

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

© 2020 В. Н. Фролов, Е. Д. Федорков, М. С. Альтварг, Н. М. Токарева, А. А. Александров

*Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)*

*ООО «3Д-комплекс» (Воронеж, Россия)*

*В данной работе осуществляется рассмотрение особенностей распространения сигналов, когда информация распространяется внутри беспроводных сетей.*

*Ключевые слова: беспроводная сеть, информация, телекоммуникационные технологии, развитие, инновация, производство.*

Один из важных моментов, необходимых для проектирования систем беспроводной связи – это понимание характеристик беспроводного канала.

Канал связи – система технических средств и среда распространения сигналов для передачи данных от источника к получателю. В случае использования проводной линии связи, средой распространения сигнала может являться оптическое волокно или витая пара, при использовании, например, атмосферы, говорят о беспроводном канале связи (радиоканале).

Радиосигнал распространяется в пространстве на основе законов физики. Электромагнитный сигнал перемещается в среде и переносит затухание (потеря тракта) на основе природы среды (носителя).

Кроме того, сигнал встречается с объектами и отражается, преломляется, поглощается, происходит дифракция и рассеивание.

Кумулятивный эффект приводит к поглощаемому сигналу, сигналу, пересекающему разнообразные пути, частота сигнала смещается из-за относительного движения между источником и объектами (Эффект Доплера). Таким образом, сигнал значительно изменяется.

Радиосигнал зависит от пространства (местности), времени и частоты, и может быть представлен как  $s(x, y, z, t, f)$ , где  $x, y, z$  являются пространственными переменными, и  $t, f$  – переменные времени и частоты, соответственно.

Если мы представим переданный сигнал как  $s_T(x_T, y_T, z_T, t, f_T)$  и полученный сигнал как  $s_R(x_R, y_R, z_R, t, f_R)$ , то можно связать оба сигнала пространственно-временной частотной зависимостью, как  $s_R(x_R, y_R, z_R, t, f_R) = H(s_T(x_T, y_T, z_T, t, f_T))$ .  $H(\cdot)$  – функция, которая может быть названа беспроводным каналом.

Беспроводной канал также зависит от факторов: территория, атмосферные условия, относительная мобильность передатчиков и получателей, типов используемых антенн, высоты антенн и других практических параметров.

Модель распространения для беспроводного канала характеризуется потерей в тракте передачи, замиранием вследствие многолучевого распространения и эффектом Доплера.

Все эти характеристики определяются физической средой между передатчиком и получателем, а также системно-зависимыми параметрами, такими как высоты антенны, ширина луча антенны, поляризация антенны и взаимная связь между многими антеннами.

Потери в тракте передачи характеризуют затухание между уровнем переданного и полученного сигнала. Это, обычно, основано на таких физических явлениях, как поглощение, дифракция, рассеивание, отражение и преломление.

Поглощение радиосигнала в атмосфере происходит из-за явления молекулярного резонанса из-за присутствия молекул воды и кислорода.

---

Фролов Вадим Николаевич – Воронежский институт высоких технологий, доктор техн. наук, профессор, frolov\_vnnnn000@yandex.ru.

Федорков Евгений Дмитриевич – Воронежский институт высоких технологий, доктор техн. наук, профессор, fedorkovv\_vivt@vivt.ru.

Альтварг Михаил Самуилович – Воронежский институт высоких технологий, доцент, altvargms\_vnnnn000@yandex.ru.

Токарева Наталия Михайловна – ООО «3Д-комплекс», Tokar\_nnatalya540@yandex.ru.

Александров Александр Александрович – аспирант Воронежского института высоких технологий, Alexxxs\_90eugen@yandex.ru.

Поэтому поглощение больше во время дождя и снегопада. Поглощение также происходит, когда радиоволны распространяются через твердые частицы. Здания с металлом дают ослабление 10-25 дБ в зависимости от толщины стен, деревья ослабляют приблизительно на 10-12 дБ, и металлы ослабляют сигнал больше всего.

Дифракция вокруг объектов происходит, когда длина волны сигнала сопоставима с размером объекта или меньше его. В микроволновом диапазоне, например, у сигнала на 2.5 ГГц длина волны 12 см. Дифракция происходит, когда сигнал встречается с объектами этих размеров и если есть резкий край, происходит отражение сигнала по закону оптики – угол падения равен углу отражения.

Дифракция также наблюдается в городе со зданиями. Низкочастотные сигналы могут огибать препятствия по вершинам.

Рассеивание – явление, которое происходит, когда сигнал встречается с кластером объектов, и многократные отражения от этих объектов вызывает случайный эффект рассеивания.

Пример рассеивающейся среды – листва. Деревья с большим количеством ответвлений и движущихся листьев (из-за ветра) рассеивают сигнал значительно.

Потери в тракте передачи – функция частоты, расстояния между передатчиком и получателем, ландшафтом и системно-зависимыми параметрами, такими как высота антенны и характеристики антенны.

Замирание – явление, которое происходит, когда рассеивающаяся среда между передатчиком и приемником меняется в зависимости от времени. Это изменение сигнала добавляется к сигналу на приемнике как функция времени.

Очевидно, что ландшафт работы (открытая местность, плотная листва, высокие здания, холмистые области) определяет уровень замирания.

У канала есть когерентность, если он не показывает изменения в своих характеристиках вдоль уровней измерения пространства, времени и частоты. Различные типы когерентности объяснены ниже. Рассмотрим узкополосный сигнал, фиксированный в пространстве.

Тогда когерентность по времени канала может быть выражена как константа  $|h(t)|$ , при  $|t-t_0| \leq T_c/2$ , где  $T_c$  – время. Это означает, что временные характеристики канала не изменяются во время когерентности по времени.

Когерентность частоты канала определена, когда канал занимает определенную полосу частот и не переключается на другие частоты. Форма выражения подобна предыдущему случаю  $|h(f)| \approx \text{const}$ , при  $|f-f_c| \leq B_c/2$ .

Как в предыдущих случаях, пространственная когерентность может быть определена как  $h(r) \approx \text{const}$ , при  $|r-r_0| \leq D_{DC}/2$ , где  $r_0$  – произвольная позиция в пространстве,  $D_{DC}$  – пространственная когерентность. Все вышеупомянутые параметры когерентности важны для проектирования системы. Например, знание значения пространственной когерентности поможет смягчить замирания.

Еще пример, если две антенны получателя разделены расстоянием большим, чем расстояние пространственной когерентности, вероятно, что одна из антенн могла получить более сильный сигнал по сравнению с другой антенной.

Таким образом, можно объединить сигналы от обеих антенн эффективным способом, чтобы увеличить мощность сигнала. Другими словами используется принцип 'разнообразия'. Подобные методы могут использоваться в контексте временных и частотных когерентностей, чтобы улучшить качество сигнала.

Для разработки беспроводных систем, где сигнал искажен из-за физических явлений, необходимо характеризовать канал, используя математические модели.

Понятно, что рассеивание сигнала отличалось бы для различных расположений передатчика и получателя. Чтобы характеризовать канал, покрывая большинство возможных случаев, используются два подхода.

- Статистическая модель, использующая экспериментальные данные: Эта модель основывается на измерениях, которые выполнены, используя передатчики и приемники в различных расположениях ландшафта, различные антенны и другие соответствующие экспериментальные параметры.

Понятно, что невозможна исчерпывающая измерительная кампания, способная проверить все варианты. Представительные наборы экспериментов выполняются, и отличия (другие варианты) моделируются с точки зрения стохастической платформы.

Математические модели разрабатываются на основе анализа данных. Это также называют классическим подходом моделирования.

- Модели, использующие принцип геометрии.

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, при изотропных передающей и приемной антеннах с коэффициентами усиления, равными 1, для трассы прямой видимости определяются следующим выражением:

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

где  $d$  – расстояние между передатчиком и приемником в км,  $f_c$  – 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.

Таким образом, учет особенностей распространения радиосигналов при различных параметрах помех, геометрий рассеивателей, затухания в разных видах материалов обеспечит минимизацию погрешностей в оценке итоговой мощности на входе в приемное устройство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Е. Н. Разработка и программная реализации алгоритма оценки уровня сигнала в сети wi-fi / Е. Н. Казаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1 (12). – С. 13.
2. Львович И. Я. Использование информационных систем в управлении производством / И. Я. Львович, А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Научный взгляд в будущее. – 2018. – Т. 3. – № 9. – С. 94-98.
3. Преображенский А. П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / А. П. Преображенский, Р. П. Юров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 3. – С. 35-37.
4. Преображенский Ю. П. Рассеяние радиоволн на сложных объектах / Ю. П. Пре-

ображенский // 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. 191-194.

5. Львович И. Я. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И. Я. Львович, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 12. – С. 63-68.

6. Львович И. Я. Применение методологического анализа в исследовании безопасности / И. Я. Львович, А. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2011. – Т. 14. – № 3. – С. 469-470.

7. Сеницын Ю. И. Мониторинг удаленных рабочих станций на основе беспроводной технологии // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 1 (28). – С. 41-42.

8. Зверева Д. Д., Меньших В. В. Обоснование состава программного комплекса оптимизации и исследования эффективности выбора вариантов модернизации инфокоммуникационных сетей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 1 (28). – С. 33-34.

9. Чопоров О. Н., Преображенский А. П., Хромых А. А. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 584-587.

10. Афанасьев А. И., Князев В. Н. Разработка беспроводной системы управления на основе концепции «Интернет вещей» // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 1 (28). – С. 8-9.

11. Львович Я. Е. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский, С. О. Головинов // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 40-42.

#### SOME FEATURES OF SIGNAL DISTRIBUTION IN WIRELESS NETWORKS

© 2020 V. N. Frolov, E. D. Fedorkov, M. S. Altvarg, V. P. Alexandrov, A. A. Alexandrov

Voronezh institute of high technologies (Voronezh, Russia)  
LLC «3D-complex» (Voronezh, Russia)

*This paper examines the features of signal propagation when information is distributed within wireless networks.*

*Keywords: wireless network, information, telecommunication technologies, development, innovation, production.*