



УДК 621.396.969.11

Д. В. Богданов, Д. В. Гайворонский  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Современное состояние и перспективы модернизации пользовательского радиointерфейса систем позиционирования в закрытых пространствах

*Рассмотрены системы позиционирования в закрытых помещениях, использующие различные методы определения местоположения. Представлены качественные характеристики существующих систем и перспективы их совершенствования.*

### Системы позиционирования, потери в трассе распространения, сверхширокополосные сигналы

Задача точного определения собственного местоположения в закрытых пространствах становится все более актуальной в современном мире, затрагивая все новые сферы деятельности человека. В первую очередь это спасательные и оперативные службы, работающие в условиях боевых действий или чрезвычайных ситуаций; мониторинг положения персонала и ценных грузов в производственных цехах, а также пациентов в больницах и госпиталях. Спутниковые системы позиционирования не могут обеспечить необходимую точность и зону покрытия из-за переотражений сигналов и сильного ослабления внутри строительных конструкций соответственно. Исторически так сложилось, что первым решением задачи определения местоположения было использование существующих беспроводных локальных и персональных сетей Wi-Fi или ZigBee.

Большинство систем позиционирования в сетях Wi-Fi основано на измерениях уровня принимаемого сигнала (RSS – Received Signal Strength) и отношения сигнал-шум (SNR – Signal-to-Noise Ratio). Значения RSS и SNR измеряются экспериментально на основе принятых сигналов от так называемых радиомаяков. Для измерений в канале «вверх» (от абонентского устройства к точке доступа) мобильные (абонентские) устройства

должны генерировать сигналы «радиомаяков», которые принимаются всеми точками доступа в рабочей зоне. Это является основой для реализации методов позиционирования, опирающихся на сеть. В канале «вниз» используются возможности сетей Wi-Fi, известные как «пассивное сканирование», суть которого состоит в определении ближайших точек доступа и выборе лучшей из них для передачи сообщений. Для этой цели каждая точка доступа излучает сигнал «радиомаяка», который содержит такие параметры, как метка времени, информация о поддерживаемой скорости передачи данных, идентификатор точки доступа, называемый Basic Service Set Identifier – BSSI. Интервал между двумя соседними излучениями радиомаяка может динамически изменяться и обычно находится в диапазоне нескольких десятков или сотен миллисекунд. Мобильный терминал непрерывно опрашивает возможные каналы приема излучения «радиомаяков» от ближайших точек доступа, регистрируя их параметры и измеряя значения RSS и SNR. Затем терминал выбирает точку доступа с лучшим качеством сигнала для передачи данных. Если мобильный терминал не получает сигнала «радиомаяка» в течение времени «пассивного сканирования», например из-за большой длительности динамиче-

ской настройки интервала между двумя последовательными опросами, то он посылает запрос, после чего все точки доступа, находящиеся в рабочей зоне, отвечают ему. Эта процедура называется активным сканированием. Таким образом, активное и пассивное сканирование могут служить для реализации услуги позиционирования с опорой на абонентские терминалы.

В большинстве случаев для определения местоположения в беспроводных локальных сетях используется так называемый метод снятия радиоотпечатков, в котором можно выделить две фазы. В автономной фазе (offline) система записывает значения RSS для точно определенных «опорных точек» и наносит их на радиокарту. Координаты «опорных точек» могут быть равномерно расположенными в узлах регулярной сетки либо выбраны в нерегулярных точках, зависящих от структуры здания. Примером может служить план здания и расположения на нем точек доступа и «опорных точек» (рис. 1).

В первом приближении радиокарта состоит из значений:  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_1$ ;  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_2$  и т. д. Однако следует учитывать, что значения RSS существенно зависят от условий распространения радиоволн в направлении прямой видимости на «опорную точку». Следовательно, значения RSS должны быть записаны с нескольких направлений ( $d_1 \dots d_4$  – север, юг, запад, восток). В результате карта состоит из значений:  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_1$  с направления  $d_1$ ;  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_1$  с направления  $d_2$ ;  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_1$  с направления  $d_4$ ;  $RSS_1, \dots, RSS_n$  для «опорной точки»  $p_2$  с направления  $d_1$  и т. д.

В активной фазе (online) система регистрирует значения RSS и сравнивает их со значениями, хранящимися в радиокarte. Местоположение абонентского терминала определяется на основании методов и алгоритмов, сравнивающих вышеупомянутые значения RSS.

Точность определения местоположения существующих систем составляет от двух до шести метров с вероятностью точного определения от 50 до 90 % в зоне обслуживания до 100 м [1].

В некоторых беспроводных персональных системах связи реализован и дальномерный метод определения места. Например, компания Nanotron, при реализации опции в системе «NanoNET» функции позиционирования, использовала запросно-ответный метод, получивший их «фирменное» название Symmetric Double Sided Two Way Ranging (симметричное двустороннее двухступенчатое измерение расстояний). Принцип измерения местоположения (рис. 2) состоит в следующем: передатчик объекта А формирует ЛЧМ-сигнал. Одновременно фиксируется момент времени  $t_1$ , относительно которого будет измеряться запаздывание формируемого ЛЧМ-сигнала. Далее полученный ЛЧМ-сигнал на выходе дисперсионной линии задержки (ДЛЗ) объекта А излучается в эфир, принимается объектом В, ретранслируется с задержкой  $T_{обр}$  и принимается снова объектом А. Приемник объекта А обрабатывает принятый сигнал пропуская его через ДЛЗ и фиксирует его запаздывание  $\Delta T = t_2 - t_1$ . Далее расстояние  $D$  между объектами А и В вычисляется по простой формуле: 
$$D = \frac{\Delta T - T_{обр}}{2c}.$$

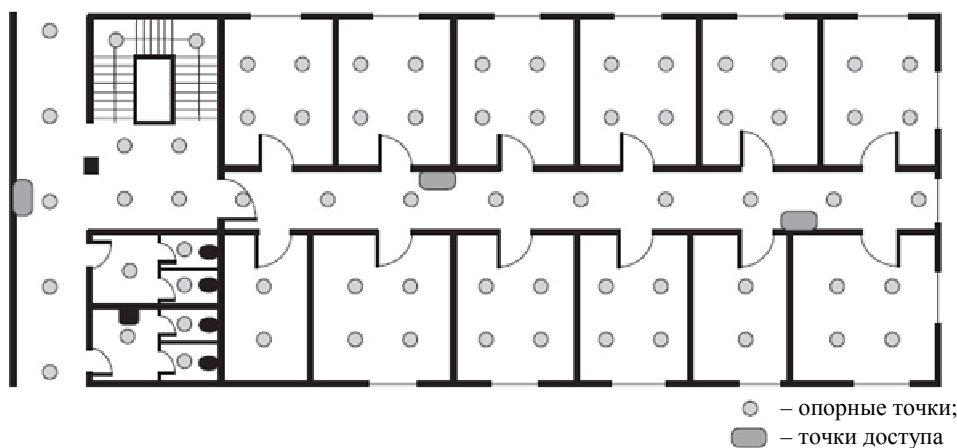


Рис. 1

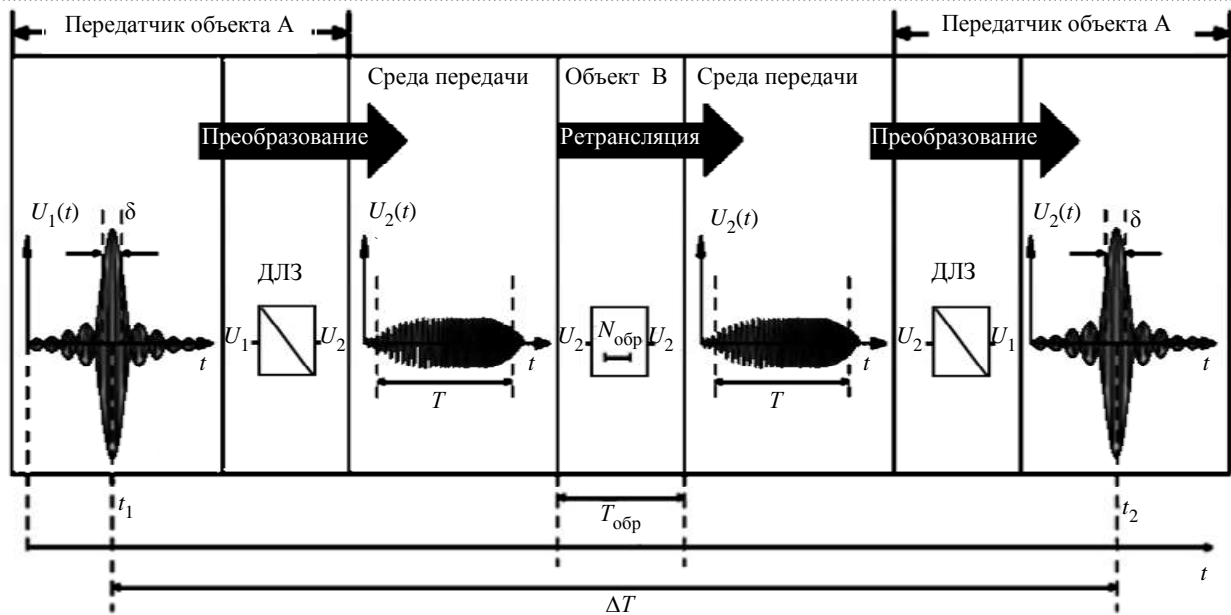


Рис. 2

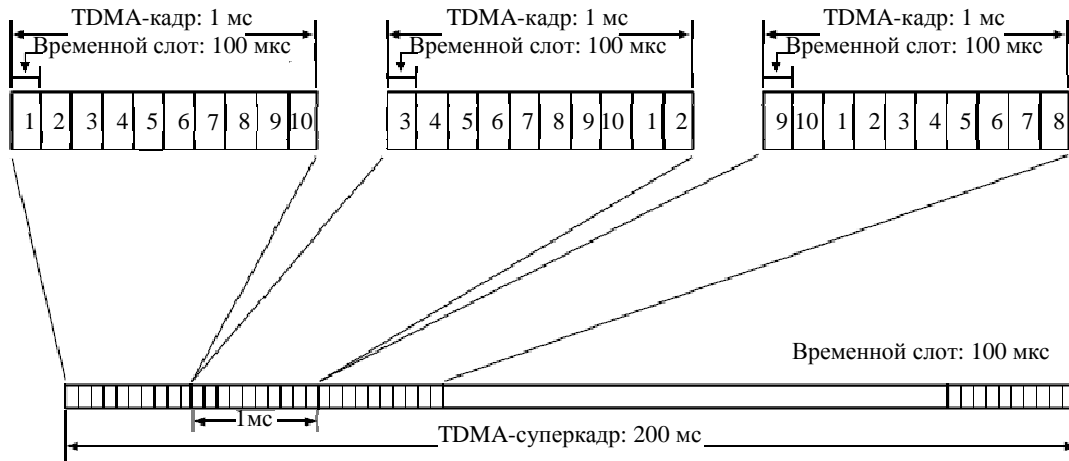


Рис. 3

Точность измерения данной системы составляет 2 м внутри помещения и 1 м за его пределами в 90 % случаев с радиусом покрытия порядка 50 м\*. Анализ методов локализации в беспроводных сетях показывает, что они имеют ряд принципиальных недостатков, основными из которых являются обязательное выполнение условий: одновременное размещение нескольких точек доступа в каждом помещении, актуализация «радиокарты» после каждого изменения расположения объектов (предметов) внутри помещения (для Wi-Fi) и недостаточно широкая полоса сигнала, не позволяющая эффективно компенсировать эффекты многолучевости в условиях замкнутого пространства (в системе NanoNET/NanoLOC).

В настоящее время перспективным направлением развития в системах позиционирования в помещениях является использование сверхширокополосных сигналов. Данная технология позволяет повысить точность измерения расстояния и разрешающую способность по дальности, устойчивость к эффектам многолучевости, увеличить емкость системы до 1000 абонентов. Существующие системы: RTLS-NI, Zebra Dart UWB, Time Domain PulseON410, Ubisense обеспечивают сантиметровую точность позиционирования при радиусе покрытия порядка 200 м [2].

Одной из систем, использующих сверхширокополосные импульсные сигналы и имеющих открытое описание интерфейса, является Locata. Она использует частотный диапазон ISM 2.4 ГГц, не требующий лицензирования. Сигналы передаются на двух частотах. Две несущие модулируются битовыми потоками, каждый из которых пред-

\* [http://www.nanotron.com/EN/PR\\_find.php#08](http://www.nanotron.com/EN/PR_find.php#08) (Дата обращения: 20.04.2014)

ставляет собой сумму по модулю 2 псевдослучайных дальномерных кодов и навигационных данных. Псевдослучайный код схож по структуре с сигналами C/A GPS и является ансамблем последовательностей Голда длины 1023. Отличие заключается лишь в том, что длительность дальномерного кода в 10 раз короче и равна 100 мкс. Помимо кодового разделения в системе Locata используется временное разделение, где каждый миллисекундный интервал (TDMA-кадр) разделен на 10 временных слотов по 100 мкс каждый. Двести таких кадров образуют один TDMA-суперкадр длительностью 200 мс (рис. 3).

Приемопередающие станции LocataLites, работающие в данной сети LocataNet, делятся по географическому признаку на подсети по 10 LocataLites в каждой. Временные интервалы в пределах каждого кадра назначены на неперекрывающуюся основе для каждой из LocataLites внутри подсети. Каждый приемопередатчик LocataLite внутри подсети передает в назначенное время свой слот в пределах кадра и молчит в течение оставшихся слотов этого кадра. Местоположение временного слота меняется от кадра к кадру так, чтобы рандомизировать соседство смежных сло-

тов, что сглаживает и устраняет остаточные эффекты интерференции между временными интервалами [3]. Последние испытания системы, развернутой из 10 станций и имеющей зону покрытия 6500 км<sup>2</sup>, предоставили точность позиционирования порядка 6 см по горизонтали и 15 см по вертикали.

Проведенный анализ показал, что сети WLAN, построенные на технологии Wi-Fi по критерию «массовость–дальность», наиболее предпочтительны с точки зрения реализации опции навигации (контроль местоположения) в местах с большим скоплением людей (супермаркеты, аэропорты, офисные центры и т. п.), а с точки зрения точности и устойчивости измерений к эффектам многолучевости внутри помещений предпочтение следовало бы отдать системам, реализованным на основе технологии сверхширокополосной связи. В будущем планируется разработка радиointерфейса для собственной высокоточной системы позиционирования, использующей сверхширокополосные сигналы, позволяющей добиться сантиметровой точности в радиусе покрытия более 100 м.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004.

2. Sahinoglu Z., Gezici S., Guvenc I. Ultra-wideband Positioning Systems. Theoretical Limits, Ranging Algorithms and Protocols. Cambridge University Press, 2008.

3. Locata-ICD-100B / Locata-ICD-100B. URL: <http://www.locata.com/wp-content/uploads/2013/02/Locata-ICD-100B.pdf> (Дата обращения: 25.05.2014)

---

D. V. Bogdanov, D. V. Gayvoronsky  
*Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»*

### RADIO INTERFACE POSITIONING SYSTEMS IN ENCLOSED SPACES: CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR MODERNIZING

*The different kinds of indoor positioning systems are described. The qualitative characteristics of existing systems and development perspectives are considered.*

**Positioning systems, path losses, Ultra-Wide Band(UWB) signals**

---