

А.В. Смирнов, Т.В. Левашова
**КОНТЕКСТНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДХОД К
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ СЛЕДОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

Смирнов А.В., Левашова Т.В. Контекстно-управляемый подход к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей.

Аннотация. Разрабатывается контекстно-управляемый подход к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Рассматриваются вопросы использования концепции жизни человека в цифровой среде при интеллектуальной поддержке принятия решений. Исследуются цели обращения к цифровым следам человека в различных проблемных областях и выявляются подходы к моделированию жизни человека в цифровой среде. Предлагается подход к интеллектуальной поддержке принятия решений, в котором цифровые следы служат источником информации для выявления предпочтений пользователей и их поведения при принятии решений. Развиваются взгляды на поддержку принятия решений на основе учета следов пользователей в цифровой среде. Результатами исследования являются спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователя, принципы, концептуальная и информационная модели такой поддержки.

Ключевые слова: интеллектуальная поддержка принятия решений, рекомендательные системы, цифровые следы, модель жизни пользователя в цифровой среде, группирование пользователей

1. Введение. Цифровая революция, начавшаяся в середине прошлого века, стирает границы между физической, цифровой и биологической областями [1]. Она влияет на все сферы жизнедеятельности человека: от экономики, науки и образования до образа жизни. Цифровые технологии сильно изменили модели бизнеса, социальные институты и общество в целом [2] и привели к такому явлению, как цифровой образ жизни, который тесно связан с общечеловеческой потребностью в «удобной жизни» [3].

Одним из следствий использования цифровых носителей и технологий в повседневной деятельности человека являются оставленные им цифровые следы этой деятельности, которые описывают жизнь данного человека в цифровой среде (digital life) [4, 5]. Цифровые следы зависят от видов деятельности человека в разные периоды его биологической жизни (возраста). В области поддержки принятия решений жизнь человека в цифровой среде является одним из источников исторических данных для прогностических решений [6-8].

Основная цель данного исследования – разработка принципов и концептуальной модели интеллектуальной поддержки принятия решений на основе учета следов пользователей в цифровой среде. Жизнь

пользователя в цифровой среде предложено использовать как один из источников исторических данных для формирования рекомендаций. Систематизировать информацию, которая присутствует в цифровых следах, предлагается посредством модели жизни пользователя в цифровой среде. Под моделью жизни понимается структура, описывающая типовые наборы данных, которые содержатся в цифровых следах. Для достижения цели исследования разработаны спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей, принципы, концептуальная и информационная модели такой поддержки.

2. Жизнь человека в цифровой среде в различных подходах.

Использование цифровых следов пользователей для прогнозирования рекомендаций является новым направлением исследований в области интеллектуальной поддержки принятия решений. В данном разделе рассматриваются различные подходы, связанные с использованием концепции жизни человека в цифровой среде, с целью выяснения, каким образом используется и как моделируется жизнь человека в цифровой среде в различных проблемных областях.

Одним из крупных исследований, связанных с созданием описания жизни человека в цифровой среде, является исследовательский проект MyLifeBits компании «Микрософт» [9]. MyLifeBits (рис. 1) – система архивирования, которая позволяет хранить все события жизни человека в одном цифровом поисковом архиве. Для сбора информации о человеке используется специальное программное обеспечение, отслеживающее все его электронные взаимодействия, характеристики его состояния и делающее поминутные фото контекста этого человека (окружающей обстановки, ситуации, в которой человек находится, включая его действия, происходящие события, действия других объектов). Проект реализует концепцию цифровой памяти, то есть человек может осуществлять поиск по содержимому архива и предоставлять найденную информацию заинтересованным сторонам [10]. Модель MyLifeBits состоит из различных объектов (фото, документы) и типизированных отношений между этими объектами. Например, ссылка одного из контактов в списке контактов человека на фотографию может быть обозначена типом «человек на фотографии». Модель представляет собой ориентированный ацикличный граф, вершинами которого являются наборы объектов (collections), а дугами – отношения включения. Любой объект, как и сам набор, может принадлежать нескольким родовым наборам, при этом не должно существовать циклов, нарушающих ограничения ациклического графа [11].



Рис. 1. Система MyLifeBits [9]

Проект SemanticLIFE [12] посвящен разработке системы управления персональной информацией с использованием онтологий в качестве семантической основы для представления этой информации. Система SemanticLIFE (рис. 2) предназначена для хранения, управления и извлечения информации, с которой когда-либо работал человек. Эта информация накапливается в течение многих лет и дополняется семантикой. Система позволяет собирать и хранить информационные объекты (сообщения электронной почты, просмотренные веб-страницы, телефонные звонки, изображения, контакты и другие) и снабжает их аннотациями. Предоставляемый системой механизм поиска основан на семантических запросах. Жизнь человека в цифровой среде реализована как онтологическое хранилище. Весомым аргументом в пользу использования онтологий служит то, что они поддерживают машиночитаемое представление данных и информации, что упрощает решение сложных задач, связанных с агрегированием информации из разных источников, таких как обработка семантических запросов, отслеживание жизненного пути и обработка событий в ходе жизни. В проекте параллельно поддерживаются два стандарта представления онтологии – RDF (Resource Description Framework) и Topic Maps.

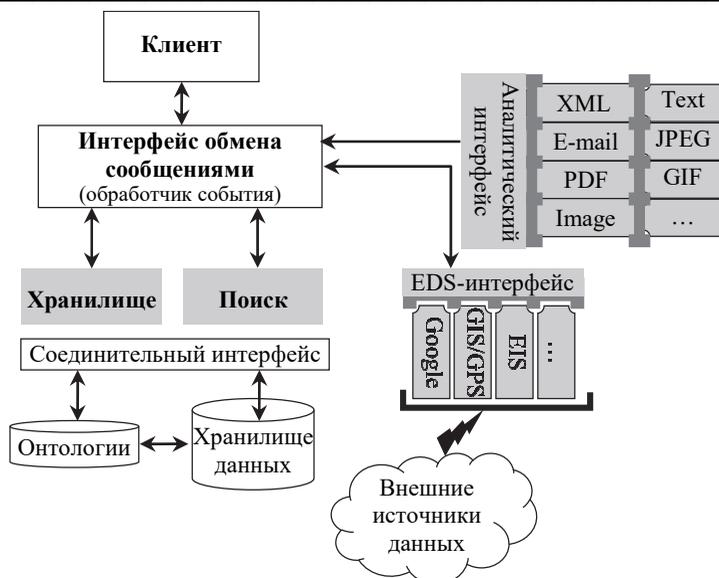


Рис. 2. Архитектура системы SemanticLIFE [12]

В архитектуре PersonisJ [13] модель жизни пользователя в цифровой среде используется для поддержки персонализации на стороне клиента (рис. 3). На концептуальном уровне эта модель представлена в виде иерархии контекстов. Каждый контекст может содержать в себе подлежащие моделированию компоненты. Например, в модели жизни пользователя может иметься контекст посещения пользователем музеев, а внутри этого контекста компоненты, которые моделируют предпочитаемые пользователем музеи. В течение жизни пользователя в компонентах накапливаются значения, на основании которых приложения, получившие от пользователя разрешение на использование конкретных данных, делают интересные их выводы о пользователе (например, об его предпочтениях). Иерархия контекстов и компонентов представлена при помощи онтологий.

Проект по переосмыслению персональных данных (Rethinking Personal Data) [14], инициированный международным экономическим форумом в 2010 году, посвящен экосистемам персональных данных и напрямую не связан с моделированием жизни человека в цифровой среде. Персональными данными считаются цифровые записи всего, что человек когда-либо делал. Источниками таких данных являются результаты электронных взаимодействий человека (рис. 4), то есть в проекте используются те же типы источников, что и при моделировании жизни человека в цифровой среде. С точки зрения представления

цифровой жизни пользователей результаты проекта интересны тем, что в них предлагаются множество метаданных для описания персональных данных и начальный набор категорий для классификации информации о человеке. Множество метаданных включает три вида данных: добровольно предоставленные данные, данные наблюдений и логически выведенные данные. Предлагаемый набор категорий состоит из 8 категорий: цифровая идентичность; отношения с людьми и организациями; реальный мир и онлайн контекст, действия, интересы и поведение; коммуникационные данные и протоколы работы; выпущенная, просмотренная и перенаправленная аудиовизуальная информация; финансовая информация; медицинские данные; институциональные данные. Этот набор не является окончательным, так как информация, подлежащая хранению, чрезвычайно разнообразна, и постоянно появляются новые формы информации.

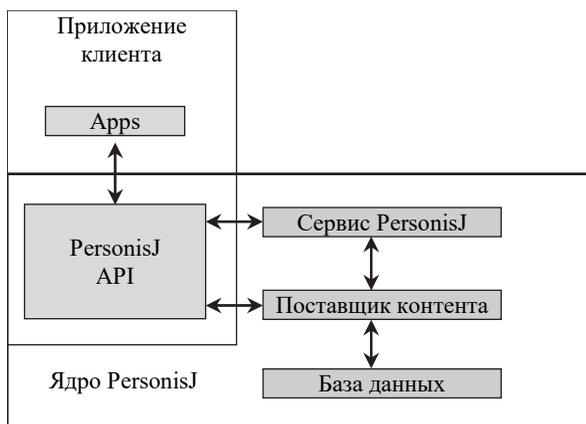


Рис. 3. Архитектура PersonisJ [13]

В модели, предназначенной для рекомендаций приложений владельцам смартфонов, жизнь пользователей в цифровой среде моделируется при помощи набора данных о том, в каком контексте владелец использует установленные на его смартфоне приложения. Используемые данные включают: день недели, время, тип дня (выходной или будний), местоположение, категория приложения, название приложения [15].

Жизнь человека в цифровой среде при принятии им потребительских решений в банковском секторе моделируется при помощи четырех категорий: поиск альтернатив, определение множества альтернатив, оценка множества альтернатив, потребительское решение (рис. 5). Каждая категория описывается множеством факторов, влияющих на выполнение

задачи, которая предполагается из названия категории. В частности, категория «поиск альтернатив» предполагает выполнение задачи поиска альтернатив, категория «определение множества альтернатив» связана с выполнением задачи определения множества альтернатив и так далее. Примерами факторов являются степень удовлетворенности клиента банком для категории «поиск альтернатив», лояльность клиента для категории «определение множества альтернатив» и другие. Для четырех категорий определено более 30 факторов. Значения этих факторов характеризуют конкретного клиента. В результате строится интегрированная модель принятия решений клиентом [16].



Рис. 4. Цифровые следы персональных данных [14]

В статистическом подходе, направленном на обработку данных в области здравоохранения, жизнь человека в цифровой среде является одним из источников статистических данных [5]. Выделяют следующие источники данных: социальные медиа, мобильные устройства (например, GPS-данные), Интернет-форумы, результаты веб-скрейпинга, различные сенсоры (например, датчики здоровья, движения), Интернет вещей и другие.

Архитектура, предназначенная для обеспечения информационного суверенитета граждан в цифровой экосистеме (рис. 6) [17], ориентируется на моделирование жизни человека в цифровой среде в соответствии с архитектурой IDS (International Data Space) – международного пространства данных. Модель IDS представляет все объекты, включая человека, как их цифровых (виртуальных) двойников, называемых ресурсами. Представление ресурса имеет уникальный идентификатор. Для представления используются три уровня формализации: концептуальный, декларативный и программный (операционный) [18]. На концептуальном уровне ресурс представлен при помощи шести независимых аспектов: контент (content), контекст (context), концепт (concept), информационное взаимодействие (communication), ценность/полезность (commodity) (рис. 7).

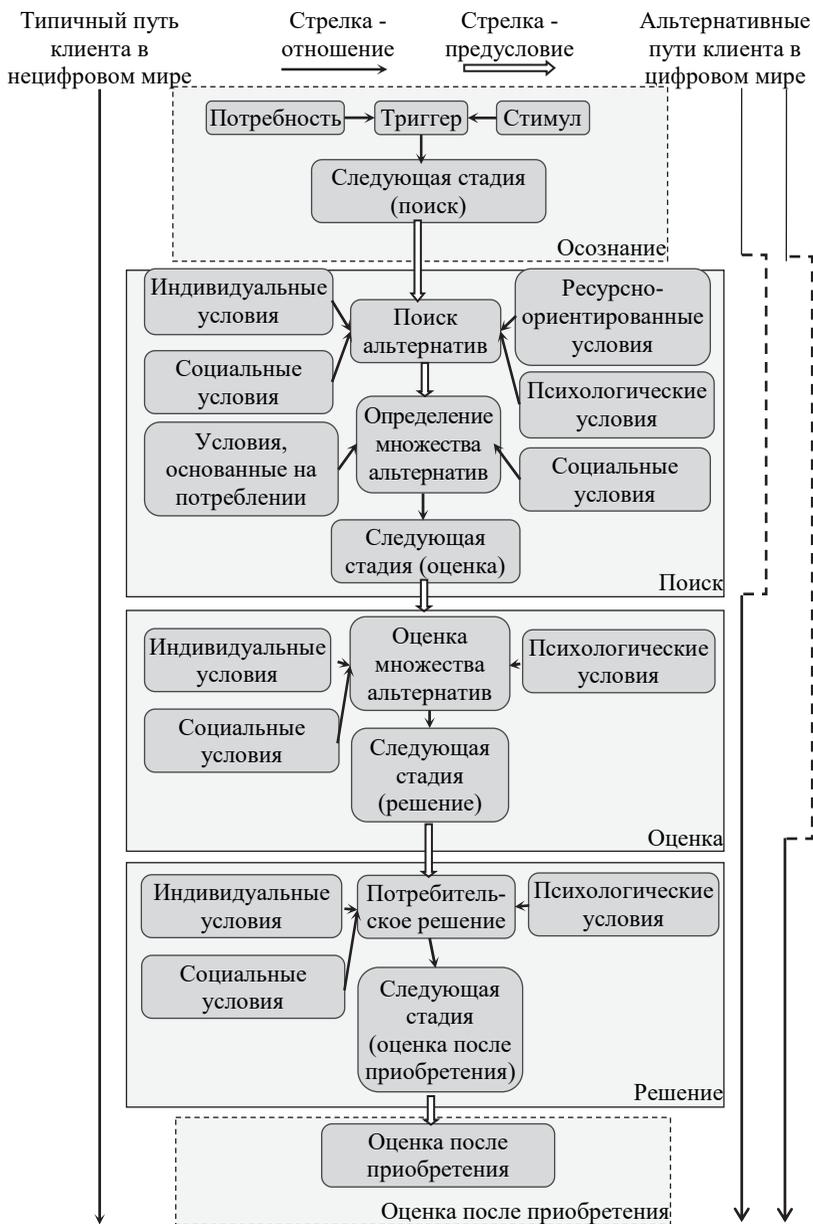


Рис. 5. Модель процесса принятия решений в банковском секторе [16]



Рис. 6. Архитектура для поддержки суверенитета граждан [17]

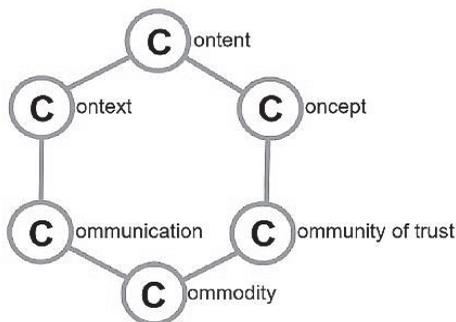


Рис. 7. Аспекты моделирования ресурса на концептуальном уровне в архитектуре IDS [18]

Для представления декларативного уровня используется онтология IDS. Программное представление обеспечивает отображение онтологии IDS на собственные структуры целевого языка программирования. Онтология [19] является единственной нормативной спецификацией модели. Она формализована в формате RDFS/OWL и представляет фундаментальные концепты архитектуры IDS – *цифровой контент*, которым обмениваются участники (ресурсы) посредством *компонентов инфраструктуры*. Представление ресурса на остальных уровнях не стандартизировано.

Таблица 1 обобщает способы моделирования жизни человека в цифровой среде, используемые в вышеописанных подходах.

Как видно из таблицы 1, все модели представления жизни человека в цифровой среде используют классификационные структуры. Такие структуры могут быть реализованы при помощи онтологической модели в терминах «класс – свойство» или отображены в такую модель.

Таблица 1. Способы моделирования жизни человека в цифровой среде

Подход	Модель	Проблемная область
MyLifeBits [9-11]	Граф: вершины – классы объектов, дуги – типизированные отношения	Цифровая память
SemanticLIFE [12]	Онтология	Управление персональной информацией
PersonisJ [13]	Онтология контекстов	Персонализированные сервисы
Rethinking Personal Data [14]	Метаданные	Экосистемы персональных данных
Рекомендация мобильных приложений [15]	Контекстно-управляемые данные	Рекомендующие системы
Принятие потребительских решений в банковском секторе [16]	Категорийно-факторная модель	Принятие решений
Сбор статистики на основе моделей цифровой жизни [5]	Данные	Планирование политики здравоохранения
Самоопределение граждан в цифровой экосистеме [17]	International Data Space (IDS)	Экосистемы персональных данных

Вышеописанные подходы использованы в качестве источников для спецификации требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей.

3. Спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей.

Помимо подходов, связанных с использованием концепции жизни человека в цифровых средах, при разработке спецификации учитывались следующие концептуальные особенности современных интеллектуальных систем поддержки принятия решений как вида информационных систем. В информационных системах широко применяется профилирование пользователей. Профиль пользователя – это сводное описание его интересов, характеристик, поведения и предпочтений. Профилирование пользователей занимается сбором, организацией и логическим выводом информации о пользователе с последующим представлением ее в профиле [20]. Некоторые методы профилирования извлекают информацию из цифровых следов пользователей (например, [21]), в результате чего часть информации, описывающей жизнь пользователя, может быть представлена в его профиле. Одним из компонентов любой интеллектуальной информационной среды является база знаний [22], то

есть для интеллектуальной поддержки принятия решений требуется наличие знаний проблемной области. Практически все решения человек принимает в конкретной ситуации или контексте [23], поэтому при прогнозировании рекомендаций должен учитываться контекст пользователя.

Спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей включает три группы требований.

1. Общие требования:

- доступность профилей пользователей, созданных в различных проблемных областях, и цифровых следов пользователей;
- наличие моделей жизни пользователей, структурирующих контент жизни пользователей в цифровой среде;
- наличие онтологии для представления знаний проблемной области;
- наличие отношений между профилями пользователей, моделями жизни пользователей и онтологией проблемной области, позволяющих поддерживать актуальность представления информации о пользователях в онтологии;
- поддержка контекстно-зависимого предоставления рекомендаций;
- обеспечение конфиденциальности информации о пользователях.

2. Требования к профилям пользователей и к моделям жизни пользователей в цифровой среде:

- профили пользователей, помимо всего прочего, представляют предпочтения пользователей, выявленные в различных проблемных областях;
- профили пользователей и модели жизни пользователей представлены в виде онтологической модели или в виде, совместимом с такой моделью;
- модель жизни пользователя содержит структурные компоненты для представления когда-либо решаемых этим пользователем задач и принятых по этим задачам решений;
- представление задач в модели жизни пользователя содержит информацию о проблемной области, к которой эта задача относится;
- профили пользователей и модели жизни пользователей в цифровой среде предоставляют права на использование информации о пользователе в соответствии с применяемой политикой конфиденциальности.

3. Требования к онтологии проблемной области:

- онтология проблемной области содержит классы для представления типов лиц, принимающих решения, (ЛПР) и аксиомы, задающие принадлежность пользователей этим типам;
- онтология проблемной области содержит структурные элементы, позволяющие учитывать контекст пользователя;
- онтология проблемной области является обновляемой для учета новой информации о жизни пользователей.

4. Принципы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде. Исходя из спецификации требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде разработаны принципы, которые должны лечь в основу информационной среды интеллектуальной поддержки принятия решений. Множество принципов включает в себя:

П1. Поддержка принятия решений нацелена на рекомендацию пользователю решения.

П2. Пользователи с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений объединены в группы.

П3. Предпочтения пользователей, принадлежащих одной группе, и их поведение при принятии решений описываются групповым паттерном. Групповой паттерн определяется как предпочтения и поведение, которые являются типичными для пользователей, принадлежащих одной группе.

П4. Рекомендации прогнозируются на основе групповых паттернов пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений.

П5. Источниками информации о предпочтениях пользователей являются профили пользователей, существующие в различных проблемных областях. Для одного пользователя может существовать несколько профилей.

П6. Источником информации о поведении пользователя при принятии решений являются цифровые следы этого пользователя.

П7. Модель жизни пользователя в цифровой среде извлекается из цифровых следов. Она специфицирует задачи, с которыми пользователь когда-либо имел дело, со ссылкой на проблемную область этих задач и принятые пользователем решения.

П8. Модели профилей пользователя и жизни пользователя в цифровой среде совместимы с онтологической моделью знаний проблемной области.

П9. Задача принадлежности пользователя группе пользователей со сходными предпочтениями и поведением решается машиной логического вывода как задача классификации. Выбор машины вывода зависит

от языка представления онтологии, в которой специфицированы правила логического вывода. В настоящее время наиболее широко используется язык дескрипционных логик OWL [24]. Сравнение существующих машин вывода для дескрипционных логик может быть найдено в работах [25-27].

П10. Принадлежность пользователя группе пользователей со сходными предпочтениями и поведением зависит от контекста. В разных контекстах один и тот же пользователь может принадлежать разным группам.

В таблице 2 перечисленные принципы систематизированы относительно информационной структуры среды интеллектуальной поддержки принятия решений и ее ожидаемой функциональности.

Таблица 2. Принципы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде

Информационный уровень		
<i>Информационные объекты</i>	<i>Описание</i>	<i>Принцип(ы)</i>
Информационные ресурсы	Профили пользователей, цифровые следы пользователей, модели жизни пользователей в цифровой среде, онтология проблемной области	П5, П6, П9
Источники исторических данных для прогностических решений	Групповые паттерны пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений	П3
Контекстная информация	Профили пользователей, модели жизни пользователей в цифровой среде, задача, проблемная область	П5, П7
Функциональный уровень		
<i>Процесс</i>	<i>Как обеспечивается</i>	<i>Принцип(ы)</i>
Поддержка процессов обмена информацией	Представление ресурсов, совместимое с онтологической моделью	П8
Создание групп пользователей со сходными предпочтениями и поведением при принятии решений	Кластеризация пользователей	П2
Категоризация пользователей в группы пользователей со сходными предпочтениями и поведением	Классификация пользователей, выполняемая онтологией	П9
Получение сведений о контексте	Мониторинг цифровых следов онлайн активности пользователей, логический вывод типа пользователя, поддерживаемый онтологией	П7, П9, П10
Прогнозирование решений	Сопоставление типа пользователя с групповыми паттернами	П4
Рекомендация решения	Поддержка принятия решений	П1

Разработанные принципы легли в основу концептуальной модели интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей.

5. Концептуальная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Концептуальная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей (рис. 8) предназначена для рекомендации пользователю решения, которое он принял бы в текущей ситуации (контексте). Основными блоками концептуальной модели являются профиль пользователя, модель жизни пользователя в цифровой среде, групповой паттерн пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений и онтология ЛПР.

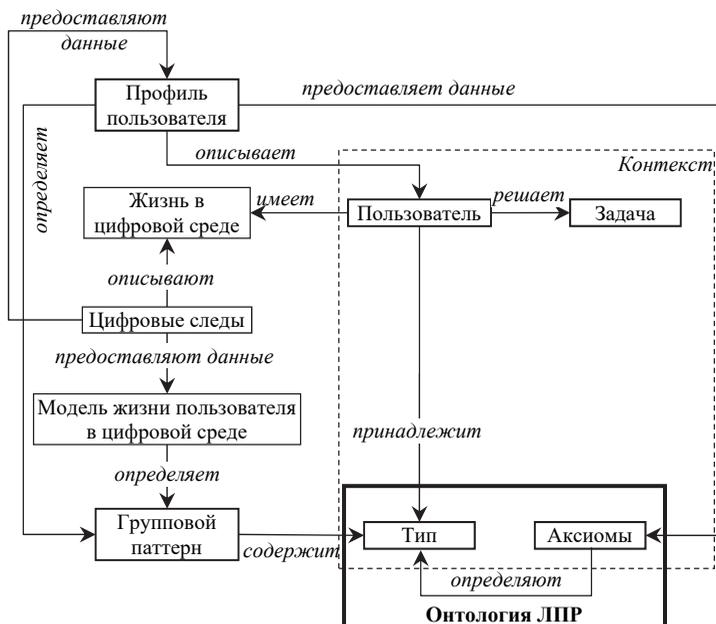


Рис. 8. Концептуальная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователя

Профиль пользователя представляет информацию, на основании которой можно охарактеризовать данного пользователя или построить его описательный портрет. Как правило, пользователь имеет несколько профилей, созданных в разных проблемных областях. Для создания портрета пользователя используются две группы характеристик: контекстно-независимые и контекстно-зависимые. Кон-

текстно-независимые характеристики (например, имя при рождении, возраст, образование) могут быть занесены самим пользователем при создании своего профиля; выявлены при регистрации пользователя в информационных системах и на сайтах; повторно использованы, если пользователь сделал их доступными для определенных проблемных областей; а также выявлены по результатам анализа цифровых следов пользователя.

Для определения контекстно-зависимых характеристик применяются специальные методы и процедуры. Например, процедуры, обрабатывающие данные сенсоров мобильных устройств пользователя, определяют типичные контекстно-зависимые характеристики, такие как текущее местоположение пользователя и время в зоне этого местоположения. Помимо типичных характеристик в проблемных областях выявляются характеристики пользователя, представляющие интерес для конкретной проблемной области. Например, для области Интернет-банкинга такими характеристиками являются добросовестность/неблагонадежность клиента-заемщика, сегмент клиента (группа клиентов с однотипными потребностями и поведенческими реакциями на продукт, к которой относится данный клиент), «продвинутость» клиента и другие. Так же как и контекстно-независимые характеристики, некоторые контекстно-зависимые характеристики могут быть выявлены по результатам анализа цифровых следов пользователя.

Ниже представлена модель профиля пользователя (1):

$$P = \langle User_ID, P_out, P_in(C) \rangle, \quad (1)$$

где P – профиль пользователя; $User_ID$ – уникальное имя пользователя; P_out – множество контекстно-независимых характеристик пользователя; P_in – множество контекстно-зависимых характеристик пользователя в контексте C .

Помимо вышеописанных характеристик пользователя важной частью профиля пользователя являются его предпочтения. В рассматриваемой концептуальной модели предполагается, что предпочтения пользователя могут меняться в зависимости от контекста, поэтому они отнесены к группе контекстно-зависимых характеристик. Для выявления предпочтений пользователя существует множество способов и методов, описание основных из них применительно к персонализации профиля пользователя в рекомендующих системах приведено в работе [28].

Среди цифровых следов есть следы взаимодействий пользователя с информационной средой при решении им различных задач.

Одним из результатов, который может быть получен вследствие анализа и обработки цифровых следов, является профиль задачи [29]. Профиль задачи – это комплексное формализованное описание процесса взаимодействия пользователя с информационной средой или сайтом проблемной области при решении конкретной задачи. На основании профилей задач можно определить виды задач, когда-либо решаемых пользователем в различных ситуациях (контекстах), и принятые пользователем решения. В рассматриваемой концептуальной модели профили задач, задачи и решения являются структурными компонентами модели жизни пользователя в цифровой среде (DL) (2).

$$DL = (PP, Problem(t_0, t_n), Domain, Decison(t_n), R_1, R_2), \quad (2)$$

$$R_1 \in Problem \times Domain, R_2 \in Problem \times Decison,$$

где PP – идентификатор профиля задачи; $Problem$ – вид решаемой пользователем задачи; t_0 – время начала решения задачи; t_n – время принятия решения; $Domain$ – проблемная область, которой принадлежит задача; $Decison$ – принятое решение.

Предпочтения пользователя и модели жизни пользователей в цифровой среде являются источниками для выявления групп пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений. Эти предпочтения и поведение обобщены в групповом паттерне пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений (GP) (3). Виды групп зависят от проблемной области. В каждой проблемной области используются собственные способы группирования пользователей [30]. Для электронной торговли это могут быть виды сегментов покупателей (например «умные» покупатели, зависимые покупатели, нерискующие покупатели и другие), для туризма – группы туристов, имеющие психофизические барьеры (например, проблемы с коммуникацией, экономические трудности, культурный барьер и т.п.).

$$GP = \langle Group, Domain, Problem, Behaviour_Type_g, Pr_g \rangle, \quad (3)$$

где $Group$ – имя группы пользователей с близкими предпочтениями Pr_g и поведением при принятии решений в проблемной области $Domain$ при решении задачи $Problem$; $Behaviour_Type_g$ – вид пове-

дения, выделяемый в проблемной области *Domain* и соответствующий типовому поведению пользователей группы *Group*.

С точки зрения интеллектуальной поддержки принятия решений пользователь является ЛПР. Онтология ЛПР формализует знания, на основании которых пользователь может быть классифицирован в группы пользователей со сходными предпочтениями и поведением. В онтологии класс «тип» представляет тип ЛПР, который может быть сопоставлен с видами выявленных групп пользователей с близкими предпочтениями и поведением. Принадлежность ЛПР к тому или иному типу описывается аксиомами, определяемыми множеством свойств, которыми должен обладать ЛПР, чтобы принадлежать конкретному классу. Свойства конкретного пользователя, играющего в текущей ситуации роль ЛПР, – это характеристики пользователя, представленные в его профиле. На основании значений этих свойств формируются утверждения об индивидах (аксиомы, описывающие знания о конкретном пользователе) [31], решается задача классификации и определяется, к какому типу ЛПР относится данный пользователь. Так как часть характеристик пользователя являются контекстно-зависимыми, тип пользователя становится контекстно-зависимым, и один и тот же пользователь в разных контекстах может быть отнесен к разным типам ЛПР.

Интеллектуальная поддержка принятия решений в соответствии с вышеописанной концептуальной моделью осуществляется следующим образом. Когда пользователь сталкивается с задачей принятия решений, имеющаяся информация из профиля этого пользователя передается в аксиомы онтологии, описывающие принадлежность ЛПР классу «тип». Машина логического вывода решает задачу классификации и определяет, к какому типу ЛПР относится данный пользователь. Типу ЛПР соответствует группа, определяющая пользователей со сходными предпочтениями и поведением. Предпочтения и поведение пользователей, принадлежащих этой группе, описаны групповым паттерном групп пользователей с близкими предпочтениями и поведением при принятии решений. На основе этого паттерна прогнозируются предпочтения рассматриваемого пользователя. Для прогнозирования используются методы коллаборативной фильтрации, которые позволяют прогнозировать предпочтения конкретного пользователя на основе накопленной информации о предпочтениях других пользователей.

Информация о типе пользователя как ЛПР, задаче принятия решений, проблемной области и предпочтениях пользователя описывает

контекст (C) (4). Эта информация используется для рекомендации пользователю решения, которое пользователи его группы приняли бы в этом контексте (этой ситуации).

$$C(t) = (User_ID, User_Type(t), Domain, Problem(t), Pr_u, Pr_u(t), R_1, R_3), \quad (4)$$

$$Pr_u(t) \in Pr_u, R_3 \in Pr_u \times Domain,$$

где $User_Type(t)$ – тип пользователя как ЛПР в контексте $C(t)$; $Domain$ – проблемная область; $Problem$ – вид задачи, решаемый пользователем в контексте $C(t)$; Pr_u – множество предпочтений пользователя, представляющих предпочитаемые пользователем критерии оценки альтернатив; $Pr_u(t)$ – множество предпочтений пользователя в контексте $C(t)$; t – рассматриваемый момент времени.

6. Информационная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Информационная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей (рис. 9) показывает информационные потоки между блоками концептуальной модели (рис. 8) и определяет информационные ресурсы, предоставляющие информацию в указанные блоки. В модели выделены внешние и внутренние ресурсы. Внешними ресурсами считаются ресурсы, которые существуют и поддерживаются вне концептуальной модели. К ним относятся ресурсы проблемной области. Внешние ресурсы включают в себя: профили пользователей, модели жизни пользователей в цифровой среде, сегменты пользователей (S), методы сегментации и методы профилирования. Так как в концептуальной модели предполагается группирование пользователей со сходным поведением при принятии решений, рассматриваются сегменты пользователей, полученные в результате поведенческой сегментации пользователей на основе моделей их жизни в цифровой среде. Название сегмента, к которому относится конкретный пользователь в данной проблемной области, представлено в профилях пользователей. В информационной модели профиль пользователя P (1) представлен выражением (5).

$$P = \langle User_ID, P_out, Pr(C), S(C) \rangle, \quad (5)$$

где $Pr(C)$ – множество предпочтений пользователя в контексте C ($Pr(C) \subset P_in(C)$); $S(C)$ – сегмент пользователя в контексте C ($S(C) \subset P_in(C)$).

Внутренними ресурсами концептуальной модели, то есть ресурсами, которые разрабатываются и поддерживаются разработчиками среды интеллектуальной поддержки принятия решений, являются блоки – групповой паттерн и онтология ЛПП. В данной статье онтология ЛПП рассматривается только в части типизации пользователей, так как эта часть предоставляет основу для онтолого-ориентированной классификации пользователей.

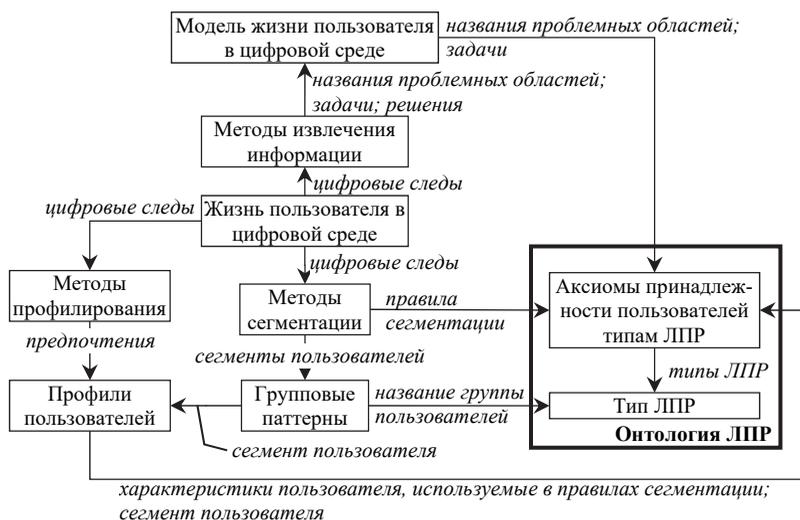


Рис. 9. Информационная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе следов пользователя в цифровой среде

Реализация внутренних блоков предполагает решение следующих задач: 1) выявление групп пользователей с близкими предпочтениями (критериями оценки альтернатив) и поведением при принятии решений; 2) разработка групповых паттернов, описывающих группы пользователей с близкими предпочтениями и поведением; 3) определение классов онтологии для представления типов ЛПП; 4) формализация аксиом принадлежности пользователей типам ЛПП; 5) установка соответствий между видами групп пользователей и типами ЛПП. Модели решения перечисленных задач представлены в таблице 3, где каждая задача представлена ее номером.

Таблица 3. Модели решения задач

Задача	Источники информации	Исходные данные	Подход	Результат
1	Профили пользователей	Сегменты пользователей S	Пользователи, относящиеся к некоторому сегменту, образуют группу, название которой совпадает с названием сегмента	Группы пользователей (G), соответствующие сегментам проблемной области
2	2.1. Поведенческие методы сегментации пользователей; 2.2. Профили пользователей	2.1. Сегменты пользователей S ; 2.2. Предпочтения пользователей	Анализ методов получения сегментов S , извлечение правил сегментации, извлечение предпочтений пользователей, входящих в сегменты S	2.1. Правила сегментации (R); 2.2. Предпочтения пользователей, входящих в группы G
3	Группы пользователей G	Названия групп из множества G	Выявление лексико-семантических зависимостей между названиями групп из множества G , составление необходимого и достаточного списка имен классов, соответствующих типам ЛПП	Список имен классов для представления типов ЛПП
4	4.1. Результаты решения задачи 2; 4.2. Профили пользователей; 4.3. Группы G	Правила сегментации R	Выбор правил сегментации, которые используют информацию из профилей пользователей. Формализация выбранных правил в виде аксиом. Обязательными концептами аксиом являются концепты, представляющие проблемную область и задачу	Множество аксиом, описывающих принадлежность объектов подклассам класса «тип»
5	5.1. Группы G 5.2. Онтология ЛПП	5.1. Названия групп из G ; 5.2. Типы ЛПП	Установка соответствий экспертами	Множество отношений соответствия

7. Заключение. Представлены результаты исследований по разработке принципов и концептуальной модели интеллектуальной поддержки принятия решений на основе учета следов пользователей в цифровой среде. Для достижения цели решены следующие задачи: разрабо-

тана спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователя, разработаны принципы, концептуальная и информационная модели такой поддержки.

В процессе решения указанных задач выполнен анализ проектов и моделей, в которых используется концепция жизни человека в цифровой среде. Результаты анализа использованы для составления спецификации требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе цифровых следов пользователей и разработки модели жизни пользователя в цифровой среде.

Сформулированы принципы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Эти принципы постулируют цель поддержки принятия решений как предоставление рекомендаций, которые могут помочь пользователю в принятии решения, определяют виды и происхождение источников информации и знаний и фиксируют необходимые функциональные решения.

В соответствии с сформулированными принципами разработана концептуальная модель поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Концептуальная модель позволяет рекомендовать пользователю решения, основываясь на знании о его типе как ЛПР, его предпочтениях, задаче принятия решений и проблемной области, которые сопоставляются со знаниями о группах пользователей, близких данному пользователю по предпочтениям и поведению при принятии решений. В результате пользователю рекомендуется решение, которое пользователи его группы приняли бы в схожем контексте. Выявление пользователей с близким поведением осуществляется методами поведенческой сегментации на основе цифровых следов этих пользователей.

Предложена информационная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей. Модель представляет информационные потоки между блоками концептуальной модели, определяет информационные ресурсы, предоставляющие информацию в указанные блоки, и предлагает модели решения задач, связанных с реализацией информационных потоков.

Анализ проектов и моделей, в которых используется концепция жизни человека в цифровой среде, показал, что в настоящее время отсутствуют подходы к моделированию жизни человека в цифровой среде, а использование моделей жизни пользователей в такой среде в системах поддержки принятия решений является новым направлением. Предложенная в данной работе модель жизни пользователя в цифровой среде ориентирована именно на системы поддержки принятия решений и является новым результатом в этой области.

Во многих рекомендующих системах формирование рекомендаций осуществляется методами коллаборативной фильтрации. Эти методы используют накопленные оценки решений всех пользователей, а также результаты поиска пользователей-рекомендателей. Поиск пользователей-рекомендателей может быть основан на соседстве (простой метод), на статистической модели (метод, дорогой в реализации) или на гибридном методе (наиболее точный метод, но сложный и дорогой в реализации и применении). Новым в предложенной концептуальной модели поддержки принятия решений на основе цифровых следов пользователей является то, что для определения пользователей-рекомендателей используется логический вывод, поддерживаемый онтологией. Такой вывод позволяет определить пользователей-рекомендателей на основе информации о поведении и предпочтениях пользователя в различных проблемных областях, и информации о типах ЛППР, аксиоматически заданной в онтологии. Вывод типа ЛППР позволяет выбрать пользователей, предпочтения и поведение которых схоже с предпочтениями и поведением текущего пользователя. Такой подход приближает к решению двух проблем коллаборативной фильтрации – разреженности данных и «холодного старта» за счет использования информации о жизни пользователя в цифровой среде. Эта информация частично устраняет недостаток исходных данных, когда пользователи не предоставляют системе отклика и когда в системе появляется новый пользователь. Онтологический вывод в совокупности с групповыми паттернами, описывающими группы пользователей с близкими предпочтениями и поведением, является гибридным методом поиска пользователей-рекомендателей, то есть обеспечивающем достаточно точные рекомендации и таким образом качественную поддержку принятия решений.

Отличительной особенностью типа ЛППР является его зависимость от контекста, что является оригинальным решением авторов статьи. За счет использования контекстно-зависимого типа ЛППР среда поддержки принятия решений приобретает новое свойство, которое позволяет учесть тот факт, что одно и то же лицо в разных контекстах может принять разные решения по одному и тому же вопросу. Учет такой информации также повышает качество и эффективность поддержки принятия решений.

Модель жизни пользователя в цифровой среде, с одной стороны, предоставляет преимущества с точки зрения структуризации жизни пользователя в цифровой среде для целей поддержки принятия решений, а с другой стороны, эта модель накладывает определенные ограничения. Поскольку, как говорилось ранее, в настоящее

время нет научных работ, направленных на построение таких моделей, для выделения структурных компонентов модели требуются дополнительные исследования, связанные с разбором и структуризацией цифровых следов человека. Кроме того, предложенные модели ограничены уровнем доступа к информации в проблемных областях, а именно к профилям пользователей, правилам сегментации и цифровым следам.

Предложенные в работе модели интеллектуальной поддержки принятия решений целесообразно использовать при построении рекомендующих систем, предназначенных для проблемных областей, повседневная жизнь пользователей которых связана с активным использованием цифровых технологий (электронная торговля, банковский сектор, умные города и т.п.).

Литература

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond // World economic forum. 2016. vol. 14. no. 01. 346 p.
2. Meffert J., Mendonça P. Digital @scale : o manual que precisa para transformar a sua empresa: 1st ed // Planeta. 2017. 320 p.
3. Strategic Research Agenda for Electronic Components & Systems // ECS Electronic Components + Systems. 2020. 368 p. URL: https://aeneas-office.org/wp-content/uploads/2020/07/ECS-SRA2020_L.pdf (дата обращения: 28.07.2020).
4. Ayed G.B. Architecting User-centric Privacy-as-a-set-of-services: Digital Identity-related Privacy Framework // Springer. 2014. 177 p.
5. Seeskin Z.H. et al. Uses of Alternative Data Sources for Public Health Statistics and Policymaking: Challenges and Opportunities // Proceedings of 2018 Joint Statistical Meetings. American Statistical Association. 2018. pp. 1822–1861.
6. Araujo T., Helberger N., Kruikeimer S., de Vreese C.H. AI We Trust? Perceptions about Automated Decision-Making by Artificial Intelligence // AI & SOCIETY. 2020. 13 p.
7. Han M.L., Kwak B.I., Kim H.K. CBR-Based Decision Support Methodology for Cybercrime Investigation: Focused on the Data-Driven Website Defacement Analysis // Security and Communication Networks. 2019. vol. 2019.
8. Surendro K. Predictive Analytics for Predicting Customer Behavior // 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIT). 2019. pp. 230–233.
9. MyLifeBits. 2001. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/mylifebits/> (дата обращения: 27.07.2020).
10. Bell G., Gemmell J. A Digital Life // Scientific American. 2007. vol. 296. no. 3. pp. 58–65.
11. Gemmell J., Lueder R., Bell G. The MyLifeBits Lifetime Store // Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Experiential telepresence. ACM Press. 2003. pp. 80–83.
12. Ahmed M. et al. "SemanticLIFE"—A framework for managing information of a human lifetime // Proceedings of 6th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services. 2004. pp. 725–734. URL: <http://www.ifs.tuwien.ac.at/~tho/publications/iiWAS04-2.pdf> (дата обращения: 28.07.2020).

13. Gerber S. et al. PersonJ: Mobile, Client-Side User Modelling // International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization.. 2010. pp. 111–122.
14. Schwab K. et al. Personal data: The emergence of a new asset class // An Initiative of the World Economic Forum. 2011. 40 p. URL: <https://www.weforum.org/reports/personal-data-emergence-new-asset-class> (дата обращения: 28.07.2020).
15. Bahrainian S.A., Crestani F. Tracking Smartphone App Usage for Time-Aware Recommendation // Digital Libraries: Data, Information, and Knowledge for Digital Lives. Springer. 2017. pp. 161–172.
16. Pousttchi K., Dehnert M. Exploring the Digitalization Impact on Consumer Decision-Making in Retail Banking // Electronic Markets. 2018. vol. 28. no. 3. pp. 265–286.
17. Meister S., Otto B. Digital Life Journey – Framework for a Self-Determined Life of Citizens in an Increasingly Digitized World // ISST Report. Fraunhofer ISST. 2019. 38 p.
18. Otto B. Reference Architecture Model // International Data Spaces Association. Report. Berlin. 2019. 118 p. URL: <https://www.internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/2019/03/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0.pdf> (дата обращения: 28.07.2020).
19. Mader C. et al. Industrial Data Space Information Model. Fraunhofer IAIS/EIS, Fraunhofer FIT. 2020. URL: <https://w3id.org/idsa/core> (дата обращения: 30.07.2020).
20. Eke C.I., Norman A.A., Shuib L., Nweke H.F. A Survey of User Profiling: State-of-the-Art, Challenges, and Solutions // IEEE Access. 2019. vol. 7. pp. 144907–144924.
21. Harkovchuk A., Korzun D. Semantic Information Search Service by Person’s Face Photo // Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT. 2019. pp. 821–823.
22. Осипов Г.С. Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее // Новости искусственного интеллекта. 2001. Вып. 43(1). URL: <http://raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html> (дата обращения: 28.07.2020).
23. Gen M., et al. SMA White Paper: The Science of Decision Making across the Span of Human Activity. The US Department of Defense Strategic Multilayer Assessment (SMA). 2015. 78 p URL: <https://nsiteam.com/social/wp-content/uploads/2016/01/The-Science-of-Decision-Making-across-the-Span-of-Human-Activity.pdf> (дата обращения: 28.07.2020).
24. McGuinness D.L., Harmelen F. van. OWL Web Ontology Language Overview // W3C Recommendation. 2004. URL: <https://www.w3.org/TR/owl-features/> (дата обращения: 31.07.2020).
25. Dentler K., Cornet R., ten Teije A., de Keizer N. Comparison of reasoners for large ontologies in the OWL 2 EL profile // Semantic Web. 2011. vol. 2. no. 2. pp. 71–87.
26. Abburu S. A Survey on Ontology Reasoners and Comparison // International Journal of Computer Applications. 2012. vol. 57. no. 17. pp. 33–39.
27. Parsia B., Matentzoglou N., Gonçalves R.S. et al. The OWL Reasoner Evaluation (ORE) 2015 Competition Report // Journal of Automated Reasoning. 2017. vol. 59. no. 4. pp. 455–482.
28. Городецкий В.И., Тушканова О.Н. Онтологии и персонификация профиля пользователя в рекомендующих системах третьего поколения // Онтология проектирования. 2014. Вып. 13. № 3. С. 7–31.
29. Wong B. L. W., Keith S., Springett M. Fit for Purpose Evaluation: The case of a public information kiosk for the socially disadvantaged // People and Computers XIX—The Bigger Picture. Springer. 2006. pp. 149–165.

30. *Bayer J.* Customer Segmentation in the Telecommunications Industry // Journal of Database Marketing & Customer Strategy Management. 2010. vol. 17. no. 3-4. pp. 247-256.
31. *Glimm B., Horrocks I., Motik B. et al.* A Novel Approach to Ontology Classification // Journal of Web Semantics. 2012. vol. 14. pp. 84-101.

Смирнов Александр Викторович — д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: конфигурирование систем, логистика знаний, поддержка принятия решений, социо-киберфизические системы. Число научных публикаций — 350. smir@iias.spb.su; 14 линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-20-73; факс: +7(812)328-44-50.

Левашова Татьяна Викторовна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: управление знаниями, поддержка принятия решений, контекстно-управляемые системы, социо-киберфизические системы. Число научных публикаций — 200. tatiana.levashova@iias.spb.su; 14 линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-80-71; факс: +7(812)328-44-50.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Обзор подходов, связанных с использованием жизни человека в цифровой среде (разд. 2), и онтологическая классификация пользователей (в составе разд. 5) выполнялись в рамках научного проекта № 20-07-00490. Спецификация требований к интеллектуальной поддержке принятия решений на основе моделей жизни пользователя в цифровой среде (разд. 3), принципы (разд. 4) и концептуальная модель такой поддержки (разд. 5) разработаны в рамках научного проекта № 20-07-00455, информационная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде (разд. 6) в части реализации групповых паттернов разработана в рамках научного проекта № 20-07-00490, в части реализации онтологии ЛПП – в рамках научного проекта № 20-07-00455. Контекстно-зависимая типизация пользователей является частью исследований по контекстно-ориентированному поведению пользователей, которые выполнялись в рамках бюджетной темы № 0073-2019-0005.

A. SMIRNOV, T. LEVASHOVA
**CONTEXT-AWARE APPROACH TO INTELLIGENT
DECISION SUPPORT BASED ON USER DIGITAL TRACES**

Smirnov A., Levashova T. **Context-Aware Approach to Intelligent Decision Support Based on User Digital Traces.**

Abstract. A context-aware approach to intelligent decision support based on user digital traces is proposed. The concept of human digital life with regard to intelligent decision support is discussed. The aims of addressing this concept in diverse domains are clarified and approaches to modelling human digital life are identified. In the proposed approach, digital traces serve as a source of information to reveal user preferences and decision-making behaviour. Perspectives on decision support based on user digital traces are developed. The research outcomes are the specification of requirements to intelligent decision support based on user digital traces, the principles, conceptual framework and information model of such support. The principles form the basis for the conceptual framework of intelligent decision support based on user digital traces. Components of the conceptual model are user profiles; a user digital life model that structures information containing in the digital traces; group patterns that describe preferences and decision-making behavior shared by a user group; and a decision maker ontology. The information model defines information flows between the framework's components, identifies tasks that require solutions to implement the framework and offers techniques for this. The novelties of the research are applying the concept of human digital life to intelligent decision support and context-dependent ontological inference of the type of user as a decision-maker, which determines a group of users sharing their preferences and behaviours with the active user, to predict a recommended decision. The paper contributes to the areas of modelling human digital life and intelligent decision support.

Keywords: Intelligent Decision Support, Recommending Systems, Digital Traces, Model of User Digital Life, User Classification

Smirnov Alexander — Ph.D., Dr.Sci., Honored Scientist of Russian Federation, Chief Researcher, Laboratory of Computer-Aided Systems, St.-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPb FRC RAS). Research interests: system configuring, knowledge logistics, decision support, socio-cyber-physical systems. The number of publications — 350. smir@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-20-73; fax: +7(812)328-44-50.

Levashova Tatiana — Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Computer-Aided Systems, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: knowledge management, decision support, context-aware systems, and socio-cyber-physical systems. The number of publications — 200. tatiana.levashova@iias.spb.su; 39, 14-th line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-80-71; fax: +7(812)328-44-50.

Acknowledgements. The research overview is due to project number 20-07-00490 from RFBR (sec. 2), the requirements to and principles of intelligent decision support based on user digital life (sec. 3 and 4) are due to project number 20-07-00455 from RFBR, the conceptual framework (sec. 5) in parts of user digital life modelling and group patterns revealing is due to project number 20-07-00455 from RFBR, in part of ontology-based user classification is due to project number 20-07-00490 from RFBR, and in part of context-dependent user categorization is due to State Research, project number 0073-2019-0005. The information model of intelligent

decision support based on user digital life (sec. 6) in part of the group patterns implementation is due to project number 20-07-00455 from RFBR and in part of the implementation of the decision maker ontology is due to project number 20-07-00490 from RFBR.

References

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond World economic forum. 2016. vol. 14. no. 01. 346 p.
2. Meffert J., Mendonça P. Digital @scale : o manual que precisa para transformar a sua empresa: 1st ed. Planeta. 2017. 320 p.
3. Strategic Research Agenda for Electronic Components & Systems. ECS Electronic Components + Systems, 2020. Available at: https://aeneas-office.org/wp-content/uploads/2020/07/ECS-SRA2020_L.pdf (accessed: 28.07.2020).
4. Ayed G.B. Architecting User-centric Privacy-as-a-set-of-services: Digital Identity-related Privacy Framework. Springer. 2014. 177 p.
5. Seeskin Z.H. et al. Uses of Alternative Data Sources for Public Health Statistics and Policymaking: Challenges and Opportunities. Proceedings of 2018 Joint Statistical Meetings. American Statistical Association. 2018. pp. 1822–1861.
6. Araujo T., Helberger N., Kruikemeier S., de Vreese C.H. AI We Trust? Perceptions about Automated Decision-Making by Artificial Intelligence. *AI & SOCIETY*. 2020. 13 p.
7. Han M.L., Kwak B.I., Kim H.K. CBR-Based Decision Support Methodology for Cybercrime Investigation: Focused on the Data-Driven Website Defacement Analysis. *Secur. Commun. Networks*. 2019. vol. 2019.
8. Surendro K. Predictive Analytics for Predicting Customer Behavior. 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT). 2019. pp. 230–233.
9. MyLifeBits. 2001. Available at: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/mylifebits/> (accessed: 07.05.2020).
10. Bell G., Gemmell J. A Digital Life. *Sci. Am*. 2007. vol. 296. no. 3. pp. 58–65.
11. Gemmell J., Lueder R., Bell G. The MyLifeBits Lifetime Store. Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Experiential telepresence – ETP '03. ACM Press. 2003. pp. 80–83.
12. Ahmed M. et al. "SemanticLIFE"—A framework for managing information of a human lifetime //Proceedings of 6th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services. 2004. pp. 725–734. Available at: <http://www.ifs.tuwien.ac.at/~tho/publications/iiWAS04-2.pdf> (accessed: 28.07.2020).
13. Gerber S. et al. PersonisJ: Mobile, Client-Side User Modelling. International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization. 2010. pp. 111–122.
14. Schwab K. et al. Personal data: The emergence of a new asset class // An Initiative of the World Economic Forum. 2011. 40 p. Available at: <https://www.weforum.org/reports/personal-data-emergence-new-asset-class> (accessed: 28.07.2020).
15. Bahrainian S.A., Crestani F. Tracking Smartphone App Usage for Time-Aware Recommendation. Digital Libraries: Data, Information, and Knowledge for Digital Lives. Springer. 2017. pp. 161–172.
16. Pousttchi K., Dehnert M. Exploring the digitalization impact on consumer decision-making in retail banking. *Electron. Mark*. 2018. vol. 28. no. 3. pp. 265–286.
17. Meister S., Otto B. Digital Life Journey – Framework for a Self-Determined Life of Citizens in an Increasingly Digitized World. ISST Report. Fraunhofer ISST. 2019. 38 p.
18. Otto B. Reference Architecture Model. International Data Spaces Association. Report. Berlin. 2019. 118 p. Available at: <https://www.internationaldataspaces.org/wp->

- content/uploads/2019/03/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0.pdf (accessed: 28.07.2020).
19. Mader C., Pullmann J., Petersen N. et al. Industrial Data Space Information Model. Fraunhofer IAIS/EIS. Fraunhofer FIT. 2020. Available at: <https://w3id.org/idsa/core> (accesses: 30.07.2020).
 20. Eke C.I., Norman A.A. Shuib L., Nweke H.F. A Survey of User Profiling: State-of-the-Art, Challenges, and Solutions. *IEEE Access*. 2019. vol. 7. pp. 144907–144924.
 21. Harkovchuk A., Korzun D. Semantic Information Search Service by Person’s Face Photo. Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT. 2019. pp. 821–823.
 22. Osipov G.S. [Artificial Intelligence: State of Research and Looking to the Future]. *Novosti iskusstvennogo intellekta – Artificial Intelligence News*. 2001. vol. 43. no. 1. (In Russ.). Available at: <http://raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html> (accessed: 28.07.2020).
 23. Gen M. et al. SMA White Paper: The Science of Decision Making across the Span of Human Activity. The US Department of Defense Strategic Multilayer Assessment (SMA). 2015. 78 p. Available at: <https://nsiteam.com/social/wp-content/uploads/2016/01/The-Science-of-Decision-Making-across-the-Span-of-Human-Activity.pdf> (accessed: 28.07.2020).
 24. McGuinness D.L., Harmelen F. van. OWL Web Ontology Language Overview W3C Recommendation; 2004. Available at: <https://www.w3.org/TR/owl-features/> (accessed: 25.03.2020).
 25. Dentler K. Cornet R., ten Teije A., de Keizer N. Comparison of reasoners for large ontologies in the OWL 2 EL profile. *Semant. Web*. 2011. vol. 2. no. 2. pp. 71–87.
 26. Abburu S. A Survey on Ontology Reasoners and Comparison. *International Journal of Computer Applications*. 2012. vol. 57. no. 17. pp. 33–39.
 27. Parsia B., Matentzoglou N., Gonçalves R.S. et al. The OWL Reasoner Evaluation (ORE) 2015 Competition Report. *Journal of Automated Reasoning*. 2017. vol. 59. no. 4. pp. 455–482.
 28. Gorodetsky V.I., Tushkanova O.N. [Ontology-Based User Profile Personification in 3G Recommender Systems]. *Ontologiya proektirovaniya – Ontology of designing*, 2014. vol. 13. no. 3. pp. 7–31. (In Russ.).
 29. Wong B.L.W., Keith S., Springett M. Fit for Purpose Evaluation: The case of a public information kiosk for the socially disadvantaged. People and Computers XIX—The Bigger Picture. 2006. pp. 149–165.
 30. Bayer J. Customer segmentation in the telecommunications industry. *Journal of Database Marketing & Customer Strategy Management*. 2010. vol. 17. no. 3–4. pp. 247–256.
 31. Glimm B. et al. A Novel Approach to Ontology Classification. *Journal of Web Semantics*, 2012. vol. 14. pp. 84–101.