

CHANNEL MODELS FOR INDOOR POSITIONING SYSTEMS

KANĀLU MODELI POZICIONĒŠANAS SISTĒMĀM TELPĀS

МОДЕЛИ КАНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ

И.А. Липлянский

Ключевые слова: позиционирование объектов, беспроводные локальные сети, многолучевой сигнал, распространение, помещения, радиоволны, распространение, затухание

Введение

В настоящее время, в системах беспроводной связи, развивается направление, связанное с определением местоположения объектов в помещениях. Для этих целей используются беспроводные локальные сети (WLAN) и беспроводные личные сети. Так как всё большее число сетевых приложений использует эти технологии, потребность в точных и надежных измерениях местоположения объекта увеличивается. Рассмотренные в них алгоритмы позволяют определить местоположение объектов, используя оцененные расстояния между мобильной станцией и, как минимум, тремя контрольными точками (метод триангуляции) или распознаванием шаблонов на предварительно созданной карте меток [1].

Определение терминов

Сетевая инфраструктура, созданная для определения координат мобильной станции (МС), относительно некоторых известных опорных точек, называется беспроводной системой позиционирования.

На рис. 1 показана блок-схема типичной системы позиционирования на основе беспроводной локальной сети.

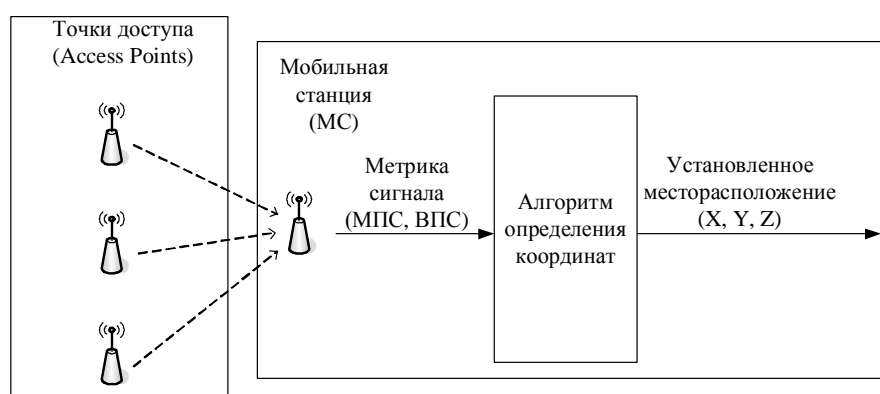


Рис. 1. Типовая система позиционирования

Fig. 1. A typical positioning system

Система позиционирования может быть создана на основе существующей инфраструктуры беспроводной сети, без дополнительных затрат.

Локация – процесс получения координат местоположения МС от системы позиционирования. Этот процесс также определяется как позиционирование объекта, геолокация [2,3], определение местоположения.

Система позиционирования определяет местоположение МС, измеряя такие параметры сигналов, как мощность принятого сигнала (МПС) либо время прибытия сигнала (ВПС).

Моделирование многолучевого канала связи

Импульсная характеристика канала, между передатчиком и приемником, расположенными на определенном расстоянии, определяется как [4]:

$$h(t) = \sum_{i=1}^{L_p} \beta_i \delta(t - \tau_i), \quad (1)$$

где L_p - количество путей при многолучевом распространения сигнала,

$\beta_i = |\beta_i^d| \cdot e^{j\phi_i}$ и τ_i^d являются комплексной амплитудой и случайной задержкой распространения i - того пути соответственно,

ϕ_i - фаза i - того сигнала.

Исходя из выражения (1) передаваемый импульс $\delta(t)$ в точке приёма представляет собой сумму различных запаздывающих импульсов с различными амплитудами и фазами.

Поведение канала связи

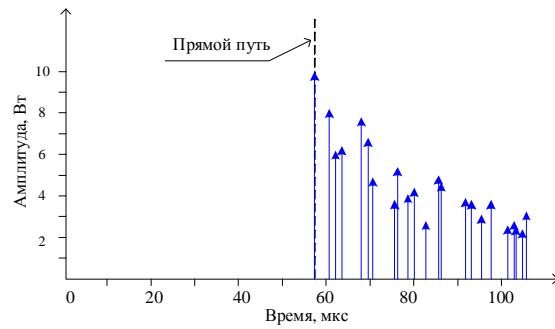
Определим тракт прямой видимости между антеннами передатчика и приемника как прямой путь.

Исходя из их импульсной характеристики, широкополосные каналы связи внутри помещений можно классифицировать на три различных типа [5]. Выделяют каналы с доминирующим прямым путём (ДПП), недоминирующим прямым путём (НДПП) и каналы с необнаруженным прямым путём (НПП).

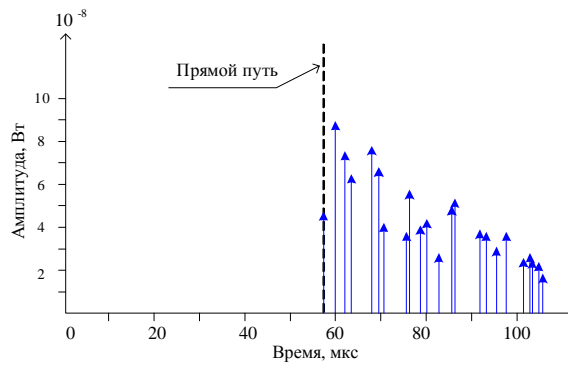
В каналах ДПП прямой луч распространения имеет наибольшую амплитуду (мощность) и может быть детектирован приёмником. В канале НДПП прямой луч распространения не является доминирующим и не имеет наибольшей амплитуды (мощности).

В каналах НПП прямой луч распространения либо отсутствует, либо имеет мощность ниже чувствительности приёмника. В результате, приёмник воспринимает первый пик импульсной характеристики как прямой путь распространения, что приводит к увеличению ошибки измерения дистанции.

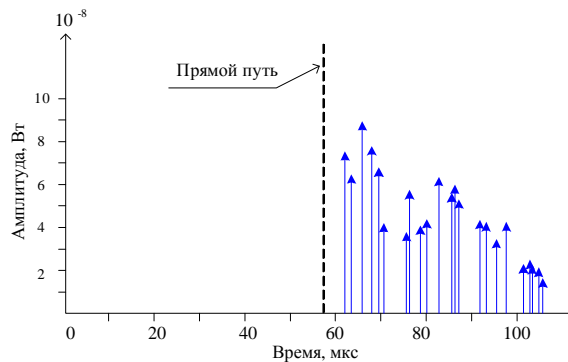
Классификация каналов изображена на рис. 2 (а - в), на котором видны импульсные характеристики каналов ДПП, НДПП, НПП для системы с неограниченной полосой пропускания. Импульсные характеристики каналов полезно представить графически, в виде графика, на котором по оси ординат откладываются значения коэффициентов β_i , определяющих мощности соответствующих лучей, а по оси абсцисс – время распространения радиоволн i - того луча от передатчика до приёмника.



а) ДПП



б) НДПП



в) НПП

Рис. 2. Импульсные характеристики каналов связи
Fig. 2. Channel impulse response

Эмпирические модели для различных типов каналов

В данной работе рассматривается процесс создания эмпирических моделей каналов с ДПП и с НПП.

Для изучения различных типов каналов на 3-ем этаже здания Института железнодорожного транспорта Рижского технического университета была создана измерительная система [6, 7, 8]. Основой данной системы стали три точки доступа (ТД1 – ТД3), которые выполняли роль излучателей, а также приёмник и программный инструментарий для сбора статистики, фильтрации и обработки информации о мощности принятого сигнала.

Измерения проводились в контрольных точках, 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. Как видно на рис. 3, при измерениях присутствовали два типа канала связи – с ДПП и канал с НПП. Точка доступа 2 (ТД2) в контрольных точках 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 и 12 не имеет прямого пути распространения (НПП канал). Напротив, точки доступа 1 и 3 (ТД1 и ТД3) имеют прямой путь распространения радиоволн в точках с 1 по 12 включительно, и образуют ДПП канал.

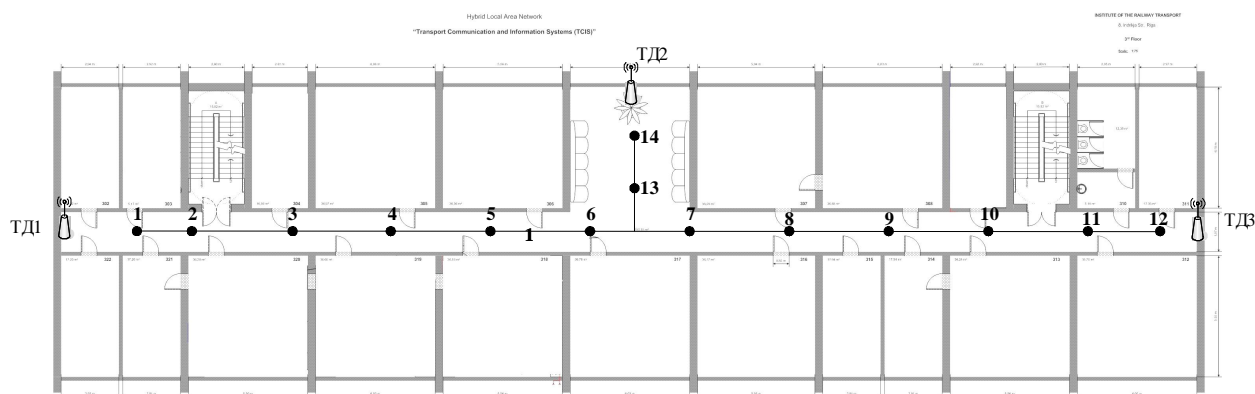


Рис. 3. План здания
Fig 3. Building plan

На рис. 4 изображено падение мощности сигнала в тракте для ДПП канала. Для данного случая коэффициент $\alpha = 2$.

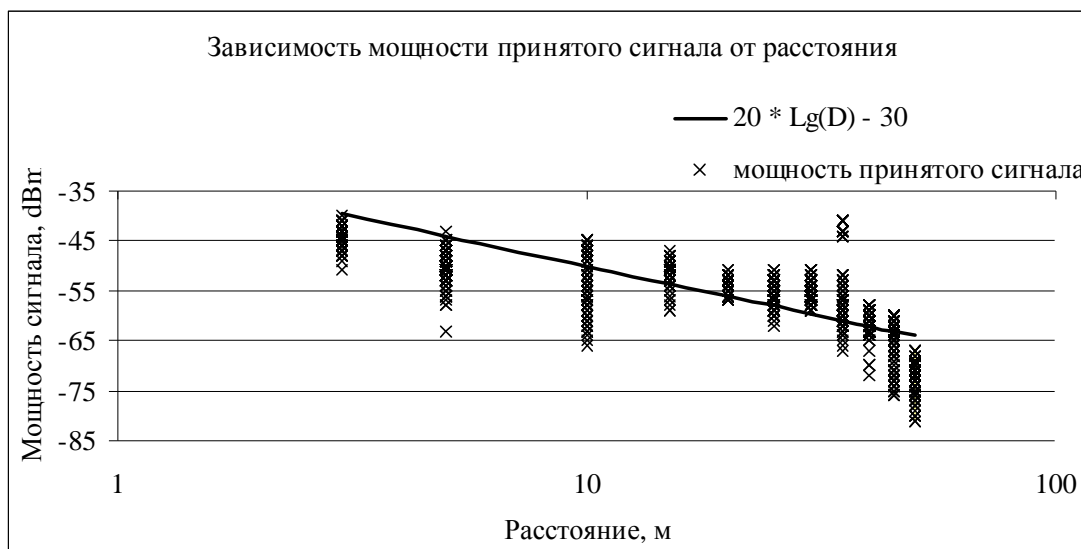


Рис. 4. Зависимость мощности принятого сигнала от расстояния для ДПП канала.
Fig. 4. Received signal strength dependence from distance for DDP channel

Для канала с ДПП средние значения мощности принятого сигнала, в зависимости от расстояния, можно аппроксимировать функцией вида (2):

$$P_r = -20 \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) - 30 \text{ (дБм)}, \quad (2)$$

где P_r – среднее значение мощности принятого сигнала (дБм),

d – расстояние между приёмником и передатчиком в метрах,

d_0 - мощность принятого сигнала на расстоянии в один метр от передатчика равно – 30 дБм.

В каждой контрольной точке производились многократные измерения уровня полученного сигнала. Явление замирания приводят к нестационарному поведению канала связи и разбросу значений мощности принятых сигналов при измерениях в определённой контрольной точке.

На рис. 5 показан пример статистического распределения мощностей принятых сигналов для ДПП канала.

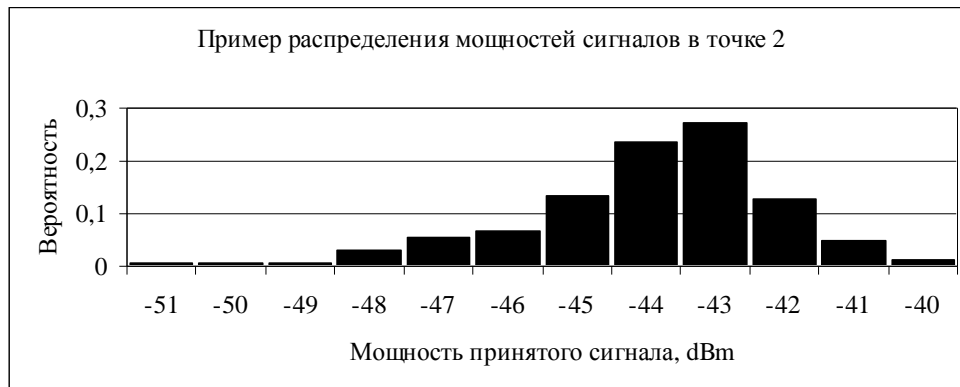


Рис. 5. Статистическое распределение мощностей принятых сигналов для ДПП канала
Fig. 5. Received signal strength statistical distribution for DDP channel

На рис. 6 изображено падение уровня мощности сигнала в тракте для НПП канала. Для данного случая коэффициент изменения мощности в зависимости от расстояния $\alpha = 3,5$.

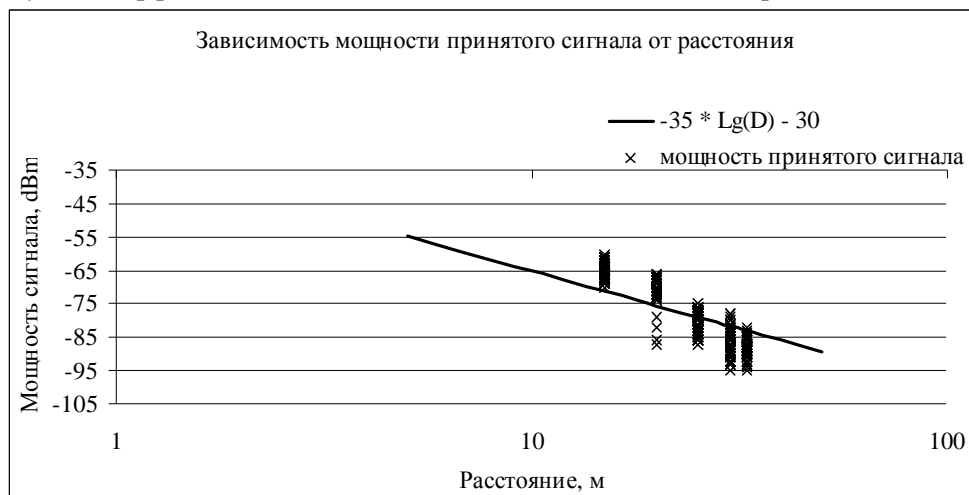


Рис. 6. Зависимость мощности принятого сигнала от расстояния для НПП канала
Fig. 6. Received signal strength dependence from distance for UDP channel

Для канала с НПП, средние значения мощности принятого сигнала, в зависимости от расстояния можно аппроксимировать функцией вида:

$$P_r = -35 \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) - 30 \text{ (дБм)}, \quad (3)$$

где P_r – среднее значение мощности принятого сигнала (дБм),

d – расстояние между приёмником и передатчиком (м).

На рис. 7 показан пример статистического распределения мощностей принятых сигналов для НПП канала.

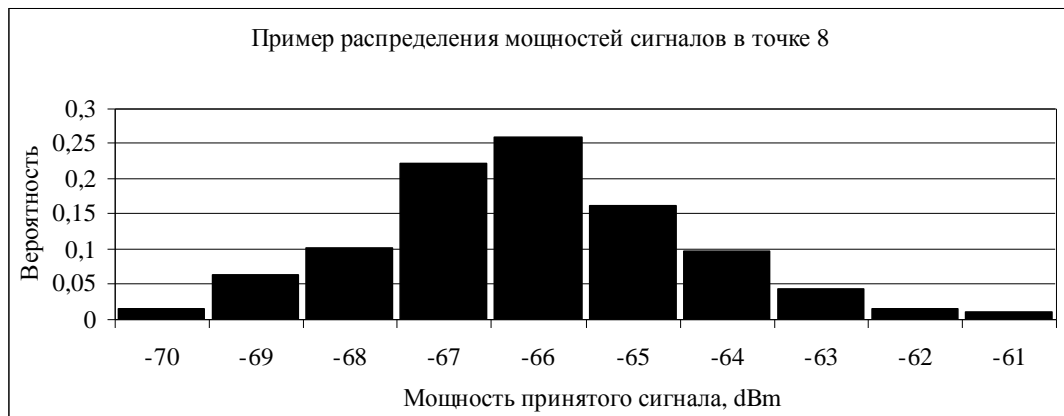


Рис. 7. Статистическое распределение мощностей принятых сигналов для НПП канала
Fig. 7. Received signal strength statistical distribution for UDP channel

Из полученных данных видно, что затухание сигнала может сильно изменяться, в зависимости от типа канала. Исследования показали, что коэффициент α для НПП канала в 1,75 раза больше, чем в случае ДПП канала. Это может привести к появлению большой ошибки при вычислении псевдодальностей и определения координат мобильной станции методом триангуляции, так как в реальных условиях могут существовать оба типа каналов.

Рекомендованная модель канала IEEE 802.11

Модели радиоканалов для стандарта 802.11 [9, 10] рекомендуются для использования в условиях распространения радиоволн в помещениях. Различные типы помещений сгруппированы в пять различных моделей (А-Е), в зависимости от значения задержки сигнала. Модель потерь в тракте состоит из потерь в свободном пространстве L_{FS} , с коэффициентом изменения мощности в зависимости от расстояния α_1 до порогового расстояния d_p . Для расстояний более d_p дополнительно используется коэффициент α_2 .

Потери в свободном пространстве равны:

$$L_{FS} = L_0 + 10\alpha_1 \lg\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (4)$$

где d – расстояние в метрах,

L_0 – потери на расстоянии одного метра от передатчика, выраженные в децибелах.

Полные потери в тракте $L(d)$ определяются как:

$$L(d) = \begin{cases} L_{FS} + X & \text{если } d \leq d_p \\ L_{FS} + 10\alpha_2 \lg\left(\frac{d}{d_p}\right) + X & \text{если } d > d_p \end{cases}, \quad (5)$$

где X – случайная переменная с нулевым средним и дисперсией σ_x^2 , описываемая выражением

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (6)$$

и представляет собой мелкомасштабные замирания сигнала, выраженные в децибелах. Значения коэффициентов α_1 , α_2 , d_p , σ_x^2 для различных моделей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Модель канала IEEE 802.11
IEEE 802.11 Channel model

Модель	Задержка, нс	Описание	d_p , м	α_1	α_2	Дисперсия мелкомасштабных замираний, σ_x^2	
						Если $d \leq d_p$	Если $d > d_p$
A	до 15 нс	Малое здание	5	2	3,5	3	4
B	до 30 нс	Типовое здание	5	2	3,5	3	5
C	до 50 нс	Большое здание	10	2	3,5	3	5
D	до 100 нс	Большое здание	20	2	3,5	3	6
E	до 150 нс	Большое открытое пространство	30	2	3,5	3	6

Условием распространения радиоволн в здании Института железнодорожного транспорта Рижского технического университета соответствует модель D.

Сравнение экспериментально полученных моделей с IEEE 802.11

Рекомендованная модель канала IEEE 802.11 не разделяет каналы связи на каналы с ДПП, НДПП и каналы с НПП. Однако, как показывают экспериментально полученные данные, ДПП и НПП каналы имеют различные потери в тракте.

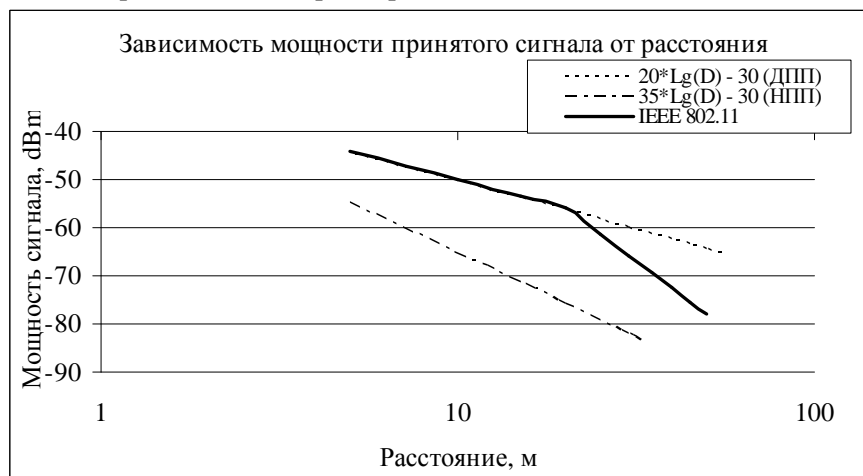


Рис. 8. Сравнение модели IEEE 802.11 с ДПП и НПП каналов
Fig. 8. IEEE 802.11 channel model comparison with UDP and DDP channel models

Как видно из выражений (7), (8) и таблицы 1, полученная экспериментальным путём зависимость мощности принятого сигнала, от расстояния для ДПП канала полностью соответствует модели IEEE 802.11 до порогового расстояния d_p .

На расстояниях больших $d > d_p$ модель IEEE 802.11 имеет большие потери, чем ДПП канал, но меньшие чем НПП канал в измеренном диапазоне дальности.

Как видно на рис. 8, разделение каналов связи в помещениях на каналы с ДПП и каналы с НПП даёт более точные результаты при определении псевдодальностей между мобильной станцией и точками доступа, что увеличит точность определения координат объекта.

Выводы

1) Распространение радиоволн в помещениях является сложным процессом, который объясняется многолучевым распространением радиоволн. Исходя из импульсной характеристики, каналы можно классифицировать на каналы с доминирующим прямым путём (ДПП), недоминирующим прямым путём (НДПП), и каналы с необнаруженным прямым путём (НПП).

2) Как показали исследования, проводимые в здании Института Железнодорожного Транспорта Рижского Технического Университета, потери в тракте могут значительно изменяться, в зависимости от типа канала. Так, например при одинаковом уровне сигнала (-60 дБм) расстояние между передатчиком и приёмником для ДПП канала составит – 32 м, а для НПП канала – 7 метров.

3) Рекомендованная модель канала IEEE 802.11 не разделяет каналы связи на ДПП, НДПП и НПП. Это приводит к тому, что определяемое расстояние между передатчиком и приёмником не будет соответствовать действительности. При проектировании системы позиционирования объектов это вызовет большую ошибку вычисленных псевдодальностей и приведет к неточному определению координат объекта.

Литература

1. Bahl P., Padmanabhan V.N. // RADAR: An in-Building RF-based user location and tracking system. Proc. Of IEEE INFOCOM 2000. –2000. – Vol. 2. – P. 775-784.
2. Pahlavan, K.; Xinrong Li; Makela, J.P. Indoor geolocation science and technology // IEEE Comm. Mag. – 2002. – Vol. 40. – №. 2. – P. 112-118.
3. Bahl P., Padmanabhan V.N., Balachandran A. // Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System. Tech. Rep. MSR-TR-00-12, Microsoft Research. – 2000. – Feb.
4. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. - Экотрендз. – 2005.
5. Kaveh Pahlavan, Krishnamurthy P., Jaques Beneat. // Wideband radio propagation modeling for indoor geolocation application. IEEE Communications Magazine. – 1998. – Vol. 36. – №4. – P. 60-65.
6. Popovs V., Golovins J., Toršins A. 802.11 standarta bezvadu lokālie tīkli (WLAN). Instalācijas (802.11b WLAN) un eksperimentālie pētījumi. Laboratorijas praktikums. Rīga: RTU Izdevniecība. – 2006.
7. Popovs V., Golovins J., Sturme A. 802.11 standarta bezvadu lokālie tīkli (WLAN). Lekciju konspekts. Rīga: RTU Izdevniecība. – 2006.
8. П. Рошан, Дж. Лиэри. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. – Москва, Санкт-Петербург: Cisco Press, 2004.
9. Erceg V. et al. // TGn Channel Models. IEEE 802.11 document 03/940r4. – 2004. – May.
10. Medbo J., Schramm P. // Channel models for HIPERLAN/2. ETSI/BRAN document № 3ERI085B.

Igor Liplansky, Master of Engineering Science in Transport Telematics, Ph.D student, Riga Technical University, Faculty of Electronics and Telecommunication, Institute of Railway Transport. Address: Indriķa street 8a, LV-1004, Riga, Latvia. Phone: +371 26487049. E-mail: xlife@inbox.lv

Liplanskis I. Kanālu modeli pozicionēšanas sistēmām telpās

Ir parādīti radioviļņu izplatīšanas eksperimentālo pētījumu rezultāti objektu koordinātu noteikšanas sistēmām telpās, kas strādā ar bezvadu lokāliem tīkliem (WLAN), izpildītiem uz 802.11 standarta bāzes. Parādīts, ka daudzstaru radioviļņu izplatīšanās izsauc nepieciešamību modelēt radiokanālus atkarībā no izplatīšanas nosacījumiem. Darbā, uz eksperimentu pamata, piedāvāti 2 modeļu tipi, pie tam iegūtie rezultāti papildina IEEE 802.11 kanāla modeli.

Liplansky I. Chanel models for indoor positioning systems based on WLAN

The results of experimental researches of radio wave propagation are resulted for indoor positioning systems for wireless local area network (WLAN), based on standard 802.11. It is noted that multipath propagation of radio waves causes a necessity to model radio channels depending on the terms of distribution. On the basis of experiments, 2 types of models are offered, results complement the model of IEEE 802.1 Recommended channel model.

Липлянский И.А. Модели каналов для систем радиолокации в помещениях

Приведены результаты экспериментальных исследований распространения радиоволн для систем определения координат объектов в помещениях для беспроводных локальных сетей (WLAN), работающих на основе стандарта 802.11. Показано, что многолучевое распространение радиоволн вызывает необходимость моделирования радиоканалов в зависимости от условий распространения. В работе, на основании экспериментов, предлагается 2 типа моделей, при этом полученные результаты дополняют модель канала по рекомендациям IEEE 802.11.