

## RAY TRACING MODEL FOR INDOOR RADIO WAVE PROPAGATION

### RADIOVIĻŅU IZPLATĪŠANĀS TELPĀS STARU TRASĒŠANAS MODELIS

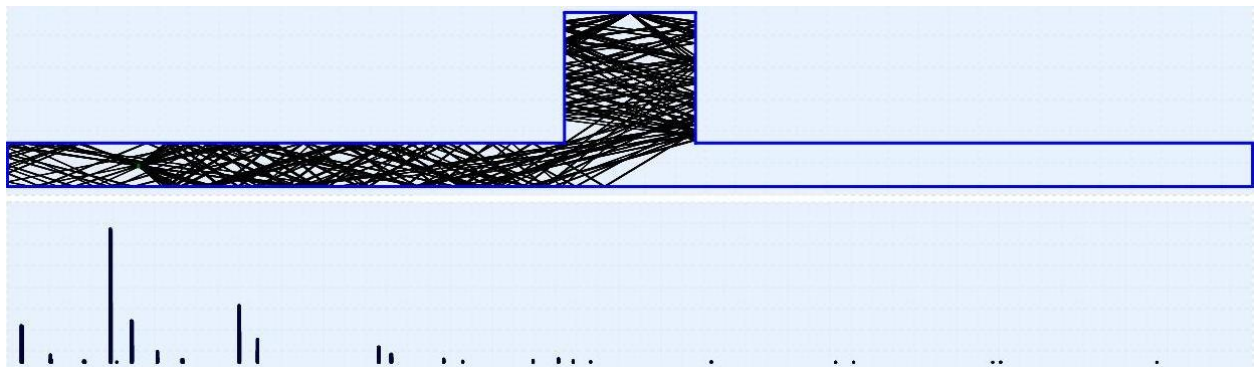
### МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ПОМЕЩЕНИЯХ

И.А. Липлянский, А.А. Спунитис.

*Ключевые слова: трассировка лучей, радиоволны, распространение, беспроводные сети, локальные, сигнал, затухание, отражение*

#### Введение

При разработке эмпирических моделей каналов часто не учитывают геометрические характеристики окружающей среды. В этом заключается их основной недостаток, особенно ярко это проявляется при многолучевом распространении сигналов внутри помещений. Трассировка лучей это способ симуляции канала связи учитывающий геометрические характеристики строений. В данном случае распространение радиоволн рассматривается как большое количество самостоятельных лучей, которые имеют характеристики как затухания, так и отражения от стен зданий.



**Рис. 1.** Моделирование многолучевого канала в коридоре здания  
**Fig. 1.** Indoor Multipath channel modeling

#### Моделирование многолучевого канала связи

При передаче сигнала от передатчика к приёмнику в здании с заранее известной геометрией, модель трассировки лучей определяет всю необходимую информацию, такую как:

$\beta_i^d = |\beta_i^d| \cdot e^{j\phi_i^d}$  - амплитуда и  $\tau_i^d$  - задержка при распространении  $i$ -того пути, угол падения и отражения луча, количество отражений и фаза сигнала. При симуляции набор лучей, посылаемый от передатчика к приёмнику, трассируются до тех пор, пока лучи либо достигнут приёмника, либо затухнут в среде [1].

При распространении радиоволн с частотой 900 МГц и выше в небольших помещениях и коридорах зданий именно затухание и отражение волн являются доминирующим механизмом определяющим уровень принятого сигнала [2].

Для моделирования многолучевого канала методом трассировку лучей используется программное обеспечение, разработанное авторами статьи. Предсказания уровня сигнала

вычисленные программным обеспечением трассировки лучей могут обеспечить высокую точность, так как волна рассматривается как самостоятельно распространяющиеся лучи. Трассировку лучей можно использовать при создании большой базы данных импульсных характеристик каналов для статистического анализа. Поэтому метод трассировки лучей является эффективной альтернативой физическим измерениям параметров сигнала. Рисунок 1 изображает приёмник и передатчик, расположенные в коридоре 3-го этажа здания Института Железнодорожного Транспорта Рижского Технического Университета и соответствующую импульсную характеристику канала, вычисленную при помощи трассировки лучей.

Данная модель может содержать необходимую информацию о плане здания, такую как: расположении стен, дверей, окон и мебели. Следует заметить, что программное обеспечение трассировки лучей должно быть сконфигурировано с учётом всех особенных тонкостей геометрических характеристик здания. Из за сложности и большего объема вычислений, метод трассировки лучей не является подходящей методикой установления характеристик канала связи для систем реального времени.

Алгоритм модели с использованием трассировки лучей предусматривает следующую последовательность расчётов:

- 1) Анализируются геометрические характеристики здания.
- 2) Определяются прямой и множество отражённых лучей идущих от передатчика к приёмнику.
- 3) По траекториям лучей определяются длины лучей и углы падения.
- 4) Затем вычисляются ослабление каждого луча, исходя из формулы(1):

$$p_r = \frac{p_0}{d^\alpha} \cdot \prod_{i=0}^n \Gamma_i \quad (1)$$

где  $p_r$  [Вт] - мощность принятого сигнала,

$p_0$  [Вт] - мощность принятого сигнала на расстоянии в один метр от передатчика,

$d$  [м] – длина луча, в случае приёма прямого луча - расстояние между приёмником и передатчиком,

$\alpha$  - коэффициент изменения мощности в зависимости от расстояния.

$\Gamma_i$  - эффективный коэффициент  $i$  – го отражения луча от стены, который определяется по формуле (2):

$$\Gamma_i = \left( \frac{\sin \Theta_i - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \Theta_i}}{\sin \Theta_i + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \Theta_i}} \right)^2 \quad (2)$$

где  $\Theta$  - угол падения луча,

$\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость стены (рис. 2).

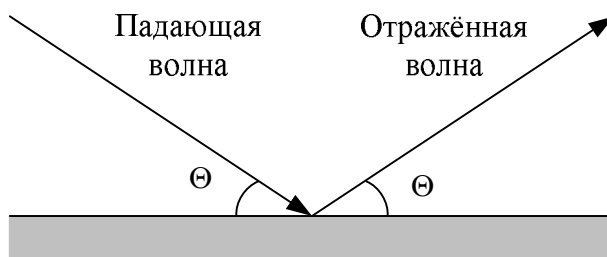


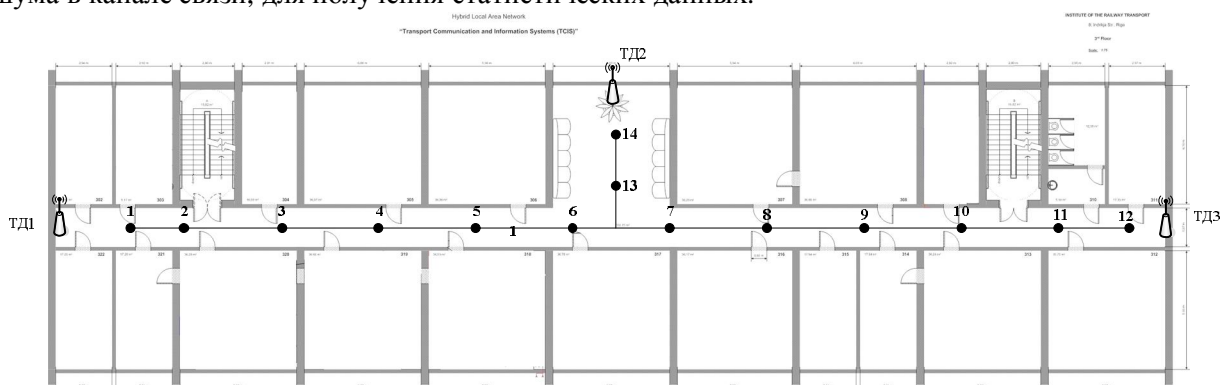
Рис. 2. Отражение луча

Fig. 2. Ray reflection

**Сравнение экспериментально полученных данных, модели IEEE 802.11 и метода трассировки лучей**

Для получения экспериментальных данных на 3-ем этаже здания Института железнодорожного транспорта Рижского технического университета была создана измерительная система. Основой данной системы стали три точки доступа (ТД1 – ТД3), которые выполняли роль излучателей, приёмник и программный инструментарий для сбора статистики, фильтрации и обработки информации о мощности принятого сигнала (рис. 3).

Измерения проводились в контрольных точках (1 – 14 на рис. 3), расположенных в коридоре здания. Расстояние между контрольными точками составляло 5 метров. В каждой контрольной точке проводилось определенное количество замеров (в общем было выполнено более 65 000 измерений) и было собрано достаточное количество информации о уровне принятого сигнала и шума в канале связи, для получения статистических данных.



**Рис. 3. План здания**  
**Fig. 3. Building plan**

Полученные результаты показывают, что метод трассировки лучей определяет уровни принятых сигналов точнее, чем модель IEEE 802.11 [3, 4]. В таблице 1 приведены значения коэффициентов корреляции между экспериментально и теоретически полученными данными (метод трассировки лучей и модель IEEE 802.11) для каждого сценария измерений уровня сигнала. В данной таблице приведены координаты точек доступа относительно коридора в здании (ТД1, ТД2 и ТД3) и соответствующие коэффициенты корреляции.

**Таблица 1**

Коэффициент корреляции  
Correlation coefficient

Точка доступа	Координаты точки доступа		Коэффициент корреляции между измеренным значением и трассировкой лучей	Коэффициент корреляции между измеренным значением и моделью IEEE 802,11
	по оси X, м	по оси Y, м		
ТД1	0,10	1,00	0,91	0,64
ТД2	28,50	8,00	0,98	0,95
ТД3	56,90	1,00	0,95	0,67

В таблице 2 приведены значения средних относительных ошибок между экспериментально и теоретически полученными данными (метод трассировки лучей и модель IEEE 802.11) для

каждого сценария измерений уровня сигнала. В данной таблице приведены координаты точек доступа относительно коридора в здании (ТД1, ТД2 и ТД3) и соответствующие средние

относительные ошибки. Как видно из полученных результатов, метод трассировки лучей способен предсказать затухание в канале связи точнее существующей модели IEEE 802.11.

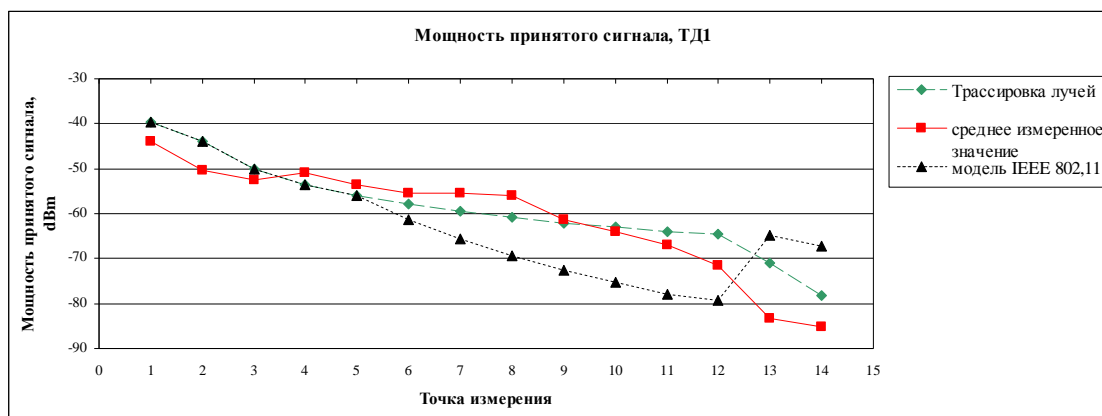
**Таблица 2**

Средняя относительная ошибка  
Average relative error

Точка доступа	Координаты точки доступа		Средняя относительная ошибка между измеренным значением и трассировкой лучей	Средняя относительная ошибка между измеренным значением и моделью IEEE 802,11
	по оси X, м	по оси Y, м		
ТД1	0,10	1,00	0,07	0,14
ТД2	28,50	8,00	0,05	0,17
ТД3	56,90	1,00	0,06	0,12

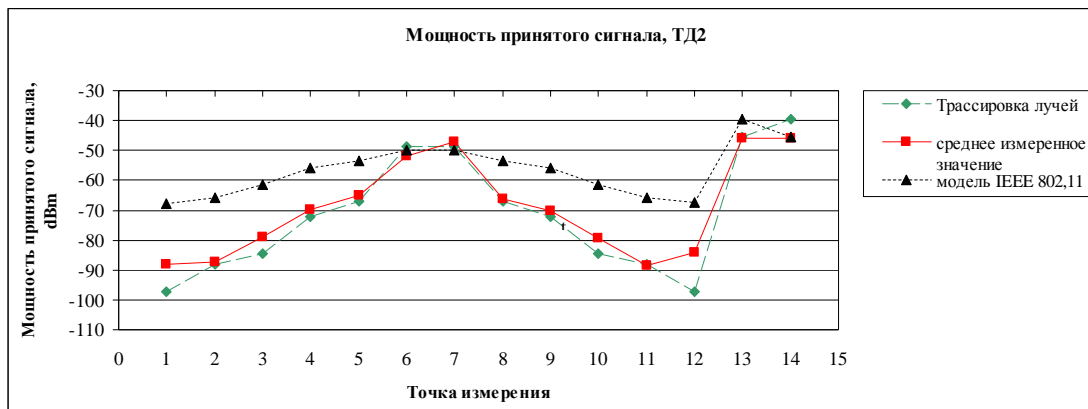
Метод трассировки лучей, обычно, обеспечивает лучшую аппроксимацию по сравнению с моделью IEEE 802.11. В основном, это объясняется тем, что затухание в тракте сильно зависит от геометрических особенностей конкретного помещения.

На графиках (рис. 3 – 5) изображены значения мощности принятого сигнала в зависимости от точки измерения для каждой точки доступа (ТД1 – ТД3). На графиках отражены экспериментально и теоретически полученные данные (модели IEEE 802.11 и метод трассировки лучей). Как видно, метод трассировки лучей даёт более точное предсказание поведения канала связи, это особенно заметно в точках 13 и 14.

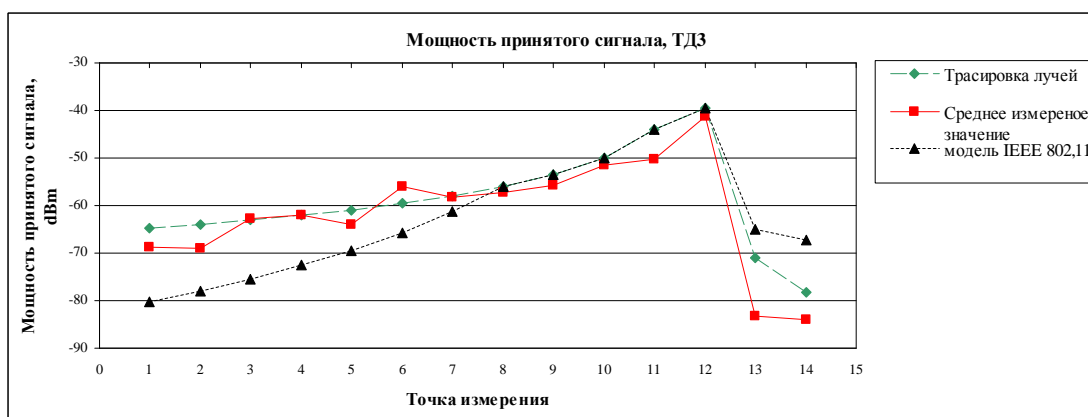


**Рис. 3.** Мощности принятых сигналов для точки доступа 1 (ТД1)

**Fig. 3.** Received signal strength from Access Point 1



**Рис. 4.** Мощности принятых сигналов для точки доступа 2 (ТД2)  
**Fig. 4.** Received signal strength from Access Point 2



**Рис. 5.** Мощности принятых сигналов для точки доступа 3 (ТД3)  
**Fig. 5.** Received signal strength from Access Point 3

## Выводы

- 1) Распространение радиоволн в помещениях является сложным процессом, доминирующее значение к которому имеют многолучевое распространение и отражение волн от стен зданий.
- 2) Как показали исследования, проводимые в здании Института железнодорожного транспорта Рижского технического университета, метод трассировки лучей, обычно, обеспечивает лучшую аппроксимацию по сравнению с моделью IEEE 802.11, даёт больше информации о параметрах канала, таких как: затухание, время распространения сигнала, импульсную характеристику и т.д.

## Литература

1. G. A. Deschamps, "Ray techniques in electromagnetics", Proc. IEEE, vol. 60, no. 9, pp. 1022-1035, Sept. 1972.
2. И.А. Липлянский, «Модели каналов для систем позиционирования на основе WLAN», Международная научно – техническая конференция студенчества и молодежи «Мир информации и телекоммуникаций – 2008», материалы конференции, стр. 17, часть 1, апрель 2008.
3. Erceg V. et al. // TGN Channel Models. IEEE 802.11 document 03/940r4. – 2004. – May.
4. Medbo J., Schramm P. // Channel models for HIPERLAN/2. ETSI/BRAN document № 3ERI085B.

**Igor Liplansky**, Master of Engineering Science in Transport Telematics, PhD student, Riga Technical University, Faculty of Electronics and Telecommunication, Institute of Railway Transport. Address: Indrika street No 8, LV-1004, Riga, Latvia. Phone: +371 26487049. E-mail: [xlife@inbox.lv](mailto:xlife@inbox.lv)

**Andrejs Spunitis**, Master of Engineering Science in Transport Telematics, PhD student, Riga Technical University, Faculty of Electronics and Telecommunication, Institute of Railway Transport. Address: Indrika street No 8a, LV-1004, Riga, Latvia. Phone: +371 29383905. E-mail: [andrejs.spunitis@gmail.com](mailto:andrejs.spunitis@gmail.com)

**Liplanskis I., Spunitis A. Radioviļņu izplatīšanās telpās staru trasēšanas modelis**

*Darbā ir piedāvāts divdimensiju decimetru viļņu izplatīšanas daudzstaru kanāla modelis telpām. Modeļa pamatā ir ģeometriskas optikas metodes, tās paredz telpu ģeometrisko raksturojumu determinēto aprakstu. Radioviļņu atstarošana no sienām ir modelējama kā atstarojums no plakanas virsmas ar dažu efektīvu atstarojuma koeficientu. Piedāvātais modelis un uz tā pamata izstrādātais programmas nodrošinājums ļauj noteikt sakaru kanāla galvenos parametrus: signāla rimšanas, signāla izplatīšanās laiku, kanāla impulsa raksturojumu u.c.*

**Liplansky I., Spunitis A. Ray tracing model for indoor radio wave propagation**

*In this work the two dimensional multipath channel for indoor waves propagation is offered. Model based on geometrical optics methods and foresees the determined description of geometrical characteristics of indoor environment. The reflections of radio waves from walls is designed as a reflections from a flat surface with some effective reflectivity coefficient. Offered model and software developed on its basis, allow to define the main parameters of communication channel, such as: channel fading, signal time of arrival, channel impulse response and others.*

**Липлянский И.А., Спунитис А.А. Модель трассировки лучей для распространения радиоволн в помещениях**

*В данной работе предложена двумерная модель многолучевого канала распространения дециметровых волн в зданиях. В основе модели лежат методы геометрической оптики, что предусматривает детерминированное описание геометрических характеристик помещений. Отражение радиоволн от стен моделируется как отражение от плоской поверхности с некоторым эффективным коэффициентом отражения. Предложенная модель и разработанное на ее основе программное обеспечение позволяют определить ключевые параметры канала связи: затухание, время распространения сигнала, импульсную характеристику и т.д.*