
УДК 621.396

И.С. Шостко, Таха Алмакадма, Ю.Э. Соседка

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ДОСТОВЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА

Статья посвящена развитию методов оценки дальности достоверной передачи сообщений систем сверхширокополосного радиодоступа с учётом особенностей процессов, происходящих при излучении сигнала, его распространении в пространстве и при приёме.

Ключевые слова: *сверхширокополосные сигналы, отношение сигнал/шум, дальность связи.*

Введение

Постановка проблемы. Разработка сверхширокополосных телекоммуникационных систем является перспективным направлением – радиоэлектроники. Сверхширокополосные сигналы (СШПС) достаточно эффективны для передачи больших объёмов цифровой информации и для защиты этой информации. Применение СШПС обеспечивает

повышенную скорость передачи, скрытность и надёжность каналов связи. Однако дальность действия радиосвязи с СШПС не может быть большой из-за ограничений по электромагнитной совместимости и проблемы изменения формы сигналов в процессе прохождения канала связи.

Анализ последних исследований и публикаций. Технология сверхширокополосной связи появилась в начале 90-х. Пионерами в этой области

стали американские ученые Д. Росс, К. Роббинс, Л. Фуллертон. Аналогичные исследования велись в Украине и первоначально были связаны с радиолокационными приложениями. Разработке теории и техники сверхширокополосных телекоммуникационных и радиотехнических систем посвящены работы зарубежных и отечественных авторов Тейлора Т., Хармута Х.Ф., Ширмана Я.Д., Астанина Л.Ю., Иммореева И.Я., Бахрах Л.Д., Слюсара В. И. и др. В работах Дж. Тейлора, И. Я. Иммореева посвящённых применению СШПС, показано, что процессы излучения, приёма и обработки сигналов в этих системах значительно отличаются от аналогичных процессов, происходящих в узкополосных системах. Основное отличие связано с изменением формы сигнала при его излучении, распространении в пространстве и при приёме. Изменённая форма сигнала в приёмнике, затрудняет обработку в корреляторе или в согласованном фильтре. В связи с этим при расчёте дальности связи необходимо учесть особенности излучения, приёма и обработки СШПС.

Постановка задания. При разработке перспективных систем сверхширокополосного радиодоступа возникает задача оценки дальности достоверной передачи сообщений.

Основной материал

Дальность беспроводной связи можно оценить по известному соотношению [1]:

$$R_c \leq \sqrt{\frac{P \cdot G_{пер} \cdot A_{эфпр} \cdot q_{пер} \cdot q_{пр} \cdot K_{п}}{4 \cdot \pi \cdot P_{пор}}} \quad (1)$$

где R_c - дальность связи; P - импульсная мощность передатчика, Вт; $G_{пер}$ - коэффициент усиления антенны передатчика; $A_{эфпр}$ - эффективная площадь антенны приёмника, m^2 ; $q_{пер}$ ($q_{пр}$) - относительные коэффициенты усиления антенн передатчика (приёмника) в направлении друг друга; $K_{п} = \prod_{i=0}^k K_{пi} < 1$ - коэффициент потерь, характеризующий активные потери в АФТ, потери на неоптимальность приёма, потери энергии связанные с поглощением в среде распространения и т.п.; $P_{пор}$ - пороговая чувствительность приёмника, Вт.

Выражение (1) справедливо при следующих условиях:

1. Комплексный сигнал является узкополосным: $\Delta\omega_c/\omega_0 \ll 1$. Вследствие этого все высокочастотные параметры (КНД антенны, активные потери в АФТ) входящие в (1), определены и имеют физический смысл только на частоте несущей ω_0 .

2. Запаздыванием комплексной огибающей сигнала на апертуре антенны можно пренебречь:

$$\frac{L_a \sin\theta}{c} \ll \tau_{и}.$$

Для СШПС эти условия не выполняются. Вследствие этого дальность связи снижается по следующим причинам:

1. Составляющие канала связи обладают частотными свойствами в полосе СШПС, которые характеризуются соответствующими ЧХ эквивалентных фильтров, влияние которых необходимо учитывать в полосе $\Delta\omega_c$;

2. В общем случае ЧХ фильтров, эквивалентных антенне, зависят от направления θ, φ излучения (приёма) сигнала $\dot{N}(\omega, \theta, \varphi)$;

3. Изменяется форма сигнала при несоосном расположении ДН на передачу и прием;

4. При изменении несущей частоты в каналах MB OFDM в пределах полосы UWB (меняются значения $G_{пер}$, $A_{эфпр}$ и $P_{пор}$);

5. При увеличении битовой скорости передачи данных (уменьшается значение $P_{пор}$).

Анализ технических характеристик приёмопередающих сверхширокополосных систем [2-4], показал, что коэффициент ослабления за счёт несовпадения максимумов ДН антенны передатчика и приёмника, потерь в антенно-фидерном тракте и поглощением в среде распространения может изменяться от 0 до 20 дБ:

$$q_{пер} \cdot q_{пр} \cdot K_{п} = -(0..20)дБ.$$

На рис. 1 приведена нормированная зависимость средней мощности принятого сигнала от дальности связи без учёта ослабления и при ослаблении принимаемого сигнала в 10 и 20 дБ, из-за несоосного расположения ДН и других видов потерь.

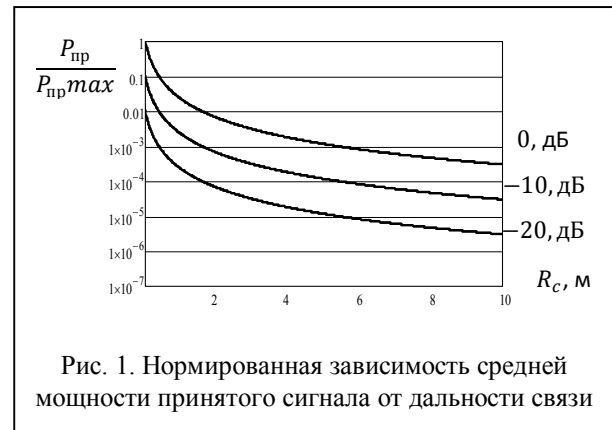
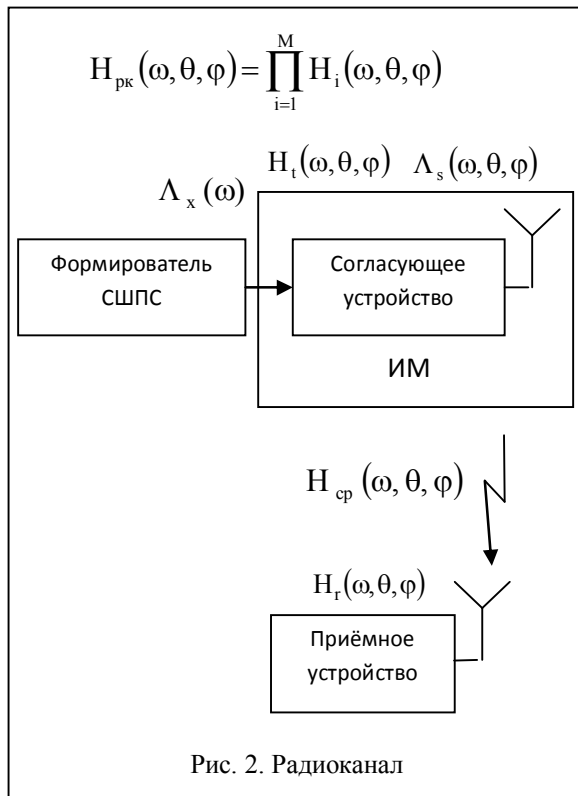


Рис. 1. Нормированная зависимость средней мощности принятого сигнала от дальности связи

Потери можно уменьшить, если корректировать амплитуду, длительность и форму импульса $x(t)$ СШПС в зависимости от условий канала и взаимного расположения передатчика и приёмника [5, 6].

Таким образом, если для связи применяются СШПС, то оценка дальности связи, в общем случае требует учёта изменений, входящих в (1) параметров в заданном частотном диапазоне.

Представим радиоканал в виде каскадного соединения эквивалентных фильтров (рис. 2).



Каждый фильтр имеет собственную ЧХ $\dot{H}_i(\omega, \theta, \varphi)$ или соответствующую импульсную характеристику $h_i(t, \theta, \varphi)$.

Рассмотрим частный случай, а именно: система является линейной с постоянными параметрами.

Пусть на вход передающей антенны поступают импульсы прямоугольной формы $x(t)$. Будем полагать, что форму импульса $z(t)$ - на выходе приёмной антенны можно определить в ходе экспериментальных исследований на стенде.

Тогда, амплитуда огибающей частотных спектров сигналов находится по формуле прямого преобразования Фурье:

$$\dot{\Lambda}_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt;$$

$$\dot{\Lambda}_z(\omega, \theta, \varphi, R_c) = \int_{-\infty}^{\infty} z(t, \theta, \varphi, R_c)e^{-j\omega t} dt.$$

Затем находится передаточная функция системы эквивалентных фильтров:

$$\dot{H}_{PK}(\omega, \theta, \varphi, R_c) = \frac{\dot{\Lambda}_z(\omega, \theta, \varphi, R_c)}{\dot{\Lambda}_x(\omega)},$$

где $\dot{H}_{PK}(\omega, \theta, \varphi, R_c) = \prod_{i=1}^M \dot{H}_i(\omega, \theta, \varphi, R_c)$ - ЧХ радиоканала.

Зная зависимость ЧХ радиоканала от частоты и пространственных координат, можно, для любой заданной формы импульса $x(t)$ на входе передающей

антенны, рассчитать $E_c(\theta, \varphi, R_c)$ - зависимость энергии принятого сигнала в полосе $\Delta\omega_c$ от дальности и направления приёма сигнала. Дальность связи определяется в соответствии с условием: энергия принятого сигнала в полосе $\Delta\omega_c$ должна превышать пороговый уровень энергии:

$$E_c(\theta, \varphi, R_c)/E_{кр} \geq 1.$$

Величину $E_{кр}$ приравняем энергии одного бита информации на выходе приёмника, при которой обеспечивается заданная достоверность передачи сообщений.

Достоверность передачи сообщений - степень соответствия между принятым и переданным сообщением.

При передаче дискретных сообщений достоверность определяется следующим коэффициентом ошибок:

$$K_{ош} = n_{ош} / n_b \approx P_b,$$

где $n_{ош}$ - число ошибочно принятых элементов сообщения; n_b - общее число элементов сообщения;

$$P_b = F(\sqrt{2E_b / N_0}) -$$

зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум - энергии бита E_b к спектральной плотности шума N_0 ;

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt -$$

гауссов интеграл ошибок, который используется при описании вероятности с гауссовой плотностью распределения.

Отношение сигнал/шум можно представить как

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{ST_b}{N/\Delta\omega_c} = \frac{S/R_b}{N/\Delta\omega_c} = \frac{S}{N R_b},$$

где $E_b = ST_b$ - энергия, одного бита информации; S - средняя мощность принятого сигнала; N - средняя мощность шума; N_0 - спектральная плотность мощности белого шума в канале; T_b - длительность бита; R_b - скорость передачи битов.

Поскольку время передачи бита и скорость передачи битов взаимно обратны, то T_b можно заменить на $1/R_b$.

Безразмерное отношение E_b/N_0 - это стандартная качественная мера производительности систем цифровой связи.

Следовательно, необходимое отношение E_b/N_0 можно рассматривать как метрику, позволяющую сравнивать качество различных систем: чем меньше требуемое отношение E_b/N_0 , тем эффективнее процесс детектирования при заданной вероятности ошибки.

При передаче цифрового сигнала с форматом модуляции QPSK или M-QAM (M – формат модуляции или число элементов пространства сигналов при цифровой модуляции) число уровней определяется как:

$$L = \sqrt{M},$$

а энергия символа сигнала определится по следующей формуле:

$$E_s = E_b \cdot \log_2 L.$$

При передаче двоичных импульсов $E_s = E_b$, а при передаче многоуровневых импульсов с модуляцией M-QAM в основной полосе, совпадающей с полосой Найквиста $\Delta\omega_N$:

$$\Delta\omega_N = \frac{1}{2T_b},$$

мощность символа

$$S_s = \frac{E_b}{T_b} \cdot \log_2 L$$

и мощность шума

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2T_b} \right).$$

Следовательно,

$$\frac{S_s}{N} = 2(\log_2 L) \frac{E_b}{N_0} = m \frac{E_b}{N_0},$$

где m коэффициент маппинга (число бит на символ информации).

Для QPSK разница между

$$S_s/N \text{ и } E_b/N_0$$

составит 3 дБ.

Если использовать для увеличения базы сигнала кодовую последовательность импульсов, то отношения сигнал/шум, увеличится в B_p раз

($B_p = T_b \Delta\omega_c$):

$$\frac{S_s}{N} = m B_p \frac{S T_b \Delta\omega_N}{N}.$$

Для энергетических расчётов удобно использовать отношение мощностей несущая/шум (C_s/N), которое показывает, во сколько раз мощность C_s принимаемой модулированной высокочастотной составляющей на выходе фильтра приёмного устройства с полосой $B_p \cdot \Delta\omega_N$ больше мощности шума N , в радиочастотном тракте.

Отношение (C_s/N) применяется при расчётах энергетики на входе приёмника [7]:

$$\frac{C_s}{N} = \frac{E_b}{N_0} - 10 \log \left(\frac{B_p \cdot \Delta\omega_N}{R_s \cdot m} \right), \text{ дБ},$$

где $R_s = \frac{1}{T_s}$ – символьная скорость, T_s – длительность символа.

Для учёта влияния методов коррекции спектра используется формула:

$$\frac{C_s}{N} = \frac{E_b}{N_0} - 10 \log \left(\frac{B_p \cdot (1 + \alpha)}{m} \right), \text{ дБ},$$

где α – коэффициент сглаживания спектра.

Выражение записано в предположении, что реальная шумовая полоса для QPSK/QAM системы занимает полосу частот

$$\Delta\omega_N = (1 + \alpha) R_s.$$

В качестве примера, на рис.3 приведены результаты расчёта дальности достоверной передачи сообщений для сверхширокополосной телекоммуникационной системы на основе технологии Wireless Universal Serial Bus (WUSB) [8].

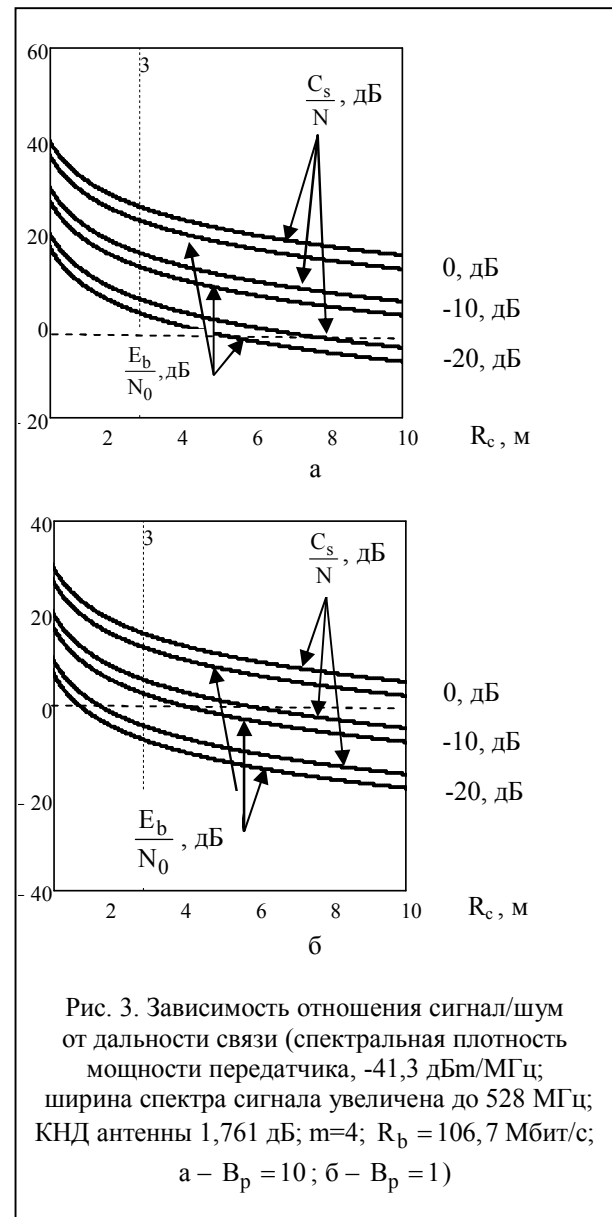


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал/шум от дальности связи (спектральная плотность мощности передатчика, -41,3 дБм/МГц; ширина спектра сигнала увеличена до 528 МГц; КНД антенны 1,761 дБ; m=4; $R_b = 106,7$ Мбит/с; а – $B_p = 10$; б – $B_p = 1$)

Рабочие частоты WUSB от 3,1 ГГц до 10,6 ГГц, поддерживаемая скорость передачи данных от 53.3 до 1024 Мбит в секунду.

Однако расстояние от передатчика до приемника, при котором обеспечивается надежная передача данных со столь высокой скоростью, весьма мало. В пределах 3 метров гарантируется скорость 480 Мбит/с.

При увеличении этого расстояния до 10 метров максимальная скорость передачи информации падает до 110 Мбит/с, и при дальнейшем возрастании расстояния от передатчика до приемника эта скорость продолжает стремительно убывать (причем гораздо быстрее, чем при использовании узкополосных технологий беспроводной передачи).

Выводы

Рассмотренный метод позволяет провести расчёт дальности достоверной передачи сообщений для сверхширокополосной телекоммуникационной системы с учётом изменений параметров в заданном частотном диапазоне, входящих в уравнение дальности связи. При расчёте в зависимости от заданного вида модуляции строится зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум $P_b(E_b/N_0)$ или $P_b(C_s/N)$.

Для заданного допустимого значения вероятности ошибки определяется минимальное значение E_b/N_0 или C_s/N .

По графикам зависимости

$$E_b(\theta, \varphi, R_c)/N_0$$

или

$$C_s(\theta, \varphi, R_c)/N -$$

отношения сигнал/шум в полосе $\Delta\omega_c$, определяется дальность достоверной передачи сообщений для сверхширокополосной телекоммуникационной системы.

Список литературы

1. Радиозлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. - М.: Радиотехника, 2007. - 512 с.
2. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. - М.: Радиотехника, 2009. - 288 с.
3. Иммореев И.Я. Излучение сверхширокополосных сигналов / И.Я. Иммореев, А.Н. Сиявин // Антенны. 2001. - №1 (47). - С.8-16.
4. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю.В. Андреев, А.С. Дмитриев, Л.В. Кузьмин, Т.И. Мохсени // Радиотехника. - 2008. - № 8. - С. 83-90.
5. Шостко И.С., Таха Алмакадма Методы построения сверхширокополосных систем беспроводной связи с коррекцией параметров сигналов в приемопередающих устройствах // Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом», 18-20 травня 2010 р.: тези доповідей. - К., 2010.- С. 146-147.
6. Таха Алмакадма Методы коррекции формы сверхширокополосных сигналов в передатчике / Материалы 14-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 18 — 20 марта 2010 г., Харьков. - С. 132.
7. Песков С.Н., Ищенко А.Е. Расчёт вероятности ошибки в цифровых каналах связи.//Теле-Спутник. -2010, ноябрь. - С.70-75.
8. Intel Corporation. Intel's Multi-band UWB PHY Proposal for IEEE 802.15.3a // IEEE 802.15.3a Working Group, submission, Mar. 2003.

Поступила в редколлегию 14.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Поповский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТОД ОЦІНКИ ДАЛЬНОСТІ ДОСТОВІРНОЇ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НАДШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОДОСТУПУ

І.С. Шостко, Таха Алмакадма, Ю.Е. Соседка

Розглядається розвиток методів оцінки дальності достовірної передачі повідомлень систем надширокопосмугового радіодоступу з урахуванням особливостей процесів, що відбуваються при випромінюванні сигналу, його поширення в просторі і при прийомі.

Ключові слова: надширокопосмугові сигнали, відношення сигнал/шум, дальність зв'язку.

METHOD FOR ESTIMATING DISTANCE RELIABLE MESSAGING IN TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS UWB RADIO

I.S. Shostko, Taha Almakadma, J.E. Sosedka

Developing assessment distance of reliable messaging systems, UWB radio with the features of the processes occurring in the emission of the signal, its distribution in space and at the reception are considered.

Keywords: UWB signals, a relation is a signal/noise, distance of connection.