

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ МОЩНОСТИ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА (RSSI) НА ДЛИТЕЛЬНЫХ ПЕРИОДАХ ВРЕМЕНИ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

В.Г. Гавриленко, А.А. Кирюшин, К. Шринивасан, А.Н. Садков

Нижегородский госуниверситет

Работа посвящена исследованию вариаций уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI) между узлами сенсорной сети на длительных периодах времени. Актуальность этой задачи связана с возрастающим интересом к технологиям беспроводных сенсорных сетей. Исследование беспроводных каналов в сенсорных сетях имеет принципиальное значение в связи с их особенностями и сильным влиянием на функционирование всех уровней сенсорной сети [1]. Ранее было показано [2], что существуют временные вариации уровня мощности принимаемого сигнала и что их учет может существенно улучшить параметры работы сенсорной сети, однако ничего не было сказано о причинах таких вариаций.

В данной работе делается попытка объяснить вариации RSSI на длительных периодах времени. Представлены результаты серии экспериментов по изучению вариаций мощности принимаемого сигнала между парами беспроводных сенсорных узлов типа Tmote Sky [3].

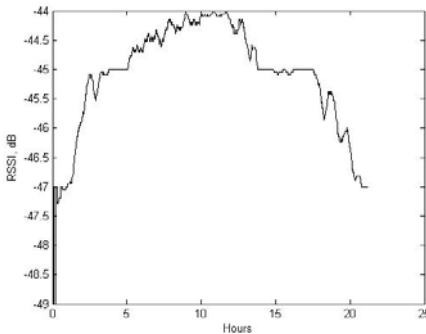


Рис. 1

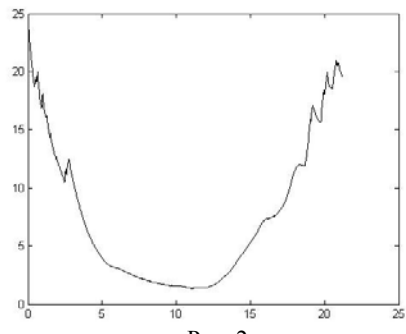


Рис. 2

В экспериментах два узла сенсорной сети располагались на ровной поверхности на расстоянии 3 метра, высота подъема узлов над землей около 10 сантиметров. Узлы периодически, с периодом 60 сек, передавали друг другу пакеты. При приеме пакета в память узла записывалось значение RSSI, а также снималась информация с

сенсорных датчиков влажности и температуры. Эксперимент проводился в течение 24 часов. Результаты экспериментов представлены на рис.1 и 2.

На рис. 1 показана зависимость уровня мощности принимаемого сигнала от времени. Как видно из приведенного графика, значение RSSI монотонно изменяется в течение суток. Такие вариации, с периодом 24 часа, наблюдаются и в течение более длительного периода времени. На рис. 2 представлена зависимость значения температуры окружающей среды от времени.

На приведенных графиках видна четкая корреляция между изменениями температуры окружающей среды и значением уровня мощности принимаемого сигнала, из чего можно сделать вывод, что причиной временных вариаций RSSI являются вариации температуры.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке более эффективных протоколов обмена информацией для беспроводных сенсорных сетей. Результаты экспериментов показывают, что для обеспечения стабильной связи необходимо повышать термостабилизацию сенсорных узлов.

Работа выполнена при поддержке академической программы компании «Интел».

- [1] Srinivasan K., Dutta P., Tavakoli A., Levis P. // Technical Report SIGN-06-00.
- [2] Lin S., Zhang J., Zhou G., Gu L., He T., Stankovic J. // ACM SenSys. 2006.
- [3] CC2420 Datasheet (rev. 1.3).

КОГЕРЕНТНОЕ СУММИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УЗЛОВ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

К.Г. Мишагин, А.Н. Садков, А.Л. Умнов

Нижегородский госуниверситет

В сенсорных сетях возникает целый ряд новых проблем, изучению которых уделяется большое внимание [1, 2]. Одной из таких проблем является проблема низкой связанности, заключающаяся в дроблении сети на не связанные между собой группы узлов. Дробление сети может быть связано как с наличием естественных или искусственных преград между беспроводными узлами, так и являться результатом «энергетической деградации» сети, под которой понимается постепенный выход из строя сенсорных узлов в результате истощения в них запаса энергии, который в каждом узле является ограниченным. В данной работе исследуется новый способ передачи информации в беспроводных сенсорных сетях, основанный на когерентном сложении полей, излучаемых близко расположенными беспроводными узлами. Когерентное сложение позволяет увеличить дальность передачи информации и может быть использовано для повышения зоны покрытия и решения проблемы низкой связанности сети в случае неоднородного размещения беспроводных узлов. Создана компьютерная модель сенсорной сети, использующей предлагаемый способ передачи информации. При моделировании метода коллективной передачи

информации сеть разбивается на кластеры и связь осуществляется между кластерами. Предполагается, что канал связи между кластерами является дуплексным. В работе проведен численный анализ эффективности метода коллективной передачи информации, основанный на изучении связанности сети. В численных экспериментах связанность сети определяется как процентное отношение количества узлов, составляющих связанный граф наибольшего размера, к общему числу узлов сети.

При расчете суммарного поля от системы излучающих узлов сети комплексная амплитуда поля на расстоянии r от каждого узла вычисляется по эмпирической формуле, полученной для приземных каналов связи [3]:

$$E(r) = E_s \left(\frac{r}{R} \right)^{-d} \exp(-ikr), \quad (1)$$

где E_s – фиксированный порог чувствительности по полю для приемных устройств, k – волновое число в свободном пространстве, d – степень затухания поля, которая варьируется от $d=1$ (для модели свободного пространства) до $d=2$ (для модели распространения радиоволн над проводящей поверхностью). Радиус действия R является фиксированным и не зависит от выбранной степени затухания d (предполагается, что для разных степеней затухания мощность излучателей разная, обеспечивающая постоянство параметра R).

Результаты компьютерного моделирования показали, что прямая реализация метода коллективной передачи информации позволяет как улучшить, так и ухудшить связанность сети в зависимости от условий распространения радиоволн.

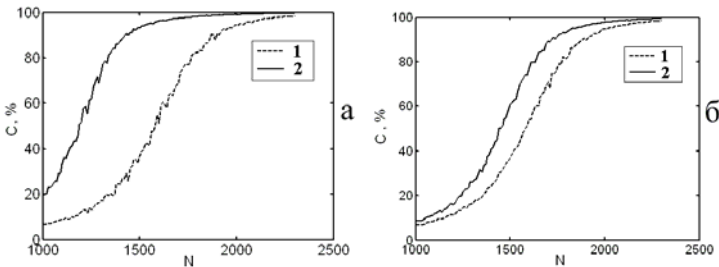


Рис. Зависимость связанности сети от общего количества узлов для разных значений степени затухания поля (а – $d=1$, б – $d=2$) при использовании случайного подбора фазовых сдвигов. 1 – результат для сети без кластеризации, 2 – сеть с кластеризацией

Если степень затухания напряженности электромагнитного поля $d > 1.4$, то связанность сети, основанной на коллективной передаче информации, становится ниже в сравнении с сетью без использования коллективной передачи информации.

Показано, что использование простого адаптивного алгоритма, который предполагает случайную подстройку фаз в излучателях, позволяет решить эту проблему и качественно повысить эффективность использования коллективной передачи информации даже в случае высокой степени затухания поля. На рис. представлены

результаты численного счета, иллюстрирующие эффективность использования метода коллективной передачи информации со случайной перестройкой фаз в излучателях.

Использование случайной подстройки не обеспечивает максимальную суммарную мощность в приемном узле, однако дает возможность повысить связанность сети без реализации сложных адаптивных алгоритмов, исследование которых требует отдельного рассмотрения. Важно отметить, что в реальных условиях многолучевого распространения узлы сети могут попадать в зону замирания сигнала и связь с такими узлами нарушается. Управление полем излучения кластера за счет подстройки фаз в передатчиках должно позволить эффективно бороться с подобными эффектами интерференции.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-02-16499 и программы «Ведущие научные школы» – НШ-6043.2006.2.

- [1] Callaway E.H. Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols. New York: CRC Press, 2004.
- [2] Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramanian Y., and Cayirci E. // IEEE Commun. Magazine. 2002. V. 40. No. 8. P.102.
- [3] Sohrabi K., Manriquez B., Pottie G.J. // Proc. IEEE Vehicular Technol. Conf. Houston, 1999. P.571.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ С СУБСИМВОЛЬНЫМ ВРЕМЕННЫМ СДВИГОМ МЕЖДУ ПЕРЕДАЮЩИМИ АНТЕННАМИ

И.В. Кацов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В большинстве алгоритмов многоантенной связи используется АМ-ФМ-модуляция. При этом каждый переключение с одного символа на другой происходит одновременно для всех N передающих антенн.

При внесении сдвига между передающими антеннами на время T/N полоса сигнала не увеличивается, поскольку не меняется спектр излучения каждой из передающих антенн. При увеличении временного разрешения приемника до N/T субсимволов в секунду каждая из приемных антенн сможет получать N линейных комбинаций переданных субсимволов за период T .

Рассмотрим частный случай мультиплексирования с субсимвольным сдвигом для двух передающих антенн. Пространственно-временная матрица соответствующего кода приведена в выражении (1). Длина блока m может быть выбрана произвольно.

$$\mathbf{G}_{2m-1} = \begin{pmatrix} g_1 & g_1 & g_3 & g_3 & \cdots & g_{2m-1} & g_{2m-1} \\ 0 & g_2 & g_2 & g_4 & \cdots & g_{2m-1} & 0 \end{pmatrix}^T, \quad (1)$$

где каждая пара g_i представляет один символ s_i АМ-ФМ-модуляции. Скорость данного кода $R=(2m-1)/m$, так как передаются $2m-1$ символов за время mT . В случае когда число приемных антенн равно M , принятые сигналы $\mathbf{R} \in \mathbb{C}^{2m \times M}$ для модели псевдопостоянного ММО-канала без памяти с релейскими замираниями можно выразить как $\mathbf{R} = \mathbf{G}_{2m-1} \mathbf{H} + \mathbf{N}$, где $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{2 \times M}$ содержит релейские коэффициенты, а $\mathbf{N} \in \mathbb{C}^{2m \times M}$ представляет собой АБГШ. Поскольку декодирование блочных кодов для произвольного M может быть сведено к раздельному декодированию данных на каждой из антенн и их последующему объединению [1], то интерес представляет прием на одну антенну. Тогда выражение для $\mathbf{R} \in \mathbb{C}^{2m \times 1}$ может быть записано в виде

$$\mathbf{R} = \mathbf{\Omega} \mathbf{s} + \mathbf{N}, \quad (2)$$

где $\mathbf{s} = (g_1 g_2 \dots g_{2m-1})$, а $\mathbf{\Omega} \in \mathbb{C}^{2m \times 2m-1}$ задается в выражении (3):

$$\mathbf{\Omega} = \begin{pmatrix} h_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h_1 & h_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_2 & h_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

В [2] показано, что для ортогональных блочных пространственно-временных (OSTB) кодов аналогичная матрица является унитарной. Это свойство обеспечивает вычислительную простоту декодирования OSTB-кодов. Произведение матрицы $\mathbf{\Omega}$ на свое эрмитово сопряжение является вещественной тридиагональной матрицей, что обеспечивает простоту декодирования предлагаемых кодов.

Решение уравнения (2) относительно вектора \mathbf{s} может быть выполнено путем умножения \mathbf{R} на псевдообратную к $\mathbf{\Omega}$ матрицу. Псевдообращение может быть найдено в соответствии с критерием либо нулевых взаимных помех (НВП), либо минимума среднеквадратической ошибки (МСКО). Для критерия НВП оценка суб-символов может быть произведена по формуле (4):

$$\hat{g}_k = \frac{1}{2mh_{2-(k \bmod 2)}} \left((2m-k) \sum_{j=1}^k (-1)^{j+k} R_j + k \sum_{j=k+1}^{2m} (-1)^{j-k-1} R_j \right). \quad (4)$$

Используя технику эквализации с обратной связью по решению, можно улучшить оценки, полученные согласно (4). Вычислительная сложность дополнительных операций, производимых в этом случае, будет очень низка.

На рисунке приведены результаты имитационного моделирования для сравнения предложенных кодов с кодом Аламути [3] ($M=1$, BPSK модуляция). В качестве внешних помехоустойчивых кодов использовались LDPC-коды и турбо-коды из стандартов 802.16e и 3GPP LTE. Благодаря своей высокой скорости предложенные коды в сочетании с помехоустойчивым кодированием превосходят код Аламути в

широком диапазоне отношений сигнал/шум. Отметим, что стандартные методы мультиплексирования при приеме на одну антенну вообще недоступны.

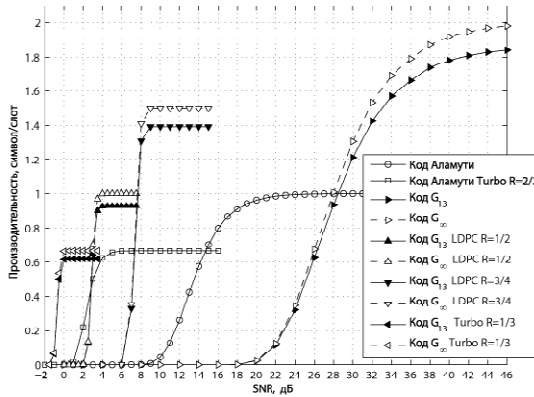


Рис.

- [1] Jafarkhani H. Space-Time Coding. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 302 p.
- [2] Tarokh V., Jafarkhani H., Calderbank A. // IEEE Trans. Inform. Theory. 2000. V.46, No.1. P.314.
- [3] Alamouti S.M. // IEEE Selected Areas Commun. 1998. V.16. P.1451.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕННЫ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ ЗЕРКАЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ ИМПЕДАНСОМ

Д.А. Ильина, А.Л. Умнов, В.А. Филимонов, М.О. Шуралев

Нижегородский госуниверситет

Работа посвящена экспериментальному исследованию экономичной адаптивной антенны, предназначенной для организации дальних беспроводных Интернет-каналов. Рассмотрено решение следующих задач: электродинамическая задача – разработка адаптивного параболического зеркала, составленного из решётки пассивных рассеивателей с настраиваемыми реактивными нагрузками; алгоритмическая задача – разработка оптимизатора, работающего на персональном компьютере, для управления напряжениями смещения на нагрузках в целях максимизации уровня мощности принимаемого сигнала; и схемотехническая задача – разработка аппаратного управляющего устройства с логической схемой последовательного опроса, которая включает цифро-аналоговые преобразователи, генерирующие напряжения смещения варакторов.

Экспериментальные результаты демонстрируют возможность формирования остронаправленных лучей диаграммы направленности в вертикальной и горизон-

тальной плоскостях. Полученные результаты: коэффициент направленного действия 18-22 dBi во всевозможных направлениях в диапазоне углов ± 40 градусов.

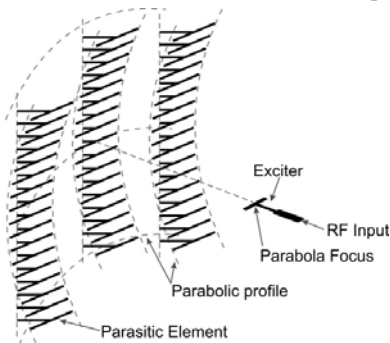


Рис. 1

Антенна представляет собой управляемое параболическое «зеркало», облучаемое из фокуса. Отражатель конструируется из нескольких рядов пассивных рассеивателей таким образом, что образует профиль параболоида (рис. 1).

Когда расстояние между соседними рассеивателями много меньше используемой длины волны ($\lambda=0,125$ м, $f=2,4$ ГГц), они образуют отражатель – управляемую импедансную поверхность.

Каждый управляемый элемент (рис. 2) – рассеиватель – симметричный диполь с нагрузкой в виде длинной линии (а),

подключенной в центре диполя и нагруженной варикапом (управляемым диодом) (b). Генерируемое внешним устройством напряжение смещения для изменения емкости диода проходит через радиочастотные дроссели (d) по управляющим цепям (c).

Процесс оптимизации напряжений рассеивателей и настройка антенны выполняются программным комплексом, установленным на персональном компьютере или точке доступа Wi-Fi, благодаря чему аппаратные средства управления на самой антенне очень просты. Они состоят из USB-I2C адаптера и последовательных 32-канальных 14-битных цифро-аналоговых преобразователей. Из-за ограниченного диапазона выходных напряжений 0...7.5 В необходимо использовать следующую ступень, состоящую из операционных усилителей, расширяющих диапазон рабочих напряжений до -30 В.

Настройка напряжений смещения осуществляется при помощи оптимизационной программы. Нахождение целевой функции распределения напряжений в процессе работы антенны является довольно сложной задачей за счёт большого количества пассивных рассеивателей. Из-за вариаций параметров диодов и текстолита, различных неточностей монтажа и т.д. строгие теоретические расчёты полной системы невозможны. Теория может дать только приближённые значения, которые передаются адаптационному алгоритму реального времени для уточнения.

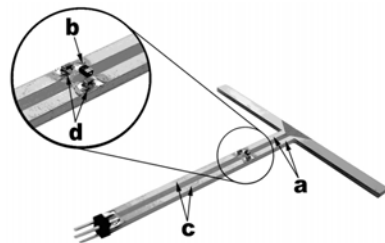


Рис. 2

Управление антенной может быть разделено на два логических уровня: начальное нахождение источника сигнала и поддержание канала связи. Так как первый этап не строго ограничен во времени, то в этом случае должны использоваться алгоритмы

нахождения глобального максимума. А в процессе работы настройка антенны должна происходить очень быстро и разрыв связи, который возможен при глобальном поиске, неприемлем, поэтому применение локальных алгоритмов будет наиболее успешным. Наилучшим оказался модифицированный глобальный оптимизатор на коде Грея, поскольку этот метод наиболее устойчив к шумам, а для локальной оптимизации наиболее быстрым и точным оказался метод Нелдера–Мида.

Основные измерения были проведены с антенной (рис. 3), состоящей из 3 рядов по 72 рассеивателя, с расстоянием между соседними элементами 1 см и расстоянием между центрами рядов порядка 12 см.

Эксперименты демонстрируют (рис. 4) возможность плавного вращения/отклонения главного луча диаграммы направленности в диапазоне ± 40 градус

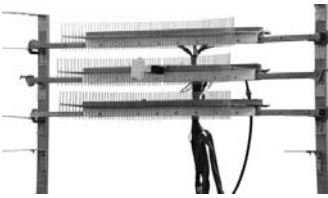


Рис. 3

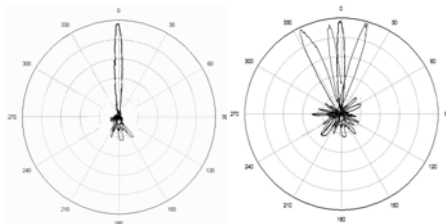


Рис. 4

сов (направление источника) без значительного изменения амплитуды. Ширина главного луча диаграммы направленности достигает 10–12 градусов.

RSSI В СЕТЯХ 802.11 И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН

А.Ю. Ельцов

Нижегородский госуниверситет

Проблема измерения мощности сигнала (RSS) станции возникает в задачах беспроводной связи достаточно часто. Главным образом это происходит при роуминге и на этапе настройки приемопередающего тракта. В частности, для построения беспроводных каналов связи такая информация необходима при юстировке антенн, а использование спектроанализатора не представляется возможным. В реальных условиях такие каналы нестабильны: причиной могут выступать, например, колебания антенных мачт вследствие порывов ветра. Проблема может быть решена путем адаптивной подстройки антенн посредством их механического поворота либо изменения диаграммы направленности (фазированная антенная решетка (ФАР), управляемые зеркальные антенны). Для эффективной работы алгоритмов адаптации необходимо отслеживать изменения RSS.

Рассмотрим систему, состоящую только из устройств стандарта IEEE 802.11 [1], который определяет единственный механизм оценки RSS – RSSI (Receive Signal Strength Indicator).

В соответствии со стандартом RSSI есть критерий роуминга. Он определен как опциональный целочисленный параметр, единицы измерения которого нестандартизированы, алгоритм вычисления и диапазон значений также остается на усмотрение разработчика. RSSI вычисляется при приеме фиксированной части заголовка физического уровня (PLCP) [1] между преамбулой и контрольной суммой. Таким образом, абсолютные значения RSSI могут существенно зависеть от используемого оборудования, т.е. беспроводных адаптеров. Однако при измерении диаграмм направленности и настройке антенн достаточно значений, нормированных на максимум.

Для измерений были выбраны сетевые карты на основе широко распространенного набора микросхем Atheros, отличительной особенностью которых является реализация стека протоколов на программном уровне и наличие драйверов с открытым исходным кодом.

Для задачи подстройки антенн могут быть использованы различные алгоритмы оптимизации, при этом функцией цели является значение мощности принимаемого сигнала, параметрами могут быть азимут, возвышение в механических системах, напряжения, подаваемые на отдельные элементы управляемого отражателя в случае зеркальных антенн. На продолжительность шага оптимизации влияет время реакции системы, которое определяется временем изменения состояния системы (поворота антенны) и временем, затрачиваемым на измерение целевой функции (мощности принимаемого сигнала).

В современных операционных системах существуют стандартные механизмы оценки качества сигнала, базирующиеся на RSSI, однако эти данные обновляются примерно один раз в секунду, что неприемлемо, т.к. для поиска оптимальной конфигурации часто необходимы тысячи шагов алгоритма.

Теоретический максимум числа измерений RSSI определяется числом принимаемых пакетов от источника, на который производится настройка. Информация о RSSI может быть получена напрямую от драйверов, однако при этом необходима их модификация. Характерная картина значений RSSI для выбранного источника (точки доступа) представлена на графике (см. верхний график на рис.1).

Вариации здесь порядка 20 единиц. Ряд экспериментальных работ свидетельствует о том, что шкала RSSI является логарифмической (см., например, [3]), т.к. разброс значений 20 дБ. Аналогичная ситуация описывается в статье Гленн Джадд и Питера Стинкиссте [2]. На рис.1 (верхний график) отчетливо выделяются два характерных уровня, причем в упомянутой выше статье один из них трактуется как ошибочный.

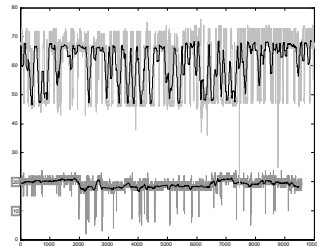


Рис. 1

Однако в нашем случае вариации больше (см. [2]). Из-за наличия двух антенных входов возможно, что уровни соответствуют пакетам, принятым различными антеннами. Добавив в драйвер механизм селекции измерений по принимаемой антенне, получаем результаты, представленные на рис. 1 (нижний график). Разница

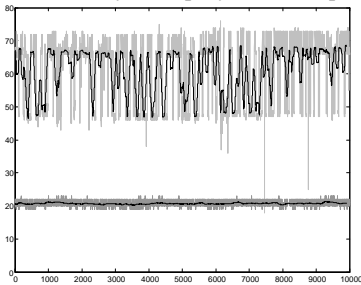


Рис. 2

между уровнями стала менее значительной, однако двухуровневая картина сохранилась. Причиной этого могут выступать энергосберегающие механизмы, вследствие которых не все пакеты передаются при одинаковой мощности, однако имеется особый тип кадров – маяки, которые в том числе используются для оценки силы сигнала точек доступа и поэтому передаются на максимальной мощности передатчика. Результаты измерений RSSI маяков для выделенной антенны представлены на рис. 2 (нижний график).

Последние результаты позволяют сделать вывод о возможности измерений диаграмм направленности с ошибкой порядка 1-2 дБ, что является приемлемым. На рис. 3 представлена диаграмма направленности параболической антенны с шириной луча 10 градусов.

Описанная методика позволяет получать диаграммы направленности без спектроанализатора, а также проводить около 20 измерений в секунду мощности Wi-Fi сигнала. Для сравнения: спектроанализаторы позволяют проводить 1–2 измерения, что существенно замедляет процесс адаптации антенн.

Таким образом, в настоящей работе показана возможность с помощью беспроводного оборудования оценивать мощность достаточно точно и стабильно.

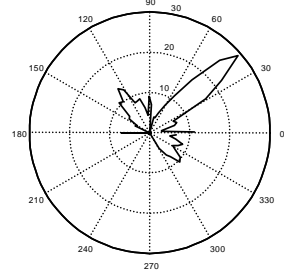


Рис. 3

- [1] ANSI/IEEE 802.11 Std 1999 Edition (R 2003). IEEE-SA Standard Board, 2003.
- [2] Judd G., Steenkiste P. A Simple Mechanism for Capturing and Replaying Wireless Channels. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2005.
- [3] Bardwell J. Converting Signal Strength Percentage to dBm Values. WildPackets 802.11.wireless LAN packet analyzers manual. 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПАССИВНЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ

А.Л. Умнов, И.С. Шишалов

Нижегородский госуниверситет

Применение пассивных нелинейных рассеивателей (НР) в качестве радиопередающих устройств в системах беспроводной передачи данных является возможной альтернативой использования активных радиопередатчиков. Системы связи, построенные на основе пассивных переотражателей, могут обладать преимуществами в случаях, когда простота, стоимость и энергопотребление являются определяющими факторами. Такие системы могут найти применение в беспроводных сенсорных сетях – сетях, состоящих из множества однотипных автономных узлов и предназначенных для мониторинга, охраны и контроля больших объектов. Отметим, что интерес исследователей к теоретическому и экспериментальному изучению НР достаточно велик [1, 2].

Одной из проблем использования НР является прием слабого сигнала. Привлекательной альтернативой использования стандартных супергетеродинных приемников с локальным опорным генератором может быть использование энергии поля подсветки для синхронного приема.

Настоящая работа посвящена численному моделированию синхронного приемника для системы связи на основе НР с использованием сигнала поля подсветки. Структурная схема модели системы приведена на рис. 1.

Сигнал поля подсветки формируется в блоке генератора на фиксированной частоте со сдвигом фазы, который задается случайным процессом с равномерным распределением с заданной дисперсией. После генератора сигнал попадает в канал, где происходит затухание и наложение белого шума. В нелинейном рассеивателе происходит удвоение частоты (возведением сигнала в квадрат) и модуляция амплитуды выходного сигнала. После очередного прохождения сигнала через канал он поступает на два приемника, один из которых выполнен по классической схеме, другой – по схеме с использованием в качестве гетеродина сигнала генератора. В приемниках происходит демодуляция сигнала и определение отношения сигнал–шум на выходе. В качестве стандартного приёмника в представленной работе выбран гетеродинный приемник с переносом на нулевую частоту. Моделирование работы приемника реализовано простым математическим перемножением двух сигналов, при этом в сигнал гетеродина заложена регулируемая нестабильность фазы (анало-

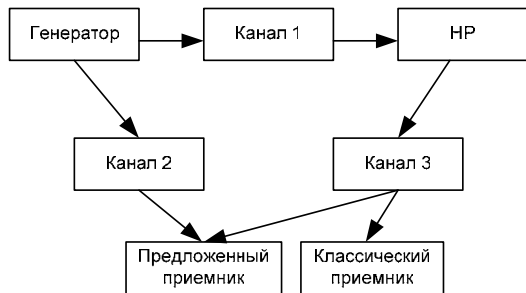


Рис. 1. Схема численного эксперимента

гично генератору). Предложенный приемник использует в качестве гетеродина сигнал, прошедший через канал от генератора (с предварительным удвоением частоты).

На рис. 2 приведены результаты моделирования работы системы при различных значениях нестабильности фаз сигналов генератора и гетеродина (в стандартном приемнике). На графике представлено отношение сигнал-шум на выходе детектора классического приемника от среднеквадратичного отклонения нестабильности фаз генератора и гетеродина.

При проведении численного эксперимента фиксировались амплитуды генератора, глубина модуляции нелинейного рассеивателя, коэффициент переноса энергии НР на вторую гармонику, затухание в каналах распространения и спектральная плотность мощности шума в канале.

Как видно из результатов, предложенный метод приема может быть использован в случаях, когда существенно нестабильность генератора поля подсветки и гетеродина приемника, по сравнению с аддитивным шумом в канале связи. В случае использования простых и дешевых генераторов и приемников применение предложенного метода будет оправдано и может существенно улучшить характеристики системы.

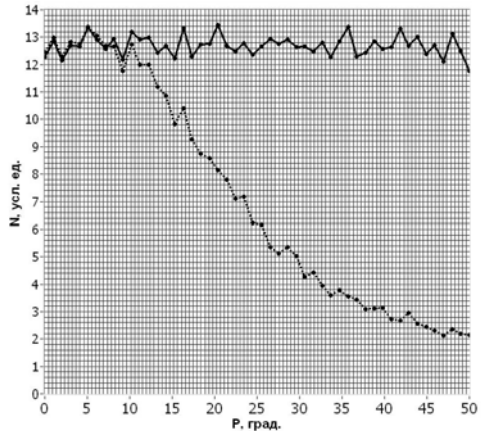


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал-шум (N – условные единицы) на выходе детектора приемника от среднеквадратичного отклонения нестабильности фаз генератора и гетеродина (P – градусы) классического приемника. Сплошная линия – классический гетеродинный приемник, пунктирная линия – приемник с использованием сигнала поля подсветки в качестве гетеродина

- [1] Sarkar T.K., Weinder D.D., Harrington R.F. // IEEE Trans. Electromagn. Compat. 1978. V.20, No.2. P.278.
- [2] Умнов А.Л., Головачев Д.А., Филимонов В.А., Шишалов И.С. // Нелинейный мир. 2004. Т.2, № 5-6. С.327.