УДК 321.396

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

© 2020 Т. В. Мельникова, В. В.Воробьева, Е. Ружицкий

Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)
Панъевропейский университет (Братислава, Словакия)

В данной работе обсуждаются особенности экспериментальных подходов в беспроводных системах связи.

Ключевые слова: связь, передача информации, беспроводные технологии.

Беспроводные каналы исследуются с помощью экспериментов, где реальные передатчики и приемники используются, чтобы измерить полученные сигнальные характеристики. Наружные и внутренние измерения выполняются для различных условий ландшафта, различных погодных условий и т. д. с целью сбора данных для моделирования [1, 2].

Затухание передаваемого сигнала в атмосфере по причине его рассеивания в ней, определяет потери для свободного пространства. Потери в свободном пространстве можно определить как различие в уровнях мощности (в дБ) полученного сигнала и переданного сигнала.

Потери в тракте передачи в свободном пространстве [3, 4], при изотропных передающей и приемной антеннах с коэффициентами усиления, равными 1, для трассы прямой видимости определяются следующим выражением:

$$PL(\text{дБ}) = 32.44 + 20\log_{10}(fc) + 20\log_{10}(d), \quad (1)$$

где d – расстояние между передатчиком и приемником в км, fc – частота работы в МГц. Можно заметить, что потеря в пространстве увеличивается с частотой и расстоянием. Некоторые ландшафты обеспечивают дополнительные потери из-за больших объектов (выступы, здания и т. д.), которые называют потерями от затенения [5, 6].

Для случаев замирания вследствие многолучевого распространения и затенения несколько экспериментов были выполнены Окамура, и данные были позже проанализированы Хата для разработки моделей потерь, характеризующих статистическую природу канала.

Средняя потеря в пространстве обычно получается, используя методы подбора кривых. В логарифмическом домене эти модели имеют тенденцию быть линейными как функция расстояния.

Нами осуществлялись измерения в диапазоне частот 1.9 ГГц в 95-ти наружных фиксированных беспроводных сетях. Потери (PL в дБ) выражаются как:

$$PL_a = A + 10\gamma\log_{10}(d/d_0) + s \text{ для } d > d_0 \quad (2)$$

где $A = 20\log_{10}(4\pi d_0/\lambda)$, (λ – длина волны в метрах); γ – это экспонента потерь, вычисляемая как $\gamma = (a - b\, h_b + c / h_b)$ для h_b между 10 м и 80м (h_b – это высота базовой станции в метрах); $d_0 = 100$ м и a, b, c – это константы, зависящие от категории местности, представленной в таблице 1; s – граница затенения, принимает значения от 8.2 до 10.6 дБ, в зависимости от территории. **Model** Три типа территорий:

- Категория A: Холмистая / Умеренная до деревьев высокой плотности;
- Категория B: Холмистая / Деревья низкой плотности или Равнинная / Умеренная до деревьев высокой плотности.
- Категория C: Равнинная / Деревья низкой плотности.

Указанная выше модель предназначена для антенн размером, близким к 2-м метрам. Для использования модели при других частотах и для антенн приемника от 2-х до 10-ти метров, несколько экспериментов было проведено и введены поправочные коэффициенты.

Анализ экспериментальных данных привел к моделированию беспроводного ка-

Мельникова Тамара Вениаминовна – Воронежский институт высоких технологий, студент, mel_toma7825@yandex.ru.
Воробьева Валентина Владимировна – Воронежский институт высоких технологий, студент, vorob_valentvivt@yandex.ru.
Ружицкий Евгений – Панъевропейский университет, г. Братислава, Словакия, канд. техн. наук, доцент, rush_evg_br53@yandex.ru.

нала как вероятностного процесса. Факт, что при многолучевом распространении сигнал – наложение нескольких ослабленных сигналов и использование центральных предельных теорем, приводит к моделированию канала как Гауссовского случайного процесса. Рисунок 1 иллюстрирует многолучевое распространение сигнала.

Таблица 1

Константы, зависящие от категории местности **C**

Параметр модели	категория A	категория B	категория C
A	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20



Рисунок 1. Многолучевое распространение сигнала.

Канал Релея: амплитуда канала, который смоделирован как комплексный Гауссовский случайный процесс с нулевым средним имеет распределение Релея. Такие каналы называют каналами Релея и появляются они, когда на приемник приходят отраженные сигналы.

Канал Райаса: амплитуда канала, который смоделирован как комплексный Гауссовский случайный процесс с ненулевым средним, имеет распределение Райса.

Такие каналы называют каналами Райса и появляются они, когда есть неотраженный сигнал между передатчиком и приемником. Ссылка на описание Райсовского канала.

Для Райсовского канала существует дополнительный фактор – k, определяемый как отношение мощности неотраженного сигнала к рассеянной полученной мощности. Если это отношение – ноль, то у нас Релеевское замирание.

Рассмотрим мобильный приемник, двигающийся со скоростью v и получающий множественные сигналы из различных направлений (из-за препятствий).

Рассмотрим случай, где нет никакого неотраженного сигнала, и, следовательно, присутствует Релеевское замирание. Сигнал, как предполагается, является узкополосным сигналом, сосредоточенным вокруг несущей частоты fc. Рассматривая случай, что сигнал получен от всех направлений и предполагая, что они одинаковой амплитуды, спектр мощности Релеевского замирания выражается как:

$$S(f) = \frac{b_0}{\pi f_d \sqrt{1 - \{f/f_d\}^2}} \quad , \quad (3)$$

где f_d – частота, и уравнение действительно для $f < f_d$. Форма спектра походит на ванну с бесконечно высокими крутыми стенами. Джейк (Jakes) предложил технику моделирования замирающего канала с вышеупомянутым эффектом Доплера. Техника включает рассмотрение нескольких генераторов и их объединения после подходящего вычисления амплитуды. Это обычно известно как спектр Джейка.

Рассмотрим случай, где приемник и передатчик не двигаются.

В этом случае также каждый получает эффект Доплера из-за движения рассеивателей (например, ветви деревьев, движущихся машин и т. д.) между передатчиком и приемником. Спектр такого канала был получен посредством измерений в диапазоне 2.5 ГГц

. Математическая модель, полученная из данных измерений:

$$S_{fixed}(f) = \sqrt{1 - \{f/f_m\}^2} \quad , \qquad (4)$$

f_m – максимальная Доплеровская частота (обычно от 2-х до 4-х Гц). Форма спектра представляет собой «перевернутую чашку.

Временная когерентность, *Tc* – это время, в течение которого канал, как предполагается, является инвариантным со временем. Она может быть приблизительно получена из характеристики распространения Доплера. Одно такое приближение описано как $Tc = 0.423/f_d$, где f_d – это максимальная частота Доплеровского сдвига.

В большинстве случаев приемник получает многократные копии уменьшенных и отсроченных копий переданного сигнала.

На уровне основной полосы частот ответ канала может быть смоделирован как линейная система, где функция перемещения характеризуется импульсной характеристикой конечной длительности (КИХ) с *L*-1 множественными путями:

$$h(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l \, \delta(n - \tau_l) \, , \qquad (5)$$

где *a* моделируется как случайный коэффициент с определенной плотностью вероятности функции и τ – задержка *l*-го пути, который не должен быть однородным.

Предполагая, что этот канал с импульсной характеристикой конечной длительности 'постоянный' в течение определенного периода времени, канал ведет себя как линейный фильтр с конечной импульсной характеристикой.

Функция передачи этого канала, H(z), является полиномом. В области частоты *H(f)* будет ответ, который укажет на ослабление, предложенное фильтром к различным частотам. Это подразумевает, что некоторые частоты сигнала могли перенести сильное ослабление, указывая на частотно-избирательную природу канала.

Средняя задержка определяется как:

$$\tau_{avg} = \sum_{l=0}^{L-1} |\alpha_l|^2 \tau_l . \qquad (6)$$

Среднеквадратичная задержка определяется как:

$$\tau_{rms}^2 = \sum_{l=0}^{L-1} P_l \, \tau_l^2 - \tau_{avg}^2 \, , \qquad (7)$$

где P_l – это мощность амплитуды *l*-го пути. Некоторые эксперименты были проведены для измерения задержек.

В таблице 2 представлены значения задержек для каналов, работающих на частотах 2-2.5ГГц внутри помещений.

Таблица 2

	Канал A среднеквадратичная задержка (нСек)	Канал B RMS(ns) среднеквадратичная задержка (нСек)
Помещение офиса	35	100
Наружный канал связи	45	750
Автомобильная высокая антенна	370	4000

У пространственно-временного беспроводного канала есть некоторые интересные свойства относительно пространственного измерения. Пространственная корреляционная функция канала может быть получена как функция пространственного измерения.

Расстояние, на котором величина корреляции принимает нулевое значение (в практических системах, близко к нолю), является расстоянием рассогласования. Это означает, что, если у приемника есть несколько антенн, расположенных на расстоянии, равном расстоянию рассогласования канала, то сигналы, полученные этими двумя антеннами, будут статистически рассогласованы [7, 8]. Измерения выявили, что расстояние рассогласования приблизительно равно половине длины волны сигнала.

Это свойство канала используется, чтобы эксплуатировать пространственное разнообразие канала, и методы обработки сигнала используются, чтобы улучшить работу приемника. Это также привело к развертыванию многих антенн в передатчиках и приемниках систем радиосвязи.

Вывод. Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для тестирования существующих теоретических моделей и разработок новых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lvovich I. Managing developing internet of things systems based on models and algorithms of multi-alternative aggregation / I. Lvovich, A. Preobrazhenskiy, Y. Preobrazhenskiy, Y. Lvovich, O. Choporov // 2019 International Seminar on Electron Devices Design and Production, SED 2019 – Proceedings. 2019. С. 8798413.

2. Lvovich I. Ya. Analysis of integral characteristics in the iot system / I. Ya. Lvovich, Ya. E. Lvovich, A. P. Preobrazhenskiy, Yu. P. Preobrazhenskiy, O. N. Choporov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. – С. 12020.

3. Lvovich I. Integrated assessment of the effectiveness and structuring of objects in the internet of things system / I. Lvovich, Y. Lvovich, A. Preobrazhenskiy, Y. Preobrazhenskiy, O. Choporov // Proceedings – 2019 21st International Conference «Complex Systems: Control and Modeling Problems», CSCMP 2019. 2019. – С. 58-63.

4. Свиридов В. И. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем управления и взаимодействие пользователя с компьютером / В. И. Свиридов, Е. И. Чопорова, Е. В. Свиридова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 430-438.

5. Львович И. Я. Моделирование металло-диэлектрической антенны на основе комбинированного подхода / И. Я. Львович, А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров, Е. Ружицкий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6. – № 4 (23). – С. 210-224.

6. Преображенский Ю. П. Применение поглощающих материалов при проектировании электродинамических устройств / Ю. П. Преображенский // Будущее науки – 2018. Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 374-377.

7. Преображенский Ю. П. О видах информационных систем в организации / Ю. П. Преображенский // В сборнике: Молодежь и системная модернизация страны. Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 131-134.

8. Преображенский Ю. П. Распространение радиоволн для объектов с полостями / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике. Сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 187-190.

THE ANELYSIS OF SOME EXPERIMENTAL APPROACHES FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

© 2020 T. V. Melnikova, V. V. Vorobyeva, E. Ruzhicky

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)
Pan-European University (Bratislava, Slovakia)

This paper discusses the features of experimental approaches in wireless communication systems.

Key words: communication, information transfer, wireless technologies.

.