

М.С. ЩЁКОТОВ, А.М. КАШЕВНИК
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СМАРТФОНОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ**

Щёкотов М.С., Кашевник А.М. Сравнительный анализ систем позиционирования в помещениях, основанных на технологиях связи, поддерживаемых смартфонами.

Аннотация. В статье описаны и проанализированы общие тенденции архитектурного проектирования, технологии, свойства и недостатки систем позиционирования в помещениях, основанных на использовании телекоммуникационных технологий (Wi-Fi, GSM, Bluetooth), которые поддерживаются современными смартфонами. Преимущество использования этих технологий состоит в том, что они позволяют разрабатывать мобильные системы, реализующие позиционирование внутри помещений, и не требуют закупки дополнительного оборудования. Например, музеи вместо того, чтобы приобретать дорогие аудиогиды, могут обеспечить посетителей программным обеспечением для их смартфонов, которое выполняет функции позиционирования, навигации и обеспечения пользователя информацией. В статье представлен сравнительный анализ наиболее перспективных на данный момент систем и решений.

Ключевые слова: позиционирование в помещениях, метод радиопечатков, триангуляция, Wi-Fi, GSM, Bluetooth.

Shchekotov M.S., Kashevnik A.M. Comparative Analysis of Indoor Positioning Systems for Smartphones.

Abstract. In this paper, common trends of architectural design, technologies, properties, and drawbacks of indoor positioning systems based on communications supported by smartphones are analyzed. The main idea of such kind of systems is that their users can use them through their mobile devices because such systems include positioning functionality based on such technologies as Wi-Fi, Bluetooth, and GSM. For example, museums might not need to buy expensive audioguides, but instead can provide their visitors with appropriate software for their smartphones. The paper presents a comparative analysis of most promising at the moment systems and solutions.

Keywords: indoor positioning, fingerprinting, triangulation, Wi-Fi, GSM, Bluetooth.

1. Введение. Создание систем для решения проблем позиционирования и навигации внутри зданий является перспективной, актуальной и сложной задачей. Данная проблема требует создания карт на основе поэтажных планов помещений, выбора эффективной технологии позиционирования и алгоритмов, развертывания соответствующей инфраструктуры для позиционирования внутри зданий. Современные системы определения местоположения внутри помещений могут предложить не только позиционирование с приемлемой точностью, но и решение задач навигации внутри помещения, обеспечение пользователя контекстной информацией в текстовом, аудио- или видео-формате, сбор статистической информации о плотности и перемещениях людей в зданиях и другое. Таким образом, компании имеют большой потен-

циал для создания различных сервисов на базе систем позиционирования внутри помещений.

2. Обзор систем позиционирования в помещениях. Голландская компания IWAY [1] создаёт мобильные системы навигации отдельно для различных типов объектов и зданий в соответствии с их спецификой: супермаркеты, офисы, музеи, аэропорты и т.п. Такие приложения ориентированы на позиционирование и решение специфичных для каждого объекта задач. Клиент может скачать и установить приложение через интернет. Так, например, в торговом центре покупатели могут найти на карте интересующие их отделы и получить информацию о скидках и специальных предложениях. Кроме того, для администрации имеется возможность обработки данных для анализа движения посетителей по торговому центру. Набор таких функций позволяет оценить эффективность работы магазина. Также, используя такие системы, можно координировать работу персонала на территории торгового комплекса путем отслеживания его местоположения.

Таким образом, разрабатываемые компанией системы включают в себя мобильные и десктопные модули для посетителей объектов, персонала и администрации. Десктопная часть, отвечает за анализ и обработку статистических данных и управления персоналом. Методика позиционирования основана на технологии радиоотпечатков (fingerprinting) и использует сигналы Wi-Fi и сетей сотовой связи. Данный подход позволил разработчикам компании добиться точности порядка 1-5 метров. Координаты местоположения могут быть отображены на картах Google, однако, из доступной информации остается непонятным, есть ли возможность использовать в системе собственные карты. Кроме того, следует отметить, что система способна определять местоположение пользователя по высоте, указывая тем самым на то, на каком этаже находится пользователь.

Сходной по концепции с IWAY является система позиционирования в помещениях компании Wifarer [2]. Данная система предоставляет коммерческие лицензии для её использования, работает с собственными картами для позиционирования в помещениях и предоставляет возможность получения пользователем системы различного рода контекстной информации, начиная от рекламы и заканчивая описаниями экспонатов в музеях. Кроме того, Wifarer также предоставляет статистические данные о перемещениях пользователей по локации. Для ориентации в пространстве используется позиционирование по Wi-Fi точкам с использованием собственных карт, при этом достигается точность до 1,3 м. Система разработана для систем iOS и Android и, в от-

личие от IWAY, поддерживает функцию навигации внутри помещения.

Подход, реализованный в приложениях с использованием интерфейса программирования приложения компании Walkbase [3], значительно отличается от описанных выше систем. Так, например, приложение Checked для Android не отображает координаты пользователя на карте, а определяет находится ли он в данном помещении или нет. Кроме того с точностью от 3 до 5 метров определяется насколько удален пользователь от той или иной точки пространства. Приложение также позволяет показывать пользователю различного рода информацию с привязкой к тому или иному местоположению. Определение местоположения осуществляется с использованием Wi-Fi сети: система отличает одну локацию от другой по уровню сигналов и количеству Wi-Fi точек, снимая не менее 10 измерений в одной точке помещения. Реализована возможность определения этажа, на котором находится пользователь. С помощью самообучающихся алгоритмов приложения, написанные с использованием данного интерфейса программирования, могут адаптироваться при изменении сигналов Wi-Fi точек и их перемещении. Пользователи такого приложения могут добавлять места и их описания в общую базу. Недостатком является то, что данный интерфейс программирования приложения предназначен только для работы с ОС Android версий 2.1 и выше.

В рамках Европейского проекта Smartmuseum [4] была разработана система выдачи рекомендаций посетителям музеев и участникам экскурсий под открытым небом, включающая в себя инструменты позиционирования под открытым небом и в помещениях, а так же предоставляющую различного рода информацию о культурных ценностях и прочих объектах. Основными чертами архитектуры данной системы являются механизмы формирования информации, которая может заинтересовать пользователя, на основании его поисковых запросов в данной системе, а также данных его профиля, который создается при регистрации пользователя в системе и содержит информацию о его интересах. Более того, система может выдавать рекомендации и информацию об интересующем объекте, основываясь на его местоположении, которое определяется с помощью GPS в случае, если он находится под открытым небом. Если пользователь находится внутри здания, то используется технология RFID, когда каждая RFID метка хранит URL адрес веб-страницы с информацией о рассматриваемом предмете культурного наследия. Архитектура состоит из сервера профилей пользователей, сервера аннотаций, который содержит информацию о

культурных ценностях и сервера выдачи рекомендаций, который обрабатывает данные профилей пользователей и их запросы. Пользовательское приложение разработано под Windows Mobile пятой и шестой версий, Symbian версий 9.3 и 9.4.

Приложение Google Maps [5] решает задачи позиционирования как на открытой местности, так и в помещениях. При этом есть возможность прокладки маршрута внутри здания, ориентация между этажами и просмотра панорамы помещения. Приложение позволяет просматривать уведомления о находящихся рядом локациях и сопутствующую информацию о них. Для ориентации используются сети Wi-Fi и сети сотовой связи, а точность позиционирования варьируется от 5 до 10 метров. Вне помещений используются GPS и сети сотовой связи. Приложение Google Maps поддерживает такие популярные платформы как: iOS, Android, Blackberry. Существует возможность для компании добавления собственных карт в общую базу.

Одним из главных конкурентов Google является компания Skyhook Wireless [6], которая предлагает комплект средств разработки для создания сервисов позиционирования (Skyhook Location SDK), а также свои собственные системы, базирующиеся на нем. Skyhook тесно сотрудничает с компанией MapQuest, используя их карты. Для определения местоположения используются алгоритмы, обрабатывающие сигналы от сетей Wi-Fi, сетей мобильной связи и GPS, позволяя тем самым добиваться точности до 10 метров. Одновременное использование различных источников сигналов позволяет добиться быстрого определения местоположения. Для Skyhook Location после "холодного запуска" время определения местоположения составляет четыре секунды. Кроме того система позволяет решать задачи навигации с использованием карт MapQuest. Skyhook использует массивную сеть, состоящую из более чем 700 миллионов известных Wi-Fi точек доступа и сотовых вышек. Интересным решением является приложение SpotRank, позволяющее отслеживать плотность людей в тех или иных зданиях, которая, например, может дать информацию о наиболее оживленных объектах в данном районе.

Платформа, разработанная компанией Qubulus [7], также специализируется на решении задач навигации в помещениях и вне их используя технологию радиопечатков. С применением инструментария платформы Recording Tool пользователи могут записывать данные о сетях (Wi-Fi, сети сотовой связи) в том или ином местоположении и добавлять их в общую базу. При этом происходит сжатие данных в специальный формат малого объема FPD, который потом используется

при позиционировании в формате геокоординат и отображается, например, на картах Google или Bing maps, что позволяет хранить данные о сетях в помещениях на мобильном устройстве, не обращаясь к серверу и не загружая чрезмерно память устройства. Компания также предоставляет возможность использования клиентами своего облачного интерфейса программирования приложений для создания приложений по сбору аналитики, необходимой для эффективного бизнеса и рекламы.

Два года назад исследовательский центр компании Nokia разработал концепцию системы Indoor Navigator [8] для точного позиционирования внутри помещений. Технология позиционирования, лежащая в основе данной системы, использует Bluetooth 4.0 в качестве базовой беспроводной технологии и метод триангуляции сигналов Wi-Fi. Эксплуатация данной системы требует развертывания внутри здания маяков Bluetooth. Архитектура системы состоит из сервера позиционирования, глобальной базы локаций и маяков, развернутых внутри здания. Маяки могут работать в режиме отправки и приема данных. Этот подход обеспечивает точность до 0,3 м как заявляют разработчики. Система так и не вышла на рынок, хотя работающий прототип был создан.

Цель проекта Place Lab [9] заключается в определении местоположения пользователя в помещениях и вне их. Технически система основана на радиомаяках, которые посылают радиосигналы. В роли этих маяков могут выступать точки доступа беспроводных сетей, Bluetooth и передающие антенны сотовой связи стандарта GSM. Точность данного подхода составляет 13-30 метров.

Norus [10] система определения местоположения, использующая беспроводные сети, характеризуется высокой точностью, которая обеспечивается благодаря вероятностному методу определения местоположения и низкой вычислительным затратам, достигаемым с помощью методов кластеризации.

RADAR [11] - это радиочастотная система для обнаружения и отслеживания пользователей внутри зданий. RADAR основана на эмпирических измерениях силы сигнала, а также простой, но эффективной модели распространения сигнала. Точность системы порядка 2-3 метров.

В работе [12] описана система позиционирования в помещении, использующая определение текущего местоположения смартфона. Система реализована для смартфонов и объединяет on-line и off-line

режимы создания радиоотпечатков. Точность данного подхода достигает 1,5 метров.

На основе изучения описанных выше систем позиционирования в помещениях были выделены и проанализированы их основные свойства (см. таблицу I). Так, например, некоторые из рассмотренных компаний предоставляют интерфейс программирования приложений для разработчиков таких систем. Так же существует два типа алгоритмов, использующихся для позиционирования: модель распространения сигнала и информации о геометрии здания, а также метод радиоотпечатков. Метод радиоотпечатков - подход, являющийся более сложным и обеспечивающий лучшую работу тех систем, которые нуждаются в дополнительной инфраструктуре. Точность позиционирования системы, которая использует технологию радиоотпечатков, выше, а максимальная точность составляет 1 м и была достигнута в ходе разработок компании Qubulus. Некоторые системы обеспечивают пользователя контекстной информацией в зависимости от местоположения (например, это может быть описание выставки в музее). Также ряд систем поддерживает механизм навигации в помещениях, в то время как другие системы обеспечивают только местоположение на карте. Большинство решений имеют возможность определять этаж, на котором находится пользователь. Также следует сказать, что лишь немногие системы позволяют собирать статистическую информацию о движении пользователей, их плотности и данные, основывающиеся на их личной информации. Эта функция может использоваться организациями для персонализации предоставляемых сервисов. Системы позиционирования внутри помещений охватывают следующие мобильные платформы: IOS, Android, Blackberry, Linux, Windows, Mac OS, Windows Phone 7, Symbian. Самой популярной платформой является Android. Некоторые системы поддерживают и общие карты местности (Google Maps, Bing Maps, карты Navteq и другие), но ряд систем имеет собственные карты и предоставляет пользователю возможность создавать личные карты.

3. Заключение. На основе данного исследования можно сделать вывод, что на сегодняшний день системы, реализующие функции позиционирования в помещениях еще только развиваются. Производители таких систем успешно реализовывают свои платформы для мобильных приложений, также предоставляя разработчикам интерфейс программирования приложения для создания собственных систем позиционирования. Некоторые решения находятся в проектной разработке, отдельные так и не были выведены на рынок. Наиболее популярной на

сегодняшний день технологией позиционирования внутри помещений является метод радиопечатков сигналов точек доступа Wi-Fi. Это вполне обоснованно, учитывая то, что такой подход дает большую точность по сравнению с методами триангуляции и трилатерации сигналов Wi-Fi. Системы позиционирования внутри помещений в основном имеют архитектуру "Клиент-сервер", однако имеются приложения с stand-alone архитектурой. Также имеет место ориентация на сопровождение пользователей контекстной информацией на основе их местоположения. Основой же проблемой компаний на этом рынке является не обеспечение точности позиционирования, а конкуренция с компаниями, которые предлагают обширную базу карт.

Литература

1. IWAY indoor positioning platform // [Электронный ресурс]. <http://www.iway.nl> (дата обращения: 05.09.2012)
2. *K. Fitchard* Wifarer's mobile app doesn't just map the indoors: It maps the objects within // [Электронный ресурс]. <http://gigaom.com/mobile/wifarers-mobile-app-doesnt-just-map-the-indoors-it-maps-the-objects-within/> (дата обращения: 06.09.2012)
3. Walkbase indoor positioning platform, electronic resource, <http://walkbase.com/>
4. *A. Kuusik, S. Roche, and F. Weis* SMARTMUSEUM: Cultural Content Recommendation System for Mobile Users // ICCIT2009 (IEEE/ACM) Int Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology, Seoul, Korea, Nov 2009.
5. *Ryan Kim* Google turns on indoor mapping with Google Maps 6.0 for Android // [Электронный ресурс]. <http://gigaom.com/2011/11/29/google-turns-on-indoor-mapping-with-google-maps-6-0-for-android/> (дата обращения: 05.09.2012)
6. Skyhook Location SDK, // [Электронный ресурс]. <http://www.skyhookwireless.com/> (дата обращения: 05.09.2012)
7. Qubulus indoor positioning homepage // [Электронный ресурс]. <http://www.qubulus.com/> (дата обращения: 05.09.2012)
8. *Kimmo Kalliola*, High Accuracy Indoor Positioning Based on BLE // [Электронный ресурс]. <http://www.hermia.fi/> (дата обращения: 05.09.2012)
9. *D. Kolsch* The Place Lab Project // Mobile Business Seminar, 2006.
10. *M. Youssef, and A. Agrawala, M. Youssef, and A. Agrawala* The Horus WLAN Location Determination System // Journal Wireless Networks, vol. 14 Issue 3, pp. 357-374, 2008 // Journal Wireless Networks, vol. 14 Issue 3, pp. 357-374, 2008.
11. *P. Bahl and V. Padmanabhan* RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System // Proceedings of IEEE Infocom, 2000.
12. *E. Martin, O. Vinyals, G. Friedland, and Ruzena Bajcsy* Precise Indoor Localization Using Smart Phones // Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia, Florence, Italy, pp. 787-790, 2010.

Табл. 1 Сравнительный анализ систем позиционирования внутри помещений

Решение	Тип	Технология позиционирования	Заявленная точность	Архитектура	Контекстная информация	Поддержка навигации	Трехмерное позиционирование	Поддержка сбора статистики	Поддерживаемые платформы	Используемые карты
IWAYtours	IPS	Метод радиометрических сетей сотовой связи и Wi-Fi	1-5м	Автономная	+	-	+	-	Android	Карты Google
Wifarer in-venue navigation	IPS	Метод радиометрических сетей Wi-Fi	1,3м	Клиент-сервер	+	+	+	+	iOS, Android	Свои карты
Walkbase	API	Технология A-GPS	10-50м	Клиент-сервер	+	-	+	-	Android	-
Smartmuseum	IPS	Технология RFID	0.5м	Клиент-сервер	+	-	+	+	Windows Mobile, Symbian	-
Google Maps (indoor module)	IPS	Триангуляция сигналов сотовой связи и Wi-Fi	5-10м	Клиент-сервер	-	+	+	-	iOS, Android, Blackberry	Карты Google

Решение	Тип	Технология позиционирования	Заявленная точность	Архитектура	Контекстная информация	Поддержка навигации	Трехмерное позиционирование	Поддержка сбора статистики	Поддерживаемые платформы	Используемые карты
Skyhook Location	API	Метод радиопечатков сетей сотовой связи и Wi-Fi	10м	SDK	-	-	+	+	Android, Linux, Windows, Mac OS	Карты MapQuest
Qubulus LocationLizard	API	Метод радиопечатков сетей сотовой связи и Wi-Fi	1м	SDK	-	-	+	+	Android	Карты Google и Bing
Qubulus Gecko	IPS	Метод радиопечатков сетей сотовой связи и Wi-Fi	3-5м	Автономная	-	-	+	-	Android	Карты Google и Bing
Nokia Indoor Navigator	IPS	Триангуляция сигналов Bluetooth 4.0 (NAP)	0,3-1м	Клиент-сервер	+	+	+	-	Windows Phone 7, Symbian	Карты Navteq

Решение	Тип	Технология позиционирования	Заявленная точность	Архитектура	Контекстная информация	Поддержка навигации	Трехмерное позиционирование	Поддержка сбора статистики	Поддерживаемые платформы	Используемые карты
Microsoft RADAR	IPS	Метод радиометчиков Wi-Fi	2-3м	Клиент-сервер	-	-	+	+	н/д	Карты Bing
Horus	IPS	Метод радиометчиков WiPrismеnеm-Fi с кластеризацией	2-3м	Клиент-сервер	+	-	+	-	Windows XP, Linux	Свои карты
Indoor Localization Application (by Eladio Martin et. al.)	IPS	Метод радиометчиков сетей сотовой связи и Wi-Fi	1.5м	Standalone	-	-	+	-	Android	Свои карты
Place Lab	IPS	RF centroid, fingerprint, particle filter	13-30м	Клиент-сервер	+	-	+	-	н/д	Свои карты

IPS — система позиционирования в помещениях.
API — интерфейс программирования приложений.

Кашевник Алексей Михайлович — к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации СПИИРАН. Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, управление знаниями, экспертные системы, интеллектуальные агенты, профили пользователей. Число научных публикаций — более 87. alexey@iias.spb.su, www.spiiras.nw.ru; 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; п.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-0685.

Kashevnik Alexey — Ph.D.; senior researcher of the laboratory of computer aided integrated systems institution of the Russian Academy of Sciences SPIIRAS. Research area: knowledge management, profiling, ontologies, smart-spaces, logistics systems. Number of publications — 87. alexey@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line V.O., 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-0685.

Щёкотов Максим Сергеевич — программист лаборатории интегрированных систем автоматизации СПИИРАН. Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, системы навигации. Число научных публикаций — 1. shekotov@iias.spb.su, www.spiiras.nw.ru; 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; п.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-0685.

Shchekotov Maxim — programmer of the laboratory of computer aided integrated systems institution of the Russian Academy of Sciences SPIIRAS. Research area: knowledge management, smart-spaces, navigation systems. Number of publications — 1. shekotov@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line V.O., 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-0685.

Поддержка исследований. В публикации представлены результаты исследований выполненные при поддержке исследований, поддержанные грантом РФФИ 10-07-00368-а, программой Президиума РАН «Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация» (проект 213), программы Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация (проект 2.2 «Разработка методологии построения групповых информационно-рекомендующих систем») и проектом 12-04-12062 спонсируемого Российским Гуманитарным Научным Фондом.

Рекомендовано лабораторией ИСА, зав. лаб. А.В. Смирнов, д-р техн. наук, проф.
Статья поступила в редакцию 09.10.2012

РЕФЕРАТ

Щёкотов М.С., Кашевник А.М. Сравнительный анализ систем позиционирования в помещениях, основанных на технологиях связи, поддерживаемых смартфонами.

Создание систем для решения проблем позиционирования и навигации внутри зданий является перспективной, актуальной и сложной задачей. Данная проблема требует создания карт на основе поэтажных планов в помещении, выбор эффективной технологии и алгоритмов позиционирования, и развертывания соответствующей инфраструктуры для позиционирования. Современные системы определения местоположения внутри помещений могут предложить не только позиционирование с приемлемой точностью, но и решение задач навигации внутри помещения, обеспечения пользователя контекстной информацией в текстовом, аудио- или видео-формате, сбор статистической информации о плотности и перемещениях людей в зданиях и другое. Таким образом, имеется большой потенциал для создания различных сервисов на базе систем позиционирования внутри помещений.

В статье рассматриваются примеры коммерческих и некоммерческих систем позиционирования внутри помещений, описываются используемые в них технологии и алгоритмы, системные архитектуры, поддерживаемые функции, мобильные операционные системы, карты и другие свойства. На основе этой информации был проведен сравнительный анализ рассмотренных систем по их свойствам. В результате были сделаны выводы о точности, производительности и удобстве систем позиционирования в помещениях, а так же о наиболее эффективных технологиях и методах, которые были заложены в эти системы.

В заключении были сделаны выводы о текущем состоянии рынка систем позиционирования внутри помещений, были выделены лидеры по критерию точности, рассмотрены наиболее распространенные решения и сделаны выводы о наиболее популярных архитектурах, технологиях позиционирования и поддерживаемых функциях.

SUMMARY

Shchekotov M.S., Kashevnik A.M. **Comparative Analysis of Indoor Positioning Systems for Smartphones.**

Creating systems and solutions for solving the problem of indoor positioning and navigation is a complex task. This problem requires of creating maps based on floor plans of indoors, choosing the effective positioning technology and algorithms, and deploying the appropriate positioning devices inside buildings. Modern systems can offer much more than just positioning with acceptable accuracy. For example, the tasks of navigation, providing context information in text-, audio- or video- format, collection statistical information about the movements of people in buildings. The functions of these systems are depending on location type. Thus, the developing companies have great potential for creating various services.

The paper presents examples of commercial and non-commercial indoor positioning systems, in them used technologies and algorithms, their system architecture, supported mobile operating systems, supported maps, and other features. The indoor positioning systems was compared and analyzed on the basis of this information by their properties. As a result is the information about accuracy, productivity and usability of indoor positioning systems, as well as the most effective technologies and approaches.

Conclusion includes information about the current state of the indoor positioning systems. The leaders of considered solutions, their accuracy and conclusions on the most popular architectures, technologies, positioning and supported features have been studied and presented.