

Распространение сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в условиях домашних помещений и офисов

Ю.В. Андреев, Л.В. Кузьмин, Т.И. Мохсени, Н.В. Румянцев, А.И. Рыжов

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 7, chaos@cplire.ru

Экспериментально исследуются вопросы распространения сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в сложных условиях (жилые и офисные здания). Приводятся результаты измерений параметров поглощения сигналов в стенах зданий, а также результаты измерения поля, создаваемого источником хаотических радиоимпульсов, в помещении сложной структуры. Проводится сравнение параметров поглощения сверхширокополосных сигналов с результатами, полученными при использовании узкополосных зондирующих сигналов.

Propagation of ultrawideband chaotic radio pulses in complicated conditions (apartment and office buildings) is investigated experimentally. The results of signal absorption measurements in building walls are presented, as well as the measurement results of the field created by ultrawideband chaotic radio pulse source in a complex-structure housing. Absorption parameters of ultrawideband and narrowband signals are compared.

Радиосвязь внутри зданий характеризуется сложными условиями распространения сигнала. Одними из самых серьезных факторов распространения являются поглощение радиоволн в строительных конструкциях и многолучевой характер распространения радиоволн. Поглощение радиоволн накладывает ограничение на дальность радиосвязи, а многолучевое распространение приводит, в случае узкополосных радиосигналов, к появлению сложной интерференционной картины волнового поля в помещении, что проявляется при приеме сигнала в виде замираний и фазовых искажений.

В последнее десятилетие активно развиваются системы радиосвязи на основе сверхширокополосных (СШП) сигналов диапазона частот 3–10 ГГц [1–3]. Благодаря использованию СШП сигналов с очень низкой спектральной плотностью (менее –40 дБм/МГц), СШП системы связи не мешают традиционным узкополосным системам радиосвязи, работающим в указанном диапазоне частот. В то же время, благодаря сверхширокой полосе частот (более 500 МГц) СШП системы устойчивы к помехам, создаваемым для них традиционными узкополосными системами радиосвязи. Таким образом, реализуется эффективное использование спектрального ресурса. Системы радиосвязи на СШП сигналах предназначены для работы на относительно небольших расстояниях (до 30 м), в основном, внутри помещений, поэтому вопросы распространения СШП сигналов внутри зданий представляют существенный интерес.

В данной работе рассматриваются системы связи на сверхширокополосных сигналах, представленных хаотическими колебаниями, т.н. прямохаотических системах связи, в которых информация передается при помощи хаотических радиоимпульсов с базой $B \gg 1$ [4, 5]. Исследуется поглощение сверхширокополосных сигналов в материалах строительных конструкций, с целью выяснить предельные значения затухания, вносимого «типовой» стеной, которое необходимо принимать в расчет при проектировании систем радиосвязи. Кроме того, измеряется и анализируется поле, создаваемое источником сверхширокополосного сигнала в типовом современном здании.

Измерения поглощения СШП сигналов в кирпичных стенах проводились при помощи мелкосерийных СШП приемопередатчиков диапазона 3–5 ГГц [6]. Сигнал этих приемопередатчиков представляет из себя СШП хаотические радиоимпульсы длительностью 100 нс. При помощи приемника на основе логарифмического детектора AD8317

выделяется огибающая хаотических радиоимпульсов. Амплитуда сигнала на выходе логарифмического детектора V_{out} пропорциональна логарифму мощности сигнала на его входе P_{in} , т.е. $V_{out} = S \cdot \log(P_{in})$, где крутизна детектора равна $S = 22$ мВ/дБ.

Ослабление сигнала в стене оценивалось путем измерения амплитуды хаотических радиоимпульсов при помощи цифрового осциллографа Tektronix DPO-4054 до и после прохождения через стену. Точность измерений 1–2 дБ.

Измерялось ослабление сигнала в кирпичных стенах толщиной $t = 34$ и 64 см при нескольких различных взаимных положениях передатчика и приемника.

Кроме того, проводились оценки ослабления СШП сигнала в стене путем измерения дальности действия пары приемник–передатчик при отсутствии и наличии стены на пути распространения сигнала.

На основе проведенных измерений получено, что средняя величина ослабления СШП хаотического сигнала диапазона 3–5 ГГц в кирпичной стене составляет: 5–7 дБ в стене толщиной $t = 34$ см и 6–10 дБ в стене $t = 64$ см.

Чтобы сравнить полученные данные с известными из литературы [7–14] разнородными данными по поглощению радиоволн в кирпичной стене, полученными при помощи узкополосных зондирующих сигналов, все показатели поглощения были пересчитаны на «типовую» кирпичную стену толщиной $t = 30$ см. На рис. 1 звездочками обозначены данные по поглощению узкополосного радиосигнала, найденные в литературе [7–13], а линиями – усредненные данные из работы [14]. Как видно из рис. 1, поглощение СШП сигнала диапазона 3–5 ГГц (данные показаны квадратами на центральной частоте 4 ГГц) меньше, чем среднее поглощение узкополосных сигналов в этом же диапазоне.

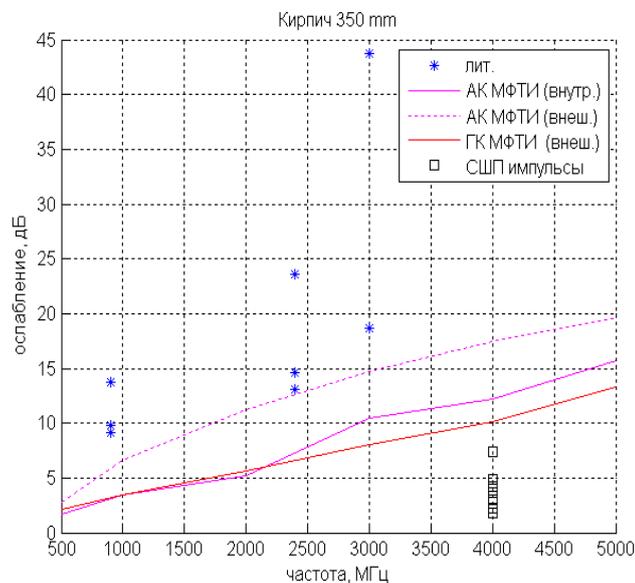


Рис. 1. Ослабление сигнала в «типовой» кирпичной стене толщиной $t = 30$ см

Говоря о распространении радиоволн СВЧ диапазона в современных зданиях, следует учитывать, что это – среда с ярко выраженными многолучевыми свойствами. На характеристики системы связи влияет не только ослабление сигнала в строительных конструкциях, но и сложная пространственная интерференционная картина, возникающая благодаря многочисленным переотражениям сигнала. В случае узкополосных систем связи это приводит к резкому уменьшению дальности действия. Например, согласно спецификации производителей ZigBee, для систем с мощностью излучения 1 мВт (5 мВт) дальность падает от 30 м (100 м) на открытой местности до 7 м (20 м) в

помещениях. Кроме того, эта интерференционная картина проявляется в резком изменении качества связи при незначительном изменении положения приемника относительно передатчика. Как отмечено в работе [15], «... при слабом уровне сигнала ... смещение приемника ZigBee на 2–3 см приводит к увеличению количества потерянных пакетов с 20% до 90%». Наличие этого явления вынуждает разработчиков узкополосных систем связи закладывать существенный запас мощности излучения (до 10–15 дБ), чтобы компенсировать колебания мощности принимаемого сигнала.

Как обнаружено ранее [16], в системах связи на СШП хаотических радиоимпульсах сложение отраженных лучей происходит по мощности, так как лучи с относительной задержкой более $t=1/\Delta F$, где ΔF – ширина полосы частот СШП сигнала, оказываются некоррелированными. Чтобы понять, какая интерференционная картина образуется при использовании СШП хаотических радиоимпульсов, был проведен эксперимент в городской жилой квартире в доме с железобетонными стенами серии П44Т.

Схема эксперимента (с размерами) представлена на рис. 2. Толщина стен составляет $t = 18$ см (капитальная стена), кроме стен между комнатой «А» и коридором, кухней и коридором, ванной и туалетом (8 см, легкая стена). Приемопередающие устройства (ПП) имели пиковую мощность излучения ~ 3 дБм (2 мВт) и среднюю мощность по пакету -3 дБм (0,5 мВт).

Приемник располагался в комнате «А» на высоте около 1,2 м от пола и 0,2 м от ближайшей к нему стены. На схеме отмечено синим кружком. Измерялся уровень сигнала при передаче данных с различных позиций, как показано на рис. 2.

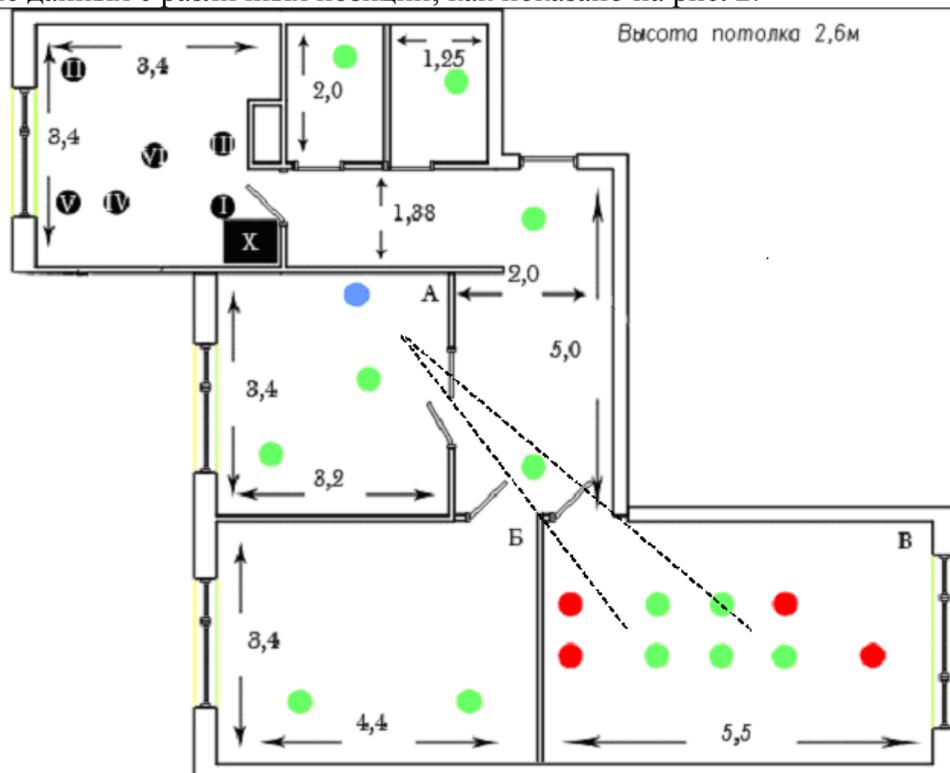


Рис. 2. Схема эксперимента. Размеры указаны в метрах

В комнате «А» везде наблюдался устойчивый приём со всех позиций, вне зависимости от положения передатчика. Такой же уверенный приём наблюдался при помещении передатчика в различные точки комнаты «Б», коридора от входной двери к комнате «Б», коридора от входной двери до кухни, ванной и туалета. На кухне наблюдалась следующая картина.

I. Уверенный приём сигнала при расположении устройства выше холодильника (на схеме обозначен кружком «X»), и частичное пропадание принимаемого сигнала при расположении устройства на уровне холодильника.

- II. Связь отсутствовала.
- III. Имелась связь, но сигнал временами пропадал.
- IV. Хороший уровень сигнала, уверенная связь.
- V. Связь отсутствовала.
- VI. Нормальный приём сигнала.

В комнате «В» нормальный приём сигнала наблюдался в зоне, отмеченной пунктирной линией, которая ограничивается прямыми лучами от базовой станции к краям входной двери в комнату, т.е. областью с наименьшим затуханием для радиосигналов.

В ходе эксперимента с помощью осциллографа были измерены уровни сигналов на приёмнике базовой станции в зависимости от расположения передатчика. Диаграмма уровня сигнала представлена на рис. 3. Разными цветами изображается уровень принимаемого сигнала; зеленый цвет соответствует большому уровню сигнала, красный – малому (прием при этом достаточно уверенный).

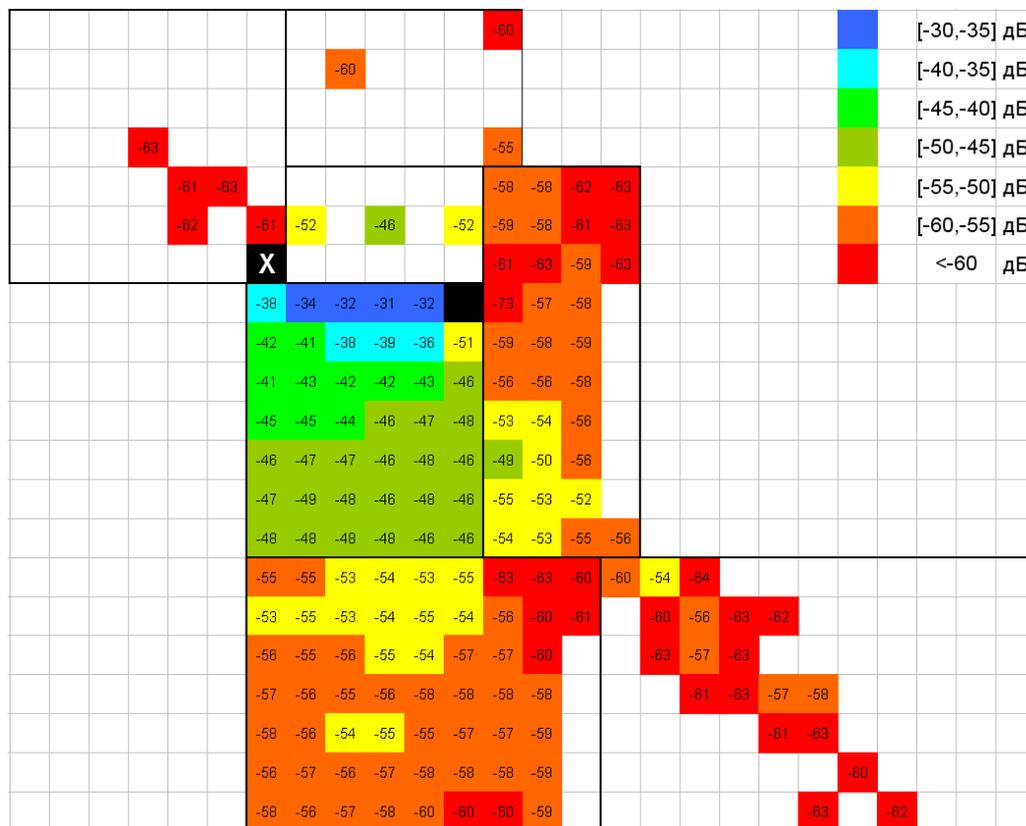


Рис. 3. Распределение амплитуд сигнала приемника по квартире

Помимо этого, измерено затухание СШП сигнала при его прохождении через стену толщиной $t = 18$ см. Одно устройство располагалось на расстоянии 80 см от стены, а другое на 1,02 м, так что суммарное расстояние составляло 2 м. При этом уровень сигнала был $-47,1$ дБ. При таком же расстоянии между устройствами без стены этот уровень сигнала составлял $-49,8$ дБ. Таким образом, дополнительное затухание, вносимое железобетонной стеной толщиной $t = 18$ см составило 2,7 дБ.

Кроме того, следует отметить отсутствие «мелкозернистой» интерференционной картины: перемещение передатчика относительно приемника в пределах 10 см не сказывается на уровне принимаемого сигнала. Благодаря этому, нет необходимости иметь

запас по мощности излучения передатчика, как делается в в системах связи на узкополосных сигналах.

Таким образом, система связи на хаотических радиоимпульсах демонстрирует существенно лучшие характеристики в условиях реальной сложной среды распространения типа квартиры современного дома, чем узкополосные системы.

Литература

1. Siwiak K., McKeown D. Ultra-Wideband Radio Technology. Wiley, 2004.
2. Federal Communications Commission (FCC), "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems", First Report and Order, ET Docket 98-153, FCC 02-48; Adopted: February 14, 2002; Released: April 22, 2002.
3. О результатах работ по конверсии радиочастотного спектра по вопросу использования полосы радиочастот 2,85-10,6 ГГц сверхширокополосными беспроводными устройствами. Решение ГКРЧ № 09-05-02 от 15 декабря 2009 г.
4. Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О., Кяргинский Б.Е. Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысококачастотном диапазоне. *Радиотехника и электроника*, 2001, Т. 46, №2.
5. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Клецов А.В., Кузьмин Л.В., Лактюшкин А.М., Юркин В. Ю. "Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети", *Радиотехника и электроника*, 2008, т. 53, №10, с. 1278-1289.
6. Учебно-научно-исследовательский комплекс «Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети». nanochaos.ru/pdf/ER_Kit.pdf.
7. Geier J. Beating Signal Loss in WLANs. 2002. www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1431101/Beating-Signal-Loss-in-WLANs.htm.
8. 2.4 GHz Signal Attenuation Chart. www.technolab-inc.com/html/Tech/signal_atten.htm.
9. Hein G., Teuber A. et al. GNSS Indoors. Fighting the fading. 2008. www.insidegnss.com.
10. Как защититься от электромагнитного поля. www.colan.ru.
11. Кошелев Н.Ф., Карелин О.Н., 1974; Шандала М.Г. и др. Характеристика защитных свойств строительных материалов и изделий из них при действии микроволн (1996). grachev.distudy.ru/Uch_kurs/sredstva/Templ_1/templ_1_6.htm.
12. Чухнов К. Особенности проектирования радиоканальных объектовых систем сигнализации. *Технологии защиты*, 2010, № 1, с. 44–46.
13. Safaai-Jazi A., Riad S.M., et al. Report on Through-the-Wall Propagation and Material Characterization. Time Domain and RF Measurement Lab., Bradley Dept. of Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia 24061-0111. Nov. 18, 2002.
14. Рыжов А.И., Лазарев В.А., Мохсени Т.И., Никеров Д.В., Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Чубинский Н.П. Прохождение СШП хаотических сигналов диапазона 3–5 ГГц через стены зданий. *Доклады 5 Всероссийской науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь»*, 21–25 ноября 2011 г., Москва, Россия, с. 447–451.
15. Пушкарев О. Проверка дальности связи ZigBee-модулей Maxstream в условиях городской квартиры. *Новости электроники (КОМПЭЛ)*, 2006, № 5.
16. Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Клецов А.В. Усиление хаотических радиоимпульсов в многолучевой среде распространения, *Радиотехника и электроника*, 2007, т. 52, №7, с. 838–846.