

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИДСТУ СО РАН)

На правах рукописи

Воскобойников Михаил Леонтьевич

**Методы моделирования поведения пользователей
мобильных приложений для организации
взаимодействия сервисов**

09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2020

Работа выполнена в лаборатории 4.1 Комплексных информационных систем отделения 4 Информационных технологий и систем ИДСТУ СО РАН.

Научный руководитель: **Бычков Игорь Вячеславович**,
доктор технических наук, академик,
директор ИДСТУ СО РАН.

Рецензенты: **Феоктистов Александр Геннадьевич**,
кандидат технических наук, доцент,
в.н.с., зав. лабораторией 5.1 Параллельных и
распределенных вычислительных систем
отделения 5 Вычислительных и управляющих
систем ИДСТУ СО РАН;

Бутаков Михаил Игоревич,
кандидат технических наук,
руководитель интеграционных проектов
ООО «Инфотех».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Начиная с 80-х годов XX века активно развивается область исследований, связанная с распознаванием деятельности человека (Human Activity Recognition). В настоящее время для распознавания деятельности человека используются данные, получаемые с сенсоров специализированных устройств, которые закрепляются на теле человека, а также с сенсоров мобильных устройств. В результате строится модель поведения человека, которая может быть использована для решения различных задач в области медицины, спорта, персонализации услуг. Большой вклад в развитие этой области исследований внесли такие ученые, как G. Fenza, H. F. Nweke, Md. O. Gani, O. Aziz, St. N. Robinovitch, M. Botros.

Сейчас активно развивается сервисно-ориентированный подход к реализации программных продуктов в виде сервисов и организации их взаимодействия. Создано большое количество сервисов, позволяющих удаленно проводить вычисления, предоставляющих различные данные и т.д. Отдельно можно выделить сервисы управления устройствами, доступные через Интернет, например устройства умного дома, умного города. Если раньше сервисы использовал только небольшой круг специалистов, то сейчас все больше людей применяют их в различных сферах деятельности.

Появление и регулярное использование большого количества сервисов выявило необходимость автоматизации их применения. Применение сервисов является специфичным относительно каждого пользователя и зависит от множества факторов, среди которых можно выделить геопозицию. Мобильные устройства обладают набором сенсоров, с помощью которых можно программно учитывать эти факторы. В частности, для определения геопозиции вне помещений используют данные, получаемые со спутников GPS и ГЛОНАСС. Для позиционирования внутри помещений в большинстве случаев используются беспроводные технологии и методы машинного обучения. Большой вклад в разработку методов позиционирования мобильных устройств внутри помещений на основе беспроводных технологий внесли: Д. Е. Намиот, М. А. Шнепс-Шнеппе, I. H. Alshami, L. Wu, A. Azeez, Q. Liu.

Среди пользователей сервисов растет количество людей, которые не являются специалистами в информационных технологиях. Методы

автоматизации применения сервисов должны учитывать предпочтения пользователей и основываться на данных сенсоров, в то же время должны позволять неспециалистам их конфигурировать.

Для повышения эффективности автоматизации применения сервисов необходимо осуществить моделирование поведения пользователя на основе данных сенсоров мобильных устройств. Методы автоматизации применения сервисов должны учитывать ситуации изменения предпочтений пользователя для вызова сервиса. Несмотря на значимые научно-прикладные результаты по разработке методов автоматизации применения сервисов, они имеют ряд недостатков, связанных со сложностью их конфигурирования, с продолжительным временем сбора обучающих данных. Описанные недостатки не позволяют использовать существующие наработки для эффективной организации взаимодействия сервисов в условиях изменяющейся модели поведения пользователей мобильных устройств. Это определяет актуальность разработки новых методов моделирования поведения пользователя для организации взаимодействия сервисов.

Цель квалификационной работы состоит в повышении организации взаимодействия сервисов.

Основные задачи исследования

1. Анализ существующих методов моделирования поведения пользователя мобильных приложений для организация взаимодействия сервисов.

2. Построение модели поведения пользователя мобильных приложений для автоматизации применения сервисов.

3. Разработка алгоритма распознавания контекста применения сервисов.

4. Разработка алгоритма модификации модели поведения пользователя.

5. Реализация программных компонентов для автоматизации применения сервисов.

Объектом исследования является распознавание деятельности человека на основе данных сенсоров мобильного телефона и действий пользователя.

Предметом исследования являются методы моделирования поведения пользователей мобильных приложений для организации взаимодействия сервисов.

Методы исследования. В работе использовались методы проектирования баз данных, мобильных технологий, объектно-ориентированного программирования, математической статистики, методы классификации и кластеризации данных.

Научная новизна

1. Разработан оригинальный метод моделирования поведения пользователя мобильного устройства для организации взаимодействия сервисов на основе анализа действий пользователя и контекста мобильного устройства. В отличие от существующих, применяется метод распознавания контекста мобильного устройства с учителем, что значительно упрощает автоматизацию применения сервисов.

2. Впервые реализован метод модификации модели поведения пользователя, позволяющий учитывать, в отличие от существующих методов, частичное изменение предпочтений пользователя на основе корректировки базы прецедентов.

3. Реализован оригинальный набор программных компонентов для автоматизации применения сервисов.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод моделирования поведения пользователя мобильного устройства для организации взаимодействия сервисов на основе анализа действий пользователя и контекста мобильного устройства, позволяющий автоматизировать применение сервисов.

2. Метод модификации модели поведения пользователя при изменении предпочтений пользователя мобильного устройства на основе корректировки базы прецедентов.

3. Реализация набора программных компонентов для автоматизации применения сервисов.

Теоретическая и практическая значимость. Основные научные результаты по теме работы получены при поддержке центра коллективного пользования ИИВС ИРНОК и гранта РФФИ № 16-07-00411.

Разработанные и реализованные в рамках диссертационной работы методы и набор программных компонентов позволяют автоматизировать применение сервисов на основе моделирования поведения пользователя мобильного приложения, модифицировать модель поведения пользователя, учитывая частичное изменение предпочтений пользователя на основе корректировки базы прецедентов. Это повышает эффективность взаимодействия сервисов и их применения.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается обоснованными методами проектирования баз данных, веб-технологий, мобильных технологий, объектно-ориентированного программирования, методами классификации и кластеризации данных. Результаты апробации опубликованы в открытой печати.

Соответствие специальности. В соответствии с паспортом специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» квалификационная работа охватывает исследование моделей, методов, алгоритмов, языков и программных инструментов для организации взаимодействия программ и программных систем. Отраженные в квалификационной работе положения соответствуют пункту 3 области исследований специальности 05.13.11.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: Всероссийской конференции «Ляпуновские чтения» (г. Иркутск, 2016–2019); Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Винеровские чтения» (г. Иркутск, 2018); XVIII Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию (г. Иркутск, 2017); XXII–XXIV Байкальской всероссийской конференции с международным участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 2017–2019).

Публикации и личный вклад автора. Результаты квалификационной работы опубликованы в 3-х научных изданиях, в том числе 1 статья в рецензируемом журнале, рекомендованном ВАК для опубликования результатов диссертаций, 7 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций.

Разработка метода распознавания контекста мобильного устройства и метода модификации модели поведения пользователя, а также все выносимые на защиту положения получены автором лично.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю академику И. В. Бычкову за руководство научно-исследовательской работой, к.т.н. Р. К. Федорову за постановку и поддержку при решении задач, совместную работу, вдохновение и помощь, д.т.н. Г. М. Ружникову за обсуждение и полезные замечания при выполнении работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** выполняется анализ современного состояния проблемы моделирования поведения пользователей мобильных устройств для организации взаимодействия сервисов.

В **главе 2** рассматривается проблема моделирования поведения пользователей мобильных приложений для организации взаимодействия сервисов. Существующие методы моделирования поведения пользователя мобильного приложения имеют свои недостатки и ограничения, рассмотренные в **главе 1**. Предлагается автоматизировать применение сервисов с мобильного устройства на основе распознавания модели поведения пользователя. Кроме того, необходимо учитывать изменение предпочтений пользователя и, как следствие, модифицировать модель поведения пользователя. Решением данных проблем являются разработанные в рамках диссертационной работы методы.

В **п. 2.1** определяется контекст мобильного устройства. В **главе 1** рассматривается определение контекста как любой информации, которая может быть использована для описания ситуации, в которой находится сущность. В решаемой задаче контекстом мобильного устройства является

информация, получаемая с его сенсоров, например GPS-координаты, сила сигнала Wi-Fi точек доступа, ускорение и т.д.

Рассмотрены следующие способы определения местоположения мобильных устройств:

1) вне помещения, с помощью GPS-приемника мобильного устройства;

2) внутри помещения, с помощью информации о силе сигнала видимых Wi-Fi точек доступа.

В итоге был сформулирован контекст мобильного устройства:

$$x = \{w_1, w_2, \dots, w_l\},$$

где w_1, \dots, w_l – значения параметров сенсоров.

В п. 2.2 приводится формулировка задачи автоматизации применения сервисов. Существует множество различных сервисов, которые пользователь может применять на мобильном устройстве согласно своим предпочтениям. Применение сервиса выполняется при появлении соответствующего контекста мобильного устройства, который определен в п. 2.1. Определение необходимости вызова сервиса при текущем контексте мобильного устройства сводится к задаче распознавания, в которой осуществляется классификация контекста в один из классов: вызов сервиса или отрицание вызова сервиса. Создание классификатора, учитывающего индивидуальные предпочтения пользователя, можно выполнять на основе прецедентов (примеров применения сервисов). Прецедент содержит данные контекста мобильного устройства, наименование сервиса и класс, т.е. вызов сервиса или отрицание вызова сервиса. Классификацию текущего контекста мобильного устройства можно производить следующим образом: извлечь контексты из созданных ранее прецедентов применения сервисов и найти ближайший (схожий) к текущему контексту. Далее по ближайшему контексту определить его класс, т.е. необходимость применения сервиса или отсутствие необходимости вызова сервиса. Для выполнения сравнения контекстов (меры сходства) необходимо определить метрику.

Помехи, шум, которые возникают при работе сенсоров мобильного устройства, приводят к некоторому разбросу значений в пространстве признаков. На практике пользователь применяет сервис не в одной точке (геопозиции), а в некоторой области, в рамках которой значения сенсоров

могут варьироваться. Обычно область применения сервиса может разбиваться на несколько зон в пространстве признаков контекста (значений сенсоров). Например, эти зоны могут соответствовать положениям пользователя с разных сторон шлагбаума. При классификации текущего контекста ближайший прецедент может находиться достаточно далеко от зоны применения сервиса, как изображено на рисунке 1. Окружностями со знаком плюс обозначены положительные прецеденты вызова сервиса, окружностями со знаком минус – отрицательные прецеденты вызова сервиса, зона вызова сервиса обозначена большой окружностью с пунктирной линией, звездой обозначен текущий контекст.

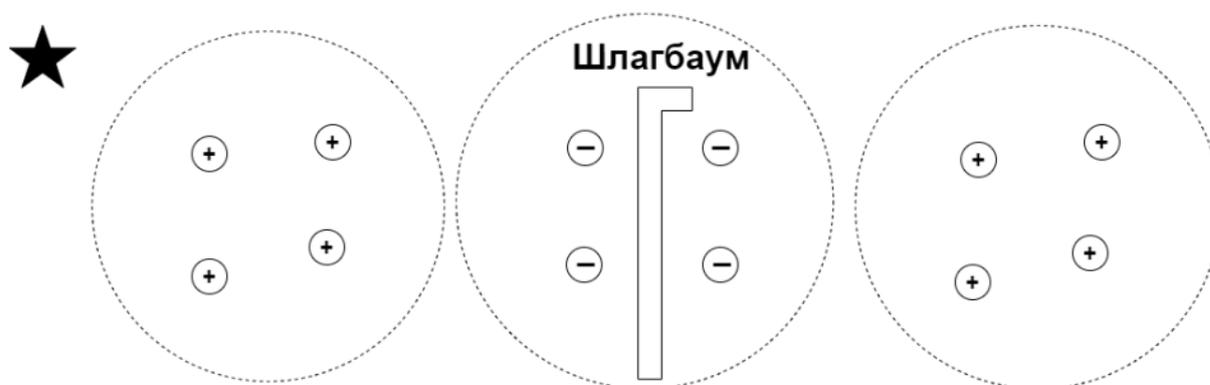


Рисунок 1 – Ситуация, когда текущий контекст находится вне области вызова сервиса

Необходимо, чтобы такие контексты не классифицировались как применение сервиса. Возникает задача определения зон применения сервиса, которая решается вычислением порога расстояния в используемой метрике, с помощью которого можно определить, что контекст является близким к контексту прецедента. Значение порога необходимо задать таким образом, чтобы уменьшить трудоемкость обучения, т.е. количество прецедентов. Соответственно, чем больше значение порога, тем меньше прецедентов нужно задать пользователю для определения зоны применения. Другими словами, при слишком малом значении порога пользователю необходимо задавать слишком много прецедентов, чтобы контекст успешно классифицировался. Это проиллюстрировано на рисунке 2.

С другой стороны, зона применения сервиса должна быть ограничена и любой контекст должен находиться на расстоянии не больше порога к прецедентам только одного класса, т.е. однозначно классифицироваться. Одним из способов определения порога является его вычисление в процессе

кластеризации прецедентов, в рамках которого схожие по значениям признаков прецеденты объединяются в кластеры, и вычисляется порог меры сходства.

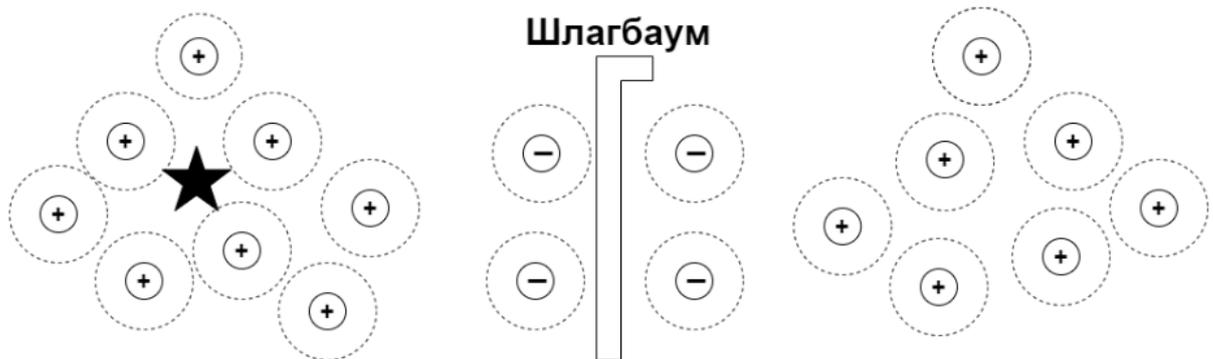


Рисунок 2 – Ситуация, когда значение порога расстояния между прецедентами слишком мало

Предпочтения пользователя о том, где и когда применять сервис, могут изменяться. При частичном изменении предпочтений необходимо определить, какие прецеденты являются устаревшими. Такие прецеденты необходимо удалить из базы прецедентов. Остальные прецеденты должны остаться в базе прецедентов без изменений. Добавление нового прецедента в случае его конфликта с существующими прецедентами должно подтверждаться пользователем, так как это может привести к удалению актуальных прецедентов. Предлагается удалять старые прецеденты при наличии новых конфликтных прецедентов, количество которых более константы Z . Прецеденты являются конфликтными, если существуют контексты мобильного устройства, которые могут быть классифицированы неоднозначно, т.е. одновременно как вызов сервиса и отрицание вызова сервиса. Возникает задача определения устаревших прецедентов из базы прецедентов.

В п. 2.3 рассматривается постановка задачи моделирования поведения пользователя для автоматизации применения сервисов.

Пусть $S = \{s_1, s_2, \dots, s_l\}$ – множество Web-сервисов;

$Y = \{e, m\}$ – множество действий пользователя, где e – вызов сервиса, m – отсутствие вызова сервиса;

$x = \{w_1, w_2, \dots, w_l\}$ – контекст мобильного устройства;

$X = \{x_i\}$ – множество контекстов;

$p = (x, s, y)$ – прецедент;

$u_i: X \rightarrow Y$ – индивидуальные предпочтения пользователя вызова сервиса i ;

$U = \{u_i\}$ – множество предпочтений пользователя;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множество прецедентов, которые задают управление сервисами;

$O = \{add, delete\}$ – набор операций над прецедентами, где *add* – добавление прецедента, *delete* – удаление прецедента;

$M = \{S, X, P, U\}$ – модель поведения пользователя.

Изменение модели поведения пользователя должно приводить к изменению множества прецедентов.

Для автоматизации применения сервисов необходимо решить две задачи:

1) распознавание контекстов мобильного устройства, т.е. построить алгоритм $a_i: X \rightarrow Y$, который классифицирует произвольный контекст $x \in X$ также как $u_i: X \rightarrow Y$ для каждого сервиса i ;

2) модификация модели поведения пользователя: построить алгоритм, который при появлении нового прецедента будет выполнять операции из O над P для получения новой модели M .

В п. 2.4 дается определение метрики для оценки схожести контекстов вызова Web-сервисов. Вызов сервиса связан с определенным типом сенсора мобильного устройства. Внутри помещения вызов сервиса связан с геопозицией мобильного устройства, определяемой силой сигнала Wi-Fi точек доступа. Вне помещения вызов сервиса связан с геопозицией мобильного устройства, определяемой GPS-координатами. Экспериментально установлено, что при увеличении расстояния между мобильным телефоном и Wi-Fi точкой доступа среднеквадратическое отклонение измеряемой силы сигнала падает, а при уменьшении расстояния – растет. Из этого следует, что необходимо ввести весовые коэффициенты, которые должны указывать на степень доверия к информации о силе сигнала для конкретной Wi-Fi точки доступа, т.е. чем сильнее сигнал, тем меньше доверие его значению и наоборот. Сила сигнала Wi-Fi точек доступа изменяется в диапазоне от – 100 до – 30 дБм, где – 100 дБм – наихудшая сила сигнала, – 30 дБм – наилучшая сила сигнала (дБм – децибел относительно 1 милливатта). Результат эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Измерения силы сигнала (дБм) в зависимости от расстояния между Wi-Fi точкой доступа и мобильным устройством

Наблюдение	Сила сигнала Wi-Fi точки доступа (в дБм) на заданном расстоянии до мобильного устройства		
	1 м	4 м	6 м
1	– 45,00	– 43,00	– 47,00
2	– 44,00	– 41,00	– 48,00
3	– 54,00	– 41,00	– 51,00
4	– 44,00	– 45,00	– 50,00
5	– 41,00	– 45,00	– 49,00
6	– 40,00	– 48,00	– 49,00
Среднеквадратическое отклонение	4,966555	2,71416	1,414214

Была определена зависимость между силой сигнала Wi-Fi точки доступа и ее среднеквадратическим отклонением, изображенная на рисунке 3.

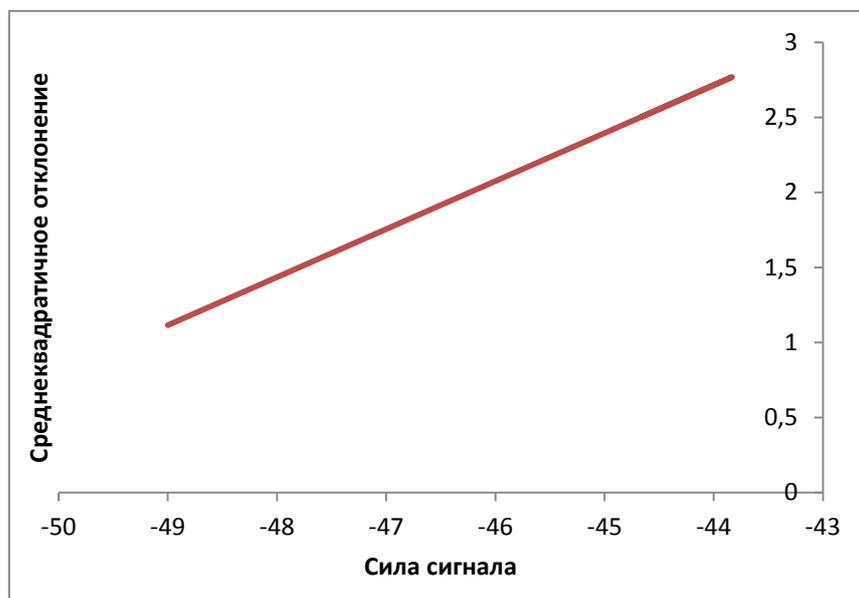


Рисунок 3 – Линейная зависимость между силой сигнала Wi-Fi точки доступа и ее среднеквадратическим отклонением

Получена весовая функция для силы сигнала Wi-Fi точек доступа

$$w(x) = \frac{1}{ax + b},$$

где a и b – коэффициенты уравнения регрессии, x – сила сигнала любой Wi-Fi точки доступа. Экспериментально установлено, что весовая функция

является одинаковой для любых Wi-Fi точек доступа.

Формула для расчета расстояния между двумя векторами силы сигналов Wi-Fi точек доступа выглядит следующим образом:

$$d(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^r |d_c(v_{ki}, v_{kj})| w \left(\frac{v_{ki} + v_{kj}}{2} \right).$$

Если Wi-Fi точка доступа в конкретном прецеденте отсутствует, то уровень сигнала устанавливается равным 0.

Следуя из вышесказанного, имеем данную метрику:

$$d_c(v_{ki}, v_{kj}) = \begin{cases} 0, & v_{ki} = NULL \vee v_{kj} = NULL; \\ v_{ki} - v_{kj}, & v_{ki} \neq NULL \wedge v_{kj} \neq NULL. \end{cases}$$

Для расчета расстояния между GPS-координатами используется формула гаверсинусов, модифицированная для антиподов (точек, расположенных на противоположных концах сферы), которая является частным случаем формулы Таддеуса Винсенти, разработанная им в 1975 году:

$$d(x_i, x_j) = R \cdot \arctan \left\{ \frac{\sqrt{(\cos\varphi_2 \sin\Delta\lambda)^2 + (\cos\varphi_1 \sin\varphi_2 - \sin\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda)^2}}{\sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda} \right\},$$

где φ_1, λ_1 – широта и долгота первой точки; φ_2, λ_2 – широта и долгота второй точки; $\Delta\lambda$ – разница координат по долготе; R – радиус Земли, равный 6372,8 км.

В п. 2.5 рассматривается метод распознавания контекста мобильного устройства.

Требуется построить алгоритм $a_i: X \rightarrow Y$, способный классифицировать произвольный контекст $x \in X$ для сервиса i , по аналогии с пользовательской моделью применения сервисов u_i .

На рисунке 4 изображена ситуация, когда контекст мобильного устройства находится в зоне вызова сервиса. Окружностями со знаком плюс обозначены положительные прецеденты вызова сервиса, окружностями со знаком минус – отрицательные прецеденты вызова сервиса, зона вызова сервиса обозначена большой окружностью с пунктирной линией, звездой обозначен текущий контекст \hat{x} мобильного устройства, который необходимо классифицировать.



Рисунок 4 – Ситуация, когда контекст мобильного устройства находится в зоне вызова сервиса

Метод распознавания контекста мобильного устройства основывается на множестве прецедентов и пороге th , который определяет зоны вызова сервиса. Для классификации текущего контекста мобильного устройства \hat{x} производится поиск ближайшего прецедента вызова сервиса x' :

$$x' = \operatorname{argmin}(d(\hat{x}, x_i)), \quad i = 1, \dots, n,$$

среди всех прецедентов x_i , созданных пользователем. Если расстояние $d(\hat{x}, x_i) < th$, то текущий контекст имеет такой же класс как у прецедента x' . Если это класс вызова сервиса, то производится автоматически вызов соответствующего сервиса или предлагается пользователю его вызвать.

Для того чтобы сервис не вызывался автоматически несколько раз подряд, выполняется проверка того, что мобильное устройство покинуло зону применения сервиса.

В п. 2.6 рассматривается алгоритм определения зон вызова сервиса.

Как было сказано выше в п. 2.2, необходимо определить зоны вызова сервиса. Введем обозначения:

table – таблица прецедентов;

dists – таблица расстояний между прецедентами;

clusters – массив номеров кластеров, к которому отнесен прецедент;

th – порог расстояния между прецедентами.

Каждая запись таблицы расстояний между прецедентами имеет следующую структуру: $(i, j, d(x_i, x_j))$, а каждая запись таблицы прецедентов – (x, s, y) .

Далее приводится псевдокод алгоритма формирования таблицы *dists*:

```

для i = 0 до n-1
  для j = i + 1 до n
    a = table[i].x
    b = table[j].x
    если i != j:
      вычислить расстояние dist между a и b
      добавить расстояние dist в массив структур dists
Упорядочить записи в таблице dists по расстоянию между прецедентами

```

Далее приводится псевдокод *алгоритма вычисления порога расстояния между прецедентами для определения зоны вызова сервиса*:

```

цикл для d = 0 до m
  conflict_cnt := 0
  цикл для i = 0 до n-1
    class1 := table[i].s
    цикл для j = i+1 до n
      class2 := table[j].s
      если distance(X[i], X[j]) < dists[d].dist
        если class1 != class2 тогда
          conflict := true
        конец условия
      если clusters[i] = -1 и clusters[j] = -1 тогда
        clusters[i] := cluster_cnt
        clusters[j] := cluster_cnt
        cluster_cnt += 1
      иначе если clusters[i] != -1 и clusters[j] = -1 тогда
        clusters[j] := clusters[i]
      иначе если clusters[i] = -1 и clusters[j] != -1 тогда
        clusters[i] := clusters[j]
      иначе
        цикл для k = 0 до n
          если clusters[k] = clusters[j] тогда
            clusters[k] := clusters[i]
          конец условия
        конец цикла
      конец условия
    если conflict = true
      выход из цикла
    конец условия
  если conflict = true тогда
    если d > 0 тогда
      th := dists[d - 1].dist
      выход из цикла
    конец условия
  конец условия
конец цикла
конец цикла
конец цикла

```

В п. 2.7 рассматривается метод модификации модели поведения пользователя.

Может возникать конфликтное множество прецедентов, когда алгоритм распознавания контекста мобильного устройства дает неоднозначную классификацию. Это происходит тогда, когда пользователь изменил предпочтения по вызову сервисов в текущем контексте, и необходимо модифицировать модель поведения пользователя, т.е. удалить устаревшие прецеденты.

Обозначим прецеденты в конфликтном множестве символами А и В, которые обозначают класс прецедента (вызов сервиса или отрицание вызова сервиса).

На рисунке 5 представлена временная диаграмма конфликтного множества прецедентов, когда пользователь указал, что в зоне вызова сервиса в моменты времени t_1, t_2, t_3 были созданы прецеденты класса А, а в моменты времени t_4, t_5, t_6 были созданы прецеденты класса В. В таком конфликтном множестве устаревшие прецеденты, созданные в моменты времени t_1, t_2, t_3 , необходимо удалить.

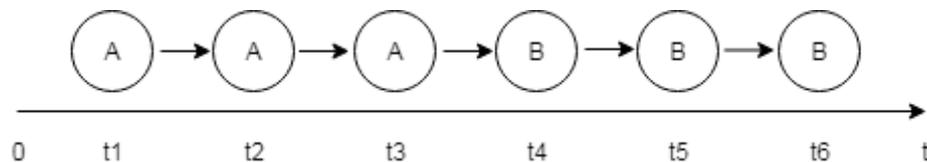


Рисунок 5 – Временная диаграмма конфликтного множества прецедентов

Введем обозначения:

$conf_set = \{p_1, \dots, p_k, p_{k+1}, \dots, p_n\}$ – множество конфликтующих прецедентов, где $\{p_1, \dots, p_k\}$ – прецеденты класса А, $\{p_{k+1}, \dots, p_n\}$ – прецеденты класса В;

t^p – время создания прецедента p ;

Z – константа, обозначающая минимальное количество прецедентов, при котором выполняется поиск и удаление устаревших прецедентов.

Далее приведен псевдокод алгоритма обнаружения конфликтного множества прецедентов:

```

цикл для d = 0 до m
  conflict_cnt := 0
  цикл для i = 0 до n-1
    class1 := table[i].s

```

```

цикл для j = i+1 до n
  class2 := table[j].s
  если distance(X[i], X[j]) < dists[d].dist
    если class1 != class2 тогда
      добавить в conf_set значение table[i]
      добавить в conf_set значение table[j]
    конец условия
  если clusters[i] = -1 и clusters[j] = -1 тогда
    clusters[i] := cluster_cnt
    clusters[j] := cluster_cnt
    cluster_cnt += 1
  иначе если clusters[i] != -1 и clusters[j] = -1 тогда
    clusters[j] := clusters[i]
  иначе если clusters[i] = -1 и clusters[j] != -1 тогда
    clusters[i] := clusters[j]
  иначе
    для k = 0 до n
      если clusters[k] = clusters[j] тогда
        clusters[k] := clusters[i]
      конец условия
    конец цикла
  конец условия
если мощность conf_set >= z тогда
  выход из цикла
конец условия
если мощность conf_set >= z тогда
  выход из цикла
конец условия
конец цикла
конец цикла
конец цикла

```

Далее во множестве *conf_set* идентификаторы прецедентов упорядочиваются по времени t^p в соответствии с таблицей прецедентов. Затем выполняется проверка, что во множестве *conf_set* существуют конфликтующие прецеденты, такие что $t^{p_{k+1}} > t^{p_k}$. Если условие выполняется, то p_1, \dots, p_k считаются устаревшими и удаляются.

В главе 3 рассматриваются вопросы реализации предложенных методов в виде программных компонентов для автоматизации применения сервисов.

В п. 3.1 рассматривается схема взаимодействия программных компонентов для автоматизации применения сервисов, изображенная на рисунке 6.

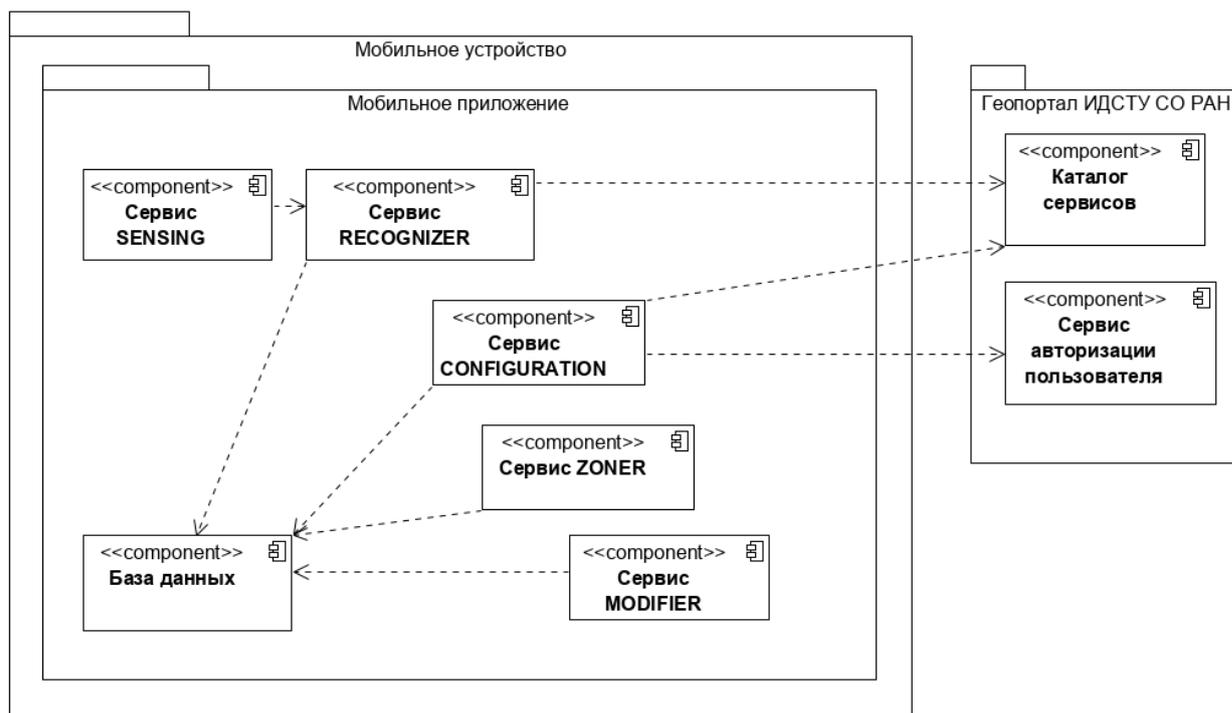


Рисунок 6 – Схема взаимодействия программных компонентов для автоматизации применения сервисов

Вводятся обозначения сервисов:

- SENSING – сервис для считывания данных с сенсоров мобильного устройства;
- ZONER – сервис для определения зон вызова сервисов;
- RECOGNIZER – сервис для распознавания контекста мобильного устройства;
- MODIFIER – сервис для модификации БД прецедентов при изменении модели поведения пользователя;
- CONFIGURATOR – сервис для конфигурирования приложения.

В п. 3.2 рассматриваются вопросы хранения данных и формирование базы данных.

В п. 3.3 рассматривается процесс формирования каталога доступных сервисов в мобильном приложении.

В п. 3.4 описывается процесс вызова сервисов и приводится листинг процедуры отправки запроса для вызова Web-сервиса.

В п. 3.5 приводится программная реализация разработанных алгоритмов.

В п. 3.6 приводится описание пользовательского интерфейса мобильного приложения.

В п. 3.7 рассматривается механизм экономии энергии мобильного устройства.

В главе 4 выполняется оценка точности разработанного алгоритма распознавания контекста мобильного устройства, обозначенного как NEW, по сравнению с алгоритмами классификации данных Decision Tree и SVM. Для этого сформирована выборка, состоящая из 97 прецедентов двух классов. Часть ее используется для обучения, часть – для тестирования алгоритмов. Основным критерием выбора алгоритма для распознавания контекста мобильного устройства был минимальный размер обучающей выборки, при котором точность классификации достигает 100%.

Таблица 2 – Сравнение точности разработанного алгоритма NEW с алгоритмами Decision Tree и SVM

Объем	Decision Tree		SVM		NEW		Точность		
	Тестов	Успешно	Тестов	Успешно	Тестов	Успешно	DT	SVM	NEW
							%	%	%
10	87	85	87	40	87	85	97,70	45,98	97,70
15	82	81	82	40	82	81	98,78	48,78	98,78
16	81	65	81	43	81	80	80,25	53,09	98,77
17	80	65	80	41	80	80	81,25	51,25	100,00
18	79	76	79	40	79	79	96,20	50,63	100,00
19	78	75	78	37	78	78	96,15	47,44	100,00
20	77	74	77	36	77	77	96,10	46,75	100,00
25	72	69	72	31	72	72	95,83	43,06	100,00
30	67	64	67	26	67	67	95,52	38,81	100,00
35	62	59	62	25	62	62	95,16	40,32	100,00
40	57	54	57	25	57	57	94,74	43,86	100,00
45	52	49	52	17	52	52	94,23	32,69	100,00
50	47	44	47	25	47	47	93,62	53,19	100,00
55	42	39	42	17	42	42	92,86	40,48	100,00
60	37	37	37	15	37	37	100,00	40,54	100,00

Как видно из таблицы 2, при использовании алгоритма Decision Tree 100%-я точность распознавания контекста мобильного устройства достигается только при 60 обучающих прецедентах, что является

неприемлемым объемом обучающей выборки, поскольку требует от пользователя продолжительного времени обучения мобильного приложения. Средняя точность составила 94,6%.

Алгоритм SVM показал крайне низкую точность при распознавании контекста мобильного устройства. Средняя точность составила 44,7%.

В то же время разработанный алгоритм NEW показывает 100% точность уже при объеме обучающей выборки в 17 прецедентов.

Из этого можно сделать вывод, что разработанный алгоритм успешно решает задачу распознавания контекста мобильного устройства для автоматизации применения сервиса.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Выполненная работа посвящена разработке методов моделирования поведения пользователей мобильного устройства для организации взаимодействия сервисов. В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Изучены существующие методы моделирования поведения пользователей мобильного устройства для организации взаимодействия сервисов.

2. Изучены существующие методы распознавания контекста мобильного устройства.

3. Построена модель поведения пользователей мобильного устройства для автоматизации применения сервисов.

4. Разработан оригинальный метод моделирования поведения пользователя мобильного устройства для организации взаимодействия сервисов на основе анализа действий пользователя и контекста мобильного устройства. В отличие от существующих, применяется метод распознавания контекста мобильного устройства с учителем, что значительно упрощает автоматизацию применения сервисов.

5. Реализован метод модификации модели поведения пользователя, позволяющий учитывать, в отличие от существующих методов, частичное изменение предпочтений пользователя на основе корректировки базы прецедентов.

6. Реализован набор программных компонентов для автоматизации применения сервисов.

Выполнен сравнительный анализ точности разработанного метода по сравнению с существующими методами на тестовом сервисе, развернутом на геопортале ИДСТУ СО РАН.

Все задачи, поставленные перед исследованием, были успешно выполнены. Разработанные в рамках диссертационной работы методы и набор программных компонентов позволяют значительно повысить эффективность организации взаимодействия сервисов за счет автоматизации применения сервисов, используемых в системах умного дома, города.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи в журналах из перечня ВАК:

1. Воскобойников, М. Л. Автоматизация вызовов Web-сервисов на мобильном устройстве / М. Л. Воскобойников, Р. К. Федоров, Г. М. Ружников // Вестник Бурятского гос. ун-та. Математика, информатика. – 2019. – № 2. – С. 83–94.

Статьи в других изданиях:

1. Воскобойников, М. Л. Разработка методов получения, хранения и обработки геолокационных данных мобильных устройства / М. Л. Воскобойников, Р. К. Федоров // Ляпуновские чтения: Материалы конф. (г. Иркутск, 21–23 ноября 2016 г.). – Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2016. – С. 15.

2. Воскобойников, М. Л. Технология обработки данных с пространственной привязкой, получаемых с мобильных устройств / М. Л. Воскобойников, Р. К. Федоров // Материалы XVIII Всерос. конф. молодых учёных по математическому моделированию (г. Иркутск, Россия, 21–25 августа 2017 г.). – Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. – С. 69–70.

3. Voskoboinikov, M. L. Method of Collecting, Processing and Storing Geolocational Data Received From Mobile Devices / M. L. Voskoboinikov, R. K. Fedorov // Proc. of Intern. Conf. on Applied Internet and Information Technologies (ICAИТ 2017). Zrenjanin, Serbia, October 5–6, 2017. – P. 45–52. – URL: <http://tfzr.rs/aiit/files/ProceedingsAIIT2017.pdf> (access date: 18.10.2017).

4. Воскобойников, М. Л. Разработка методов анализа применения пользователям Web-сервисов / М. Л. Воскобойников, Р. К. Федоров //

Ляпуновские чтения: Материалы конф. (г. Иркутск, 5–7 декабря 2017 г.). – Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2017. – С. 10.

5. Воскобойников, М. Л. Автоматизация вызова сервисов на основе данных, получаемых с датчиков мобильного устройства / М. Л. Воскобойников, Р. К. Федоров // Ляпуновские чтения: Материалы конф. (г. Иркутск, 3–5 декабря 2018 г.). – Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2018. – С. 20.

6. Fedorov, R. K. Analysis of service calls for construction of the semantic network of services / R. K. Fedorov, A. S. Shumilov, M. L. Voskoboynikov // Proc. 1st Scientific-Practical Workshop on Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2018). CEUR-WS.org. – 2018. – Vol. 2221. – P. 20–24. – URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2221/paper4.pdf> (access date: 15.07.2020).

7. Воскобойников, М. Л. Актуализация данных об использовании сервисов, получаемых с датчиков мобильного устройства / М. Л. Воскобойников // Тез. XXIV Байкальской Всерос. конф. с междунар. участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, Россия, 29 июня – 8 июля 2019 г.). – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019. – С. 18.

8. Воскобойников, М. Л. Актуализация данных об использовании сервисов, получаемых с датчиков мобильного устройства / М. Л. Воскобойников // Ляпуновские чтения: Материалы конф. (г. Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). – Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2019. – С. 20.