

# МЕТОДИКА БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ WI-FI-СИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПРЕПЯТСТВИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЗДАНИЯ

В. П. Кочин, Ю. И. Воротницкий, Д. А. Стрикелев

*Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь*

Рассмотрены основные типы затухания, возникающие при распространении Wi-Fi сигнала. Предложена методика быстрой оценки мощности Wi-Fi-сигнала при прохождении препятствий в пределах здания. Разработан алгоритм расчета угла падения радиоволны.

*Ключевые слова:* Wi-Fi, распространение волн, алгоритм, методика оценки.

Проблеме распространения радиоволн внутри зданий и помещений в последнее время уделяется значительное внимание [1–5]. Это связано, прежде всего, с модернизацией локальных информационных сетей с помощью технологии Wi-Fi. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, радиоэлектронной аппаратуры и других объектов создает сложную среду для распространения радиоволн, которая существенно отличается от свободного пространства. Основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых краях предметов и затухание радиоволн при распространении на расстояние и при прохождении через препятствия. Эти эффекты обуславливают сложную структуру электромагнитного поля и будут рассмотрены ниже.

В каналах беспроводной связи наблюдаются затухания сигналов двух типов – крупнозернистое и мелкозернистое. Крупнозернистое затухание отражает среднее ослабление мощности сигнала вследствие распространения на расстояние. Крупнозернистое затухание определяется наличием вдоль траектории распространения таких объектов, как стены, двери, перекрытия зданий и т. д. Эмпирические исследования крупнозернистого затухания позволяют приблизительно рассчитать потери в пути как функцию расстояния. В этом случае мощность принимаемого сигнала уменьшается с расстоянием по степенному закону, а отклонения от среднего значения определяются логарифмически нормальным распределением.

Мелкозернистое затухание обусловлено вариациями амплитуды и фазы сигнала на масштабах порядка длины волны и проявляется как расширение сигнала во времени (временное рассеяние) и нестационарное поведение частотного канала связи. В системах беспроводной связи параметры канала изменяются во времени из-за движения передатчика или приемника. Мелкозернистое затухание называется релейским, если прямая видимость между передатчиком и приемником отсутствует, а сигнал в точку приема приходит в результате многократных отражений от различных объектов. Огибающая такого сигнала статистически описывается с помощью релейской функции плотности вероятности. Если преобладает прямой сигнал (между передатчиком и приемником есть прямая видимость),

то огибающая мелкозернистого затухания описывается функцией плотности вероятности Райса. Этот вид затухания вносит значительный вклад в затухание в каналах мобильной связи из-за того, что распространение сигнала происходит на большие расстояния. В случае же распространения Wi-Fi сигнала в пределах здания этим видом затухания можно пренебречь.

При анализе затухания следует иметь в виду следующие соображения.

При оптимизации размещения точек доступа на заданном пространстве задача определения интенсивности сигнала на заданном расстоянии от источника должна быть решена для каждого источника и получателя многократно. Поэтому методика расчета интенсивности сигнала должна характеризоваться малыми затратами времени.

Представляет интерес не вычисление точной интенсивности сигнала, а некоторая его оценка, т. к. получение точных значений будет затруднено из-за отказа от учета эффектов мелкозернистого затухания, а также по причине игнорирования внутренних интерьеров помещений.

С учетом сказанного целью данной работы является выработка методики быстрой оценки интенсивности сигнала в точке, находящейся на заданном расстоянии от источника, отделенной рядом препятствий, обладающих различными коэффициентами затухания.

Величина крупнозернистого затухания (далее – затухания) сигнала зависит как от расстояния от точки передачи, так и от частоты сигнала. При измерении в децибелах величины затухания сигнала (ослабление при распространении) пользуются формулой:

$$L = 20X \lg\left(\frac{4\pi df}{c}\right), \quad (1)$$

где  $X$  – коэффициент ослабления, равный 1 для открытого пространства,  $d$  – расстояние от точки передачи,  $f$  – частота сигнала,  $c$  – скорость света. Из данной формулы непосредственно вытекает, что с увеличением частоты передаваемого сигнала увеличивается и его затухание.

На рис. 1 показана геометрическая схема прохождения электромагнитной волны при распространении Wi-Fi сигнала через препятствие.

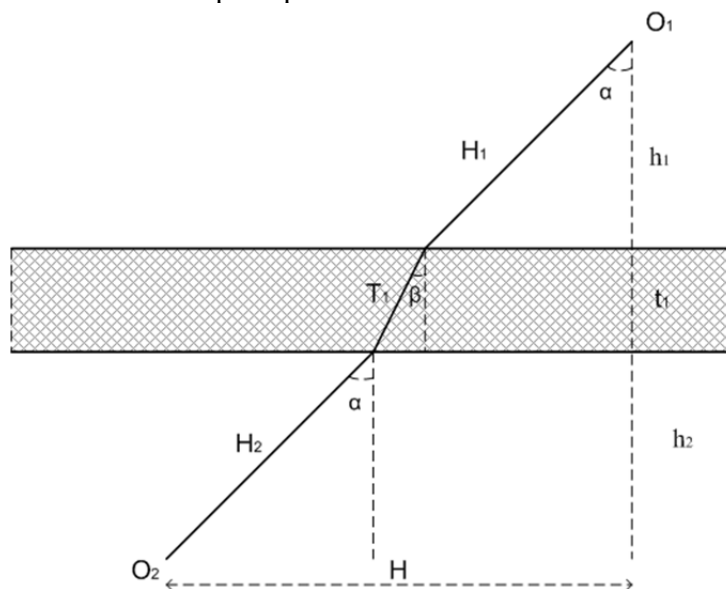


Рис. 1. Распространение Wi-Fi сигнала через препятствие

Пренебрегая в первом приближении переотражениями волны внутри пластины на границах раздела, общее затухание в точке  $O_2$  запишем в виде:

$$L = L_{H1} + L_{o1} + L_{T1} + L_{o2} + L_{H2}, \quad (2)$$

где  $L_{H1}$  – затухание, вызванное прохождением участка открытого пространства  $H_1$ ;  $L_{o1}$  – затухание, вызванное отражением части волны от границы двух сред;  $L_{T1}$  – затухание, вызванное прохождением участка стены длиной  $T_1$ ;  $L_{o2}$  – затухание, вызванное отражением части волны от границы двух сред;  $L_{H2}$  – затухание, вызванное прохождением участка открытого пространства  $H_2$ .

Таким образом, затухания  $L_{H1}$ ,  $L_{T1}$ ,  $L_{H2}$  будут определяться по формулам:

$$L_{H1} = 20 \lg \left( \frac{4\pi H_1 f}{c} \right), \quad (3)$$

$$L_{T1} = 20K_m \lg \left( \frac{4\pi T_1 f}{c} \right), \quad (4)$$

$$L_{H2} = 20 \lg \left( \frac{4\pi H_2 f}{c} \right). \quad (5)$$

Большинство антенн, используемых в WLAN, являются антеннами с линейной поляризацией, горизонтальной или вертикальной. Чаще применяется вертикальная поляризация [6]. Таким образом, с учетом вертикальной поляризации волн затухания  $L_{o1}$  и  $L_{o2}$  вызванные отражением части волны от границы двух сред будут определяться по формулам [7]:

$$L_{o1} = 10 \lg \left( \frac{P}{P_{\text{пр}}} \right) = 10 \lg \left( \frac{4n_1 n_2 \cos \alpha \cos \beta}{(n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta)^2} \right), \quad (6)$$

$$L_{o2} = 10 \lg \left( \frac{P}{P_{\text{пр}}} \right) = 10 \lg \left( \frac{4n_1 n_2 \cos \alpha \cos \beta}{(n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta)^2} \right), \quad (7)$$

где  $P$  и  $P_{\text{пр}}$  – мощность сигнала до отражения от границы двух сред и мощность сигнала после прохождения границы двух сред;  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления среды 1 и среды 2.

Таким образом, общее затухание сигнала при прохождении расстояния от передатчика к приемнику будет определяться формулой:

$$L = 20 \lg \left( \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^2 H_1 H_2 \right) + 20K_m \lg \left( \frac{4\pi T_1 f}{c} \right) + 10 \lg \left( \frac{(4n_1 n_2 \cos \alpha \cos \beta)^2}{((n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta)(n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta))^2} \right). \quad (8)$$

В случае, если количество стен будет  $k$  и материал стен везде одинаков, формула (8) принимает вид:

$$L = 20 \lg \left( \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^{k+1} H_1 H_2 \dots H_{k+1} \right) + 20K_m \lg \left( \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^k T_1 T_2 \dots T_k \right) + 20 \lg \left( \frac{4n_1 n_2 \cos \alpha \cos \beta}{(n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta)(n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta)} \right) \sum_{i=1}^k i. \quad (9)$$

Также следует принимать во внимание фокусировку радиоволны вследствие рефракции

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (10)$$

В диапазоне частот 3–5 ГГц действительная часть диэлектрической проницаемости кирпича и бетона меняется слабо и составляет  $\epsilon \approx 3,5 - 4,0$ , поэтому при расчетах можно брать  $n_1 = 1$  (воздух),  $n_2 = 1,9-2$  (стена).

Таким образом, формула (9) принимает вид:

Ослабление сигнала при распространении волны от точки  $O_1$  в точку  $O_2$  будет определяться следующей формулой:

$$L = 20 \lg \left( \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^2 h_1 h_2 \sin^2 \alpha \right) + 20 K_m \lg \left( \frac{4\pi t_1 f \sin \beta}{c} \right) + 20 \lg \left( \frac{4n_1 n_2 \cos \alpha \cos \beta}{(n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta)(n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta)} \right). \quad (12)$$

Вследствие фокусировки волны будет происходить смещение волны и, следовательно, уменьшение расстояния  $H$ . Относительное изменение будет определяться формулой:

$$\Delta H = (h_1 + t_1 + h_2) \tan \alpha - (h_1 + h_2) \tan \alpha - t_1 \tan \beta = (\tan \alpha - \tan \beta) t_1. \quad (13)$$

Таким образом, смещение волны будет определяться толщиной стены и разностью тангенсов углов. С учетом (10) смещение волны  $\Delta H$  в зависимости от угла падения  $\alpha$  и толщины стены показано на рис. 2.

Смещением волны можно пренебречь, если оно не превышает 1 метра.

В этом случае угол  $\alpha$  будет определяться следующим выражением:

$$\tan \alpha = \frac{H}{h_1 + t_1 + h_2}. \quad (14)$$

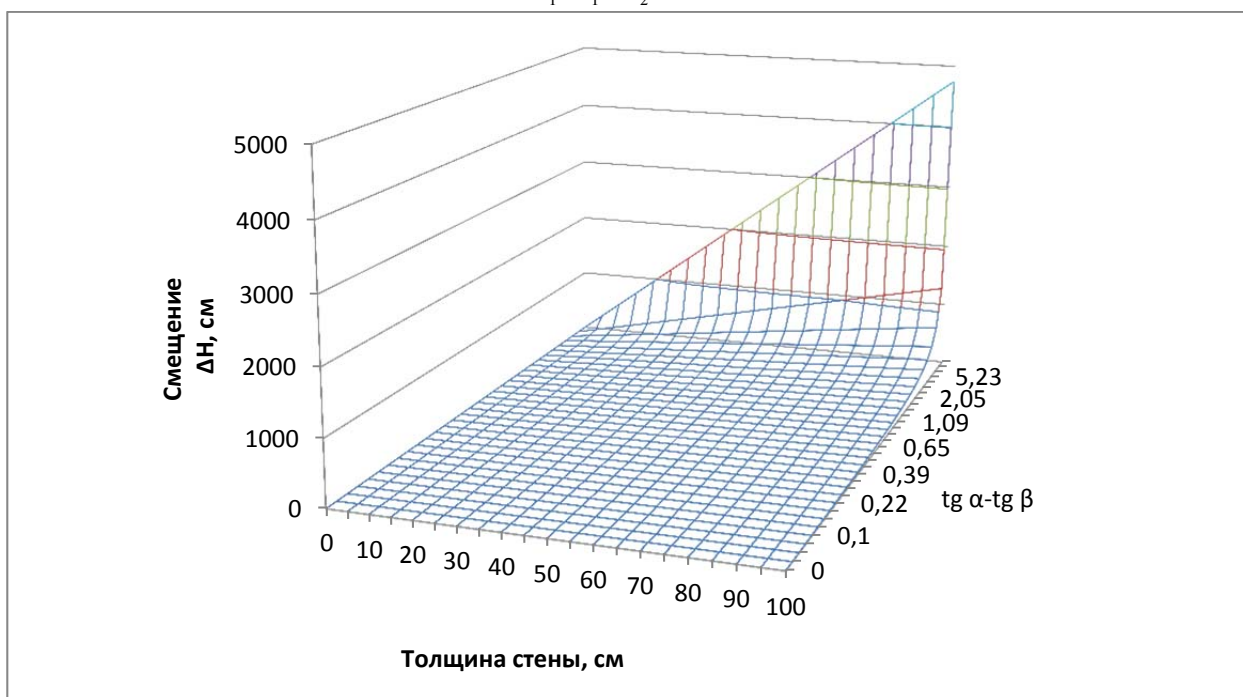


Рис. 2. Зависимость смещения волны от толщины стены и угла падения

Однако если смещение волны превышает 1 метр, то необходим итерационный алгоритм расчета угла падения  $\alpha$ . В качестве данного алгоритма авторы предлагают следующий:

- 1) установить  $H_э = H$ ;
- 2) вычислить  $\alpha = \tan^{-1} \frac{H_э}{h_1 + h_2 + t_1}$  и  $\beta = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \alpha}{2} \right)$ ;
- 3) вычислить  $H_э = (h_1 + h_2) \tan \alpha + t_1 \tan \beta$ ;
- 4) если  $|H - H_э| > 1$  м, то установить  $H_э = H_э + 1$  м и перейти к шагу 2;

5) если  $|H - H_0| \leq 1$  м, то  $\alpha = \tan^{-1} \frac{H_0}{h_1 + h_2 + t_1}$ .

Предложенный алгоритм позволяет получить значение угла падения волны в пределах заданной погрешности. Скорость сходимости алгоритма будет определяться параметрами  $H$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $t_1$ . При необходимости увеличения точности алгоритма вычисления угла падения следует уменьшать  $\Delta H$ .

Предложенная методика быстрой оценки интенсивности сигнала в точке, находящейся на заданном расстоянии от источника, отделенного рядом препятствий с различными коэффициентами затухания, характеризуется низкими вычислительными затратами, что с успехом может быть использовано при оптимизации расположения точек доступа в пределах помещения с заданной геометрией с целью обеспечения максимально широкого и устойчивого его покрытия Wi-Fi-сигналом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Mc Gibney, A. A.* Wireless Local Area Network Modeling Tool for Scalable Indoor Access Point Placement Optimization / A. Mc Gibney, M. Klepal, D. Pesch // SpringSim '10 Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference. Article No. 163. 2010.
2. *Rodd, S.* Optimization algorithms for access point deployment in wireless networks / S. Rodd, M. Math, A. Kulkarni // Journal of Computer Applications, Vol II, No. 2, April-June 2009.
3. *Hsieh, I.* Adaptive Access Points Selection for 802.11 Wireless Networks / I. Hsieh, Fu-Min Chang, Shang-Juh Kao // AsiaCSN '07 Proceedings of the Fourth IASTED Asian Conference on Communication Systems and Networks. 2007. P. 218–222.
4. *Lee, Y.* Optimization of AP Placement and Channel Assignment in Wireless LANs / Y. Lee, K. Kim, Y. Choi // Proceedings of the 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN.02). 2002. P. 831–836.
5. *Рыжов, А. И.* Ослабление сверхширокополосных хаотических сигналов диапазона 3–5 ГГц при прохождении через стены зданий // А. И. Рыжов [и др.] // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 5.
6. *Педжман Рошан, П.* Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. / П. Рошан, Д. Лиэри. М. : Вильямс, 2004. 302 с.
7. *Сивухин, Д. В.* Общий курс физики. Том IV. Оптика / Д. В. Сивухин. М. : Физматлит, МФТИ, 2006. 792 с.