

Теги как основа архитектуры киберфизической системы

Д.Е. Намиот, В.А. Сухомлин, О.Н. Покусаев

Аннотация— В настоящей статье рассматриваются вопросы применения электронных тегов в киберфизических системах. Под электронными тегами в работе понимаются автономные устройства с собственной системой питания, которые сконфигурированы на передачу какой-либо информации. Конфигурирование устройств может быть как статическим, так и динамическим. Протоколы передачи данных могут быть и бывают различными, но на практике есть абсолютные лидеры, выбранные индустриальными производителями. На практике, большинство таких решений сконцентрировано вокруг Bluetooth. Необходимость поддержки долговременной работы таких систем без замены источников питания привело к популярности решений с низкой энергоемкостью, в частности, Bluetooth Low Energy. Большим толчком к развитию такого рода систем была изначальная поддержка компании Apple. В статье рассматриваются как модели применения, так и архитектуры программных систем. Отдельно рассмотрены возможности использования мобильных телефонов как динамических тегов, использование тегов для замены гео-вычислений, перспективы использования технологии 5G. Важным и открытым вопросом остается стандартизация и обеспечение интероперабельности таких систем. В работе рассматриваются как приложения для Умного города, так и Индустриальные системы.

Ключевые слова— tags, Bluetooth Low Energy, BLE Beacons, Internet of Things (IoT).

I. ВВЕДЕНИЕ

Под тегами в рамках данной работы понимаются автономные устройства, которые используют беспроводные технологии для передачи какой-либо информации. Автономность подразумевает независимое питание и отсутствие каких либо управляющих элементов. Каждый из таких тегов является полностью самодостаточным.

В принципе, под такое описание подпадают давно существующие системы RFID (radio-frequency identification). Однако основная проблема, которая существует в этом направлении (существовала всегда и не решена до сих пор) – это интероперабельность. В данном случае производители так и не смогли

договориться о единых стандартах.

В этой связи развитие пошло по стандартному для многих подобных случаев пути. Появляется решение от какого-то игрока рынка (производителя), которое, в первую очередь, в силу размеров этого производителя и его доли рынка становится стандартом de-facto. По такому пути, на самом деле, шли многие (если не все) программистские стандарты. В случае тегов таким производителем стала компания Apple, а в качестве сетевой технологии она выбрала Bluetooth Low Energy [2].

Bluetooth (Bluetooth Classic) – это технология, которая уже очень давно присутствует во всех телефонах. Bluetooth Low Energy (Bluetooth Smart, Bluetooth 4.0) был выбран в данном случае именно из условий низкого энергопотребления [3].

Простота интеграции между готовыми BLE-тегами и смартфонами, в частности, поощряла различные применения именно в области IoT. Основным движущим механизмом выступала именно простота использования. Из описанных в литературе применений можно отметить, например, гео-маркетинг (в частности, ритейл) [4], применения в музеях (одно из наиболее часто упоминаемых) [5, 6], навигация [7], энергосберегающие "умные" офисы [8], управление умными домами [9, 10] и т.д. (рис. 1)

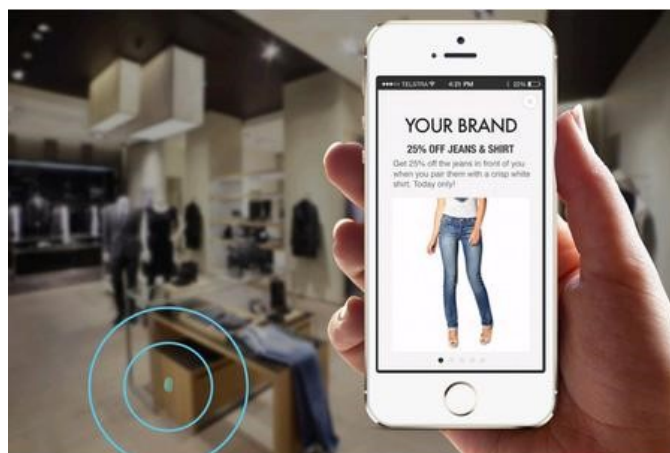


Рис. 1. Теги в ритейле [11]

Оставшаяся часть статьи структурирована следующим образом. В разделе 2 рассматриваются решения на базе Bluetooth Low Energy. Раздел 3 посвящен тегам на основе произвольных беспроводных сетей (Bluetooth,

Статья получена 9 августа 2023.

Д.Е. Намиот – МГУ имени М.В. Ломоносова (email: dnamiot@abavanet.ru).

В.А. Сухомлин – МГУ имени М.В. Ломоносова (email: sukhomlin@mail.ru).

О.Н. Покусаев – РУТ (МИИТ) (email: o.pokusaev@rut.digital).

Wi-Fi, Wi-Fi Direct). Раздел 4 посвящен решениям на основе технологии D2D в сетях 5G.

II. BLE BEACONS

Стандарт BLE был введен после успешного развития и применения Bluetooth Classic. Оба протокола служат разным целям и приложениям. Bluetooth Classic предназначен для мультимедиа и потоковых приложений, в то время как BLE нацелена на частую передачу небольших данных, что как раз характерно для IoT приложений. Для потоковых приложений в Bluetooth Classic требуется специальная организация соединения между двумя устройствами (pairing), для BLE такое не нужно. Bluetooth Classic – это связь один к одному, BLE – один ко многим. Сводная разница для двух подходов представлена на рисунке 2.

Feature	Classic Bluetooth	BLE
Symbol rate	1-3 Mbps	1 Mbps
Power consumption	1 (normalized)	0.01 - 0.5
Throughput	0.7-2.1 Mbps	305 kbps
Connection Latency	100+ ms	<6 ms
Channels	79	40
Channel Bandwidth	1 MHz	2 MHz
Peak Current	<30 mA	<15 mA

Рис. 2 Classic Bluetooth vs. BLE [30]

Для обеспечения сосуществования обеих технологий, Bluetooth SIG внедрил Bluetooth Smart Ready, который способен поддерживает оба типа Bluetooth одновременно. В современных смартфонах это выглядит именно так.

Локализация (навигация) была, видимо, первым приложением для BLE тегов. Идея использования была очевидна. Системы GPS, которые и являются сегодня основой для позиционирования, плохо работают (иногда совсем не работают) в помещениях, где большинство живущих проводят 80% времени. Оценка местоположения может проводиться с использованием Wi-Fi, но часто оказывается, что плотность Wi-Fi узлов недостаточна. Например, одна единственная точка доступа Wi-Fi. Исключительно в силу экономических причин Bluetooth теги могут быть размещены в большом количестве, создав необходимую плотность размещения. Этому направлению посвящено довольно много работ [12, 13, 14].

Локализация большей частью базируется на анализе силы сигнала RSSI (рис. 3).

При этом основой для локализации является некоторая эталонная сетка сигналов, привязанных к местоположению. Это некоторая офлайновая фаза – создание радиокарты (разметка помещения). Далее, при

фактическом позиционировании выполняются замеры силы сигнала, и ищется ближайший, с точки зрения замеренных сигналов, узел радио-карты (метрики могут быть разными – этим и различаются реализации). Координаты этого узла и принимаются за местоположение. Это работающая модель, она даже может быть гетерогенной (учитывать все беспроводные узлы). Проблема состоит в том, что такая радио-карта не остается постоянной. Она будет меняться, например, с расстановкой мебели/перепланировкой в помещении и должна будет постоянно обновляться. И вот этот процесс часто оказывается губительным для экономики таких проектов. Отметим также, что достижимая таким образом точность позиционирования сравнима с областью распространения сигнала тегов и составляет порядка 1 метра.

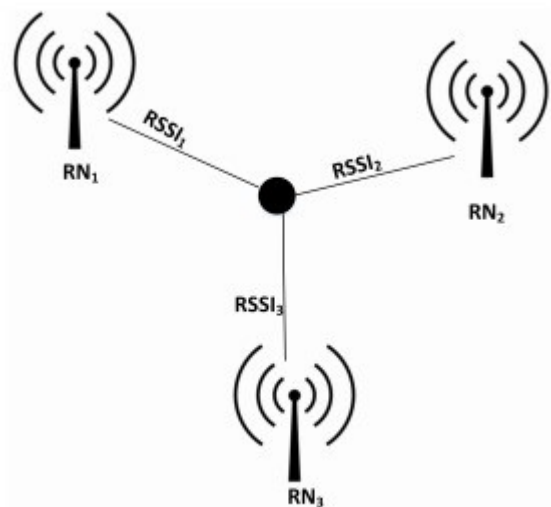


Рис. 3. RSSI локализация [15].

Следующий тип задач – это сервисы, связанные с близостью (proximity). Здесь эксплуатируется тот факт, что получение данных от тега (тегов) в силу физической ограниченности распространения сигнала означает физически близкое расположение устройства (например, мобильного телефона) к тегу. Соответственно, можно говорить о событиях: перемещение в зону видимости тега, покидание зоны видимости тега и статусе: нахождение в зоне видимости тега. На этих событиях и статусе и основываются сервисы.

Во-первых, приближение может очень часто заменить локализацию (навигацию). Для многих сервисов координаты (гео-координаты) являются лишь способом организации хранения (поиска) информации. А запросы, связанные с учетом местоположения на самом деле используют полученные координаты лишь при запросе к хранилищу (базе данных) для поиска объектов, находящихся поблизости. Соответственно, если мы получим возможность определять близость непосредственно, то можно полностью избежать гео-вычислений. Тег размещенный (ассоциированный) с

каким-либо объектом позволяет сразу определять близкое нахождение (приближение) для данного объекта. В общем случае здесь нужно вести речь о контекстно-зависимых системах. Доступные теги являются частью контекста, в котором функционирует конкретное приложение [16, 17].

Возможные типы приложений:

- Появление в зоне видимости (выход из зоны видимости) тега вызывает изменение статуса (состояния) в приложении
- Появление в зоне видимости (выход из зоны видимости) тега вызывает запрос информации (какое-то обращение к хранилищу данных)
- Пребывание в зоне видимости тегов вызывает изменение статуса или запрос информации (например, по превышению времени)
- Логгирование (журналирование) событий (вход/выход из зоны видимости, пребывание в зоне видимости)

Примеры конкретных приложений:

- Предупреждение работника о нахождении в опасной зоне (тег размещен на оборудовании, приемник – мобильный телефон работника)
- Занятие/освобождение парковочного места (тег – в автомобиле, приемник на парковке)
- Отправка купона (специального предложения) на мобильный телефон пользователя при его появлении поблизости от торговой точки
- Регистрация посещения – мобильное приложение записывает дату/время и список видимых тегов. По отпечатку можно понять был ли пользователь в указанном месте (классе, помещении), которое и описывается набором тегов
- Восстановление маршрутов по логу отметок

Некоторые описанные в литературе примеры: построение маршрутов на основе информации о близости [18], интерактивные системы (для музеев и т.п.) [19, 20, 21]. Отметим то, что информационные системы такого рода сравнивают обычно с системами, которые основаны на QR-кодах. С помощью тегов, фактически, можно реализовать такой же функционал, который не будет требовать активных действий от пользователя (включение камеры, наведение на QR-код и т.д.). Также, очевидно, что обнаружение такого сетевого “кода” не зависит от пользователя, видимости кода, условий освещения и т.д. Поэтому, с точки зрения удобства для пользователя, решение с тегами может быть предпочтительнее QR-кодов. В работе [22] описывается применение тегов для реализации билетной системы на транспорте.

Следующее (и наш взгляд недооцененное) направление разработок – это сервисы контекстной рекламы. Здесь можно провести аналогию с рекламными щитами и другими элементами размещения рекламы в городе. Набор “видимых” (доступных) тегов - так называемый отпечаток (fingerprint) выступает в роли триггера для срабатывания показа (доставки мобильному абоненту) контекстной рекламы. В отличие от статического рекламного показа на стенде при помощи тегов можно задать показ рекламы (специальных предложений, социальной информации и т.д.) мобильным абонентам в зависимости от их предпочтений (подписки). Ну и, конечно, теги позволяют создать практически неограниченное количество таких рекламных “мест”. Как пример такого рода системы можно назвать рекламную сеть (1000 узлов) в Гонконге [23]. Городские бизнесы могут размещать в такой сети свою рекламу, которая будет доступна всем в радиусе 50 метров от магазина (кафе, офиса и т.п.). В этой связи необходимо отметить важной значение, которое, например, в Умном Городе приобретают радио-карты. Изначально они строились, чаще всего, как карты мест, где возможен выход и Интернет (карты точек Wi-Fi и т.д.). С развитием сервисов на основе близости, основная задача радио-карт представить контекстную информацию для создателей сервисов. Карты отвечают на вопрос: где в городе можно представлять мобильным абонентам (мобильным сервисам) контекстную информацию, и на доступности каких сетевых ресурсов эта информация может быть основана. Естественно, что такие карты нужны, в первую очередь, для помещений.

Далее необходимо остановиться на решениях по беспроводным тегам, которые предлагаются крупными компаниями. И которые, в силу размера и авторитета этих компаний, претендуют на роль de facto стандартов. Во-первых, это, конечно, Apple iBeacon [24]. Предложенный API позволяет определить для тега два целых числа (minor, major), которые и будут рассылаться тегом. Соответственно, при сканировании по таким полученным значениям можно будет различать теги между собой и даже ввести, например, некоторую схему кодирования. Например, первое значение определяет магазин, второе – полку с товарами и т.д. Это упрощает идентификацию тегов. Также API позволяет получить оценку расстояния до тега (рис. 4).

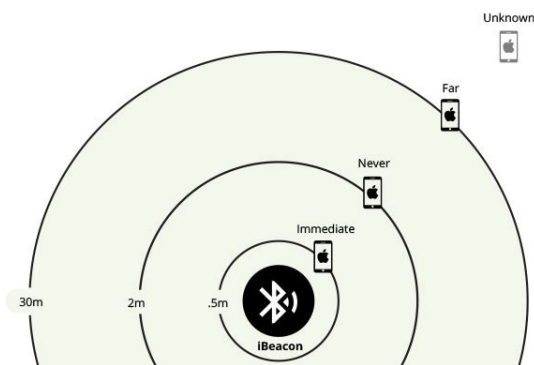


Рис. 4. Оценка расстояния.

Другой стандарт – это Google Physical Web. Здесь тег рассылал некоторый URL, который, например, мог вести к некоторому веб-приложению или просто к странице с данными. Отметим также, что стандарт HTML5 предусматривает кэширование данных, так что в зависимости от приложения оно может работать и в отсутствие сети.

Архитектура приложений получается достаточно простая: сканер (мобильный телефон) получает URL от тега, а обращение по данному URL возвращает некоторый набор данных (например, JSON объект), который приложение уже интерпретирует в соответствии с собственными алгоритмами [25].

III. ТЕГИ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Это направление достаточно активно развивалось в наших работах [26, 27]. Базовые идеи архитектуры достаточно прозрачны.

Во-первых, тег не должен передавать никаких данных. Единственный интересующий приложения (сервисы) элемент – это идентификация тега. Все типы приложений, которые были описаны выше, используют, фактически, только идентификацию тега. Рекламные сообщения распространяются в зависимости от видимых (доступных) тегов, отметка о присутствии связана с видимым (доступным) тегом и т.д. Соответственно, идентификация тега – это единственное значение, которое нужно получать от тега.

Во-вторых, поскольку мы говорим о беспроводных сетях, то область распространения сигнала физически ограничена. Соответственно, видимость (доступность) тега может являться оценкой расстояния (приближенности). Естественно, что такие расстояния зависят от используемой сетевой технологии (e.g. Bluetooth distance vs. Wi-Fi distance). С программной точки зрения видимость тега – это получение его идентификационной информации. Таким образом, получение идентификационной информации тега является одновременно и фиксацией факта близости.

Физическая область распространения сигналов, например, для BLE тегов может быть ограничена и составлять расстояние в 1 метр и менее, что

соответствует точности, которая и получается при использовании систем позиционирования, базирующихся на предварительно составленных радио-картах.

Из этого следует, что любой узел беспроводной сети мы можем рассматривать как тег. Например, все существующие точки доступа Wi-Fi, существующие узлы Bluetooth, которые присутствуют во многих технических объектах, могут трактоваться как теги. При этом речь не идет о соединениях или передаче данных. Определение видимости точки доступа Wi-Fi это и есть, например, триггер для срабатывания в сервисе условий предоставления данных. Мультимедийная панель автомобиля или сервисный порт представляют собой точку Bluetooth. Фиксация видимости такой точки (именно видимости/доступности, без каких-либо попыток соединения) есть фактическая регистрация данного автомобиля. А идентификация такого узла (например, MAC-адрес) позволит различать объекты между собой.

Следующий шаг состоит в том, что помимо использования существующих узлов беспроводных сетей, можно создавать такие узлы программно. Таковые узлы могут создаваться исключительно в целях выполнения роли триггеров для срабатывания условий в сервисах. Программно можно создать, например, точку Bluetooth на мобильном телефоне (Android). То есть, произвольные мобильные телефоны могут играть роль тегов, причем делать это динамически.

Это все приводит к новому классу сервисов, которые основаны на понятии сетевой близости. В “сетевом” варианте – это близость в смысле сетевой маршрутизации, количества промежуточных узлов [28]. В “географическом” варианте – это пространственная близость, которая оценивается посредством сетевых технологий [29]. При таком подходе гео-вычисления заменяются оценкой близости, которая определяется именно по видимости (доступности) сетевых узлов.

Поскольку при таком подходе нет никаких явных зависимостей от цифровых значений силы сигнала беспроводных узлов, в сервисах можно задействовать все данные, которые доступны для узла. В частности, можно, например, использовать символьные значения имени устройства. Поскольку такие значения можно устанавливать (менять) программно, появляется возможность реализовать сервисы, которые работают без каких-либо серверных компонент. Классически, например, при работе с гео-координатами, схема работы выглядит следующим образом:

- Клиентское приложение запрашивает (получает) текущие координаты
- Полученные координаты передаются некоторому

серверному приложению (облачному сервису), где используются как ключ при поиске данных

- Найденные данные возвращаются клиентскому приложению для отображения и/или обработки

Это типичное клиент-серверное приложение, картина не изменится принципиально, если в схеме появится какое-то промежуточное звено (middleware). Таким образом, например, в мобильном приложении ищутся какие-то услуги (сервисы, места) поблизости. Аналогичным образом работает схема получения каких-либо измерений от окружающих сенсоров. Данные вместе с координатами регистрируются на сервере, а затем возвращаются по запросу, содержащему координаты. Классическая архитектура с тегами работает так же. Тег передает некоторый идентификатор, который и используется как ключ для обращения за данными (рис. 5).

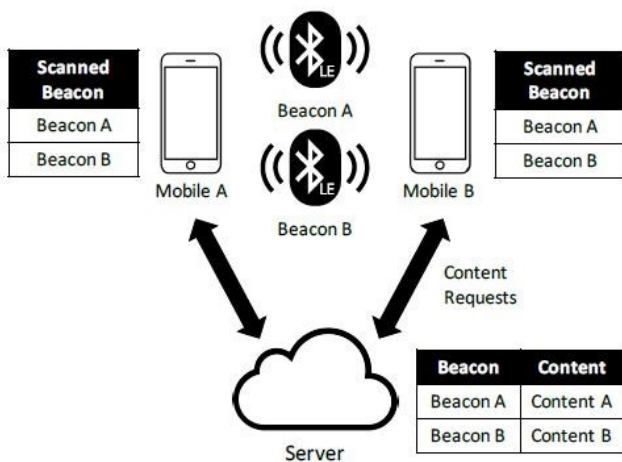


Рис. 5. Системная архитектура [30].

Программное же переопределение идентификации тега позволяет непосредственно транслировать нужные данные окружающим (близко расположенным) мобильным приложениям. Необходимость в серверной (облачной) составляющей в таком случае отсутствует. Приложения будут получать данные непосредственно. Это повышает безопасность и приватность – не нужно регистрировать локальные (местные) данные на сервере, где они, потенциально, могут быть доступны другим приложениям, а также упрощает запуск и сопровождение сервисов. Отсутствие необходимости в серверной (облачной) компоненте позволяет разворачивать сервисы “на лету”. Особо отметим, что трансляция идентификация тега и ее получение не означают установление соединения между устройствами. Соответственно, здесь нет проблем с безопасностью.

Наглядный сервис, который иллюстрирует эту возможность – это использование физического веба для расширения социальных сетей. Мобильное приложение позволяет пользователю авторизоваться в социальной сети, после чего установить ссылку на свой профиль в

качестве идентификатора точки Bluetooth, программно открываемой на том же мобильном телефоне. Созданная точка Bluetooth начинает рассылать свой идентификатор.

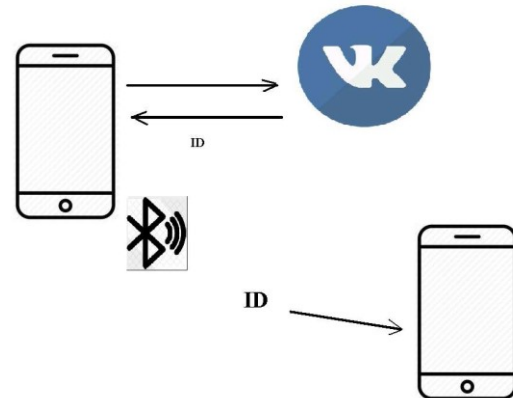


Рис. 6. Физический веб для социальных сетей

В результате остальные мобильные абоненты, находящиеся поблизости, будут видеть ссылку на профиль пользователя как идентификатор доступной точки Bluetooth (рис. 6).

При этом в отличие от типичного для социальных сетей процесса чек-ин (создание записи в социальной сети, содержащей отметку о местоположении) здесь никакая информация вообще не попадает в социальные сети. Социальная сеть используется только для авторизации пользователя. Приложение не имеет вообще никаких прав на запись данных в социальную сеть. Права на чтение данных также здесь не нужны. Рассылаемые данные (ссылку на профиль в социальной сети) могут получать (с учетом Bluetooth distance) только те, кто фактически видит автора.

IV. ТЕХНОЛОГИЯ D2D КАК ТЕГИ В 5G.

В данном разделе описывается модель использования прямого соединения устройств в LTE и 5G как аналога тегов. Модель D2D, введенная в спецификации 3GPP, описывает возможности непосредственного взаимодействия устройств (device to device) и так называемые сервисы близости (ProSe – Proximity Services) [31]. Согласно этой спецификации, сервисы близости позволяют устройствам, находящимся в непосредственной близости друг от друга, обнаруживать друг друга. После обнаружения, такие устройства могут напрямую общаться друг с другом с целью снижения нагрузки на сеть, увеличения пропускной способности имеющейся полосы пропускания и обеспечения связи в зонах, где отсутствует покрытие сети. Иными словами – основное назначение сервисов близости в спецификации 3GPP определяется как поиск устройств для непосредственного взаимодействия или использования непосредственно телекоммуникационным провайдером для делегирования (выполнения) свои функций [32]. Это проиллюстрировано на рисунке 7, где как раз и изображена модель взаимодействия.

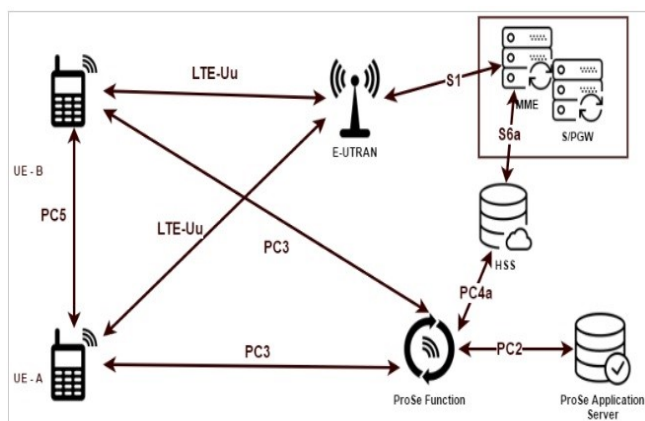


Рис. 7. 3GPP D2D

На этом рисунке изображены основные компоненты и интерфейсы между ними. Мобильное устройство (UE-A) получает от сети некоторый код (Application ID) и рассылает его по радиointерфейсу PC5, так что его (код) могут прослушивать (получать) другие мобильные устройства (UE-B на рисунке). Область распространения (рассылки) - 500 метров от отправителя. Получение такого кода необходимо для определения близкорасположенного устройства и дальнейшего установления прямой связи с ним.

Получается, что логически мы можем выделить здесь два процесса – поиск близлежащих устройств (DD – direct discovery) и установление с ними связи (device to device). Если мы остановимся на первом шаге, то телефон-отправитель можно рассматривать как тег, который рассылает некоторый идентификатор. Далее можно следовать архитектуре системы, представленной на рисунке 5.

Application ID, который рассылается устройством – это ключ для получения контента. Контент при этом должен получаться не от отправителя, а от стороннего сервиса. При этом в качестве такового контента, в первую очередь, по нашему мнению должны рассматриваться веб-ресурсы. Причина – те же самые требования к безопасности. На сегодняшний день именно для получения веб-контента есть существующая и реально работающая модель безопасности.

V. ТЕГИ НА ТРАНСПОРТЕ

Предложенная модель тегов будет работать и в транспортных приложениях. Как, например, определить нахождение мобильного пользователя в транспортном средстве? В транспорте Москвы, например, мобильное приложение (а также мобильный веб) могут полагаться на информацию о доступности (видимости) Wi-Fi маршрутизатора непосредственно в транспортном средстве (рис. 8)



Рис. 8. Гео-решетки на транспортном средстве

Отметим также, что маяком в транспортном средстве может служить и мобильный телефон водителя (реальное приложение – автобусное сообщение в сельской местности), а также мультимедийная панель автомобиля (там есть, как правило, и Bluetooth и Wi-Fi). Тут важно, что используется именно видимость (доступность) беспроводного узла. Соединения не требуется и, соответственно, нет проблем с безопасностью.

Представляется, что такая модель будет естественным приложением для цифровых транспортных систем [33].

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье приведен анализ использования беспроводных тегов в системах Интернета Вещей, например, в приложениях для Умного Города. Беспроводной тег, независимо от используемых технологий, рассматривается, фактически, как простой сенсор. В качестве запрашиваемых значений везде, по факту, выступает только идентификация тега. Второй элемент, который помимо идентификации используется в сервисах – это оценка расстояния до тега. Важным моментом является то, что идентификация тега может быть использована для передачи содержательной информации от тега к сканеру. Это позволяет во многих случаях полностью исключить из архитектуры систем серверное (облачное) хранилище, в которое необходимо обращаться за получением информации при обнаружении тега. Обнаруженные теги могут непосредственно передавать необходимые данные. Другим моментом, представленным в работе, является возможность использовать произвольные узлы беспроводных сетей в качестве такого рода тегов. Такие узлы могут создаваться, в том числе, и программно. Передача информации между тегом и сканером может использовать средства представления (рекламы) беспроводных узлов. Это позволяет осуществлять передачу данных без организации соединения между узлами такой сети. И последнее заключение состоит в том, что оценка расстояния не включает операции с гео-

координатами. Физически ограниченная область распространения сигналов для узлов беспроводных сетей и служит метрикой расстояния. Отказ от работы с гео-координатами важен, например, для всех приложений, которые работают в помещении.

Итогом такого рассмотрения является новая программная архитектура для приложений, использующих информацию о местоположении. Эта архитектура представляет собой классическую киберфизическую систему. В этой системе физическое распространение радиосигнала тега определяется программно. Сами теги также могут создаваться программно. Использование понятия пространственной сетевой близости (близость определяется по доступности сигналов беспроводных сетей) позволяет полностью исключить работу с гео-координатами в сервисах, использующих информацию о местоположении. Такого рода сервисы, построенные на новой архитектуре, автоматически будут динамическими (сигнал беспроводных сетей может присутствовать или отсутствовать) и мобильными (беспроводные теги могут перемещаться, соответственно, перемещаться будет и область их видимости/область определения сервиса).

БЛАГОДАРНОСТИ

Первые варианты работы представлялись на I Северной Международной конференции «Цифровая жизнь и цифровая индустрия».

Авторы благодарны В.П. Куприяновскому, который инициировал множество работ по цифровой экономике, послуживших, в том числе, и развитию описываемого в статье направления [34, 35].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Welbourne, Evan, et al. "Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience." *IEEE Internet computing* 13.3 (2009): 48-55.
- [2] Newman, Nic. "Apple iBeacon technology briefing." *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice* 15.3 (2014): 222-225.
- [3] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions." *Future Generation Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [4] D. Zaim and M. Bellafkih, "Bluetooth Low Energy (BLE) based geomarketing system," in *11th Int. Conf. Intell. Syst.: Theories Appl. (SITA)*, Oct 2016, pp. 1–6.
- [5] S. Alletto, R. Cucchiara, G. D. Fiore, L. Mainetti, V. Mighali, L. Patrono, and G. Serra, "An indoor location-aware system for an IoT-based smart museum," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 2, pp. 244–253, April 2016.
- [6] Jiménez, Antonio Ramón, and Fernando Seco. "Finding objects using UWB or BLE localization technology: A museum-like use case." *2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. IEEE, 2017.
- [7] Zhuang, Yuan, et al. "Smartphone-based indoor localization with bluetooth low energy beacons." *Sensors* 16.5 (2016): 596.
- [8] M. Choi, W.-K. Park, and I. Lee, "Smart office energy management system using Bluetooth Low Energy based beacons and a mobile app," in *2015 IEEE Int. Conf. Consum Electron. (ICCE)*, 2015, pp. 501–502.
- [9] A. Akinsiku and D. Jadav, "Beasmart: A beacon enabled smarter workplace," in *IEEE/IFIP Netw. Operations Manage. Symp. (NOMS)*, 2016, pp. 1269–1272.
- [10] M. Collotta and G. Pau, "A novel energy management approach for smart homes using Bluetooth Low Energy," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 33, no. 12, pp. 2988–2996, Dec 2015.
- [11] Beacons bright future <https://www.bandt.com.au/beacons-bright-future/>
- [12] Thaljaoui, Adel, et al. "BLE localization using RSSI measurements and iRingLA." *2015 IEEE international conference on industrial technology (ICIT)*. IEEE, 2015.
- [13] De Blas, Aitor, and Diego López-de-Ipiña. "Improving trilateration for indoors localization using BLE beacons." *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*. IEEE, 2017.
- [14] Pelant, Jan, et al. "BLE device indoor localization based on RSS fingerprinting mapped by propagation modes." *2017 27th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. IEEE, 2017.
- [15] Zafari, Faheem, Athanasios Gkelias, and Kin K. Leung. "A survey of indoor localization systems and technologies." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 21.3 (2019): 2568-2599.
- [16] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Sneppe. "Context-aware data discovery." *2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*. IEEE, 2012.
- [17] Namiot, Dmitry. "Context-Aware Browsing--A Practical Approach." *2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*. IEEE, 2012.
- [18] Ito, Atsushi, et al. "Navigation system for sightseeing using BLE beacons in a historic area." *2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*. IEEE, 2016.
- [19] Ng, Pai Chet, James She, and Soochang Park. "Notify-and-interact: A beacon-smartphone interaction for user engagement in galleries." *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. IEEE, 2017.
- [20] The icon of modern art puts Estimote beacons on display. <http://blog.estimote.com/post/157200820650/the-icon-of-modern-art-puts-estimote-beacons-on> Retrieved: Oct 2023
- [21] Ito, Atsushi, et al. "A trial of navigation system using BLE beacon for sightseeing in traditional area of Nikko." *2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*. IEEE, 2015.
- [22] Ferreira, Marta Campos, Teresa Galvão Dias, and João Falcão e Cunha. "Codesign of a Mobile Ticketing Service Solution Based on BLE." *Journal of Traffic and Logistics Engineering Vol 7.1* (2019).
- [23] Campaign. <http://www.campaignasia.com/article/apple-daily-launches-in-app-beacon-based-targeting/44108> Retrieved: Jan 2020
- [24] Sneys-Sneppe, Manfred, and Dmitry Namiot. "On physical web models." *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. IEEE, 2016.
- [25] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Sneppe. "The physical web in smart cities." *2015 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO)*. IEEE, 2015.
- [26] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Sneppe. "On physical web browser." *2016 18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT)*. IEEE, 2016.
- [27] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Sneppe. "On Physical Web for Social Networks." *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*. Springer, Cham, 2019.
- [28] Castro, Miguel, et al. "Exploiting network proximity in distributed hash tables." *International Workshop on Future Directions in Distributed Computing (FuDiCo)*. 2002.
- [29] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Sneppe. "Geofence and network proximity." *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 117-127.
- [30] Jeon, Kang Eun, et al. "Ble beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities." *IEEE Internet of Things Journal* 5.2 (2018): 811-828.
- [31] 3GPP TS 24.334 V12.1.1, December 2014; Technical Specification Group Core Network and Terminals, Proximity-services (ProSe) User Equipment (UE) to ProSe function protocols; Stage 3; Release 12.
- [32] Namiot, Dmitry. "3GPP D2D Specification and Public Services." *International Journal of Open Information Technologies* 8.2 (2020).
- [33] Цифровая железная дорога - инновационные стандарты и их роль на примере Великобритании / Д. Е. Николаев, В. П. Куприяновский, Г. В. Суконников [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 10. – С. 55-61. – EDN WXBASN.
- [34] Куприяновский, В. П. Демистификация цифровой экономики / В. П. Куприяновский, Д. Е. Намиот, С. А. Синягов // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 11. – С. 59-63. – EDN WXQLIJ.
- [35] Веб Вещей и Интернет Вещей в цифровой экономике / В. П. Куприяновский, М. А. Шнепс-Шнеппе, Д. Е. Намиот [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2017. – Т. 5, № 5. – С. 38-45. – EDN YPOTVB.

Tags as the basis of the architecture of a cyber-physical system

Dmitry Namiot, Vladimir Sukhomlin, Oleg Pokusaev

Abstract — This article discusses the use of electronic tags in cyber-physical systems. In our work, electronic tags are understood as autonomous devices with their own power supply system, which are configured to transmit any information. Device configuration can be either static or dynamic. Data transfer protocols can and do vary, but in practice, there are absolute leaders chosen by industrial manufacturers. In practice, most of these solutions are centered around Bluetooth. The need to support the long-term operation of such systems without replacing power supplies has led to the popularity of low-power solutions, in particular Bluetooth Low Energy. A big impetus for the development of this type of system was the initial support of Apple. The article discusses both application models and architectures of software systems. Separately, the possibilities of using mobile phones as dynamic tags, the use of tags to replace geocomputing, and the prospects for using 5G technology are considered. An important and open issue remains standardization and ensuring interoperability of such systems. The work considers both applications for Smart City and Industrial Systems.

Keywords— tags, Bluetooth Low Energy, BLE Beacons, Internet of Things (IoT).

REFERENCES

- [1] Welbourne, Evan, et al. "Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience." *IEEE Internet computing* 13.3 (2009): 48-55.
- [2] Newman, Nic. "Apple iBeacon technology briefing." *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice* 15.3 (2014): 222-225.
- [3] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [4] D. Zaim and M. Bellafkih, "Bluetooth Low Energy (BLE) based geomarketing system," in *11th Int. Conf. Intell. Syst.: Theories Appl. (SITA)*, Oct 2016, pp. 1–6.
- [5] S. Alletto, R. Cucchiara, G. D. Fiore, L. Mainetti, V. Mighali, L. Patrono, and G. Serra, "An indoor location-aware system for an IoT-based smart museum," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 2, pp. 244–253, April 2016.
- [6] Jiménez, Antonio Ramón, and Fernando Seco. "Finding objects using UWB or BLE localization technology: A museum-like use case." *2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. IEEE, 2017.
- [7] Zhuang, Yuan, et al. "Smartphone-based indoor localization with bluetooth low energy beacons." *Sensors* 16.5 (2016): 596.
- [8] M. Choi, W.-K. Park, and I. Lee, "Smart office energy management system using Bluetooth Low Energy based beacons and a mobile app," in *2015 IEEE Int. Conf. Consum Electron. (ICCE)*, 2015, pp. 501–502.
- [9] A. Akinsiku and D. Jadav, "Beasmart: A beacon enabled smarter workplace," in *IEEE/IFIP Netw. Operations Manage. Symp. (NOMS)*, 2016, pp. 1269–1272.
- [10] M. Collotta and G. Pau, "A novel energy management approach for smart homes using Bluetooth Low Energy," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 33, no. 12, pp. 2988–2996, Dec 2015.
- [11] Beacons bright future <https://www.bandt.com.au/beacons-bright-future/>
- [12] Thaljaoui, Adel, et al. "BLE localization using RSSI measurements and iRingLA." *2015 IEEE international conference on industrial technology (ICIT)*. IEEE, 2015.
- [13] De Blas, Aitor, and Diego López-de-Ipiña. "Improving trilateration for indoors localization using BLE beacons." *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*. IEEE, 2017.
- [14] Pelant, Jan, et al. "BLE device indoor localization based on RSS fingerprinting mapped by propagation modes." *2017 27th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. IEEE, 2017.
- [15] Zafari, Faheem, Athanasios Gkelias, and Kin K. Leung. "A survey of indoor localization systems and technologies." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 21.3 (2019): 2568-2599.
- [16] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Snepe. "Context-aware data discovery." *2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*. IEEE, 2012.
- [17] Namiot, Dmitry. "Context-Aware Browsing--A Practical Approach." *2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*. IEEE, 2012.
- [18] Ito, Atsushi, et al. "Navigation system for sightseeing using BLE beacons in a historic area." *2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*. IEEE, 2016.
- [19] Ng, Pai Chet, James She, and Soochang Park. "Notify-and-interact: A beacon-smartphone interaction for user engagement in galleries." *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. IEEE, 2017.
- [20] The icon of modern art puts Estimote beacons on display. <http://blog.estimote.com/post/157200820650/the-icon-of-modern-art-puts-estimote-beacons-on> Retrieved: Oct 2023
- [21] Ito, Atsushi, et al. "A trial of navigation system using BLE beacon for sightseeing in traditional area of Nikko." *2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*. IEEE, 2015.
- [22] Ferreira, Marta Campos, Teresa Galvão Dias, and João Falcão e Cunha. "Codesign of a Mobile Ticketing Service Solution Based on BLE." *Journal of Traffic and Logistics Engineering* Vol 7.1 (2019).
- [23] Campaign. <http://www.campaignasia.com/article/apple-daily-launches-in-app-beacon-based-targeting/44108> Retrieved: Jan 2020
- [24] Sneys-Snepe, Manfred, and Dmitry Namiot. "On physical web models." *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. IEEE, 2016.
- [25] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Snepe. "The physical web in smart cities." *2015 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO)*. IEEE, 2015.
- [26] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Snepe. "On physical web browser." *2016 18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT)*. IEEE, 2016.
- [27] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Snepe. "On Physical Web for Social Networks." *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*. Springer, Cham, 2019.
- [28] Castro, Miguel, et al. "Exploiting network proximity in distributed hash tables." *International Workshop on Future Directions in Distributed Computing (FuDiCo)*. 2002.
- [29] Namiot, Dmitry, and Manfred Sneys-Snepe. "Geofence and network proximity." *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 117-127.
- [30] Jeon, Kang Eun, et al. "Ble beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities." *IEEE Internet of Things Journal* 5.2 (2018): 811-828.
- [31] 3GPP TS 24.334 V12.1.1, December 2014; Technical Specification Group Core Network and Terminals, Proximity-services (ProSe) User Equipment (UE) to ProSe function protocols; Stage 3; Release 12.
- [32] Namiot, Dmitry. "3GPP D2D Specification and Public Services." *International Journal of Open Information Technologies* 8.2 (2020).

- [33] Cifrovaja zheleznaja doroga - innovacionnye standarty i ih rol' na primere Velikobritanii / D. E. Nikolaev, V. P. Kuprijanovskij, G. V. Sukonnikov [i dr.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4, # 10. – S. 55-61.
- [34] Kuprijanovskij, V. P. Demistifikacija cifrovoj jekonomiki / V. P. Kuprijanovskij, D. E. Namiot, S. A. Sinjagov // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4, # 11. – S. 59-63.

- [35] Veb Veshhej i Internet Veshhej v cifrovoj jekonomike / V. P. Kuprijanovskij, M. A. Shneps-Shneppe, D. E. Namiot [i dr.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5, # 5. – S. 38-45.