

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*На правах рукописи*

**Намиот Дмитрий Евгеньевич**

**ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОЙ БЛИЗОСТИ: КОНЦЕПЦИЯ, МОДЕЛИ И  
АЛГОРИТМЫ, РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕРВИСЫ**

05.13.11 — математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей  
(по техническим наукам)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Дубна – 2021

Работа выполнена в Московском Государственном Университете имени М.В. Ломоносова

**Научный консультант** – *Сухомлин Владимир Александрович,*  
*доктор технических наук, профессор, заведующий*  
*лабораторией МГУ имени М.В. Ломоносова*

**Официальные оппоненты** – *Самуйлов Константин Евгеньевич,*  
**(при наличии)** *доктор технических наук, профессор,*  
*заведующий кафедрой ФГАОУ ВО Российский*  
*университет дружбы народов.*

*Петренко Александр Константинович,*  
*доктор физико-математических наук, профессор,*  
*заведующий отделом ФГБУН Институт*  
*системного программирования им. В.П. Иванникова*  
*РАН.*

*Перепелкин Дмитрий Александрович,*  
*доктор технических наук, доцент, декан*  
*факультета вычислительной техники ФГБОУ ВО*  
*«Рязанский государственный радиотехнический*  
*университет им. В.Ф. Уткина»*

С электронной версией диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте  
Объединенного института ядерных исследований в информационно-телекоммуникационной  
сети «Интернет» по адресу: [http://\\_\\_\\_\\_\\_](http://_____). С печатной версией диссертации можно  
ознакомиться в Научно-технической библиотеке ОИЯИ  
(г. Дубна, Московская область, ул. Жолио-Кюри, д. 6).

Ученый секретарь диссертационного совета (технический секретарь),  
доктор физико-математических наук Земляная Елена Валериевна

## Общая характеристика работы

**Актуальность.** Гео-информационные сервисы (гео-информационные системы, GIS) получили в последнее время большое распространение. Не вызывает сомнений тот факт, что программы (сервисы, процессы), связанные с определением местоположения, занимают одно из определяющих мест в сегодняшнем мире. Сфера их применения охватывает все области экономики, гражданские и военные применения, развитие инфраструктуры для таких систем является государственными программами (GPS, ГЛОНАСС, Бейду и др.).

Для мобильных приложений (сервисов) определение местоположения является одной из самых востребованных функций. Например, хорошо известен факт, что еще в 2010 году вопрос “Где ты?” был задан в мобильных сообщениях сетей в США 600 млрд. раз. Фактически – это самый часто запрашиваемый функционал для мобильных абонентов. Огромный пласт мобильных сервисов существует, например, просто вокруг одной функции обмена информацией о позиционировании (например, так называемые check-in – отметки о местоположении в социальных сетях). Естественно, что информация о позиционировании играет определяющую роль для автономных устройств (роботов).

В литературе отмечается, что глобальный рынок услуг на основе местоположения оценивался в 28.95 млрд. долл. США в 2019 году и ожидается, что к 2027 году он достигнет 183 млрд. долл. США. Использование сервисов с определением местоположения увеличилось в различных вертикальных областях, таких как правительство и оборона, средства массовой информации и развлечения, транспорт, розничная торговля и электронная коммерция, здравоохранение, образование и другие. Отметим, что, по факту, все мобильные сервисы являются контекстно-зависимыми (context-aware в англоязычной литературе). Под контекстом понимаются любые измеримые данные, которые могут быть добавлены к местоположению. То есть местоположение всегда присутствует в контексте.

Вместе с тем, простой анализ существующих гео-информационных сервисов показывает, что только часть сервисов в реальности использует гео-координаты. В большинстве случаев, особенно это касается контекстно-зависимых сервисов, речь идет о данных (сервисе, услуге), которые ищутся (предоставляются, доступны) поблизости от некоторого места. Например, при поисковых задачах это практически всегда так. Так называемая гео-решетка, когда задается некоторая географически очерченная область, это также, фактически, указание некоторой области поблизости от заданного центра. Конкретное измерение этой близости может различаться, но в любом случае – это некоторая метрика, которая заменяет расстояние и в рамках данного конкретного сервиса трактуется как близкое расстояние.

Если  $d$  – эвклидово расстояние,  $loc$  – координаты, то близость (пространственная близость) между двумя точками  $A$  и  $B$  определяется, очевидно, простым условием

$$d(loc(A), loc(B)) < \delta_A, \quad (1)$$

где  $\delta_A$  – некоторое предельное расстояние, которое является близким с точки зрения  $A$ .

Выполнение такого условия будет означать, что  $B$  находится поблизости от  $A$ . Это, в принципе, не является всегда симметричным, поскольку у  $B$  может быть свое допустимое расстояние, но это всегда описывается как некоторое предельное расстояние между объектами.

Собственно координаты (которые и определяют последующие гео-вычисления) часто оказываются лишь простым способом организации данных (ключами для поиска, например). Отсюда появляется идея – а нельзя ли в таком случае вообще отказаться (отказаться для некоторых сервисов) от гео-вычислений и заменить их работой с новыми метриками (непосредственно с понятием близости)? Иными словами, каким-либо образом прямо определять (измерять) близость (проверять выполнение указанного выше неравенства непосредственно), полностью исключив работу с координатами.

Отчего вообще возникает идея отказа от гео-вычислений? С одной стороны, гео-вычисления сегодня предлагают достаточно ясный путь разработки сервисов. Распространение смартфонов и глобальных систем позиционирования (GPS) делает получение информации о местоположении достаточно простым. Программные интерфейсы для этого процесса стандартизованы, есть система поддержки (например, гео-расширения для баз данных). Вместе с тем, повсеместное использование GPS не является полностью идеальным. Мы отмечаем здесь именно системы позиционирования, поскольку в большинстве случаев работа гео-информационных систем начинается с запроса координат. И такой запрос, учитывая преобладание именно мобильных пользователей, в подавляющем большинстве случаев, будет выполняться именно на мобильном устройстве (смартфоне), где использование GPS есть основной метод получения координат (определения местоположения). Можно перечислить следующие проблемы:

- сервисы, которые должны работать в помещениях. Использование GPS в таких случаях затруднено или даже невозможно. Собственно говоря, свидетельством тому являются существующие и активно развиваемые различные дополнительные способы оценки местоположения (типа A-GPS);
- работа с GPS довольно энергозатратна;
- GPS сигнал может быть заблокирован/изменен;
- точность GPS в доступном коммерческом варианте может быть недостаточна. Соответственно, другие метрики, в принципе, могут обеспечить большую точность;
- географические координаты являются объективной характеристикой. Невозможно запретить какому-либо мобильному абоненту их получать. Если это ключ для поиска данных, то ограничить пользователей (нежелательных) в получении такого ключа нельзя. В то время как доступ к какой-то другой метрике может быть ограничен для конкретных пользователей. Это напрямую относится к построению систем безопасности;
- одно из основных замечаний к существующим моделям – это поддержка работы с подвижными объектами. Гео-информационные сервисы, очевидно, привязаны (здесь говорится, в первую очередь, о поиске) к статическим координатам. Широта и долгота конкретного места остаются в гео-информационных системах постоянными. А что если возникает необходимость привязать наши сервисы (услуги) к движущемуся объекту? Вместо статической гео-решетки, которая описывает некоторую область вокруг неподвижного объекта, в предлагаемой модели используется такое же понятие (его аналог, на самом деле), но для движущегося объекта. Такая виртуальная гео-решетка представляет собой перемещающуюся область вокруг движущегося объекта. Существуют работы, которые рассматривают интеграцию перемещающихся объектов в гео-информационные системы, но гораздо проще решать эту задачу без предсказания траекторий движения и без обращения к гео-вычислениям.

Другой важной проблемой, связанной с использованием классической клиент-серверной модели (архитектуры) гео-информационных сервисов, является необходимость для пользователя сервиса делиться информацией о своем местоположении с поставщиком услуг. Именно на стороне поставщика услуг (сервиса) происходит сравнение координат пользователя и координат, соотносимых с сервисными объектами. Эта необходимость предоставления информации о местоположении является источником проблем с приватностью данных, что принципиально непреодолимо в классической модели гео-сервисов. Важность (востребованность) решений в области сохранения приватности при использовании информации о местоположении можно оценить, например, так. С 2016 года сервис *Google Scholar* (поисковая система для научных публикаций и патентов) находит более 300 000 ссылок по поисковому запросу *location sharing privacy*. Это прямая оценка количества научных работ (патентов), затрагивающих в той или иной степени эту проблематику. Непосредственное использование метрик близости, без обращения к гео-координатам, рассматриваемое в данной работе, избавляет пользователей сервисов от

необходимости сообщать сторонним провайдерам информацию о собственном местоположении, равно как и препятствует отслеживанию использования сервисов со стороны провайдеров.

В диссертационной работе представлен новый подход к программированию сервисов (приложений), использующих информацию о местоположении. Предложенная модель основана на использовании другого набора метрик (по сравнению с классическими гео-координатами) при создании таких сервисов. Эти метрики будут описывать (характеризовать) близкое расположение мобильных устройств. При этом метрики позволят не только заменить в некоторых гео-информационных сервисах использование гео-координат. Их природа позволит описать новые модели сервисов, которые ранее невозможно было реализовать традиционными методами построения гео-информационных сервисов. Идеологически они будут похожи на гео-информационные сервисы тем, что их функционирование будет происходить в некоторой локальной области (пространственной близости к некоторому объекту). Но использование нового подхода к определению (фиксации) местоположения приводит и к новым классам, как информационных систем, так и программных средств для их разработки. Именно исследованию нового класса распределенных технологий и сервисов беспроводных сетей и мобильных платформ, построенных на основе понятия сетевой близости, и посвящена настоящая работа.

В представленной новой программной архитектуре для построения сервисов с использованием информации о местоположении отсутствует работа с гео-координатами (преодоление проблем, связанных с использованием GPS), отсутствует необходимость сообщать информацию о местоположении провайдеру услуг (решение проблем с приватностью). Для реализации указанных характеристик классическая клиент-серверная модель для сервисов и использованием информации о местоположении (получение пользователем гео-координат от GPS и передача их провайдеру) заменяется на распределенную киберфизическую систему (провайдер доставляет информацию сервиса до пользователей).

**Степень разработанности темы.** В диссертационной работе представлена новая разработка, не имеющая прямых аналогов. Вместе с тем она базируется на ряде связанных технологий, которые развиваются быстрыми темпами и заслуживают глубокого всестороннего исследования, начиная с концептуальных моделей и технологических основ и, самое главное, вплоть до новых, не применявшихся ранее, аспектов использования. Исследование, ставшее главной целью настоящей работы, потребовало изучения целого спектра актуальных направлений, результаты которого изложены в представленной работе. Кратко рассмотрим эти направления, каждое из которых, в той или иной степени, рассматривается (затрагивается) в диссертационной работе.

В настоящее время существует множество работ в области гео-информационных систем. Эта тематика в настоящее время является довольно востребованной. Условием для развития этого направления служит широкое распространение систем глобального позиционирования (GPS), стандартизация доступа к ним на программном уровне (стандартизация средств запроса данных – программных интерфейсов) и широкое проникновение мобильных устройств (смартфонов). Здесь можно отметить работы российских и зарубежных ученых В.Я. Цветкова, А.Д. Иванникова, И.Н. Розенберга, A.S. Fotheringham, R. Johnston, Xiang Li, J. Townshend.

Онтологические вопросы и классификация GIS рассматриваются в работах Max J. Egenhofer, J. Malczewski, P. Fisher и других. Для мобильных устройств, которые и стали основными инструментами (источниками) создания гео-ориентированных запросов, понятие GIS практически повсеместно заменено контекстно-зависимым программированием (context aware в англоязычной литературе). Под контекстом принято понимать любые измеряемые (определяемые) характеристики окружения, которые могут быть добавлены к

местоположению. Иными словами – это местоположение вместе с некоторыми дополнительными характеристиками. Именно здесь использование понятия близости приносит наибольшие преимущества. По сравнению с просто цифровыми характеристиками (координатами) метрики близости несут больше информации. Мы можем одновременно определить нахождение клиента (пользователя сервиса) поблизости от некоторой географической точки, то есть, по сути, оценить координаты, а также подтвердить нахождение других объектов поблизости (что и будет являться примером контекста или контекстной информации). Вопросы контекстно-зависимых систем рассматриваются в работах B.Schilit, A.Dey, Gregory D. Abowd и многих других. Схожее по семантике направление в англоязычной литературе называется *Mobile and Ubiquitous Computing*. Необходимо отметить, что отечественные исследования в этих областях практически отсутствуют.

Мобильные вычисления тесно связаны (определяются этим) с обработкой данных сенсоров мобильных устройств. Обработка данных мобильных сенсоров, совместный анализ сенсорных данных (*sensor fusion*) обсуждается в работах R.Olfati-Saber, T. Choudhury, A. T. Campbell, P. Dourish. Это направление естественным образом связано с анализом данных, математической статистикой, теорией графов. Общих подходов, закрывающих все вопросы применения здесь нет, большинство основополагающих задач еще не решено. Проблемы и открытые вопросы есть, как на техническом, так и на методологическом уровнях.

Вопросы передачи данных (данных мобильных сенсоров, например) более разработаны (по сравнению с другими, ранее рассмотренными темами) в отечественной науке. На уровне математического аппарата здесь используется теория случайных процессов, теория массового обслуживания. В этой связи можно отметить вклад российских ученых А.Д. Харкевича, В.М. Вишневецкого, К.Е. Самуйлова, М.А. Шнепс-Шнеппе.

Вместе с тем необходимо отметить, что большинство работ, затрагивающих сетевые аспекты, никак не касались прикладного программирования. Имея в виду модель OSI (*Open Systems Interconnection*), практически всегда рассматривались и рассматриваются вопросы до транспортного уровня включительно. Очевидно, что прикладные аспекты крайне важны. Как пример можно привести грядущее внедрение 5G, где очевидность изменений в технологиях радиодоступа сети оставляет, тем не менее, открытым вопрос о новых важных приложениях (*killing application*). Настоящая работа посвящена именно системному программному обеспечению для создания прикладных сервисов, использующих информацию о местоположении, а также программным средствам для разработки таких сервисов и использует существующие сетевые механизмы “как есть”. Все предложенные в работе модели и алгоритмы касаются исключительно доступа на программном уровне к сетевым возможностям, разграничения доступа по уровням безопасности, но никак не затрагивают сами сетевые протоколы.

Настоящая диссертация базируется на работах автора, которые были одними из первых в области использования сетевой близости (сетевой пространственной близости - основной модели, рассматриваемой ниже) именно для создания распределенных информационных систем и сервисов. Это подтверждается многочисленными цитированиями работ, опубликованных автором по этой тематике. Можно также отметить, что патентный поиск Google показывает более 135 000 ссылок (после 2015 года), упоминающих сетевую близость (*network proximity*). Отметим, что сетевая пространственная близость (предложенная архитектура) в данной работе рассматривается как замена и дополнение для моделей, использующих гео-вычисления, и никак не пересекается с сетевой близостью (доступностью), рассматриваемой с точки зрения организации сетей или соединения устройств.

Диссертационная работа претендует на представление нового программного подхода (нового класса моделей распределенных вычислений) для создания сервисов (приложений) которые используют факт нахождения клиента (пользователя) в пространственной близости от

некоторой географически ограниченной области (сервисы, зависящие от местоположения). При этом для представления географической привязки не будут использоваться гео-вычисления и информация о гео-координатах пользователя не будет доступна поставщику услуг (сервису).

Первым приближением такого рода сервисов являются гео-информационные модели: поиск данных (услуги) в некоторой географически очерченной области (гео-решетка и т.д.). С этой точки зрения, предложенные подходы просто добавляют альтернативу измерению гео-координат. Основные отличия начинаются тогда, когда точки представления услуг (центры гео-решеток, если проводить параллели с гео-сервисами) появляются и исчезают динамически, а сами сервисы полностью недоступны вне заданных гео-решеток. Новый класс сервисов появляется также тогда, когда области предоставления сервисов (например, доступности данных и услуг) прямо привязаны к движущимся объектам. Например, это не окружность с некоторым радиусом вокруг неподвижного объекта (гео-точки с фиксированными координатами), а некоторая область вокруг движущегося объекта (автомобиля, железнодорожного вагона, человека и т.д.) или собственно движущийся объект (например, проверка нахождения в транспортном средстве). Другим новым моментом является то, что для оценки местоположения вместо пары гео-координат (пары чисел) используется определяемая конкретным сервисом (услугой) информация (структура данных), что позволяет определять и использовать разные метрики, а не только, например, евклидово расстояние.

Кратко, для рассмотрения следующих разделов, результаты работы могут быть представлены следующим образом. Диссертационная работа предлагает новую (не существовавшую ранее и не имеющую явных прототипов) программную архитектуру для сервисов, использующих информацию о местоположении. Предложенная архитектура заменяет классическую клиент-серверную модель для таких сервисов распределенной кибер-физической системой, где физическая часть реализуется посредством представления узлов беспроводных сетей. В рамках новой архитектуры сервисы доставляют свою информацию клиентам (клиентским компонентам сервисов в распределенных приложениях) используя механизмы представления узлов беспроводных сетей. Такая схема исключает необходимость для клиентов предоставлять провайдерам информацию о местоположении и не дает возможности отслеживать использование сервиса. Физически ограниченная область распространения сигнала (ограниченная область доступности представления узлов беспроводных сетей) обеспечивает локализацию сервисов (их доступность в ограниченной области). Новая архитектура допускает и новый класс сервисов, использующих информацию о местоположении. Этот новый класс может эмулировать традиционные гео-сервисы, а также поддерживать работу, как с подвижными объектами, так и с подвижными аналогами гео-решеток. К новым возможностям предложенных сервисов (класса сервисов) относится также возможность использования большего (по сравнению с классической моделью гео-сервисов) количества метрик для оценки местоположения, а также возможность использования транспортных механизмов кибер-физической системы.

Таким образом, исходя из вышесказанного, рассматриваемая область исследования находится на стыке ряда других направлений. Поэтому, в плане оценки существующего задела, здесь необходимо рассматривать такие научно-прикладные домены, как, например, онтологии гео-информационных систем (для определения возможностей отказа от использования гео-координат), нечеткую логику (для сравнения метрик), модели структур данных и средства их описания, процессы верификации и трансформации, схемы баз данных, беспроводные сети и модели узлов в беспроводных сетях, облачные вычисления.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются распределенные информационные системы (технологии/сервисы), использующие информацию о местоположении, а предметом исследования – концептуальные, абстрактные и программные

модели и методы представления и анализа данных в таких системах.

**Цели и задачи исследования.** Цель работы состоит в разработке и исследовании новых программных моделей и методов построения нового класса распределенных информационных систем, использующих факт близкого взаимного расположения потребителей и производителей (источников) данных (услуг) или объектов их представляющих и базирующихся на альтернативных гео-вычислениям подходах.

Для достижения цели работы необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести исследование существующих моделей и методов определения местоположения объектов в гео-информационных системах (системах с определением местоположения объектов) с целью выявления класса распределенных систем, сервисов и приложений, использующих понятие близости объектов и не требующих непосредственного вычисления гео-координат или иных форм работы с гео-координатами.
2. Предложить развитие концепции сетевой близости, позволяющей расширить класс использующих это понятие распределенных систем и сервисов, по сравнению с мобильными сервисами и приложениями, основанными на непосредственном вычислении координат местоположения объектов.
3. Провести исследование преимуществ класса распределенных систем и сервисов сетевой близости по сравнению с классом мобильных сервисов и приложений с гео-вычислениями координат местоположения объектов.
4. Разработать новый подход к программному представлению моделей распределенных систем и сервисов сетевой близости. Данный подход характеризуется введением единого логического представления узлов беспроводных сетей, как сенсоров, осуществляющих рассылку собственной идентификационной информации. Такая информация может быть программно изменена, а ее получение запрашивающим узлом (клиентом) на программном уровне и является фиксацией близости. При этом трансляция идентификации, используемая для определения доступности (определения присутствия) узла беспроводной сети, становится одновременно и формой передачи данных между мобильными устройствами без организации соединения. Это позволяет, в частности, создавать сервисы, использующие информацию о местоположении, без поддерживающей инфраструктуры.
5. Разработать комплекс новых моделей, методов, алгоритмов, программно-реализуемых механизмов, обеспечивающих создание и функционирование класса распределенных систем и сервисов сетевой близости в беспроводных сетях и на мобильных платформах в рамках предложенного подхода.
6. Провести исследование существующего системного программного обеспечения, реализующего возможности доступа к сетевой информации, в первую очередь, с использованием веб-технологий; выработать предложения по развитию этого направления в части поддержки систем, использующих предложенную модель сетевой близости.
7. Спроектировать и реализовать комплекс инструментальных средств поддержки процесса создания рассматриваемого класса распределенных систем и сервисов в беспроводных сетях и на мобильных платформах.
8. Спроектировать и создать ряд новых проблемно-ориентированных распределенных систем и сервисов, использующих предложенную модель сетевой близости и провести их апробацию на практике.
9. Разработать предложения по развитию международной системы стандартов, касающихся измерения и использования сетевой близости, с целью формирования методической основы создания соответствующего класса распределенных систем и сервисов, в частности, использующих контекстно-зависимые вычисления, на принципах открытости и интероперабельности.

## Научная новизна

1. На основе проведенного анализа сущностей и отношений существующих геоинформационных сервисов (моделей) определены возможности и границы применимости понятия пространственной близости в сервисах, использующих информацию о местоположении. Разработана концептуальная модель для систем сетевой близости и определены области применения основанных на ней сервисов.

2. Предложена новая кибер-физическая модель (распределенная система) для представления (описания) географической привязки объектов (их виртуальных представлений) без использования гео-координат – модель сетевой близости. В рамках введенной архитектуры определен целостный подход к созданию нового класса распределенных систем и сервисов, поддерживающих контекстно-зависимые вычисления, реализуемые без использования гео-координат. Предложена, исследована и реализована программная архитектура системы получения зависимой от местоположения информации об объектах (их представлениях) без предварительного раскрытия информации о местоположении клиента.

3. Предложен набор базовых архитектур, алгоритмов и методов для организации распределенной обработки в рамках предложенной модели сетевой близости, являющийся основой для создания новых сервисов, использующих информацию о местоположении и расширяющих традиционно используемые подходы к реализации таких сервисов.

4. Предложена программная модель для сервисов ProSe (Proximity Services в спецификации 3GPP), исследована и описана организация взаимодействия программ для поддержки сервисов ProSe. Предложена операционная модель разработки распределенных систем и сервисов на основе информации о близости в рамках подхода 3GPP.

5. Разработана и представлена таксономия сервисов на основе сетевой пространственной близости. Представлены базовые модели сервисов (их архитектура и алгоритмы), а также референсные реализации.

6. Предложены и исследованы новые подходы к непосредственной обработке информации о сетевом окружении в браузере. Предложен, исследован и реализован физический браузер – новая система веб-программирования (новая модель работы с веб-контентом), позволяющая использовать информацию о сетевом окружении непосредственно в веб-страницах. Предложены расширения для веб-интерфейсов работы с беспроводными сетями, направленные на поддержку моделей сетевой близости.

Таким образом, в диссертационной работе предложена, исследована и реализована новая программная архитектура для разработки и сопровождения распределенных систем и сервисов, использующих информацию о местоположении, которая расширяет (или заменяет) традиционные подходы к созданию таких приложений. Основными характеристиками данной архитектуры являются:

- новый метод определения пространственной близости между сущностями, основанный на анализе доступности узлов беспроводных сетей и явно использующий ограниченность распространения и функциональность сигнала;
- новая модель использования информации о доступности беспроводных сетей (узлов), основанная на кастомизации данных, которые беспроводные сети используют для своего представления (рекламы); особенностью предложенной модели является то, что узлы беспроводных сетей рассматриваются как сенсоры и информация от таких сенсоров (их динамические характеристики) доступна по чтению в режиме без организации соединения;

- новый метод хранения информации о доступности беспроводных узлов, отличающийся от известных тем, что в нем учитывается разнородная информация обо всех доступных беспроводных узлах;
- новая модель работы с беспроводными сетями на мобильных устройствах, отличающаяся от известных тем, что разделяет непосредственное взаимодействие (соединения и передачу данных) и этапы раскрытия (поиска) беспроводных узлов;
- новая модель обработки данных о накопленных сигнатурах беспроводных узлов на основе моделей нечеткой логики, отличающаяся от известных тем, что оперирует разнородным набором признаков;
- отсутствие необходимости предоставления в какой-либо форме поставщику услуг информации о местоположении пользователя услуги; полное сокрытие информации об использовании услуги от ее поставщика (сервиса).

В работе представлены модели и реализации сервисов, использующих предложенный подход, а также программные средства для их реализации.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Исследован онтологический базис геоинформатики, обоснована актуальность и разработаны концепция, методика и технология создания распределенных мобильных систем и сервисов нового класса – систем на основе сетевой пространственной близости. Определен целостный подход к интерпретации этого понятия как на уровне физического, так и виртуального взаимодействия программных компонент и, как следствие к созданию нового класса распределенных систем и сервисов, поддерживающих контекстно-зависимые вычислительные модели, реализуемые без использования гео-вычислений.

На основе проведенного анализа разработана новая платформа (программная архитектура) для реализации сервисов с использованием информации о местоположения, которые работают без определения гео-координат и гео-вычислений, что особенно важно, когда гео-позиционные сервисы недоступны (например, помещения, туннели, шахты, движущиеся сущности), затруднены в использовании, или не обеспечивают требуемую точность вычисления координат. Предложенный подход полностью исключает необходимость для пользователей сервиса делиться информацией о своем местоположении с провайдером услуг, что полностью закрывает проблемы с приватностью, присущие классическим архитектурам (моделям реализации) сервисов, использующих информацию о местоположении. Новая платформа позволила предложить новые модели сервисов, прежде всего, ориентированных на использование в помещениях. Эти сервисы могут быть использованы для различных применений, например, в рамках приложений для Интернета Вещей и Умного города.

Важным теоретическим результатом является определение фактора близости на основе информации о доступных беспроводных сетях. Предложенный подход отличается от известных тем, что использует методы нечеткой логики для анализа всех доступных характеристик сетей.

К теоретическим результатам относится разработка таксономии систем сетевой близости в рамках предложенной архитектуры, содержащей 5 классов систем и сервисов, для которых исследованы области применения, разработаны модели и принципы реализации.

Использование устанавливаемых программно сообщений идентификации (представления) узлов беспроводных сетей для создания пользовательских информационных сервисов без организации непосредственного соединения мобильных устройств представляет собой важный вклад в исследования мобильных вычислений. Модели сетевой пространственной близости, предложенные в работе, вносят важный вклад в исследования контекстно-зависимых сервисов.

Практическая ценность работы состоит в разработке модели, методов, алгоритмов и программных инструментов для новой кибер-физической архитектуры и организации взаимодействия программ в рамках предложенной модели. К практическим результатам относится создание научно-обоснованных рекомендаций по проектированию и программной разработке мобильных сервисов использующих информацию о местоположении, которые работают без доступа к системам GPS или иным средствам позиционирования, без раскрытия информации о местоположении клиента, поддерживают работу с подвижными объектами и могут функционировать без использования инфраструктуры.

К практическим результатам работы относится также создание модельных реализаций распределенных систем и сервисов, использующих предложенную в работе модель сетевой пространственной близости. Эти реализации могут быть использованы непосредственно или как прототипы (база) для собственных решений. К практическим результатам работы относится и создание средств разработки и руководств по проектированию и программной разработке нового класса мобильных сервисов, использующих информацию о местоположении в веб-окружении.

Научная значимость и востребованность результатов диссертации подтверждаются положительным опытом создания и практического использования программных продуктов сторонними разработчиками в течение последних 10 лет, цитированием и переиспользованием полученных автором результатов во множестве работ и публикаций.

**Достоверность и обоснованность результатов работы.** Достоверность полученных результатов подтверждается использованием в работе для получения результатов только стандартных (стандартизованных) элементов ИТ-систем (сетевых протоколов, средств доступа, хранилищ данных и т.п.), корректностью разработанных моделей, публикациями в рецензируемых изданиях, свидетельствами о регистрации программ ЭВМ и актами о внедрении, практически подтверждающими работоспособность систем. Основные результаты диссертации прошли успешную апробацию на множестве международных конференций. Представленные в работе модели нашли независимое подтверждение в разработках ведущих компаний (Google, Apple и др.).

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены (в том числе, использовались другими разработчиками) в Центре высокоскоростных транспортных систем РУТ при разработке рекомендательной системы (Smart Mobility) для транспорта; в разработках ООО ЦКБ-Абаванет мобильных сервисов в рамках европейских проектов (Умный город, Интернет вещей - Вентспилс); в МГУ имени М.В. Ломоносова при выполнении научно-исследовательской работы по теме “Информационно-когнитивные технологии, сервисы и ресурсы распределенных информационно-вычислительных инфраструктур в науке, образовании, социуме”; в МГУ имени М.В. Ломоносова в форме более 20 мобильных сервисов, созданных в рамках выпускных работ и магистерских диссертаций; в Российском Университете Транспорта (МИИТ) при чтении лекций и проведении практических занятий.

**Методы исследования.** Для решения задач, поставленных в диссертационной работе, использовались программные интерфейсы мобильных операционных систем, модели, методы, алгоритмы, языки программирования и другие программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем, системы управления базами данных, а также модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для распределенной обработки данных.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Модель сетевой пространственной близости – использование области распространения сигналов беспроводных сетей как метрики пространственной близости и описание ее

возможных областей применения. Обоснование возможностей применения (использования) программного вычисления близости вместо гео-вычислений в сервисах, использующих информацию о местоположении. Использование подходов на основе нечеткой логики в анализе информации о сетевом окружении. Системы программирования на основе расширения Fuzzy Control Language (FCL - IEC 61131-7) для анализа данных в системах, основанных на модели сетевой пространственной близости.

2. Использование оригинальной кибер-физической системы для представления географической привязки объектов (их виртуальных представлений) без использования гео-координат. Новая программная модель и программная инфраструктура: организация сбора, хранения и обработки информации о сетевом окружении. Схема организации взаимодействия программ с использованием идентификационного представления беспроводных узлов в приложениях, использующих архитектуру на основе модели сетевой близости.

3. Новая операционная модель использования сервисов близости в ProSe. Практические аспекты создания и использования (поддержки) сервисов на основе сетевой близости в модели 3GPP ProSe. Организация взаимодействия программ в рамках сервисов 3GPP ProSe.

4. Новая организация распределенной обработки данных: сервисы с использованием информации о местоположении без уведомления о местоположении пользователей сервиса и возможности разработки и эксплуатации сервисов без использования инфраструктурной поддержки. Базовые модели (архитектура, алгоритмы и методы) для организации распределенной обработки в рамках модели сетевой близости. Физический веб для расширения социальных сетей, сетевая версия QR-кодов, ретрансляция сообщений. Программная архитектура контекстно-зависимых систем с использованием понятия сетевой близости

5. Системы программирования для архитектуры на базе сетевой близости. Непосредственная обработка информации о сетевом окружении в браузере. Физический браузер - веб-браузер, использующий информацию о реальном (физическом) сетевом окружении, как новая модель работы с веб-контентом, допускающая использование информации о сетевом окружении при обработке запросов. Расширения для систем веб-программирования, направленные на поддержку моделей сетевой близости.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих конгрессах, конференциях и семинарах: The 27th Conference of Open Innovations Association FRUCT 2021, DCCN-2020, The 26th Conference of Open Innovations Association FRUCT 2020, IV Международная научная конференция "Конвергентные когнитивно-информационные технологии" 2019, DCCN 2019, International Workshop on Mobile Applications - MobiApps 2019, DAMDID/RCDL 2018, DISTRIBUTED COMPUTER AND COMMUNICATION NETWORKS (DCCN-2018), NEW2AN/ruSMART 2018, International conference on sustainable cities – 2018, The 22 nd Conference of Open Innovations Association FRUCT, Ломоносовские чтения-2018, II Международная научная конференция «Конвергентные когнитивно-информационные технологии», Москва, Россия, 24-26 ноября 2017, II Международная научная конференция «Конвергентные когнитивно-информационные технологии», Москва, Россия, 24-26 ноября 2017, Тихоновские Чтения 23-27 октября 2017 года, 20th International Conference Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2017), IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON 5G NETWORKS FOR PUBLIC SAFETY AND DISASTER MANAGEMENT, The 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT and ISPIT 2017 seminar, Санкт-Петербург, Россия, 3-7 апреля 2017, Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN—2016), Россия, 21-25 ноября 2016, RTUWO 2016 Advances in Wireless and Optical Communications, Латвия, 3-4 ноября 2016, ICUMT 2016 – The 8th International

Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, Lisbon, Португалия, 18-20 октября, XVIII Международная научная конференция «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (“Data Analytics and Management in Data Intensive Domains”) (DAMDID/RCDL'2016), Москва, Россия, 11-14 октября 2016, Sibcon 2016, Москва, ВШЭ, Россия, 12-14 мая 2016, 18th FRUCT Conference, Санкт-Петербург, Россия, 18-22 апреля 2016, RTUWO 2015 Advances in Wireless and Optical Communications, Рига, Латвия, 5-6 ноября 2015, DISTRIBUTED COMPUTER AND COMMUNICATION NETWORKS (DCCN-2015): CONTROL, COMPUTATION, COMMUNICATIONS., Institute of control Science RAS, Россия, 19-22 октября 2015, DAMDID/RCDL'2015 (Data Analytics and Management in Data Intensive Domains), Обнинск, Россия, 13-16 октября 2015, 14th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN/RuSmart, 2014, Information Access in Smart Cities i-ASC 2014, Amsterdam, 2014, Ломоносовские чтения, 2014, IX Международная научно-практическая конференция "Современные информационные технологии и ИТ-образование", Москва, Россия, 14-16 ноября 2014, Научная конференция "Тихоновские чтения 2014" , факультет ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, 27-31 октября 2014, Ломоносовские чтения – 2014, 13th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN/RuSmart, St. Petersburg, 2013, 6-th International Conference on Applied Information and Communication Technologies (AICT2013), Jelgava, Latvia, Латвия, 2013, Тихоновские чтения – 2013, VII Международная научно-практическая конференция Современные информационные технологии и ИТ-образование, Москва, Россия, 2012, 12th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN/RuSmart, St. Petersburg, 2012, ICDT 2012, The Seventh International Conference on Digital Telecommunications, Chamonix, France, Франция, 2012, SMART 2012, The First International Conference on Smart Systems, Devices and Technologies, Stuttgart, Germany, Германия, 2012, Ломоносовские чтения – 2012 и др.

**Публикации.** Основные результаты диссертации изложены в 74 работах, соответствующих требованиям Положения ОИЯИ о присуждении ученых степеней. Из них 53 работы проиндексированы в Scopus и/или Web of Science.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационная работа выполнена по специальности 05.13.11 - математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. В работе представлена новая программная архитектура, которая заменяет клиент-серверную модель классических гео-сервисов. Разработанная модель представляет собой распределенную систему, относящуюся к классу кибер-физических систем. В работе рассматриваются организация взаимодействия программ и программных систем в рамках предложенной модели, модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для распределенной обработки данных, а также системы программирования – средства разработки для предложенной архитектуры. Это соответствует следующим пунктам паспорта специальности: 2, 3, 8, 9.

**Личный вклад автора.** Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, каждая из которых содержит свое заключение, общего заключения и приложения. Содержание работы изложено на 378 страницах, список использованных источников составляет 386 наименований, работа включает 82 рисунка.

## **Основное содержание работы**

**Введение.** Во введении обоснована актуальность темы диссертации, проанализированы текущие исследования в выбранной предметной области, определены цели и задачи исследования. В этом разделе представлена научная новизна результатов диссертации и

положения, выносимые на защиту. Далее приведены сведения об апробации результатов работы и ее достоверности, соответствии диссертации паспорту специальности и личном участии автора в получении ее результатов. Приводится краткое содержание работы по главам. Изложение по главам выстроено в соответствии со следующей логикой: обоснование возможности замены гео-координат в сервисах, измерение близости на мобильных устройствах и архитектура новой системы, анализ proximity services в стандартах, таксономия сервисов, средства разработки и другие применения предложенной архитектуры.

**В первой главе** проводится анализ того, насколько понятие “близости” применимо в геоинформационных системах и в сервисах, использующих информацию о местоположении. По факту (и это подтверждается статистикой сервисов), в большинстве случаев в таких сервисах пользователи ищут какую-то информацию или поблизости от текущего местоположения, или поблизости от некоторой другой точки (возможно, будущего или планируемого местоположения).

Понятие близости (в той трактовке, как оно рассматривается в данной работе) относится к оценке расстояния. Это расстояние, которое (в рамках конкретного сервиса, процесса, задачи) будет считаться “близким”. Соответственно, сервисы, связанные с близостью, относят к классу сервисов, связанных с определением местоположения (location based services в англоязычной литературе). Местоположение можно определять глобально, определив координаты объекта в подходящей системе (например, WGS-84), или описав местоположение относительно каких-то других объектов. В академических статьях определяются разные типы определения (описания) местоположения. В частности:

Пространственное (spatial) – другое название для этого термина – позиция. Это некоторая точка в пространстве. Географические понятия широта и долгота, например, попадают в эту категорию. Такого рода данные используются, в первую очередь, в операциях связанных с межмашинным взаимодействием.

Описательное (descriptive) – описание какого-то объекта (в первую очередь географического). Что-то находится в городе, в конкретном здании, в какой-то аудитории. Очевидно, что это наиболее предпочтительный способ для конечных пользователей. Но основой для его построения (как и любого картографирования) служит пространственное местоположение.

Сетевое (network) – здесь местоположение описывается какими-то сетевыми характеристиками. Уровень детализации может быть самый разный. IP адрес дает одну информацию о местоположении, сота телекоммуникационного оператора дает другую информацию.

Отметим, что из указанных выше описаний местоположения два (описательное и сетевое) точно соотносятся с понятием близости. Принадлежность к какой-либо географической области (району) – это близость к его центру (тому, что считается центром). Это то, что касается описательного определения. Для сетевого подхода характерна неточность в определении места. IP адрес относится к какой-то географической области, сота мобильного оператора обслуживает также какую-то область (сотни метров, например). Поэтому здесь, фактически, речь идет опять-таки о близости к какому-то центру.

Согласно классическому определению, услуги на основе определения местоположения (сервисы на основе определения местоположения) – это ИТ-сервисы для предоставления информации, которая была получена (выбрана, отфильтрована или создана динамически) с учетом текущего местоположения пользователей (мобильных объектов) или местоположений других лиц (мобильных объектов). В диссертационной работе используется расширенная форма для этого определения. С учетом местоположения может не только предоставляться информация, но, например, могут выполняться какие-либо действия (например, регистрация в каких-либо логах, обусловленная местоположением). Выключение звука на устройстве, при нахождении в определенной области – это также действие, которое может зависеть от близости к одному или нескольким другим устройствам. Иными словами, зависящими от

местоположения могут быть не только ответы на запросы, но и какие-то проактивные действия. Также наличие информации о местоположении может открывать (или наоборот, закрывать) доступ к каким-то данным (сервисам, услугам, действиям). Соответственно, пользовательский интерфейс может как-то меняться (адаптироваться) в зависимости от местоположения.

Гео-информационная система (географическая информационная система, ГИС, англоязычная аббревиатура - GIS) классически определяется как система сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. В настоящее время понятие гео-информационной системы часто используется в более широком смысле — как инструмента (программного продукта), позволяющего пользователям искать, анализировать и редактировать как цифровую карту местности, так и дополнительную информацию об объектах. А вот эти объекты уже не обязательно какие-то географические места (POI – point of interest). ГИС в современных работах рассматриваются именно как интеграционные системы.

Чтобы оценить степень (границы) применимости использования понятия близости в информационных системах (сервисах), связанных с определением местоположения (гео-информационным сервисам, как они трактуются в настоящей работе) необходимо оценить их возможную долю в типичных операциях (функциях), которые реализуются в подобных системах. Для этого нужно обратиться к наборам типичных операций, которые выполняются такими сервисами (описать онтологии такого рода систем).

Онтологический анализ сервисов, связанных с определением местоположения, проводится во многих работах. Как и во многих других направлениях, связанных с онтологиями, здесь нет единого стандарта, хотя важность выработки единых понятий признается всеми. Геопространственная семантика - это обширная область, охватывающая множество областей исследований. Геопространственная семантика обычно сосредотачивается на понимании значения географических объектов и их аналогов в когнитивном и цифровом мире, а также облегчает проектирование ГИС, обеспечивая как совместимость распределенных систем, так единые пользовательские интерфейсы и более интеллектуальное взаимодействие с пользователем.

Одним из драйверов онтологических исследований в геопространственной семантике является появление большого количества неструктурированных текстовых данных, а также развитие методов обработки естественного языка. Это однозначное свидетельство в пользу использования понятия близости, поскольку оценки местоположения в такого рода данных чаще всего носят нечеткий характер, указание прямых координат просто невозможно.

В академической литературе выделяются разные группы геопространственных сервисов для построения онтологий. Например: цифровые географические справочники, поиск географической информации, геопространственная семантическая сеть, местная семантика, когнитивные географические понятия. Все они рассматриваются в работе с точки зрения обязательности прямой работы с гео-координатами. Например, для направления поиска (в англоязычной литературе Geographic Information Retrieval), которое описывает получение географической (гео-привязанной) информации по пользовательским запросам, в литературе даются уже сейчас цифры в 15-20% процентов запросов, включающих только наименования. Такие запросы могут использовать как структурированные данные (например, базы данных), так и неструктурированные данные (тексты). Для нашего рассмотрения важен факт того, что географические координаты не будут присутствовать в запросе. Количество подобных запросов будет только увеличиваться, поскольку в “определение” новых мест основной вклад вносят социальные сети, с их простыми способами присваивать наименования каким-то

выделенным малым областям (это так называемые *checkin* – отметки о местоположении). Ключевым моментом, на который хотелось бы обратить здесь внимание, является тот факт, что географические координаты таких мест вообще не важны. Они используются только для определения близости пользователей мобильных сетей. Главный вопрос – насколько близки пользователи (которые работают через мобильное приложение, то есть, по сути – мобильные абоненты) к данному месту. Это означает, что если мы можем непосредственно оценивать близость мобильных абонентов, то и регистрация таких мест может обойтись без использования гео-координат.

Следующей областью, которую нужно рассмотреть в связи с гео-онтологиями является семантический веб (Semantic Web) и его расширения (гео-расширения, в первую очередь). В англоязычной литературе это обычно описывается термином *Geospatial Semantic Web* – геопространственный семантический веб. Рекомендацией W3C для работы с семантическими данными является язык SPARQL. Для поддержки работы с гео-данными есть расширения, поддерживающие нечеткую логику для этого языка, например, *Fuzzy RDF*. Идея расширения состоит в том, что для триплета (факта) можно задавать степень соответствия. А далее будет работать обычная схема нечеткого вывода. Это, в свою очередь, приводит к заключению о том, что “близость” в географическом смысле также может быть непосредственно описана в RDF (представлена в семантическом вебе).

Наконец, *Open Geospatial Consortium* предложил специальное расширение для SPARQL, предназначенное для работы с гео-данными – *GeoSPARQL*. Это расширение позволяет описывать географические объекты (геометрию) и задавать топологические отношения между ними: *equals, disjoint, intersects, touches, except, within, contains, overlaps, crosses*. Появилась прямая поддержка запросов, оперирующих с пространственной близостью (встроенная функция *geof:nearby*)

Для *GeoSPARQL* также может быть введено нечеткое расширение. Например, с точки зрения операций с близостью, можно добавить вычисление расстояний не только в количественной, но и в качественной мере. Это означает, например, введение нечетких функций для указанных выше примеров типа “близко” и “далеко” (*geof:near, geof:far*). В целом, *Fuzzy GeoSpatial* – довольно активно разрабатываемая область. Нечеткое понятие близости между двумя гео-объектами  $A$  и  $B$ , каждый из которых описывает область со своим диаметром  $|A|$  и  $|B|$ , а  $|xy|$  есть расстояние между двумя точками  $x$  и  $y$ , может быть введено, например, так

Пусть  $d(A, B) = \inf_{x \in A, y \in B} |xy|$  – дистанция между  $A$  и  $B$ . Тогда:

$$R(A, B) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{d(A, B)}{|B|n} \right\} \quad (2)$$

где  $n$  – некоторое целое число. Если дистанция равна 0, то  $R$  равен 1, иначе – какая-то доля от 1, показывающая степень близости. Коэффициент  $n$  показывает, во сколько раз дистанция должна быть больше диаметра, чтобы степень близости стала равна 0. Простая физическая интерпретация погрешности (неточности) в измерениях. Нечеткая логика используется именно потому, что пространственная близость – это, фактически, некоторое размывание расстояния. Все, внутри, некоторого заданного предела считается одинаковым (близким). Соответственно, с формальной точки зрения, возможность использования близости в *GeoSPARQL*, например, это возможность во всех операторах, прямо использующих гео-координаты заменить их на некоторую область. Вместо некоторой координаты  $X$  у нас будет присутствовать область  $X \pm \delta_x$  – близко от  $X$ . Вообще, возможность замены (переписывания) правил – это часть спецификации *GeoSPARQL*. Вот как там выглядит функция *nearby* (правило для ее интерпретации): берутся геометрические характеристики объектов и проверяется, что расстояние между ними меньше некоторого предела.

```
?x geo: nearby ?y :- x? geom? g1 y? geom? g2
      filter(distance(?g1, ?g2) <200)
```

И, соответственно, в запросе, где оперируют конкретные объекты: `?shop geo:nearby ?street` функция `geo:nearby` будет заменена по указанному выше правилу. Из этого следует, что возможность переписывания примитивов GeoSPARQL с заменой координат на некоторую область без потери их смысла – это и есть возможность использования пространственной близости для гео-запросов. Практически, примитив `geo:Point`, определяющий точку, превращается в `geo:Polygon`. Отсюда и проистекает интерес именно к нечеткой логике, поскольку, например, очевидно, что примитив `geo:sfWithin` (проверка нахождения в области) превращается в оценку такого нахождения при размытых границах этой области.

Соответственно, следующий момент, который описан в этой главе - это описание близости в нечеткой логике и инструменты работы с такими описаниями. В качестве базового инструмента выбран язык Fuzzy Control Language (FCL, стандарт IEC 61131-7). Показано, как может выглядеть оценка близости без использования гео-координат. В работе также представлено портирование имеющейся реализации с открытым кодом, призванное облегчить использование приложений на этом языке в веб-программировании. В частности, определено JSON представление для FCL.

**Во второй главе** речь идет собственно об измерении близости. Если мы собираемся ввести новую метрику на замену определения координат местоположения, то она, очевидно, должна удовлетворять некоторому набору требований. Что здесь может быть принято во внимание, с учетом неминуемого сравнения новой системы с существующими измерениями координат с использованием GPS:

- Измерения должны быть доступны на подавляющем большинстве мобильных устройств (в идеале – на всех устройствах). Именно повсеместная доступность GPS обеспечила популярность сервисов с использованием информации о местоположении.
- Должна быть обеспечена возможность получения данных (измерения близости) без выполнения специальных действий пользователем. Измерения должны осуществляться в асинхронном режиме. Определение близости (как и измерение гео-координат) будет частью какого-то пользовательского сервиса и, соответственно, должно встраиваться в сторонние пользовательские интерфейсы. Это означает, что метод измерения не должен быть разрушительным (disruptive) для внешнего (объемлющего) интерфейса. Трудно представить, например, реальное применение, если для измерения необходимо прерывать все процессы, и в модальном режиме ожидать получение каких-либо данных. Кроме того, такие характеристики (в первую очередь, отсутствие модальности и отсутствие специальных действий пользователя) необходимы для использования этого метода в M2M (IoT) приложениях.
- Результаты измерения, выполненные с помощью различных мобильных устройств в одинаковых условиях должны если не полностью совпадать (идеальный вариант), то, по крайней мере, быть сравнимыми.
- Должен быть некоторый стандартный набор API (Application Program Interfaces), доступный на разных платформах.
- Этот набор API должен быть удобным для разработчиков. Общая идея здесь почти всегда одна и та же – это должно сокращать время на разработку.

В работе были рассмотрены несколько возможных альтернатив. Например, встроенный сенсор близости, присутствующий на всех (практически) телефонах. Он не удовлетворяет, по крайней мере, двум из перечисленных выше требований - для его использования требуется специальное положение мобильного устройства, а в силу разных физических принципов реализации измерения могут различаться. NFC (беспроводная технология Near-field communication) имеет очень ограниченный радиус действия (только специальные приложения) и также, фактически, требует специальных действий (поднесение к считывателю). Определение местоположения

мобильного телефона по замерам, например, магнитного поля, акустическим или световым характеристикам всегда опирается на некоторую исходную информацию о распределении соответствующих характеристик в данном помещении (иными словами, базируется на предварительной “разметке” помещения). Именно этап предварительной разметки является самым “слабым” моментом сервисов. В работе речь идет о публичных сервисах, которые могут создаваться сторонними разработчиками. Именно это есть массовая категория сервисов. В большинстве случаев доступ к проведению каких-либо измерений на чужих площадках будет закрыт для сторонних проектировщиков. Другая проблема с “разметкой” помещений состоит в том, что ее необходимо, в большинстве случаев, периодически обновлять. И здесь, помимо доступа, появляются еще и экономические проблемы – возрастает стоимость сопровождения (поддержки) сервиса.

Другой важный момент, который необходимо отметить, это то, что все указанные выше подходы решают задачу позиционирования. Соответственно, для того, чтобы перейти к определению близости, нам необходимо позиционирование других объектов (относительно которых мы хотим определить близость), а также какой-то общий посредник (сервер), где будут сравниваться местоположения.

Отдельно необходимо отметить использование камер мобильных телефонов. Вычислительные мощности пользовательских устройств позволяют обрабатывать изображения (видео-данные) непосредственно на телефонах. Соответственно, распознавание объектов на изображениях (в видео-потоке) также может быть увязано с определением близости (по крайней мере, относительно распознанных объектов). Существует несколько причин, почему это направление не рассматривается в данной работе. Во-первых, использование камеры мобильного телефона в данном случае предполагает специальное положение мобильного телефона. Иными словами, это то, что в требованиях выше определялось как блокирующее действие для стороннего сервиса. Мобильный абонент должен прервать текущую работу (текущее бездействие) и заняться наведением камеры мобильного телефона. Опять таки, если мы говорим о робототехнической системе с камерами, установленными по периметру – это одна ситуация, а для мобильного пользователя с необходимостью специального наведения камеры – совершенно другая ситуация в плане удобства использования. Во-вторых, даже если мы распознаем объект на изображении (в видео-потоке) и оценим расстояние до него как близкое, мы все равно не сможем определить какие-либо характеристики этого объекта, кроме тех, которые представлены визуально.

В итоге, для определения факта близости в диссертации было предложено рассматривать (трактовать) беспроводные интерфейсы мобильного телефона как сенсоры. Измерения, которые могут быть здесь получены – это наличие каких-то других сетей (узлов) и, возможно, какие-то характеристики этих сетей. Распространение сигналов беспроводных сетей физически ограничено. Соответственно, возможность приема таких сигналов и есть свидетельство близости к их источнику. И это измеряемая характеристика, которая может быть получена на всех мобильных устройствах. Факт доступности, например, конкретной Wi-Fi сети на мобильном устройстве означает близость устройства к соответствующей точке доступа. Факт видимости (определения) точки Bluetooth (например, тега Bluetooth Low Energy) означает близость устройства к тегу. И так далее – мобильное устройство находится в зоне действия передатчика.

При этом принципиально важными являются, по крайней мере, два момента. Мы не пытаемся ни в какой форме определить местоположение самого мобильного устройства по факту доступности других сетей. В этом состоит отличие от существующих подходов, которые пытаются локализовать местоположение мобильного устройства по сигналам беспроводных сетей. Такие подходы базируются на том, что нам известно местоположение опорных объектов этих сетей (например, точек доступа Wi-Fi) и есть какая-то разметка местности (радиокарта).

Эта карта может готовиться в офлайн-режиме или же собираться в процессе работы (так называемый SLAM) – это не меняет принципиальной картины. При этом для достижения точности измерений необходимо повышать и плотность размещения передатчиков. Соответственно, гораздо проще ориентироваться на физические ограничения самих сетей. Например, ориентироваться на так называемое Bluetooth расстояние или, соответственно, Wi-Fi расстояние.

Близость в семантическом анализе представляется в разных аспектах. Наиболее часто используемая градация – это три элемента: *Proximity := Spatial | Temporal | Thematic*. Предложенная модель позволяет описывать близость в пространственном смысле (например, доступность одинаковых сетевых узлов для двух сравниваемых мобильных устройств подразумевает пространственную близость этих мобильных устройств), во временном аспекте (время пребывания в зоне доступности одного сетевого узла), а также и в тематическом (тематика может быть представлена идентификацией беспроводного узла) – то есть так, как это и принято в гео-пространственном семантическом анализе.

Кроме того, определение близости отличается от позиционирования (навигации). При определении близости мы не пытаемся дать ответ на вопрос “куда идти, или как добраться”. Неявно предполагается, что понятие “близко” дает ответы на эти вопросы.

Отказ от локализации означает, что в предлагаемой модели нет и никаких требований к определению местоположения опорных сетей (узлов) - узлов, по отношению к которым и определяется близость. А это, в свою очередь, означает, что такие “опорные” узлы могут быть созданы динамически (программно), со специальной целью быть определителями (триггерами) в сервисах, основанных на использовании близости. Собственно сетевые возможности для таких “опорных” узлов просто не предполагаются. Использование параметров беспроводных сетей для локализации (определения местоположения) сейчас связано, в первую очередь, с тем, что в алгоритмах используются стационарные сетевые объекты (например, предустановленные точки доступа) с известным местоположением. Если же нет требований к определению местоположения таких точек, то возможно использование произвольных беспроводных узлов.

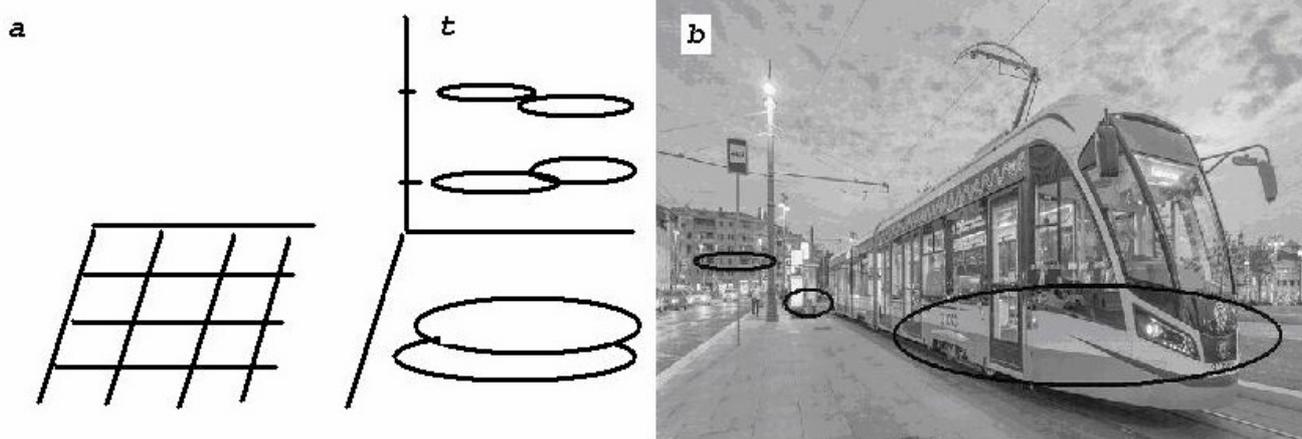


Рисунок 1. Статические и виртуальные гео-решетки (a) и Умная мобильность (b).

Иллюстративно, пример использования новой архитектуры сервисов представлен на рисунке 1b, представляющем пример информационной поддержки для системы Умной мобильности (рекомендательная система на транспорте). Вместо статической гео-решетки (рисунок 1a) здесь используются динамические области, определяемые совокупностью доступных сигналов беспроводных узлов. Эти динамические области могут изменяться во времени. При этом

определение положения (близости) относительно подвижного объекта (транспортное средство), неподвижного объекта (здание, элемент инфраструктуры) производится единообразно, независимо от типа объекта. В такой модели могут быть использованы как существующие беспроводные узлы (например, существующая Wi-Fi точка доступа в транспортном средстве), так и динамически создаваемые беспроводные узлы, например, непосредственно на мобильных устройствах. Именно возможность использования динамически создаваемых узлов без каких-либо требований к информации об их истинном географическом положении позволяет представлять виртуальные гео-решетки в произвольном месте, там, где необходимо предоставление услуг. Очевидно, что для подвижных объектов при этом зона предоставления услуг “перемещается” вместе с объектом.

Формально новая архитектура для сервисов, основанных на информации о местоположении, может быть представлена следующим образом:

В классической модели сервисов с использованием информации о местоположении централизованно хранится информация (записи  $R_i$ ) о данных (действиях) в привязке к гео-координатам, и по заданной паре гео-координат может быть подобран набор записей. Для подбора подходящих записей используется эвклидово расстояние:

$$\{ \langle lat_i, lng_i \rangle, R_i \} \quad (3)$$

$$\varphi (lat, lng) \rightarrow \bar{R}$$

Отказ от использования гео-координат приводит к тому, что записи становятся привязанными к сетевым отпечаткам (network fingerprint – набор характеристик доступных сетевых узлов  $N$ ), а клиент вместо координат для получения набора записей передает информацию о сетевом окружении. В целом, это соответствует подходу spatial cloaking, который “загрубляет” информацию о гео-координатах, однако уже используются другие метрики для подбора записей:

$$\{ \langle N_{1i}, N_{2i}, \dots \rangle, R_i \} \quad (4)$$

$$\varphi (N_1, N_2, \dots) \rightarrow \bar{R}$$

Следующий шаг – это возможность использовать тот факт, что в описании каждого узла  $N$  есть его идентификационное (рекламное) представление  $SN$ . Эта не-цифровая информация (байтовая последовательность) никак не используется, например, при навигации (определении расстояния) с использованием беспроводных узлов, а для определения близости может быть использована с оператором сравнения (“если доступен узел с идентификацией  $S$  то ...”)

$$\{ \langle SN_{1i}, SN_{2i}, \dots \rangle, R_i \} \quad (5)$$

$$\varphi (SN_1, SN_2, \dots) \rightarrow \bar{R}$$

Далее вот в это рекламное представление (для одного из узлов, если их несколько) можно и перенести саму гео-привязанную запись. Целиком, если размер рекламного пакета позволяет, в виде последовательности частей, которые будут чередоваться программно или в виде некоторого сжатого текста (короткий URL, например).

$$\{ \langle R_i, SN_{1i}, SN_{2i}, \dots \rangle, R_i \} \quad (6)$$

$$\varphi (SN_1, SN_2, \dots) \rightarrow \bar{R}$$

Это, в частности, и будет одним из примеров нового класса сервисов. Сервисная информация получается клиентом непосредственно при определении близости. Нет никаких серверов, к которым нужно обращаться с запросами.

А для каких-то сложных структур возможно перенести в представление узла некоторый ключ, который уже без координат может быть использован для запроса структурных данных

$$\{ \langle Key_i, SN_{1i}, SN_{2i}, \dots \rangle, \bar{R}_i \} \quad (7)$$

$\varphi (Key_i) \rightarrow \bar{R}$

Сетевой узел, используемый в описании, имеет физическое представление (это точка доступа, тег Bluetooth, мобильный телефон с беспроводным интерфейсом и т.д.), и его представительская (рекламная) информация может быть получена клиентом непосредственно, без обращения к гео-хранилищу. Таким образом, вместо классической клиент-серверной модели для сервисов, использующих информацию о местоположении, появляется распределенная кибер-физическая система. При этом никакой передачи гео-координат (или их производных заменителей) от клиента не требуется. Поставщик услуги (сервис) при этом не имеет возможности отслеживать использование сервиса (сервис представлен широковещательной рассылкой, получатели которой неизвестны), а сам сервис естественным образом локализован (ограничен в пространстве за счет физически ограниченной области распространения сигнала, которая и служит, в итоге, мерой близости).

Естественно, что для разных беспроводных сетей область “видимости” соответствующей идентификации будет разной. Это зависит от типа сети, заряда батареи на устройствах при программном создании сетей и т.д. С учетом разности действия (“видимости”), любое устройство чаще всего окажется в области достижимости нескольких сетей:  $S_1, S_2, S_3, \dots$ , которые могут находиться между собой в разных отношениях ( $S_1 \subset S_2$  или  $S_1 \cap S_2$  и т.д.), но доступность из одной точки означает нахождение в зоне пересечения действия этих сетей. Это имеет простую интерпретацию. Например, мобильное приложение может “видеть” фитнес-браслет на руке владельца и какую-то Wi-Fi сеть. Если это офисная сеть, то владелец телефона, видимо, в офисе, если домашняя – дома. Все акторы в данном процессе где-то находятся физически (есть координаты дома и офиса), но гео-координаты не участвуют в процессе определения близости, результатов которого будет достаточно, например, для изменения режимов работы мобильного устройства.

Добавление новых беспроводных узлов позволяет эмулировать одно из основных понятий в гео-информатике – гео-решетку. Пересечение зон доступности и описывает такую виртуальную решетку (рисунок 2). Здесь явно эксплуатируется тот факт, что от беспроводных узлов в рассматриваемой модели не требуется предоставление их истинных координат и не требуется предоставление сетевых услуг. Это означает, что наряду с существующими “настоящими” сетевыми узлами (например, офисная точка доступа Wi-Fi, которая, естественно, имеет некоторую заданную идентификацию) допустимо использовать специально созданные беспроводные узлы, единственной целью (задачей) которых является определение виртуальных гео-решеток. Например, такие узлы, созданные программно на мобильных устройствах, сделают виртуальные решетки подвижными и динамическими.

Соответственно, если классически в гео-приложениях у нас есть примитив *Point (latitude, longitude)*, и пространственная близость определяется как нахождение объекта не далее определенного расстояния от указанной точки, то здесь предлагается моделировать такой примитив неупорядоченным набором идентификаторов беспроводных сетей *NetworkPoint (ID<sub>1</sub>, ID<sub>2</sub>, ... ID<sub>N</sub>)*. Пространственная близость в таком случае и проверяется (определяется) именно доступностью перечисленных сетей. Что предполагает, естественно, что объект, который проверяет эту близость, способен такую доступность проверять. Отсюда и возникают именно мобильные сервисы (интерфейсы мобильных ОС позволяют проверять доступность беспроводных узлов). Пространственные характеристики таких, описанных посредством беспроводных сетей объектов, определяются, естественно, характеристиками распространения сигнала определяющих сетей. Например, для одиночной Bluetooth сети – это так называемое Bluetooth-расстояние (Class 2 – 10 м) и т.д.

Для областей, которые определяются наборами видимых сетей (как и для классически

определяемых географических областей) возможны операции объединения, пересечения, вхождения:  $A \cup B, A \cap B, A \subset B$  (рисунок 2). При этом такие области могут изменяться во времени: в части истинного географического положения, в части своих размеров и в части самого факта существования. Отметим также, что области распространения сигнала можно определять и как сферы, что определяет возможность для представления сервисов и в 3D пространстве.

В приложениях, использующих информацию о местоположении, близость определяется для того, чтобы использовать какие-то данные (действия и т.п.), относящиеся к близко-расположенным объектам, либо наоборот – отнести какие-то данные (действия и т.п.) ко всем объектам, расположенным поблизости (ассоциировать такие данные со всей областью).

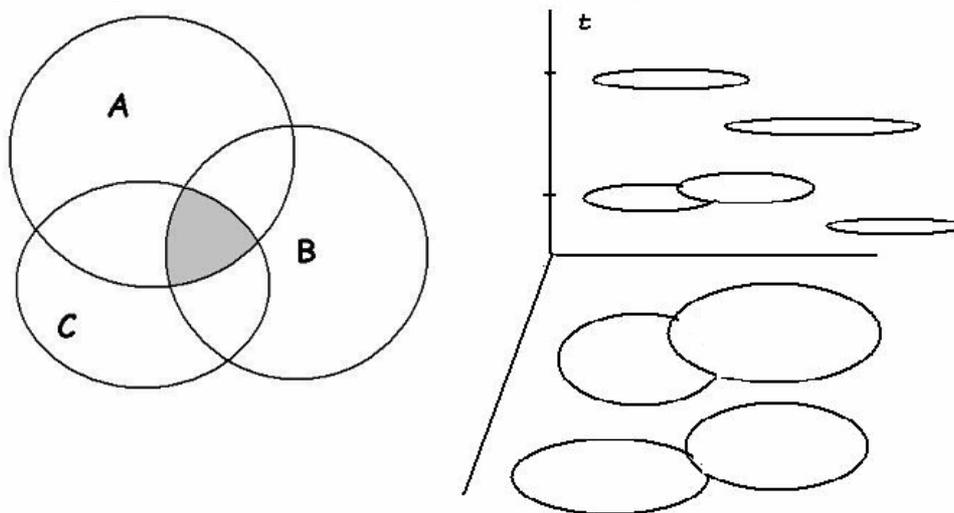


Рисунок 2. Области доступности сигналов и их изменение во времени

В сетевой пространственной близости используется последний вариант – для всех мобильных объектов можно определить данные (проактивные действия, настройку прав и т.д.) ассоциированные с областью видимости всех сетей. В обоих случаях, проверка близости ведет к определению какого-то набора записей (данных и/или операций), доступных при подтверждении пространственной близости:

$$Proximity (Point_A) \rightarrow \bar{R}$$

$$Proximity (NetworkPoint_A) \rightarrow \bar{R} \quad (8)$$

Использование идентификаторов мобильных сетей вместо гео-координат приводит к тому, что местоположение любого мобильного объекта описывается также как набор видимых сетей:

$O1 (N_1, N_2, \dots, N_k), O2 (M_1, M_2, \dots, M_N)$  и так далее

Тогда сравнение близости двух мобильных объектов – это сравнение их определяющих списков сетевых узлов. Результаты такого сравнения удобно представлять значением в диапазоне  $[0,1]$ , где 0 соответствует полному отсутствию общих сетей, 1 – полному совпадению определяющих списков. Это может быть, например, коэффициент Жаккара:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (9)$$

Степень близости для узлов с пересекающимися списками определяющих сетей может быть также определена по некоторым правилам, которые формулируются уже с учетом физической природы измерений (например, совместная близость к Bluetooth точкам может быть важнее близости к точке Wi-Fi и т.д.). Эти правила, при необходимости их применения, и есть место

для использования нечеткой логики и FCL, описанного в главе 1.

В таких формулировках можно представлять базовые элементы геоинформатики, а дополнительно появляются новые возможности. Во-первых, сами области становятся динамическими. Здесь интересно, конечно, не само появление (исчезновение) такой виртуальной области, а динамически определяемая доступность записей в формуле 4, в зависимости от присутствия одного или нескольких определяющих узлов. Во-вторых, сетевые узлы, которые являются определяющими для областей, могут перемещаться (например, узел, существующий на мобильном телефоне / устройстве, перемещающийся вместе с этим телефоном). Это означает, что вместе с областью определения перемещаются и доступные данные из формулы 4. Иными словами, введенное определение описывает как статические, так и динамические гео-решетки, причем делает это единообразным способом. Соответственно, единообразными будут и проверки попадания клиента в такие области.

Следующее свойство такого определения также отсутствует в классических моделях гео-сервисов, а для вводимой схемы является, на самом деле одним из определяющих. На программном уровне определение любого узла любой беспроводной сети – это всегда получение его идентификационной информации. Тег Bluetooth Low Energy определяется своей рекламной рассылкой, точка доступа Wi-Fi (Bluetooth) – своим именем узла (*SSID*) и т.д. То есть определение местоположения объекта  $OI (N_1, N_2, \dots, N_k)$  – есть не только список узлов, но еще и информация от этих сетевых узлов  $OI (SN_1, SN_2, \dots, SN_k)$ . Точно такое же утверждение верно и для областей. И эта информация, рассылаемая сетевыми узлами, допускает программное изменение. Это означает, что одновременно с фиксацией факта близости, мобильное приложение (сервис) будет получать какие-то данные от сетевых узлов, участвующих в процессе. Если для классических гео-сервисов координаты описывают только некоторую геометрию (*Box, Polygon* и т.д.), а вся семантическая информация находится уже в сервисе, то в предложенной модели семантическая информация представляется вместе с моделью геометрической области. Эта информация может быть частью сервиса или даже собственно сервисом. В последнем случае ее получение в процессе проверки близости полностью исключает необходимость каких-либо серверных (облачных) компонент, которые будут обрабатывать данные о местоположении клиентов подобно тому, как это происходит в классических гео-сервисах. При этом важно, что получение таких данных происходит без организации соединения между устройствами. Это важно с точки зрения безопасности – нет никаких соединений с неизвестными устройствами.

Перечисленные характеристики и описывают преимущества нового подхода по сравнению с классической моделью сервисов, использующих информацию о местоположении. При сохранении возможности моделирования геометрии (гео-решетки) появилась возможность поддерживать динамические гео-решетки, непосредственно ассоциировать данные с гео-решетками, одинаковым образом работать со статическими и динамическими объектами. Эти нововведения и обеспечивают новый класс сервисов.

В связи с введением такой формы описания данных для сервисов, важную роль приобретают радиокарты, целью которых теперь становится не описания подключения к узлам Wi-Fi, например, а именно описания доступных беспроводных сетей, которые могут быть использованы в информационных сервисах. В работе описывается возможное использование таких данных в так называемых супер-приложениях (мобильные приложения, в которых пользователи проводят все время), являющихся сейчас целью мобильной разработки многих компаний. Здесь речь идет о переосмыслении роли таких радиокарт местности, которые, классически, отмечали доступные радиосети. В классической модели использования таких карт, информация о местоположении используется для получения данных о доступных сетях и

подключениях:

$$\langle lat, lng \rangle \rightarrow \{N_i\} \quad (10)$$

В предложенной модели использования, набор видимых (доступных) сетевых узлов определяет, фактически, некоторую географическую область:

$$\{N_i\} \rightarrow \{\langle lat_i, lng_i \rangle\} \quad (11)$$

А определенная таким образом гео-решетка и будет служить основанием для предоставления каких-либо сервисов. То есть, информация о доступных (видимых для супер-приложения) беспроводных узлах является самым простым и доступным способом кастомизации такого приложения (показа частной информации, относящейся к конкретной локализованной области в приложении, которое является глобальным, то есть не привязанным ни к какой конкретной области). Соответственно, радиокарты становятся важным элементом цифровизации в городе – они, фактически, определяют семантическую разметку местности, с простым и полностью переносимым (стандартным) интерфейсом доступа к такой информации.

Далее в главе рассматриваются вопросы хранения информации о сетевых узлах. В качестве решений предлагается использование JSON представления для хранения информации о сетевых отпечатках (*fingerprint*), куда предлагается включать всю доступную информацию о сетевых узлах, а не только RSSI (силу сигнала), как при навигации по беспроводным сетям.

$$FP = \bigcup_{i=1}^M N_i, \text{ где } \langle N_i \rangle - \text{ информация о видимом сетевом узле} \quad (12)$$

Рассмотрены вопросы хранения таких JSON объектов в базах данных. Далее в работе рассматриваются вопросы сбора информации о сетевых узлах (активная и пассивные схемы). Следующий момент, который рассматривается в этой главе – это сбор и агрегация данных при асинхронном взаимодействии с сенсорами на платформе Android, в качестве которых, в данном случае, выступают интерфейсы беспроводных сетей:

$$\varphi(t) \rightarrow \{\langle N_i \rangle\} \quad (13)$$

В результате такого слияния (*network fusion*) получается множество измерений (отпечатков) по разным типам беспроводных сетей. Общие вопросы применимости платформы Android для сбора данных от нескольких сенсоров рассматриваются в главе 5.

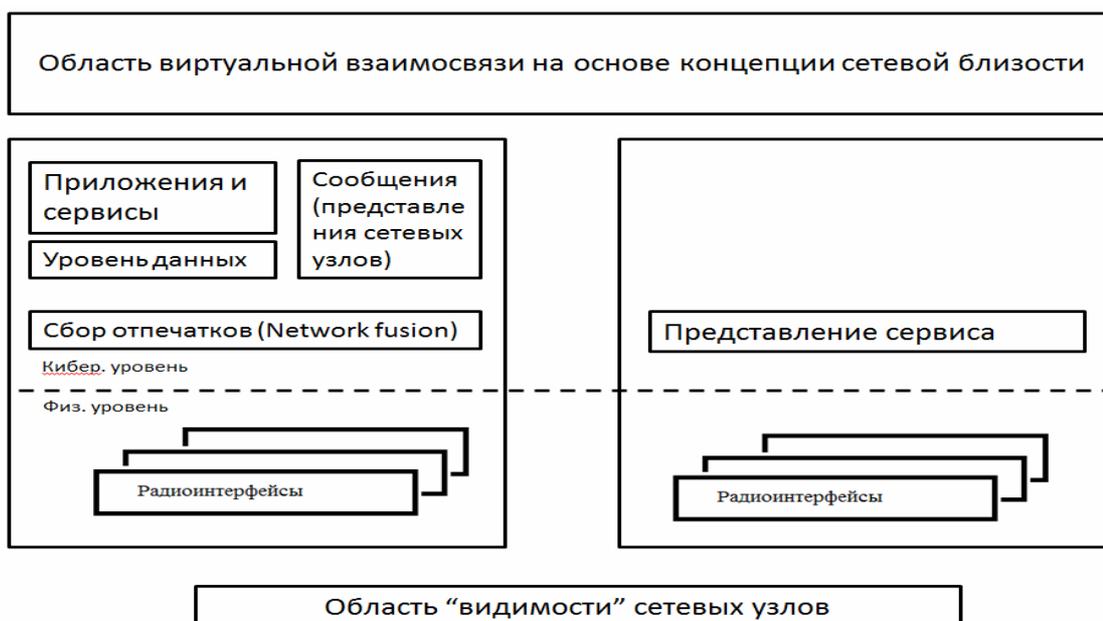


Рисунок 3. Киберфизическая система для модели сетевой пространственной близости

Традиционно, данные привязанные, например, к идентификации объекта, в качестве модели для хранения данных использовали системы с архитектурой ключ-значение. Естественный подход, где идентификатор и выступает ключом. Для сохранения информации об определениях областей (наборов беспроводных узлов) было предложено использование Multiset Hash функций. Это позволяет оставаться в рамках той же модели с быстрым ( $O(1)$ ) извлечением информации. А для учета в операциях только сетевых узлов из ограниченного перечня – хранение словаря таких узлов с той же моделью ключ-значение. Рисунок 3 иллюстрирует предложенную архитектуру.

Как важную характеристику введенного типа измерений можно отметить способность работы описываемых подходов без поддержки инфраструктуры (без телекоммуникационного оператора). В связи с этим можно еще раз остановиться на определении близости непосредственно между двумя объектами (мобильными устройствами). Как и с гео-координатами, для сравнения двух характеристик (координат или сетевой информации) нужен какой-то посредник, который будет обладать данными участников.

Для гео-сервисов это часто выглядит как некая публикация одним из участников своих координат (отметка места – check-in), по которым другие участники процесса и могут определять близость. Такая схема будет работать и в случае использования сетевой информации, но здесь появляется другая возможность, которая также будет работать без инфраструктуры. Локальная (местная) отметка о присутствии мобильного устройства может быть реализована в форме программного запуска на нем беспроводного узла. Другие участники процесса могут тогда проверить близость описанным выше способом. В этом случае информация об участниках не выходит за рамки области достижимости используемых беспроводных сетей.

Идея использования сетевой близости как новой модели создания сервисов с использованием информации о местоположении была впервые описана в работах автора в 2011-2012 годах. Базовые элементы этого подхода заключаются в следующем:

- Для представления сервиса используются существующие или специально создаваемые узлы беспроводных сетей
- Реклама (представление) сетевого узла является подтверждением пространственной близости
- Передача сервисных данных осуществляется без организации соединения между устройствами

Эти базовые положения получили подтверждение в различных проектах производителей программного обеспечения и сетевой аппаратуры. Спецификация тегов BLE iBeacon от Apple, появившаяся в 2013 году, использует факт ограниченного распространения сигнала беспроводных сетей для определения близости. В 2017 году была выпущена спецификация Bluetooth Mesh, в которой передача данных организовывалась без организации соединений, с помощью специального типа рекламных пакетов. И, наконец, сервис COVID-трекер (Apple+Google 2020) использует узлы беспроводной сети именно для представления сервиса (объявления о доступности сервиса в данной области).

**В третьей главе** речь идет о так называемых Proximity Services в спецификации 3GPP D2D (сокращенно – ProSe). Причина рассмотрения этой спецификации в работе состояла в том, что крупнейшая организация по стандартизации объявляет продукт совпадающий, по крайней мере, в названии с темой работы. В главе содержится подробное рассмотрение этой технологии с точки зрения сервисов, которые могли бы использовать информацию о близком расположении мобильных устройств. Показано, что фактически заявленное название гораздо шире того, что реализуется. Под сервисами близости, по крайней мере, в текущих версиях

спецификации подразумевается поиск других близко расположенных устройств для организации непосредственного соединения (это и есть D2D - *device to device* взаимодействие). Близкое расположение здесь нужно для организации эффективного взаимодействия с точки зрения энергопотребления.

Мобильное устройство запрашивает у системы (оператора) некоторый код, выделяемый в рамках указанной предопределенной функции (предопределенного сервиса). Этот код рассылается запросившим его устройством (запросившее устройство организует широковещательную рассылку). Получение такого кода другими устройствами и будет обозначать близость устройства-получателя к устройству-отправителю. Все это выполняется для того, чтобы организовать прямое соединение близко расположенных устройств посредством нового специального интерфейса *PC5*. Это наиболее типичный сценарий поиска под управлением сети.

Общая модель работы D2D может быть проиллюстрирована с помощью рисунка 4. Концептуально, здесь можно провести параллели с рассылкой идентификации узла в беспроводных сетях – и там и там присутствует широковещательная рассылка идентификатора, который соответствует некоторому устройству. Если положение (текущее положение) этого устройства принять за “определение” географического места, то получение кода рассылки другим устройством есть фиксация близости. Текущая спецификация говорит о возможных расстояниях от 90 до 500 м. И, по факту, установление соединения между близко расположенными устройствами и есть то, что называется сервисами близости.

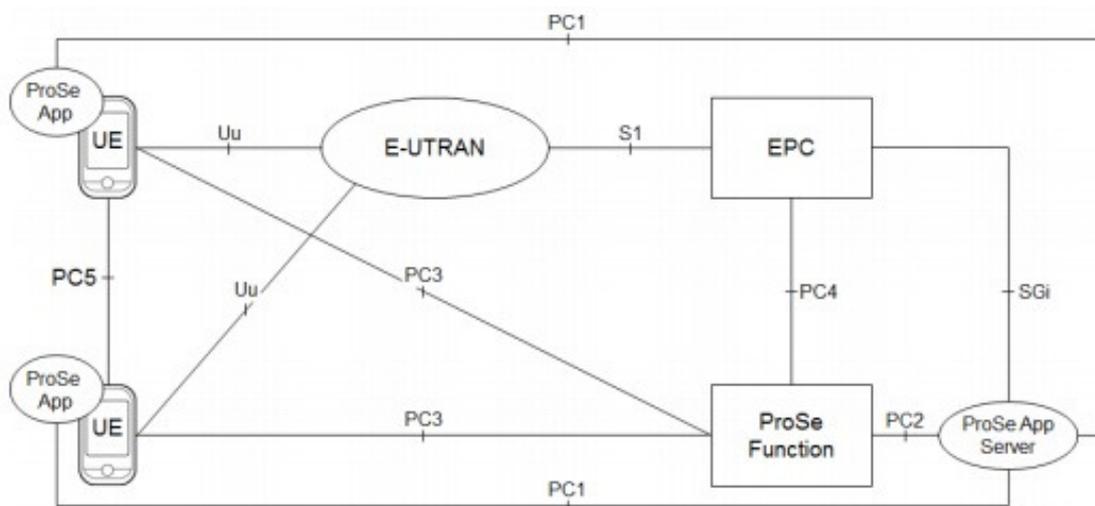


Рисунок 4. Общая схема ProSe. UE – пользовательские устройства, все остальные блоки – часть инфраструктуры оператора связи. *PC1*, *PC3*, *PC5* – различные интерфейсы (радиоканалы), задействованные в процессе.

Отличия от рассылки идентификации в беспроводных сетях состоят в следующем. Такая рассылка осуществляется под управлением оператора (его инфраструктуры – интерфейс *PC3*). Соответственно, есть понятие подписки, потенциальные получатели идентификационных кодов могут реагировать только на определенные сообщения (по факту – на сообщения от определенных сервисов). Это, в свою очередь, означает, что структура такого идентификационного кода предопределена и не может быть использована для передачи пользовательской информации. Другим моментом является организация рассылки таких кодов под централизованным управлением (организация эффективного доступа к среде), что должно помочь в осуществлении быстрых рассылок для большого числа кандидатов.

В текущей версии спецификации никак не рассматриваются программные интерфейсы для таких систем. Предложения по реализации программных интерфейсов для D2D представлены в главе 5 диссертационной работы. Относительно использования 3GPP D2D с моделями сетевой близости, в работе представлена схема операторского сервиса для предоставления услуг такого класса. По факту – это первое описание (модель) услуги D2D, не связанной с организацией соединения. В таком виде из спецификации 3GPP D2D используется, фактически, только фаза *Direct Discovery*. Здесь представляется необходимым разделить в спецификации фазы распознавания и непосредственную организацию соединения. Прямое соединение устройств с точки зрения систем безопасности практически всегда (за исключением специальных сервисов) должно рассматриваться как “соединение с неизвестным устройством”, что всегда должно классифицироваться как угроза. В то время как поиск устройств не несет угроз безопасности и может быть базой для отдельных услуг.

Заказчик услуги: заказывает (получает) поддержку виртуальных гео-решеток. Каждая гео-решетка определяется текущим положением выделенного (определенного заказчиком) мобильного терминала (телефона) и некоторым набором данных: множество триплетов  $\{ \langle N_i, P_i, D_i \rangle \}$ , где  $N_i$  – имя гео-решетки,  $P_i$  – идентификация устройства,  $D_i$  – набор данных. Имя гео-решетки будет использоваться в пользовательских запросах о принадлежности, идентификация устройства будет использоваться оператором связи.

Функционал: пользователи мобильных приложений должны быть способны проверить факт нахождения устройства в одной из выделенных зон (в виртуальной гео-решетке) и получить набор данных, ассоциированный с данной решеткой. В качестве таковых мобильных приложений могут быть как приложения заказчика (например, заказчик – торговый комплекс, приложение – собственное приложения заказчика для мобильных посетителей), так и сторонние разработки, которые хотят предоставить своим пользователям доступ к “местной” информации, и которым заказчик услуги открыл доступ к API для таких проверок.

Сервис со стороны оператора:

1. Мобильное приложение для выделенных устройств, запрашивающее и рассылающее идентификационный код (PAC - *ProSe Application Code*)
2. Модификация (дополнение) процесса выделения PAC для выделенных мобильных устройств, так что при выделении такого кода во внешнем key-value хранилище сохраняется информация об имени решетки и ассоциированных данных. Выделенный PAC при этом служит ключом  

$$\forall PAC_i \subset P_i \rightarrow Store.put(PAC_i, \langle N_i, D_i \rangle)$$

3. Поддержка веб-API для запросов о принадлежности. Минимально, это *HTTP GET* запрос с параметрами  $PAC, N$  для проверки принадлежности данного ключа  $PAC$  к гео-решетке  $N$ . Результат запроса - данные, ассоциированные с решеткой или пустой, в случае несоответствия.

Доступ к такому API может предоставляться всем потенциальным пользователям (открытая модель), либо только заказчику услуги, который уже может на основе такого API открыть на собственных ресурсах версию с ограниченным доступом, биллингом и т.п.

То есть, для мобильного приложения получение какого-либо кода  $PAC$  есть сигнал о возможной гео-решетке, а проверить уже принадлежность именно к интересующей гео-решетке можно с помощью API.

Заметим еще раз, что определяемые таким образом виртуальные гео-решетки, автоматически являются и динамическими и мобильными. Данные становятся недоступны при выключении

опорного устройства и “появляются” вновь при включении. Также при перемещении опорного мобильного устройства данные “следуют” за ним.

Введение хранилища и интерфейса к нему – это естественный шаг к объявлению структуры сервера приложений – Proximity Application Server (PAS). Этот сервер будет обеспечивать следующий функционал:

- Поддерживать определения работу с определениями виртуальных гео-решеток. В частности, *Prose Application Code* в предложенной модели определяет некоторое виртуальное географическое место (место текущего расположения мобильного устройства, рассылающего такой код), близость к которому и определяется получением этого кода. Для мест, определяемых совокупностью беспроводных узлов, множественная хэш-функция определяла код места. А то, что предлагается использовать в качестве значений – объясняется ниже.
- Поддерживать работу с временными ключами (это требуется в спецификации 3GPP – ограниченное время существования *Prose Application Code*). Используется механизм ограничения времени жизни (TTL) для записей баз данных
- Поддерживать работу со словарями наименований виртуальных гео-решеток (виртуальных географических мест). При определении нового места в словарь автоматически добавляются компоненты его множественного ключа, чтобы избежать в определениях сетевых узлов работы со сторонними узлами
- Определять близость между пользователями. Логично использовать этот же сервер как посредника, с помощью которых два мобильных абонента могут оценить близкое расположение. Для этого, как было указано выше, им нужно поделиться своими сетевыми отпечатками (в классических гео-приложениях это касалось координат). Схема может быть такая:

---

#### Алгоритм 1: Определение пространственной близости между пользователями

---

**1:** Пользователь *A* сохраняет свой сетевой отпечаток на сервере (то есть информацию о своем местоположении), указав для него некоторое имя *N*, описание данных (возможно пустое) *D* и время хранения *t*

**2:** Пользователь *B*, зная имя *N*, обращается к серверу с запросом о проверке близости его собственного отпечатка (передается в запросе) и отпечатка *N*

**3:** Сравнение отпечатков: коэффициент Жаккара и/или набор правил в FCL

**4:** Если отпечатки признаны близкими, то *B* возвращается контент *D*, который *A* сохранил вместе со своим отпечатком

**5:** По истечении времени *t* сетевой отпечаток *N* удаляется на сервере

---

Это позволяет пользователям привязать какой-то контент к собственному местоположению ровно по такой же схеме, как и для виртуальных гео-решеток. Модель использования: пользователь *A* привязывает к своему местоположению, названному им *Такси* информацию о связи с ним (номер телефона, ссылка на Телеграмм-канал и т.п.). Пользователь *B* проверяет близость своего местоположения и сохраненных местоположений с именем *Такси*. Результат – информация о связи с *A*, если пользователи находятся близко друг от друга. Организационно, такого рода сервер (сервера) может быть представлен на любом уровне: оператора, конкретной организации, реализующей модель сетевой близости, специализированно провайдера сервисов и т.д.

Далее в главе рассмотрен вопрос о представлении информации (данных) в таком

сервере. То есть, на что, собственно говоря, ссылается ключ. В качестве такого представления выбран JSON формат для каталогов системы Hypercat. Hypercat представляет собой реализацию с открытым кодом поисковой системы для проектов Интернета Вещей. Основной элемент представления в такой системе (единица описания) – это так называемый каталог, который описывает набор URI. Технически система предоставляет собой текстовый формат на базе JSON для описания коллекций URI. Основной элемент описания – так называемый каталог, представляющий собой неупорядоченную коллекцию ресурсов. Каждый ресурс описывается некоторым URI, который может приводить, в том числе, и к другому каталогу. Все URIs в каталоге должны быть уникальны и описывать уникальный ресурс. Метаданные в каталоге описывают как сам каталог, так и его элементы. Каждый объект каталога – это JSON объект с некоторыми обязательными свойствами, которые также есть JSON массивы элементов. Элемент, в свою очередь, есть JSON объект со следующими свойствами: “*href*” - URI как JSON строка и “*i-object-metadata*” - JSON массив метаданных, все элементы которого включают следующие свойства: “*rel*” – описание свойства и “*val*” - значение свойства.

Например, следующий каталог Hypercat описывает ресурс, который ссылается на веб-страницу факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова

```
{
  "item-metadata": [
    {"rel": "urn:X-tsbiot:rels:isContentType",
     "val": "application/vnd.tsbiot.catalogue+json"},
    { "rel": "urn:X-tsbiot:rels:hasDescription:en",      "val": "СМК
MSU"},
    {"rel": "urn:X-tsbiot:rels:supportsSearch", "val": "urn:X-
tsbiot:search:simple"} ],
  "items": [{
"href": "https://cs.msu.ru/",
"i-object-metadata": [{
"rel": "urn:X-tsbiot:rels:phone", "val": "+7 495 939-30-10"},
{"rel": "urn:X-tsbiot:rels:email", "val": "cmc@cs.msu.ru"}]
}]}
```

Таким образом, кратко это можно описать как набор ссылок с аннотациями. Это позволяет представлять в таких каталогах как наборы данных (аннотированный JSON), так и ссылки на какие-то существующие веб-ресурсы (URL с метаданными). При этом весь набор данных в сервере приложений, помимо выборки по ключу для отдельных записей, будет параллельно поддерживать и поиск (с помощью Hypercat). В первую очередь, привлекательность Hypercat состоит именно в представлении веб-ресурсов. Рассмотрение исходит из того, что в большинстве случаев, мобильным пользователям “по месту” (то есть, с учетом их местоположения) показываются какие-то уже существующие веб-ресурсы, просто релевантные в данном контексте. Это также и решает проблемы с разработкой контента - нет каких-то специальных “местных” ресурсов, а есть существующие ресурсы, которые релевантны именно в локальном (местном) контексте. Сетевая близость позволяет определить границы места, а Hypercat – собрать (описать) коллекцию ссылок для данного места, а также поддерживать работу с онтологиями. В таком архитектурном решении, предложенная система предоставляет гораздо больше возможностей, чем подход *Physical Web* (Физический веб – спецификация Google по рассылке веб-ссылок с помощью беспроводных тегов или, в более общей трактовке, интеграция веб-технологий и физических измерений), поскольку в последнем представлялись изолированные ссылки, без метаданных, без возможности поиска и только на базе одной

конкретной технологии Bluetooth Low Energy.

Результатом главы является разработка и представление сервиса сетевой близости для спецификации 3GPP D2D, сервера приложений PAS и модели представления контента.

**В четвертой главе** речь идет о классификации сервисов, использующих модель сетевой близости. Цель состоит в описании классов (сценариев и моделей использования) сервисов, с тем, чтобы подчеркнуть использование конкретных свойств предложенной в работе программной архитектуры.

Такие классы сервисов (сценарии) различаются по характеру обрабатываемой (выдаваемой) информации, по наличию (отсутствию) аналогов в классической модели представления гео-сервисов и по степени (характеру) использования метрик сетевой близости. На верхнем уровне можно выделить следующие классы:

- Класс А. Непосредственное определение доступности данных по метрикам близости (информационные системы, PAS). Это наиболее близко к классическим гео-сервисам. Фактически – это другие формы представления виртуальных гео-решеток.
- Класс В. Перепроектирование (адаптация) существующих сервисов для работы с моделью сетевой близости (не-визуальные QR-коды, отметки о присутствии в разных формах, траекторные измерения).
- Класс С. Интеграция систем на базе сетевой близости в сторонние приложения (контекстно-зависимые сервисы, веб-доступ).
- Класс D. Использование транспортных механизмов физической компоненты (расширения социальных сетей, ретрансляция данных). Аналогов в классических гео-информационных сервисах нет.
- Класс Е. Запись (сохранение) данных о сетевом окружении во времени и связанные с этим сервисы. Аналогии с записью информации о гео-координатах во временном разрезе (траекториях) и связанных сервисах.

Класс А – здесь рассматриваются вопросы построения информационных сервисов. Самое простое и естественное применение, которое является прямым аналогом классических гео-информационных сервисов – выборка информации, ассоциированной с доступной (видимой) конфигурацией беспроводных узлов. В работе используется терминология, принятая в веб-сервисах – гиперлокальный контент. Как основная форма представления результатов (выдачи) рассматривается динамическое формирование веб-страниц – на лету формируется HTML-страница, которая содержит данные, извлеченные на основе информации о видимых узлах.

Использование Proximity Application Server добавляет, в частности, возможности определения взаимной близости между пользователями системы (сервера приложений). Идея состоит в том, что если доступное сетевое окружение для пользователя А сравнимо в выбранной метрике с видимым сетевым окружением для пользователя В, то два этих пользователя находятся близко друг от друга. Простейший пример – оба пользователя “видят” один и тот же беспроводной тег.

Класс В – примером нового сервиса является новая модель QR-кодов. Само использование QR-кодов в настоящее время становится популярным для разных приложений. В этом разделе подчеркивается, что данные, ассоциированные с набором видимых сетевых узлов можно представить как не-визуальный QR-код. Ровно тот же самый набор объектов (текст, URL, vCard и т.д.) допускает представление с помощью данных, ассоциированных с набором сетевых узлов (рис. 5). Такой подход обеспечивает автоматическое сканирование множества “QR-кодов”, он не требует специальных действий от пользователя и не пропускает существующие коды. С учетом того, что как основная форма отображения выбрано

динамическое формирование HTML страницы, предложенное “сканирование” является безопасным – оно не допустит выполнения автоматических действий без участия пользователя. Отметим также, что в представленной модели программа чтения (распознавания) “невизуальных” QR-кодов может быть как отдельным мобильным приложением, так и библиотекой, встраиваемой в другие приложения.



Рисунок 5. Беспроводной аналог QR-кода – отсутствие визуального представления и ручной работы с камерой.

Как практический пример использования можно привести систему персональных объявлений (classified ad). Мобильные абоненты оставляли (создавали) объявления (некоторый текст), привязанный к существующим точкам доступа Wi-Fi и/или к беспроводным узлам на их собственном мобильном устройстве. Другие мобильные абоненты в зоне досягаемости данных сетей получали возможность сканировать такие объявления. Отметим, что текст (QR-код), привязанный, например, к узлу Bluetooth на телефоне автора, фактически, перемещался вместе с телефоном (вместе с владельцем телефона), а также был доступным или недоступным в зависимости от включения (выключения) соответствующего Bluetooth узла.

Класс С – это, например, вопрос обработки данных о сетевой близости в веб-приложениях. Как модельный пример для обработки данных в веб-приложениях в работе предложено выбрать схему запроса гео-координат в веб-приложениях, поддерживаемую W3C и знакомую веб-разработчикам. Такой выбор означает реализацию возможности чтения сетевых отпечатков из веб-приложений. Прямых возможностей (прямо представленных в существующих мобильных браузерах) реализовать доступ к информации о сетевом окружении (фактически – о физическом окружении) мобильного устройства на сегодняшний день нет. На платформе Android есть практическая возможность эмулировать предложенный процесс, если открывать веб-страницы из мобильных приложений (используя *WebView*), предварительно добавляя к страницам нужную информацию.

Контекстно-зависимые приложения представляют собой следующую область применения, рассмотренную в этой главе. Контекст – это, фактически, любые измеряемые тем или иным способом характеристики, которые могут быть добавлены к местоположению. В эти измеряемые характеристики попадают, например, как данные различных сенсоров (освещенность, звук, вибрация и т.д.), так и социальные характеристики (например, взаимодействие в приложении с социальным кругом в какой-либо социальной сети). Обычно, формально это определяется как триплет

$\langle R, A, P \rangle$ , где  $R$  – набор ресурсов,  $A$  – набор действий (акций или выдачи данных),  $P$  – политики (ограничения)

С точки зрения программных моделей, подходящей здесь также будет часто используемая для представления контекста модель (абстракция) ситуаций. Это один из наиболее простых способов

представить естественные абстракции для программирования. Ситуации представляются с помощью логики предикатов. Они, обычно, определяются как именованные логические выражения вида  $S(x_1, x_2, \dots, x_n) : \varphi$  где  $S$  – имя ситуации,  $x_1, \dots, x_n$  – переменные (метрики контекста и производные от них),  $\varphi$  – логическое выражение над этими переменными.

Логическое выражение объединяет любое количество базовых выражений с использованием логических связок, *И* ( $\wedge$ ), *ИЛИ* ( $\vee$ ), *НЕ* ( $\neg$ ), и кванторов существования (экзистенциальных квантификаторов) – предикатов свойства или отношения для, по крайней мере, одного элемента из области определения. Допустимыми основными выражениями являются либо равенства (типа  $x_1 = x_2$ ), неравенства ( $x_1 \leq x_2$ ), либо утверждений (фактов). Последнее (утверждения) определяется через использование реляционных отношений для представления контекста. Факт (или утверждение) в такой модели – это просто существующий кортеж.

Предполагая, что  $R$  – это отношение,  $I$  – его реализация (конкретизация),  $I(r)$  – набор кортежей в  $I$ , относящихся к  $r \in R$ . Тогда утверждение  $r[c_1, c_2, \dots, c_k]$  истинно для  $I$ , если существует кортеж  $\langle c_1, c_2, \dots, c_k \rangle$  в  $I(r)$  и ложно в противном случае.

Возможно введение многозначной логики, когда, например, кортеж  $\langle c_1, c_2, \dots, c_k \rangle$  в точности отсутствует, но есть частично совпадающий с ним кортеж, где некоторые из значений определены через специально выделенное значение *null*. Интерпретация такого выделенного значения очевидна – какие-то аспекты просто не определены. Это приводит к трехзначной логике: *истинно, ложно, возможно истинно*.

Ресурсы (факты), которые модель сетевой близости добавляет к описанию контекста, включают, естественно, информацию о доступных беспроводных сетях, информацию о данных, ассоциированных с этими сетями. Если таковые данные представлены описаниями Nurecat, то в набор ресурсов добавляется информация о метаданных Nurecat описания. Если используется сервер приложений PAS, то контекстная информация может быть пополнена данными о находящихся поблизости других пользователей, оставивших информацию о своем местоположении.

Класс D – класс сервисов, который прямо использует возможности непосредственной передачи данных в моделях сетевой близости и, тем самым, не имеет прямых аналогов в гео-сервисах. Речь идет о ретрансляции данных идентификации сетевого узла. По факту их получения в процессе проверки близости, получатель (это должно быть мобильное приложение) может транслировать полученные данные уже от своего имени, эмулируя таким образом мэш-сеть, которая будет работать без организации соединений. Очевидно, что такая мэш-сеть будет гетерогенной (в ней могут присутствовать одновременно, например, Bluetooth и Wi-Fi узлы), она будет работать и в отсутствие инфраструктурной поддержки (никакие сервисы телекоммуникационного оператора здесь не используются). Поскольку используются базовые механизмы поддержки беспроводных сетей, то различия в версиях, например, мобильной ОС Android в практических примерах (по факту – различия в мобильных устройства) также не играли никакой роли, и предложенный подход обеспечивал полную совместимость. Платой за это, естественно, служит низкая скорость “передачи” по сравнению с традиционными сетевыми реализациями.

Другим примером сервисов этого класса являются приложения, которые фиксируют изменения в сетевом окружении. Если сетевое окружение (сетевые отпечатки) определяет правила для определения близости, то в таком подходе, фактически, сами правила используются как данные. Это также класс приложений, которые не имеют прямых аналогов в гео-сервисах. Например: определение близости, как указано выше, основано на существовании (видимости) набора сетевых узлов. Изменение набора видимых узлов может быть основанием для каких-то действий (выдачи данных):

$$\varphi(|M_{t_1} \cap M_{t_2}| \rightarrow \bar{A}) \quad (14)$$

Действия определяются размером пересечения множества видимых узлов в разные моменты времени. Примерами таких сервисов являются системы мониторинга – какой-то из узлов вышел из зоны видимости. Сюда же относятся все сервисы местных отметок о присутствии, которые заключаются в том, что “отмечающееся” устройство (приложение) делает это посредством представления некоторого беспроводного узла. Например, активацией отправки рекламы беспроводного узла – фактически, предъявлением собственной идентификации. Такая отметка будет именно местной, поскольку будет доступна только устройствам (приложениям) в ограниченной области. И одновременно, такая отметка не требует публикации (фиксации) на каком-либо стороннем ресурсе, в отличие от классических гео-приложений, для того, чтобы начать с ней работать. Отметим, что именно так работает, например, появившаяся в 2020 году спецификация (сервис) COVID-трекер от Apple и Google (рисунок 6).

Приложение на устройстве *A* отмечает свое “присутствие” в области распространения сигнала беспроводной сети на устройстве *A*, “включая” (создавая) узел беспроводной сети на устройстве *A* (например, запуская представление узла). Это “присутствие” может быть отмечено приложением на устройстве *B*, которое находится поблизости (в зоне распространения сигнала от *A*).

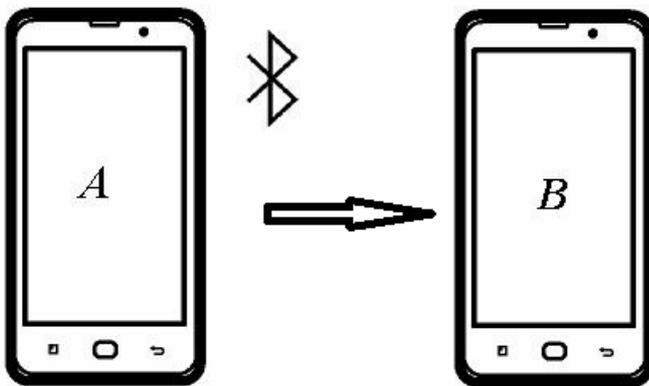


Рисунок 6. “Местная” отметка о присутствии

При этом кастомизированная идентификация узла *A* и представляет собой сообщение, которое получит *B* при определении близости. Схема информационных потоков:  $A \rightarrow B$ . Это один из базовых моментов архитектуры сетевой пространственной близости – объявление (представление) сервиса – это указание (или создание) сетевого узла (узлов), представляющего сервис. Альтернативная схема (классическая модель гео-сервисов) состояла бы в том, что устройство *A* сохраняло бы свои координаты вместе с сообщением у некоторого посредника (облачного сервиса, социальной сети и т.д.), а устройство *B* направляло бы этому же посреднику поисковые запросы со своими координатами, с целью поиска сообщений, оставленных поблизости от своего текущего местоположения. Схема информационного взаимодействия:  $A \rightarrow Cloud \ B \rightarrow Cloud \ Cloud \rightarrow B$

Соответственно, в “локальном” варианте нет вообще никакой инфраструктуры, а сам сервис “не виден” вне своей зоны действия. В предложенной модели поставщик сервиса не имеет информации о пользователях сервиса. Отметим также, что отсутствие инфраструктуры означает не только отсутствие облачного сервиса, с которым необходимо делиться информацией о местоположении, но и отсутствие обязательной поддержки со стороны телекоммуникационных операторов. То есть, описанные сервисы можно запускать “на лету”.

Другой пример использования ретрансляции – это модели использования сетевой близости при

работе с социальными сетями. Здесь используется идея применения физического веба для расширения социальных сетей. Пользователи социальных сетей могут распространять свой контент (в базовом варианте – сделать видимой ссылку на свой профиль) вне виртуального пространства социальной сети. Фактически – сделать какие-то элементы контента из социальной сети видимыми (достижимыми) для других мобильных приложений в непосредственной близости, используя кастомизацию идентификационной информации узлов беспроводных сетей.

Класс E – это, например, системы так называемого пассивного мониторинга. Это сетевой инструмент, который может быть использован в сочетании с данной моделью. Смысл его состоит в автоматической фиксации присутствия устройств (в первую очередь, с интерфейсом Wi-Fi) в некоторой области, также совпадающей с областью действия соответствующей беспроводной сети. Пассивным этот способ назван из-за отсутствия необходимости выполнения каких-либо действий со стороны определяемых устройств. Поддержка Wi-Fi, например, означает автоматическую рассылку устройством специальных пакетов, которые и могут регистрироваться. Такой подход, в принципе, хорошо сочетается с предложенной моделью сетевой близости – в нем, фактически, автоматически проверяется присутствие устройства (приложения) в зоне действия некоторой сети. Недостатками (на сегодняшний день) являются технические (так называемая рандомизация адресов, направленная на борьбу с отслеживанием перемещений) и юридические (регулирование отслеживания устройств в разных юрисдикциях) проблемы использования. Их преодоление, в итоге, сводится к явному уведомлению приложения о пребывании в некоторой области.

Примыкает к пассивному мониторингу (по способу применения - отслеживание перемещений устройств) рассмотренный подход анализа траекторных измерений, когда вместо гео-координат используется информация о сетевой близости. В работе показано, например, каким образом может осуществляться анализ группового (согласованного) движения мобильных абонентов при отказе от измерения координат. Например, здесь можно говорить о так называемом графе близости (*Proximity Graph*), вершины которого соответствуют всем видимым узлам беспроводных сетей, а ребра соединяют вершины, которые оказались видимыми вместе (для какого-то из пользователей оказались в одном сетевом окружении):

$$G_p = \{ N_p, E_p \} \quad (15)$$

$$N_p = \bigcup_{i=1}^M BSSID_i \quad BSSID - \text{адрес сетевого узла}$$

$$E_p = \{ \bigcup_i (BSSID_{i,j}, BSSID_{i,m}) : j \neq m \}$$

Ребрам графа можно задать веса, которые соответствуют тому, сколько раз два узла, соединенных ребром, оказались в одном сетевом окружении. Такой граф описывает маршруты пользователей. Отметим, что в такой формулировке граф не обязательно будет связным. Вполне возможно наличие подграфов, которые, как раз, и отражают как структуру перемещения пользователей, так и пространственные характеристики размещения опорных беспроводных узлов. Также такой *Proximity Graph* может служить основой для рекомендательных систем. Схема замещения здесь точно такая же: рекомендательные системы на основе логов GPS (логов координат) заменяются на такие же, но использующие логирование информации о сетевом окружении.

Вместо стандартной для гео-сервисов временной отметки ( $t$ , *latitude*, *longitude*), описывающей координаты объекта (пользователя, мобильного устройства) в некоторый момент времени  $t$ , у нас появляется, как указано выше, сетевой отпечаток ( $t$ ,  $\langle N_i \rangle$ ) – набор видимых сетевых узлов в момент времени  $t$ . Как и пара координат, отпечаток (набор видимых сетевых узлов) может соответствовать какому-то определенному месту. Как правило, речь будет идти о том, что сейчас принято называть *micro-location*.

Траектория мобильного устройства в такой системе выглядит как набор троек:

$$\{ (N_1, t_1^s, t_1^e), (N_2, t_2^s, t_2^e), \dots, (N_k, t_k^s, t_k^e) \} \quad (16)$$

где  $N_i$  – сетевой узел (тег)

$t_i^s$  - время начала пребывания в области видимости (достижимости) узла

$t_i^e$  - время окончания пребывания в области видимости (достижимости) узла

Определения и понятия, которые используются для характеристик перемещения мобильных абонентов в классической форме (с использованием гео-координат), заменяются на аналогичные, но использующие информацию о доступности сетевых узлов. При этом придется отказаться от понятий, явно завязанных на расстояния (например, радиус гирации, диаметр), но все остальное будет доступно. И, следовательно, будут доступны методы анализа мобильности, традиционно используемые только в совокупности с гео-вычислениями. Например, как индикатор мобильности мы можем использовать общее количество беспроводных узлов, пройденных пользователем:

$$M = |set(N_1, N_2, \dots, N_k)| \quad (17)$$

Большее значение этого индикатора означает большую активность мобильного абонента (мобильного устройства, которое мы ассоциируем с пользователем). Ровно так же это выглядит и в “классической” гео-информатике, где вместо мобильных узлов будут выступать места (пары гео-координат).

Также, по аналогии с классическими моделями на базе гео-данных, можно определить такие характеристики активности, как энтропия и разнообразие. Если мы возьмем вектор

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ , который описывает пропорциональную часть времени, проведенного в зоне действия сигнала (видимости) каждого беспроводного узла, то мы можем определить энтропию как

$$E = \sum_{i=1}^k p_i \log(p_i) \quad (18)$$

Маленькие абсолютные значения говорят о том, что активность пользователя (мобильного устройства) была связана с малым количеством узлов. Соответственно, большие абсолютные значения – наоборот, показывают активность пользователя (мобильного устройства) в зоне видимости большего количества узлов (тегов), иными словами – более активные перемещения. Другим показателем может быть количество узлов, которые “обошел” мобильный пользователь. Если мы возьмем множество  $N$  всех пар узлов, для которых есть перемещения, а вектор

$$Pr = \{pr_1, pr_2, \dots, pr_n\} \quad (19)$$

описывает вероятности таких перемещений, то в качестве показателя активности можно использовать следующее выражение:

$$A = \sum_{n \in N} pr_n \log(pr_n) \quad (20)$$

Здесь также нужно использовать абсолютные значения.

Эти два параметра описывают разнообразие в активности и разнообразие в перемещениях. Именно такие характеристики используются при работе с гео-координатами, в работе же они использованы (переопределены) для сетевых отпечатков. Также в работе рассмотрена задача анализа социального взаимодействия мобильных пользователей на основе исторических записей о сетевой близости. Показано, каким образом эта задача сводится, как и в случае использования гео-координат, к поиску повторяющихся шаблонов в последовательности графов.

В разделе, посвященном приватности и безопасности данных в предложенном подходе,

отмечается следующее. Классическая модель сервисов использующих информацию о местоположении всегда требует от участника, в той или иной форме, поделиться с некоторой стороной информацией о своем местоположении. Для моделей сетевой близости измерения “близости” локализованы. Они выполняются непосредственно по месту, без необходимости информирования об этом каких-то других сторон. В этом отношении модель сетевой пространственной близости является более строгой в части приватности данных, чем классические гео-сервисы.

Также в отдельном разделе рассматриваются возможные атаки на предложенный подход. К числу таковых относится так называемый *spoofing* (подмена). Рассылка идентификации беспроводного узла – это широковещательное сообщение. Атакующий может прослушать его и начать такую же рассылку от своего имени. Для борьбы с этим была предложена схема безопасных широковещательных рассылок. Смысл ее состоит в том, что каждая рассылка перед отправкой модифицируется сервером приложений, который и хранит таблицу соответствия (по времени) реальной идентификации и модифицированной, содержащей время модификации. Рассылается всегда модифицированная информация, которую и будет воспроизводить атакующий. А по таблице соответствия можно проверить – была ли такая информация действительна в момент отправки.

---

#### Алгоритм 2: безопасные рассылки

---

- 1:** Отправка мобильным приложением сообщения  $M_i$  на сервер и его трансформация:  

$$M_i \rightarrow Transform(M'_i, T_i)$$
 Трансформированное значение включает время
  - 2:** обновление таблицы соответствия  

$$M_i \rightarrow [ < M'_i, T_i ]$$
  - 3:** Отправка сервером модифицированного сообщения  $M'_i$  приложению для рассылки
  - ...
  - N:** получение клиентом сообщения  $\bar{M}$  и отправка его на сервер для проверки
  - N+1:** выделение времени  

$$T = extractTime(\bar{M})$$

$$M = extractMessage(\bar{M})$$
  - N+2:** проверка по таблице соответствия, какое сообщение было в момент времени  $T$  и сравнение его с  $M$
- 

**В пятой главе** речь идет о средствах разработки для приложений, использующих модель сетевой близости, а также новых формах использования некоторых беспроводных сетей, которые проистекают из использованной модели сетевой близости.

В качестве кандидатов на основные инструментальные средства разработки были исследованы экспериментальные Web API для работы с беспроводными сетями. В частности, были рассмотрены Web Bluetooth API и его модификации, а также Wi-Fi Web API и Chrome Developer. Сканирование узлов, в принципе, возможно, хотя и реализуется в каждой из систем по-своему. Изменение характеристик узлов возможно не везде. Во всех системах смешивается раскрытие (поиск) узлов и установление соединения. Такие операции должны быть разделены, хотя бы потому, что у них разные требования к безопасности. Было бы правильным допустить

возможности автоматического программного создания беспроводных узлов вообще без возможности соединения. В работе представлены требования к таким Web API, перечислены отсутствующие в настоящее время возможности.

В качестве основной схемы работы с беспроводными сетями в веб-приложениях предложено использовать модель, подобную спецификациям W3C Geo. Она хорошо подходит для работы с асинхронными процессами получения данных, а также давно известна разработчикам. Суть этой модели демонстрирует следующий фрагмент кода:

```
<script>
  if (navigator.geolocation) {
    navigator.geolocation.getCurrentPosition
    (proceedshowPosition);
  } else {
    // геолокация не поддерживается
  }
  function proceedPosition(position) {
    // отображение контента в зависимости от координат в position
    . . .
  }
</script>
```

Объект *navigator.geolocation* поддерживает метод *getCurrentPosition*, который вызывает пользовательскую *callback*-функцию, в которой и происходит обработка полученных координат. Например, настройка отображения веб-страницы. По аналогии с этим, предлагается добавить в браузер поддержку сервисов близости с помощью нового объекта *navigator.prose*, функции которого *getProSeCode* и *getProSeNodes* позволили бы обрабатывать в JavaScript коде 3GPP *ProSe Application Code* и сетевые отпечатки соответственно. Например:

```
if (navigator.prose) {
  navigator.prose.getProSeNodes (showNodes);
} else {
  console.error("ProSe is not supported by this browser.");
}
function showNodes(JSON_Array_of_Nodes) {
  // отображение контента в зависимости от
  // набора видимых узлов
  . . .
}
```

В данном случае пользовательская *callback*-функция *showNodes* получает в качестве параметра JSON массив с сетевыми отпечатками (информацию о сетевом окружении). Последний вариант был промоделирован на платформе Android, где интерфейсный элемент *WebView* в мобильных приложениях позволяет добавить JavaScript фрагмент к отображаемой странице. Соответственно, мобильное приложение может собрать информацию о сетевом окружении и добавить эти данные к загружаемой странице, имитировав вызов пользовательской *callback*-функции. То есть схема, которую W3C Geo использовал для гео-данных, распространена на использование данных о физическом сетевом окружении (данных о доступных узлах беспроводных сетей).

В такой реализации, браузер при просмотре веб-страницы будет иметь доступ к физическому окружению мобильного устройства, на котором он (браузер) запущен. Это может быть представлено как физический веб-браузер. С практической точки зрения – доступ к физическому окружению устройства из JavaScript кода на мобильной веб-странице означает, например, возможность определить тот факт, что веб-страница некоторого сайта торгового комплекса открыта пользователем, находящимся внутри этого торгового комплекса (на веб-

странице доступна информация о беспроводной сети в данном торговом комплексе). Это позволяет настроить отображение в соответствии с этим фактом (иными словами – использовать подход, знакомый веб-разработчикам по обработке гео-информации, когда веб-страницы кастомизируются в зависимости от гео-координат). А если видимые узлы беспроводных сетей ссылаются на некоторый каталог Hupercat, как было указано выше, то такой браузер может просматривать только узлы, перечисленные в этом каталоге (“местный” браузер).

Использование предложенных подходов в учебном процессе связано с применением систем на основе сетевой близости в практических занятиях по курсу Интернета Вещей. В предлагаемом подходе сетевые интерфейсы трактуются (используются) как сенсоры, что, фактически, делает их самыми доступными для программирования сенсорами на имеющихся мобильных устройствах учащихся, а использование именно JavaScript для разработки понижает порог вхождения.

Следующим направлением, которое рассмотрено в пятой главе, является применение подходов, которые были заявлены в модели сетевой близости для других приложений. Здесь, в частности, рассмотрено использование сетей BLE для передачи сообщений без организации соединений между устройствами. Это, например, позволяет использовать механизмы рекламного представления беспроводных узлов для передачи запросов от мобильных клиентов местным (расположенным поблизости) обработчикам. Это также может быть использовано, например, в краевых вычислениях, как средство организации запросов к выгруженным в локальные хранилища данным. С аналогичной идеей – использование возможностей сетевых устройств в режиме “без соединения” (это избавляет от проблем с безопасностью) рассмотрено использование сервисов в Wi-Fi Direct для организации хранения и поиска данных. В работе также описана схема разметки Интернет ресурсов, которая использует предложенный подход, организуя ссылки на существующие ресурсы, сгруппированные по релевантности для места их представления.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертации.

## **Основные результаты и выводы**

1. Предложен новый подход (модель, методы, алгоритмы и программная инфраструктура) для разработки мобильных распределенных систем и сервисов, использующих информацию о местоположении. Этот подход основан на информации о близости (пространственной близости) клиентского (запрашивающего) устройства и элементов сетевой инфраструктуры. В предложенном подходе классическая клиент-серверная схема для сервисов, использующих информацию о местоположении заменяется распределенной кибер-физической системой. Разработанная модель обеспечивает:

- отказ от работы с гео-координатами в пользу прямого определения близости;
- отсутствие необходимости со стороны пользователей сервиса предоставлять информацию о своем местоположении поставщику услуг;
- возможность работы без поддержки инфраструктуры

В предложенной модели факт использования сервиса (услуги) полностью скрыт от поставщика.

2. Исследована семантика систем и сервисов с использованием информации о местоположении и показано, что для большинства из них непосредственная проверка близости может заменить операции с координатами (определение той же самой близости на основе гео-вычислений для определения расстояния). Предложен новый метод определения близости, использующий физические ограничения распространения сигнала узлов беспроводных сетей, реализуемый программными средствами использованием API современных мобильных устройств, что

позволяет расширить область применимости систем и сервисов на основе близости практически для всех мобильных устройств. Предложенные модели, методы и алгоритмы для организации взаимодействия программ в рамках систем и сервисов на базе сетевой близости используют только стандартные возможности беспроводных интерфейсов мобильной операционной системы, что обеспечивает высокий уровень совместимости между различными устройствами. Представлены расширения FCL (IEC 61131-7) для анализа данных в системах, основанных на модели сетевой близости с использованием нечеткой логики.

3. Предложены, спроектированы, реализованы и опробованы на практике новые модели (методы и алгоритмы) сервисов, использующих информацию о местоположении. Предложена модель сервера приложений (Proximity Application Server), который унифицирует поддержку беспроводных сетей и подхода ProSe. Показана применимость выбранного логического (программного) представления узлов беспроводных сетей для других типов приложений. Представлена расширенная модель физического веба, интегрирующего элементы окружающей среды и их виртуальные представления.

Основными решениями здесь являются:

- новый метод определения пространственной близости между сущностями, основанный на анализе доступности узлов беспроводных сетей и явно использующий ограниченность распространения и функциональность сигнала;
- новая модель использования информации о доступности беспроводных сетей (узлов), основанная на кастомизации данных, которые беспроводные сети используют для своего представления (рекламы). Особенностью этой модели является то, что в ней интерфейсы беспроводных сетей на мобильных устройствах рассматриваются как сенсоры, и информация от таких сенсоров (их динамические характеристики) доступна по чтению в режиме без организации соединения;
- новый метод хранения информации о доступности беспроводных узлов, отличающийся от известных тем, что в нем учитывается разнородная информация обо всех доступных беспроводных узлах;
- новая модель работы с беспроводными сетями на мобильных устройствах, отличающаяся от известных тем, что разделяет непосредственное взаимодействие (соединения и передачу данных) и этапы раскрытия (поиска) беспроводных узлов;
- возможность реализации сервисов с использованием информации о местоположении без инфраструктурной поддержки;
- новая модель обработки данных о накопленных сигнатурах беспроводных узлов на основе моделей нечеткой логики, отличающаяся от известных тем, что оперирует разнородным набором признаков.

Практическая апробация результатов включает как промышленные применения, так и использование предложенных программных моделей и систем программирования в образовательном процессе (лекционные и практические занятия, магистерские диссертации и выпускные квалификационные работы).

4. Представлена новая операционная модель использования сервисов близости в ProSe. Исследованы и описаны практические аспекты создания и использования (поддержки) сервисов на основе сетевой близости в модели 3GPP ProSe. Исследована и описана организация взаимодействия программ в рамках сервисов 3GPP ProSe.

5. Представлен набор новых сервисов, использующих информацию о местоположении и построенных на основе сетевой близости. Представлены базовые модели, методы и алгоритмы для организации взаимодействия и распределенной обработки данных в таких системах, а также их референсные реализации.

6. Предложены, спроектированы, реализованы и опробованы на практике новые средства разработки (системы программирования) для моделей сервисов, использующих информацию о местоположении. Одним из основных достижений здесь является модель физического браузера, позволяющая обрабатывать информацию о физическом окружении непосредственно в браузере. Предложены изменения существующих стандартных подходов к обработке сетевой информации для поддержки моделей сетевой близости.

Как основной результат работы следует отметить то, что предложен, исследован и разработан новый программный инструментарий (система программирования), включающий модель сетевой пространственной близости, методы и алгоритмы для организации взаимодействия программ, средства разработки, для создания и сопровождения сервисов (приложений), использующих информацию о местоположении, который расширяет (или заменяет) традиционные подходы к созданию таких приложений.

### **Список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации**

1. Намиот Д. Е., Завьялов А. Н. Об одном практическом применении графовой модели данных //Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – №. 4. – С. 3-14.
2. Намиот Д.Е. Базы данных временных рядов в системах «Интернета вещей» //Прикладная информатика- 2017. – Т. 12. – №. 2. – С. 79-87.
3. Намиот Д.Е. О стандартах Умного Города //Информационное общество – 2017. – №. 2. – С. 45-52.
4. Намиот Д.Е., Зубарева Е.В. Об одном способе доставки информации мобильным пользователям //International Journal of Open Information Technologies – 2017. – Т.5. – №. 8. – С. 12-17.
5. Намиот Д.Е., Зубарева Е. В. Города, управляемые данными //International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С. 79-85.
6. Намиот Д.Е., Куприяновский В.П., Синягов С.А. Инфокоммуникационные сервисы в умном городе //International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Т.4. – №. 4. – С. 1-9.
7. Намиот Д.Е. Об обучении по Internet of Things и Smart Cities //International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Т.4. – №. 5. – С. 26-38
8. Намиот Д.Е., Шнепс-Шнеппе М.А. Об отечественных стандартах для Умного Города //International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Т.4. – №.7. – С. 32-37
9. Намиот Д.Е. Беспроводные теги на основе Bluetooth-устройств //Прикладная информатика – 2015. – Т.10. – №. 2. – С. 59-67.
10. Намиот Д.Е., Шнепс-Шнеппе М.А. Контекстно-зависимые сервисы на базе беспроводных тегов //Вестник компьютерных и информационных технологий – 2015. – №. 10. – С. 18-22.
11. Намиот Д.Е. Использование оценки приближенности к узлам Wi-Fi-сети для доставки гиперлокального контента //Прикладная информатика – 2012. – №. 5. – С. 51-58.
12. Абдрахманова А. М., Намиот Д.Е. Использование двумерных штрихкодов для создания системы позиционирования и навигации в помещении //Прикладная информатика. – 2013. – №. 1. – С. 31-39.
13. Намиот, Д. Е., Макарычев В.П. Об альтернативной модели отметки местоположения в социальных сетях //International Journal of Open Information Technologies 2020. – Т. 8. – №. 2. – С. 74-90.
14. Куприяновский, В. П., Синягов, С. А., Липатов, С. И., Намиот, Д. Е., & Воробьев, А. О. Цифровая экономика - «умный способ работать» //International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Т. 4. – №. 2. – С. 26-33.
15. Намиот Д.Е. Спецификация 3GPP D2D и публичные сервисы //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 2. – С. 39-46.
16. Намиот Д. Е. Wi-Fi Direct как технологическая основа для гипер-локального интернета //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 6. – С. 77-82.

17. Намиот Д.Е. О программировании для сервисов на основе близости //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 47-54.
18. Намиот Д.Е., Покусаев О.Н., Чекмарев А.Е. Модели сетевой близости в информационных системах на транспорте //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 9. – С. 53-58.
19. Намиот Д.Е. Сетевая пространственная близость между мобильными устройствами//International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – №. 1. – С. 80-85.
20. Proximus - комплекс мобильных сервисов, использующих информацию о местоположении для предоставления услуг абонентам или обмена данными с другими приложениями без организации соединений между устройствами и доступа к гео-координатам. (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2020664720, 18.11.2020). Намиот Д.Е.
21. Веб-браузер с возможностью доступа к информации о физическом окружении, которое представляется в виде данных, прочитанных с помощью сенсоров мобильного телефона и доступных для обработки в приложениях, выполняемых на веб-страницах. Программа предоставляет возможность для программ на языке JavaScript, исполняемых на веб-странице, получать доступ к информации о физическом окружении мобильных устройств. (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2020665585, 27.11.2020). Намиот Д.Е.
22. Namiot D., Sneps-Snepppe M. Customized check-in procedures //Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. – С. 160-164.
23. Namiot D., Sneps-Snepppe M. Wireless networks sensors and social streams //2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. – IEEE, 2013. – С. 413-418.
24. Namiot D., Sneps-Snepppe M. Social streams based on network proximity //International Journal of Space-Based and Situated Computing. – 2013. – Т. 3. – №. 4. – С. 234-242.
25. Namiot D., Schneps-Schnepppe M. About location-aware mobile messages: Expert system based on wifi spots //2011 Fifth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies. – IEEE, 2011. – С. 48-53.
26. Namiot D., Sneps-Snepppe M. On open source mobile sensing //International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking. – Springer, Cham, 2014. – С. 82-94.
27. Daradkeh Y. I., ALdhaifallah M., Namiot D. Mobile Clouds for Smart Cities //International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE). – 2017. – Т. 13. – №. 01. – С. 76-86.
28. Namiot D., Sneps-Snepppe M. On data persistence models for mobile crowdsensing applications //International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. – Springer, Cham, 2016. – С. 192-204.
29. Daradkeh Y., Namiot D., Sneps-Snepppe M. Spot expert as context-aware browsing //Journal of Wireless Networking and Communications. – 2012. – Т. 2. – №. 3. – С. 23-28.
30. Namiot D., Sneps-Snepppe M. On Search Services for Internet of Things //International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. – Springer, Cham, 2017. – С. 174-185.
31. Namiot D., Sneps-Snepppe M. On Internet of Things and Big Data in university courses //International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). – 2017. – Т. 8. – №. 1. – С. 18-30.
32. Daradkeh Y. I., Aldhaifallah M., Namiot D. One Model of Geo-Location Services for Telecom Operators //International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). – 2016. – Т. 10. – №. 2. – С. 19-24.
33. Namiot D. Mining groups of mobile users //International Journal of Wireless and Mobile Computing. – 2015. – Т. 9. – №. 3. – С. 211-217.
34. Daradkeh Y. I., Namiot D. Network Proximity for Content Discovery //International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). – 2015. – Т. 9. – №. 4. – С. 42-48.
35. Namiot D., Sneps-Snepppe M. On mobile wireless tags //Automatic Control and Computer

Sciences. – 2015. – Т. 49. – №. 3. – С. 159-166.

36. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On the analysis of statistics of mobile visitors //Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Т. 48. – №. 3. – С. 150-158.

37. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Analysis of trajectories in mobile networks based on data about the network proximity //Automatic Control and Computer Sciences. – 2013. – Т. 47. – №. 3. – С. 147-155.

38. Daradkeh Y. I., Namiot D., Schneps-Schneppe M. Context-Aware Browsing for Hyper-Local News Data (CABHLND) //International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). – 2012. – Т. 6. – №. 3. – С. 13-17.

39. Namiot D., Sneps-Sneppe M., Pauliks R. On Data Stream Processing in IoT Applications //Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. – Springer, Cham, 2018. – С. 41-51.

40. Dmitry Namiot, Dmitry Shabalin, Elena Zubareva. On Geo-marks based on network proximity //Selected Papers of the II International Scientific Conference "Convergent Cognitive Information Technologies" (Convergent 2017), серия CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). – 2017. – Т. 2064. – С. 425-436.

41. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On Proximity-Based Information Delivery //International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. – Springer, Cham, 2018. – С. 83-94.

42. Namiot Dmitry, Sneps-Sneppe M. A Survey of Smart Cards Data Mining //Supplementary Proceedings of the Sixth International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2017) Moscow, Russia, July 27 - 29, 2017, CEUR-WS. – 2017. – Т. 1975. – С. 314-325.

43. Namiot D., Ventspils M. S. S., Daradkeh Y. I. On internet of things education //2017 20th conference of open innovations association (FRUCT). – IEEE, 2017. – С. 309-315.

44. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On internet of things programming models //International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. – Springer, Cham, 2016. – С. 13-24.

45. Sneps-Sneppe M., Namiot D. On context-aware proxy in Mobile Cloud computing for emergency services //2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT). – IEEE, 2017. – С. 1-5.

46. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On Bluetooth proximity models //2016 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO). – IEEE, 2016. – С. 80-84.

47. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On hyper-local web pages //International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. – Springer, Cham, 2015. – С. 11-18.

48. Namiot D., Sneps-Sneppe M. 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. – С. 220-225.

49. Sneps-Sneppe M., Namiot D. On physical web models //2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – IEEE, 2016. – С. 1-6.

50. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On Mobile Bluetooth Tags //Proceedings of the 17th Conference of Open Innovations Association FRUCT, ITMO University, Saint-Petersburg, Russia Saint-Petersburg, 2015. – С. 325-330

51. Sneps-Sneppe M, Namiot D. On the Network Proximity in City-Scale Ubiquitous Systems //Сборник трудов 39-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН" Information technologies and systems 2015". – 2015. – С. 799-808.

52. Sneps-Sneppe M., Namiot D. On web-based domain-specific language for Internet of Things //2015 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). – IEEE, 2015. – С. 287-292.

53. Namiot D., Sneps-Sneppe M. The physical web in smart cities //2015 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO). – IEEE, 2015. – С. 46-49.

54. Namiot D. Time Series Databases //Proceedings of the XVII International Conference «Data

- Analytics and Management in Data Intensive Domains» (DAMDID/RCDL'2015), Obninsk, Russia, October 13 - 16, 2015, CEUR Workshop Proceedings, 2015. – C. 132-137.
55. Namiot D., Sneps-Sneppe M. CAT–cars as tags //2014 7th International Workshop on Communication Technologies for Vehicles (Nets4Cars-Fall). – IEEE, 2014. – C. 50-53.
56. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On software standards for smart cities: API or DPI //Proceedings of the 2014 ITU kaleidoscope academic conference: Living in a converged world-Impossible without standards?. – IEEE, 2014. – C. 169-174.
57. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Discovery of convoys in network proximity log //Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – C. 139-150.
58. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Geofence and network proximity //Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – C. 117-127.
59. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Local messages for smartphones //2013 Conference on Future Internet Communications (CFIC). – IEEE, 2013. – C. 1-6.
60. Namiot D. et al. Smart Cities Software from the developer's point of view //proceedings of 6 th International Conference on Applied Information and Communication Technologies (AICT2013). – [LLU], 2013. – C. 230-237.
61. Sneps-Sneppe M., Namiot D. Smart cities software: customized messages for mobile subscribers //International Workshop on Wireless Access Flexibility. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – C. 25-36.
62. Sneps-Sneppe M., Namiot D. Spotique: A new approach to local messaging //International Conference on Wired/Wireless Internet Communication. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – C. 192-203.
63. Sneps-Sneppe M., Namiot D. About M2M standards and their possible extensions //2012 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications. – IEEE, 2012. – C. 187-193.
64. Namiot D. Context-Aware Browsing--A Practical Approach //2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies. – IEEE, 2012. – C. 18-23.
65. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Context-aware data discovery //2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks. – IEEE, 2012. – C. 134-141.
66. Sneps-Sneppe M., Namiot D. M2M applications and open API: What could be next? //Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. – C. 429-439.
67. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Proximity as a service //2012 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications. – IEEE, 2012. – C. 199-205.
68. Namiot D., Sneps-Sneppe M. Where are they now–safe location sharing //Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. – C. 63-74.
69. Namiot D., Sneps-Sneppe M. A new approach to advertising in social networks-business-centric check-ins //2011 15th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks. – IEEE, 2011. – C. 92-96.
70. Namiot D. Geo messages //International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. – IEEE, 2010. – C. 14-19.
71. Namiot D., Sneps-Sneppe M., Pauliks R. On Mobile Applications Based on Proximity //2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW). – IEEE, 2019. – C. 59-64.
72. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On Proximity Application Server //2020 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2020. – C. 328-334.
73. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On One D2D Usage Model for 5G Networks //2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2021. – C. 322-327.
74. Namiot D., Sneps-Sneppe M. On the New Architecture of Location-Based Services //2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2021. – C. 254-260.