быту, медицине, энергосберегающих приложениях и т. д. [1–3].

Введение

Различные производители аппаратуры предлагают свои способы, алгоритмы и модули приема-передачи сигналов. Одной из таких беспроводных технологий передачи данных является технология nanoNET, разработанная фирмой Nanotron Technologies (Германия). Особенности данной технологии:

- Для передачи символов данных (бит) используются электромагнитные сигналы с плавно изменяющейся частотой (CSS-модуляция, Chirp Spread Spectrum). При этом для передачи двоичного символа может использоваться сигнал с увеличивающейся частотой, сигнал с уменьшающейся частотой или отсутствие сигнала. Также стандарт предусматривает возможность кодирования символов в четверичной (а не двоичной) системе счисления – в этом случае для кодирования нуля, единицы, двойки и тройки используется отсутствие сигнала, сигнал с увеличивающейся частотой, сигнал с уменьшающейся частотой и смешанный сигнал соответственно.
- Несущая частота составляет 2,4 ГГц, ширина спектра сигнала – 80 МГц.
- Передача одного символа (то есть одного бита информации для случая двоичной системы счисления и двух бит для случая четверичной) длится 1 мкс: таким образом, предельная скорость передачи составляет 1 Мбит/с для двоичной и 2 Мбит/с для четверичной систем счисления соответственно; имеется также режим передачи на скорости 500 кбит/с.

- Для адресации узлов сети используются 6-байтовые числа, которые могут назначаться как централизованно, так и разработчиком приложений; возможна также широковещательная рассылка кадров в сети.

Приемопередатчики nanoNET, выпускаемые фирмой Nanotron, обладают следующими свойствами:

- Наличие гибких средств управления доступом к среде передачи, а также средств обнаружения и коррекции ошибок передачи и средств шифрования.
- Потребляемый ток не превышает 78 мА при максимальном уровне сигнала на выходе 8 дБм (чувствительность приемной части до –92 дБм).
- Программирование и управление модулями ведется по встроенному интерфейсу SPI с предельной частотой синхронизации до 16 МГц.

При проектировании беспроводных сетей, в отличие от сетей проводных, более остро стоит проблема управления доступом к среде передачи. Разработчики технологии nanoNET предусмотрели несколько способов:

1. Доступ с разделением по времени (TDMA, Time Division Multiple Access).

При использовании этого способа узлы сети работают на передачу только в отведенное им время, так что коллизии (наложение сигналов разных узлов) исключены. Для осуществления данного алгоритма все узлы оснащены часами и используют специальные синхропакеты.

2. Доступ с обнаружением несущей (CSMA, Carrier Sensing Multiple Access).

В этом случае узел имеет право работать на передачу только тогда, когда он не «слышит» никаких сигналов от других узлов. Определение занятости среды может быть основано либо на текущем значении уровня сигнала, либо на факте обнаружения символов (битов) данных. Кроме того, в модуль nanoNET встроен удобный алгоритм оценки длительности передачи кадра NAV (Network Allocation Vector): при приеме поступающего кадра после прочтения заголовков узел на основании значения длины кадра, битовой скорости и времени межкадровых промежутков всегда может определить следующий момент освобождения среды передачи.

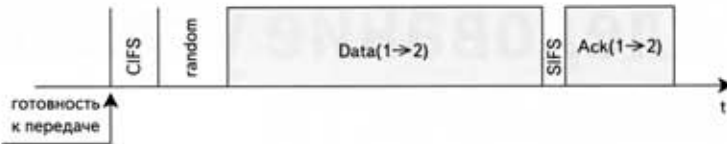


Рис. 1. Метод доступа к среде передачи CSMA

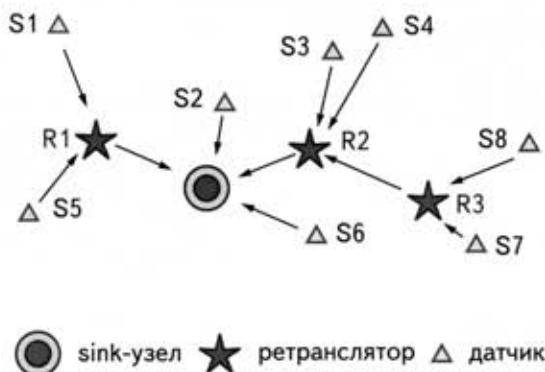


Рис. 2. Типовая беспроводная сеть датчиков с тремя видами узлов

На рис. 1 изображена временная схема приема-передачи кадра в режиме CSMA.

После получения трансивером команды начать передачу, он должен выдержать фиксированную паузу для проверки среды на незанятость (CIFS, Carrier Sense InterFrame Space), а затем подождать еще некоторое время, определяемое генератором случайных чисел (на рис. 1 обозначено random, от 0 до 7 временных интервалов для первой попытки отослать кадр). Введение элемента случайности и последовательное увеличение диапазона генерации интервала ожидания для повторных попыток позволяет избегать коллизий. После окончания передачи информационного кадра (Data) приемная сторона должна через несколько микросекунд (SIFS, Switching InterFrame Space) послать в эфир кадр подтверждения Ack.

Следует отметить, что данный алгоритм не исключает возможность возникновения коллизий, поскольку вероятность одновременного начала передачи сигнала в эфир не равна нулю. Например, в ситуации при одновременной готовности к передаче два узла в сети могут сгенерировать одинаковое число random и начать передачу почти в один момент.

3. Доступ с обнаружением несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA, Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance).

Это более сложный вариант предыдущего способа. Перед тем как начать передачу (при условии, что среда свободна), узел посылает получателю короткий запрос на передачу. Если получатель свободен от приема данных, то он отвечает коротким разрешением на передачу. Все остальные узлы, которые зарегистрировали данный обмен пакетами, обязаны не транслировать сигнал в среду в течение времени, рассчитанного по алгоритму NAV.

При построении беспроводных сетей датчиков, как правило, предусматривают наличие трех типов узлов – пункты сбора данных (обычно обозначаются как sink node, base station или master node), маршрутизаторы или ретрансляторы (router node) и датчики (sensing node). На рис. 2 изображен фрагмент сети, включающий

один пункт сбора данных, три ретранслятора и несколько узлов-датчиков.

Узлы-датчики в соответствии с заданными им алгоритмами выполняют измерение того или иного физического параметра и передают информацию на пункт сбора данных – либо непосредственно, либо через цепочку узлов-ретрансляторов, в зависимости от удаления от пункта сбора и условий прохождения сигнала. Узел – пункт сбора, который, как правило, сопряжен с компьютером, используется для накопления, визуализации и анализа поступающих данных, а также для предоставления результатов анализа конечным пользователям через глобальные сети. Возможны смешанные типы узлов, например, узел-датчик может исполнять и функцию ретранслятора.

При выполнении данной работы в качестве приемопередатчиков использовались трансиверы nanoPAN (NA1TR8) стандарта nanoNET [9] в связке с микроконтроллером ATmega32L (MCU, MicroController Unit) (рис. 3).

Микроконтроллер используется для управления режимами работы трансивера nanoPAN, подготовки кадров к передаче, анализа поступающих через радио-интерфейс данных, формирования простейших статистических данных.

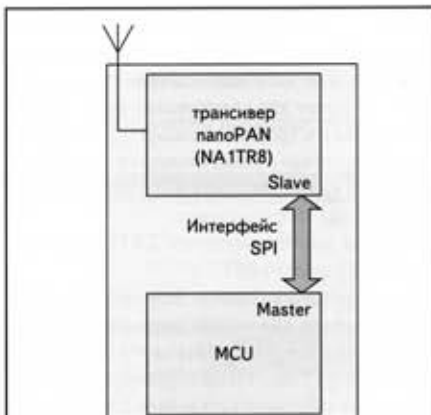


Рис. 3. Модуль беспроводной связи стандарта nanoNET

При выполнении данной работы авторы решили следующие задачи:

- расчет и изготовление нескольких типов антенн;
- разработка для модулей программного обеспечения, дающего возможность провести необходимые эксперименты;
- определение качества связи в зависимости от:
 - расстояния между приемником и передатчиком,
 - типа используемых антенн,
 - уровня выходного сигнала,
 - типа поверхности (земля, вода);
- проверка корректности функционирования приемопередатчиков в режиме CSMA/CA (необходимо было убедиться, что передатчики делят среду передачи более или менее «справедливо»).

Свойства и характеристики использованных антенн

Как известно, характер распространения электромагнитной волны (ЭМВ) сильно зависит от ее длины λ . Вследствие небольшого значения длины волны для частотного диапазона 2,4 ГГц ($\lambda=12,5$ см), принципы распространения ЭМВ в данном диапазоне тождественны законам распространения световых волн, поэтому такие волны называют квазиоптическими. Хотя радиосвязь и возможна при наличии небольших препятствий, но наилучшее качество связи обеспечивается только в условиях прямой видимости. В этом случае максимально возможная дистанция ограничена кривизной земной поверхности, мощностью передатчика и чувствительностью приемника.

Благодаря малой длине волны удается создавать приемопередатчики и антенно-фидерные устройства малых геометрических размеров и веса при достаточно высокой их эффективности: все это подчас может иметь большое значение при построении беспроводных сетей.

Одним из недостатков радиотехнологий данного диапазона является то, что частота 2,4 ГГц является резонансной для молекул воды и хорошо поглощается различными материалами (бетон, дерево), что ведет к ухудшению характеристик связи в условиях тумана и дождя. Тем не менее использование подходящих антенн, правильное проектирование структуры сети и тщательный выбор точек расположения приемно-передающей аппаратуры позволяет свести указанный недостаток к минимуму.

Задача антенны состоит в преобразовании энергии высокочастотного генератора в излучение электромагнитных волн (в случае передачи) и в извлечении энергии из электромагнитного поля (в случае приема). Согласно теореме обратности, одну и ту же антенну можно одинаково применять и для приема и для передачи, поскольку параметры антенны не зависят от направления распространения электромагнитного сигнала.

К главным характеристикам антенн относят ее направленность и усиление. Антенну, излучающую равномерно во все стороны, называют круговой или изотропным излучателем. Однако создать на практике изотропную антенну невозможно, она существует только в теории и служит для качественных оценок. На практике каждая антенна характеризуется своей диаграммой направленности, то есть у нее всегда можно выделить направления, соответствующие максимальному и минимальному уровням генерируемого излучения.

Для описания антенны необходимо представить диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, но, как правило, ограничиваются диаграммой в горизонтальной плоскости. Для примера на рис. 4 представлена диаграмма направленности в полярной системе координат полуволнового вибратора в горизонтальной плоскости (антенна расположена горизонтально). Диаграмма направленности антенны позволяет установить некоторые важные характеристики, в частности ширину главного лепестка, которую также называют углом раскрыва. Последний определяется как угол между прямыми, проведенными из центра диаграммы и пересекающимися лепестком направленности в точках, равных 0.71 от полной амплитуды, что соответствует уменьшению мощности на 50% (-3 дБ).

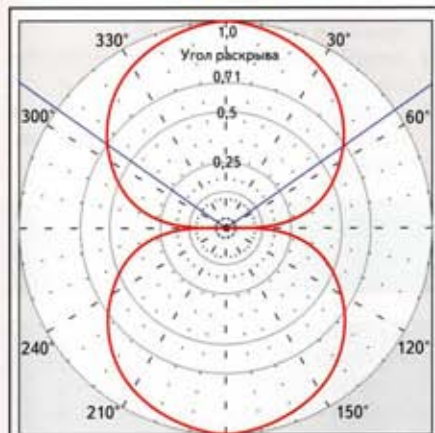


Рис. 4. Диаграмма направленности полуволнового вибратора

Усиление антенны – сравнительная характеристика. Она вводится из-за необходимости сравнивать параметры реальной антенны с эталонной, в качестве эталонной антенны берется изотропный излучатель, а иногда и полуволновой вибратор, который имеет усиление в 1,64 дБ в направлении максимума излучения относительно изотропного излучателя (или 1,64 дБи). Коэффициент усиления антенны (G) показывает, во сколько раз при прочих равных условиях мощность сигнала P_1 от направленной антенны, отдаваемая потребителю, больше мощности сигнала P_2 согласованной эталонной антенны: $G = P_1/P_2$. Для удобства проведения расчетов коэффициент усиления антенны выражают через логарифмическую пропорцию в децибелах (дБ): $G = 10 \times \lg(P_1/P_2)$. Как усиление антенны, так и диаграмма направленности выражают интенсивность излучения в определенном направлении и тесно связаны между собой. Высокий коэффициент усиления антенны всегда говорит об ее узкой направленности, и чем он больше, тем уже лепесток направленности, и наоборот, чем уже лепесток, тем выше усиление. В экспериментах, описанных в следующем разделе, исследовалось качество связи для приемопередатчиков nanoNET при использовании разных антенн диапазона 2,4 ГГц — как изготовленных промышленностью, так и самодельных.

1. **Полуволновая антенна** 17010.10 с SMA-разъемом (далее на графиках обозначена S).

Данная 50-омная антенна (рис. 5) длиной 95 мм генерирует линейно-поляризованную ЭМВ, имеет усиление 2,1 дБи и коэффициент стоячей волны по напряжению (Voltage Standing-Wave Ratio, VSWR), равный 2.



Рис. 5. Полуволновая антенна 17010.10

2. **Многослойная SMD-антенна AN9520 компании Rainsun** (далее упоминается как SMD). Антенна (в России продается под идентификатором WLAN0259, <http://www.rainsun.com/Products/LTCC/AN9520/AN9520.html>) предназначена для поверхностного монтажа и обладает следующими характеристиками (рис. 6):

- линейная поляризация;
- габариты 9,5×2,0×1,0 мм³;
- усиление 1,5 дБи;
- импеданс 50 Ом.



Рис. 6. SMD-антенна AN9520

3. **Спиральная антенна.** По многочисленным отзывам в Интернете [6] спиральная антенна обладает относительно простой конструкцией, проста в изготовлении и при этом имеет отличные характеристики.

Антенна изготавливается из медного провода, намотанного на диэлектрическую оправку инертного к микроволновому излучению материала. Для устранения нежелательного излучения в обе стороны и повышения усиления антенны, с одной из сторон спирали имеется дисковый или квадратный рефлектор. Схематическое изображение спиральной антенны представлено на рис. 7. В книге Ротхаммеля [4] рекомендованы следующие размеры антенны: диаметр спирали $D = 0,31\lambda$, шаг спирали S выбирают исходя из угла подъема витков в пределах 6–24° (при угле подъема 14° значение S составляет 0,24λ). Размер рефлектора R выбирается небольшим, но всегда больше 0,5λ; R обычно выбирают в диапазоне (0,62–1,1)λ.



Рис. 7. Схематическое изображение спиральной антенны

Коэффициент усиления спиральной антенны с углом подъема витков 12–15° и числом витков не менее 3 можно оценить по следующей формуле [4]:

$$G = 10 \times \lg(15 \times L^2 n S) \text{ [дБ]},$$

где L – длина витка и S – шаг спирали, выраженные в длинах волн, n – число витков.

В одной из публикаций была предложена формула для расчета угла раскрыва диаграммы направленности [4]:

$$\alpha = 52 / (L n S)^{0,2},$$

где α выражена в градусах.

Спиральная антенна генерирует ЭМВ с круговой поляризацией, таким образом, полное раскрытие потенциала данной антенны возможно лишь при работе в паре с антенной аналогичного типа. Тем не менее она, как и следовало ожидать, показала хорошие результаты при работе с антеннами, имеющими линейную поляризацию. Теоретические потери в данном случае составляют 3 дБ, что, учитывая достаточно большой коэффициент усиления антенны (до 20 дБ), может оказаться приемлемым.

По материалам [4] и [6] были изготовлены две экспериментальные антенны, имеющие 24 и 3 витка и расчетное усиление 20 дБи ($\alpha = 20^\circ$) и 10 дБи ($\alpha = 60^\circ$) соответственно. Обе антенны подключались к трансиверам с разъемами SMA кабелями RG-58 метровой длины. Их внешний вид представлен на рис. 8 и 9, в качестве направляющего конструктивного элемента была использована канализационная ПВХ труба диаметром 40 мм (поливинилхлорид практически не поглощает электромагнитное излучение в диапазоне частот около 2,4 ГГц).



Рис. 8. Спиральная 24-витковая антенна (далее обозначена H24)



Рис. 9. Спиральная 3-витковая антенна (далее обозначена H3)

4. **Коллинеарная антенна.**

Подчас для построения беспроводной сети необходима антенна, которая наряду с достаточно высоким коэффициентом усиления имела бы круговую диаграмму направленности. К таковым в полной мере относятся коллинеарные антенны, которые представляют собой систему вибраторов, возбуждаемых синфазно.

Конструкция созданной 7-сегментной коллинеарной антенны описана в работе [7]. При количестве сегментов, равном семи, теоретическое усиление антенны составляет 7 дБи, что достигается сужением лепестка направленности в плоскости, перпендикулярной оси антенны. На рис. 10 представлен трехколенный вариант антенны с указанием ее геометрических размеров. Каждое колено представляет собой полуволновой вибратор. Для обеспечения синфазности излучения вибраторов применены фазосдвигающие элементы в виде индуктивностей.

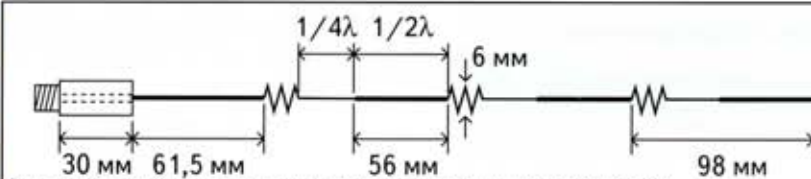


Рис. 10. Коллинеарная антенна (далее по тексту эта антенна обозначена С7)

Также для тестирования была изготовлена еще одна коллинеарная антенна, описание которой было обнаружено в сети Интернет [8]. Антенна выполнена травлением двустороннего текстолита, имеет два вибратора и линию согласования, которая уравнивает фазы сигналов с вибраторов. Геометрические размеры антенны – 210×10 мм, теоретический коэффициент усиления составляет около 2 дБи.

К сожалению, из-за отсутствия соответствующих приборов авторам не удалось измерить параметры всех представленных антенн и кабельных систем; результаты, приведенные далее, носят лишь описательный характер. ■

Окончание следует

Литература

1. Akyildiz I.F., Sankarasubramaniam W. Su. Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks. Vol. 38. March 2002.
2. Akkaya K. and Younis M. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks // Elsevier Ad Hoc Networks Journal. Vol. 3/3. 2005.
3. Sartaj Sahni and Xiaochun Xu. Algorithms For Wireless Sensor Networks // Intl. Jr. on Distr. Sensor Networks. 1. pp. 35–56. 2005.
4. Ротхаммель К. Антенны / Пер. с нем. 1-е изд. СПб.: «Бояныч». 1998.
5. Антенны спутниковые, ТВ, РВ, СИ-БИ, КВ, УКВ (конструкции, каталоги фирм, иллюстрированный обзор публикаций). М.: «Символ-Р». 1998.



Рис. 11. Коллинеарная антенна (далее обозначена PCB)

6. Изготовление спиральной антенны для беспроводных сетей диапазона 2.4 ГГц. <http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/helix/>
7. Building the Aerialix ARLX-OM2400 Collinear Antenna Kit.
8. Коллинеарная антенна для сетей Wi-Fi на стеклотекстолите. <http://rj3dde.narod.ru/wifi/wifi.htm>.
9. nanoNET TRX (NA1TR8) Transceiver Datasheet. Ver. 2.07. NA-03-0111-0239-2.07.
10. Мошевикин А. Исследование скорости передачи данных в беспроводных сетях nanoNET // Беспроводные технологии. 2006. № 3.
11. nanoNET TRX (NA1TR8) Transceiver Register Description. Ver. 1.06. NA-03-0100-0246-1.06.
12. Артеев В., Долгушин С. Беспроводные сети NanoNET // Беспроводные технологии. 2005. № 1.