

Человеко-машинные облачные вычисления для поддержки принятия решений: методология и архитектура платформы¹

А.В. Смирнов, А.В. Пономарев, А.М. Кашевник, Т.В. Левашова, Н.Н. Тесля

Аннотация. В последнее время как в России, так и за рубежом наблюдается стремительное развитие рынка облачных услуг. Предприятиям выгодно получать услуги в области непрофильной деятельности как сервисы вместо того, чтобы держать штат своих сотрудников, отвечающих за такие услуги. Интеграция концепции облачных вычислений с концепцией крауд-вычислений позволяет предлагать конечному пользователю совершенно новые сервисы, основанные на использовании компетенций группы людей как сервиса. В статье представлен обзор актуальных исследований в области облачных сред для управления человеческими ресурсами и сетями сенсоров; выполнена спецификация требований к системам человеко-машинных облачных вычислений; представлена методология и архитектура для построения распределенных систем поддержки принятия решений на основе человеко-машинных облачных вычислений.

Ключевые слова: человеко-машинные облачные вычисления, поддержка принятия решений, крауд-вычисления, онтологии.

Введение

Облачные вычисления как технология предоставления виртуализированных ресурсов по требованию из практически неограниченного пула в настоящее время получила широкое распространение и активно применяется как при создании информационной инфраструктуры больших и малых предприятий, так и в приложениях, рассчитанных на частных пользователей сети Интернет. При этом современные облачные среды ориентированы на управление двумя типами ресурсов: вычислительные ресурсы (процессорное время, память, жесткий диск, производительность ввода-вывода) и программные ресурсы (пакеты прикладных программ и сервисы). Российский рынок облачных услуг по прогнозам IDC за 2016 год увеличился на 8,9% в долларовом эквиваленте [1].

Вместе с тем, по-прежнему существует ряд практических задач, полностью автоматическое решение которых оказывается невозможным или трудно реализуемым в силу различных причин (распознавание образов, комплексная оценка ситуации). С широким развитием информационно-коммуникационных технологий для решения такого рода задач появился новый подход, получивший название крауд-вычисления (crowd computing). Под крауд-вычислениями понимается совокупность технологий, позволяющих коллективам людей, взаимодействующих посредством информационно-коммуникационных технологий, целенаправленно решать комплексные задачи, требующие участия человека. Существенными являются следующие черты подхода: 1) наличие коллектива людей (crowd) – как правило, географически распределенного; характер и "сила" связей внутри этого коллектива могут варь-

¹ Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект № 16-11-10253).

роваться от их полного отсутствия до совместной работы; 2) взаимодействие членов коллектива посредством информационно-коммуникационных технологий; 3) целенаправленная деятельность; 4) решение задач с применением качеств, присущих человеку и сложно алгоритмизуемых (понимание, ощущения, интуиция, опыт, здравый смысл и т.п.); 5) машинная обработка результатов, получаемых от людей-участников.

Краудсорсинг представляет собой процесс применения крауд-вычислений для решения задач поддержки принятия решений в организации, которые традиционно выполняются ее сотрудниками. Краудсорсинг находит все более широкое применение в бизнес-практике. Он также занимает свое место в спектре новых технологий эффективного государственного управления. Об этом говорит, например, тот факт, что краудсорсинг широко используется в инициативах электронного правительства США: CDCology (Department of Health and Human Services), CoCreate (US Army), Virtual Student Foreign Service, Humanitarian Information Unit (Department of State) и другие. Первыми лицами государства подчеркивается важность внедрения элементов краудсорсинга и в практику российского государственного управления².

Несмотря на все более широкое применение (что свидетельствует, в первую очередь, о востребованности технологии), в методологическом и технологическом смыслах крауд-вычисления находятся на раннем этапе становления. В особенности это относится к применению этого подхода для задач, требующих достаточно высокого уровня умений, опыта и профессионализма. Едва ли не единственной и работоспособной, в настоящее время, схемой применения крауд-вычислений в таких областях является конкурсная модель, широко применяемая для разработки инновационных идей, программных компонентов, дизайнерских решений. Вместе с тем, возрастающая сложность организации и структурированности информационных процессов, характерная для современных производственных и управленческих структур, предъявляет совершенно новые требования к степени структурированности и формализации этапов работ, выполняемых с применением крауд-вычислений.

С технологической точки зрения, интеллектуальные ресурсы человеческих сообществ могут рассматриваться как один из множества ресурсов, необходимых для обработки информации, следовательно, перспективной представляется попытка включить этот ресурс в единую схему управления ресурсами облачной среды. Авторами предлагается

методология, которая позволяет формализовать процесс вычислений, объединяющий как интеллектуальные способности людей, так и вычислительные способности компьютерных технологий, чтобы обеспечить стабильное получение результатов высокого качества. В частности, особенно актуально осуществить это применительно к задаче интеллектуальной поддержки принятия решений, требующей в большинстве случаев взаимодействия между участниками и высокого уровня их компетенций. Применение концепции облачных вычислений позволит отделить задачи управления ресурсами от прикладных задач и связать их посредством стандартизированного интерфейса. В частности, это значительно упростит процесс развертывания разнообразных приложений и сервисов, использующих человеческий интеллект, которые в настоящее время требуют длительного и часто дорогостоящего процесса формирования сообщества участников.

1. Обзор актуальных исследований

Выявленные подходы по применению облачных принципов эластичного управления ресурсами к более широкому (нежели в классических облачных технологиях) спектру ресурсов могут быть разделены на две группы: 1) облачные среды для сетей сенсоров и актуаторов (Интернета Вещей); 2) облачное управление человеческими ресурсами.

В системах первой группы принципы облачной среды применяются дополнительно к сенсорам и актуаторам. Например, в [2] сенсор (а точнее, возможность получения данных с определенного сенсора) трактуется как сервис, доступ к которому может быть получен некоторым унифицированным образом. Более того, основываясь на этой работе, авторы [3] предложили облачную архитектуру для мобильного краудсенсинга (crowdsensing), MCSaaS (мобильный краудсенсинг как сервис). Краудсенсинг – технология использования крауда (большой группы слабосвязанных между собой людей, взаимодействующих через Интернет) для сбора данных о физических процессах в некоторой пространственной области. MCSaaS использует тот факт, что современные смартфоны обычно обладают множеством сенсоров, которые могут быть использованы для сбора информации. Таким образом, MCSaaS определяет унифицированный интерфейс, позволяющий владельцу смартфона стать частью среды облачных вычислений и позволить использовать некоторые сенсоры его/ее смартфона в обмен на денежное вознаграждение или даже бесплатно.

Проект ClouT (Cloud+IoT) [4] нацелен на построение инфраструктуры «умного города» с помощью интеграции принципов облачных вычислений и Ин-

² <http://archive.government.ru/docs/18709/print/>

тернета Вещей. В рамках этого проекта предлагается многоуровневая облачная архитектура, в которой нижний слой (слой инфраструктуры) осуществляет управление как вычислительными ресурсами, так и сенсорами/актуаторами «умного города».

И ClouT, и MCSaaS имеют прямое отношение к разрабатываемой платформе, однако оба проекта нацелены в основном на включение сенсоров/актуаторов в облачную архитектуру; человеческие ресурсы рассматриваются в них только в силу того, что человек, являясь владельцем смартфона, может предоставить доступ к нему и возможно выполнить какие-либо операции (например, навести смартфон на какой-либо объект и сделать снимок), запрашиваемые приложением, работающим поверх инфраструктурного уровня облачной среды. Вместе с тем, человек может являться не только поставщиком информации (как сенсор), но и принимать участие в обработке информации, а такая возможность в рамках перечисленных проектов уже не рассматривается.

Если основной акцент в системах первой группы лежит именно на сенсорах и конвергенции облачных вычислений и Интернета Вещей, то работы второй группы нацелены именно на включение человека в облачные вычисления, что подразумевает гибкое управление навыками и компетенциями участников системы [5, 6]. Например, в статье [5] предлагается концепция облачной среды, состоящей из сервисов, предоставляемых людьми (human-based services, HBS) и программных сервисов (software-based services, SBS). На уровне инфраструктуры авторы статьи рассматривают вычислительные единицы, включающие человека (human-based computing unit, HCU), предоставляющие соответствующие сервисы. Более того, рассматривается концепция социальных вычислительных единиц (social computing units, SCU), являющихся композицией нескольких HCU и также обладающих способностью предоставлять сервисы. Вычислительные единицы, включающие человека, описываются набором навыков и умений.

Промежуточное положение между выделенными двумя группами занимает разработка коллектива авторов, представленная в серии статей [7-9]. В этих работах предлагается концепция облачной среды, состоящей из людей и роботов (human-robot cloud, HRC) и предлагающей расширение классической облачной технологии по двум направлениям: во-первых, в состав ресурсов включаются сенсоры и актуаторы, во-вторых, среда дополняется человеческими физическими и когнитивными «компонентами». Для создания конечных приложений предлагается два пути: автоматическое конфигурирование сети сервисов на основе спецификации потока обработки информации или (более «высокоуровневое»)

применение механизмов планирования и удовлетворения ограничений.

К непосредственно облачным платформам прилегают расширенные сервис-ориентированные архитектуры, рассматривающие различные обобщения понятия сервиса и, в том числе, сервисы, предоставляемые людьми. Одной из наиболее развитых концепций такого плана являются разработки D. Schall, представленные в публикациях [10-12]. Особенностью концепции является максимальное абстрагирование от природы сервиса (программная или человеческая) за счет использования существующих стандартов (WSDL для описания возможностей сервисов, WS-HumanTask для управления заданиями) и поддерживающих их сервис-ориентированных сред.

Предлагаемая в настоящей работе методология частично основывается на идеях виртуализации сенсоров и конвергенции облачных вычислений и Интернета Вещей, предложенных в [3] и [4], но расширяет и дополняет эти идеи, рассматривая человеческие ресурсы как один из видов ресурсов, напрямую управляемых слоем инфраструктуры (по аналогии с [6]). Ближе всего к данному проекту оказывается концепция HRC, однако в статьях, посвященных этой концепции, не предлагается способов ее реализации, основной акцент делается на идентификацию и анализ проблем, которые при этом необходимо решить.

2. Применение операций, выполняемых человеком в системах поддержки принятия решений

Существующие типы системы поддержки принятия решений могут быть расширены за счет применения человеко-машинных облачных вычислений, то есть путем включения в цикл обработки информации сторонних участников, предоставленных механизмами управления ресурсами облачной среды. В качестве основы для систематизации таких применений выбрано пять типов систем поддержки принятия решений, выделенных в работе [13].

- Системы поддержки принятия решений, основанные на данных. Основным вкладом со стороны людей-участников облачной среды является предоставление структурированных данных для анализа; кроме этого, люди-участники наравне с программными сервисами участвуют в обработке данных: очистке, а также выявлении закономерностей [14]. Задача анализа данных, созданная лицом, принимающим решения, поступает в систему, где она формализуется и декомпозируется на подзадачи,

связанные с поиском или обработкой данных. Подзадачи динамически распределяются между имеющимися ресурсами, при этом для человеческих ресурсов выбираются задачи, связанные с обработкой неструктурированных или слабоструктурированных данных и устранением избыточности исходных данных, а также задачи, связанные с выявлением закономерностей и фактов в небольших массивах данных. Результаты решения подзадач объединяются, и общее решение передается лицу, принимающему решения.

- Системы поддержки принятия решений, основанные на документах. Здесь люди-участники облачной среды могут принимать участие в создании документов (как показывает успешное развитие некоммерческих баз геoinформации (Wikimapia, OpenStreetMaps) и Wikipedia). Помимо этого, с помощью людей-участников может осуществляться семантическое аннотирование документов, их разметка, распознавание и перевод. Широкий спектр возможностей по применению участников человеко-машинной облачной среды именно в этом типе систем поддержки принятия решений связан с тем, что документ – как основная единица такой системы поддержки принятия решений – создается человеком и, как правило, для человека. Размещение системы данного класса в облаке позволяет разделить множество документов и задач между ресурсами для повышения скорости и точности их обработки. При формировании решения задачи в данных системах требуется провести анализ большого числа структурированных и неструктурированных документов. В зависимости от типа задачи, поставленной лицом принимающим решения, между ресурсами человеко-машинной облачной системы проводится распределение документов, либо осуществляется выбор и распределение документов из доступных источников информации. Результаты обработки документов объединяются в итоговое решение задачи поддержки принятия решений.

- Системы поддержки принятия решений, основанные на знаниях. В определенном смысле, данная категория схожа с предыдущей, однако здесь люди-участники оказываются также полезными для выполнения различных полуавтоматических операций по обработке знаний, например, сопоставления онтологий [15]. Сценарий решения задачи аналогичен процессу решения задачи в системах поддержки принятия решений, основанных на данных. Различие заключается в генерации новых знаний в момент решения подзадач.

- Системы поддержки принятия решений, основанные на использовании моделей. При распределении задач в системах данного типа человеческие ре-

сурсы задействуются для создания и редактирования моделей или оценки отдельных параметров моделей. Данные задачи требуют глубокого понимания проблемной области задачи, для которой создается модель, в связи с чем из доступных ресурсов человеко-машинного облака выбираются только ресурсы, имеющие наивысшие компетенции в проблемной области рассматриваемой задачи. Привлечение нескольких ресурсов для решения поставленной задачи позволяет осуществить последовательное улучшение модели. Готовая модель впоследствии используется машинными ресурсами для решения задачи. При поступлении задачи система анализирует задачу на соответствие имеющимся моделям в соответствующей проблемной области. При наличии готовой модели происходит ее заполнение данными и предоставление найденного решения лицу, принимающему решения. В противном случае, формируется задача создания модели, которая распределяется между ресурсами человеко-машинной облачной среды. Человеческие ресурсы формируют искомые модели, последовательно улучшая одну модель, либо параллельно создавая модели и выбирая из них те, которые наиболее полно описывают проблемную область задачи. Машинные ресурсы используются в качестве ассистентов при составлении модели и в качестве источников данных для наполнения модели.

- Групповые системы поддержки принятия решений. Данный класс систем предполагает взаимодействие вычислительных ресурсов между собой для совместной выработки решений. Человеческие ресурсы в данном случае используются для выработки возможных решений, в то время как машинные ресурсы привлекаются для предоставления информации, используемой при выработке решений. В ходе коммуникации между человеческими ресурсами набор предложенных альтернатив проходит обсуждение и из них выбираются альтернативы, с которыми согласны большинство участников обсуждения. Этот класс систем поддержки принятия решений является одним из наиболее естественных для включения людей-участников облачной среды, однако фактическое развертывание групповой системы поддержки принятия решений на базе такой среды требует, чтобы она поддерживала различные протоколы группового принятия решений. При поступлении задачи формируется группа экспертов, которая должна совместно сформировать решение задачи. Эксперты подбираются по компетенциям, требуемым для качественного решения задачи. В ходе взаимодействия между собой группа формирует одно или несколько решений, используя машинные ресурсы в качестве ассистентов для решения задач.

3. Требования к системам человеко-машинных облачных вычислений

На основе проведенного исследования литературы были сформулированы требования к системам человеко-машинных облачных вычислений. Для организации системы требований была выбрана схема, разработанная International Institute of Business Analysis, поскольку она позволяет упорядочить требования от высокоуровневых к низкоуровневым. Наибольшее внимание было уделено наиболее высокоуровневым группам требований (в терминах используемой схемы, это бизнес-требования (business requirements), архитектурные требования (architectural requirements) и пользовательские требования (user requirements).

К группе бизнес-требований относится требование обеспечения механизмов решения широкого спектра задач поддержки принятия решений в некоторой предметной области; как заранее известных, так и формулируемых ad hoc, структурированных и слабо структурированных, требующих операций, выполняемых человеком.

К группе архитектурных требований относятся:

- использование технологий семантического веб и онтологий для обмена информацией и знаниями на основе общей терминологии и для логического вывода знаний на основе семантической информации;

- использование для описания предметной области, ресурсов и профиля пользователя централизованной онтологии, базирующейся на одной из базовых онтологий и записанной с помощью языка OWL;

- обеспечение возможности автоматической декомпозиции структурированных задач на подзадачи и формирования итоговых вариантов решения из результатов решения подзадач; необходимо также предусмотреть альтернативные способы решения при отсутствии возможности автоматической декомпозиции конкретной задачи или для работы с неструктурированными и слабоструктурированными задачами;

- учет неоднородности качественных характеристик при решении задач человеком и, как следствие, наличие механизма выбора исполнителей задания, удовлетворяющих определенным требованиям, наличие механизма обработки результатов, направленного на снижение влияния характеристик отдельного участника на качество итогового результата, наличие схем выявления злоупотреблений и мошенничества со стороны участников;

- реализация механизма определения стоимости решения задачи, включающей вознаграждение участникам, стоимость использования вычислительной инфраструктуры и плату за использование сервисов;

- использование социальных сетей в качестве источника информации и средства обмена и распространения информации;

- поддержка интерфейса пользователя на разных терминальных устройствах (персональный компьютер, ноутбук, смартфон).

К группе пользовательских требований относятся:

- наличие приложений для трех категорий пользователей: участника человеко-машинной облачной среды, лица, принимающего решения, являющегося конечным пользователем сервисов, развернутых в среде, и администратора среды;

- обеспечение группирования пользователей по интересам, что включает в себя автоматическое формирование контекста пользователя и передачу этого контекста сервисам группирования пользователей, функционирующим в облачной среде;

- для участника: возможность определить удобное время доступности, профиль компетенций и явных предпочтений, автоматическое отслеживание местоположения и учет его при распределении ресурсов;

- для лица, принимающего решения: возможность формулировки различных классов задач, включая структурированные и неструктурированные, спецификация дополнительных требований (к компетенциям и качеству выходных результатов) для процесса решения задачи, возможность представления пространственных данных при постановке задачи и отображении результатов с использованием геоинформационных технологий;

- для администратора среды: отслеживание текущего состояния ресурсов облачной среды, настройка параметров алгоритмов распределения ресурсов, определение прикладных сервисов.

Некоторые требования, достаточно типичные и важные для современных облачных систем, не вошли в основной перечень из-за исследовательского характера работы. При достижении уровня промышленной эксплуатации реализации этих требований нужно будет уделить особое внимание. Примерами таких требований являются портируемость данных и приложений, понимаемая как легкость их переноса между облачными средами различных провайдеров, и возможность построения федеративных облачных систем, обеспечивающих бесшовную интеграцию сервисов, развернутых в разных средах.

4. Методология

В соответствии со сформулированными требованиями была разработана общая методология построения распределенных систем поддержки принятия решений на основе человеко-машинных облачных вычислений (Рис. 1).

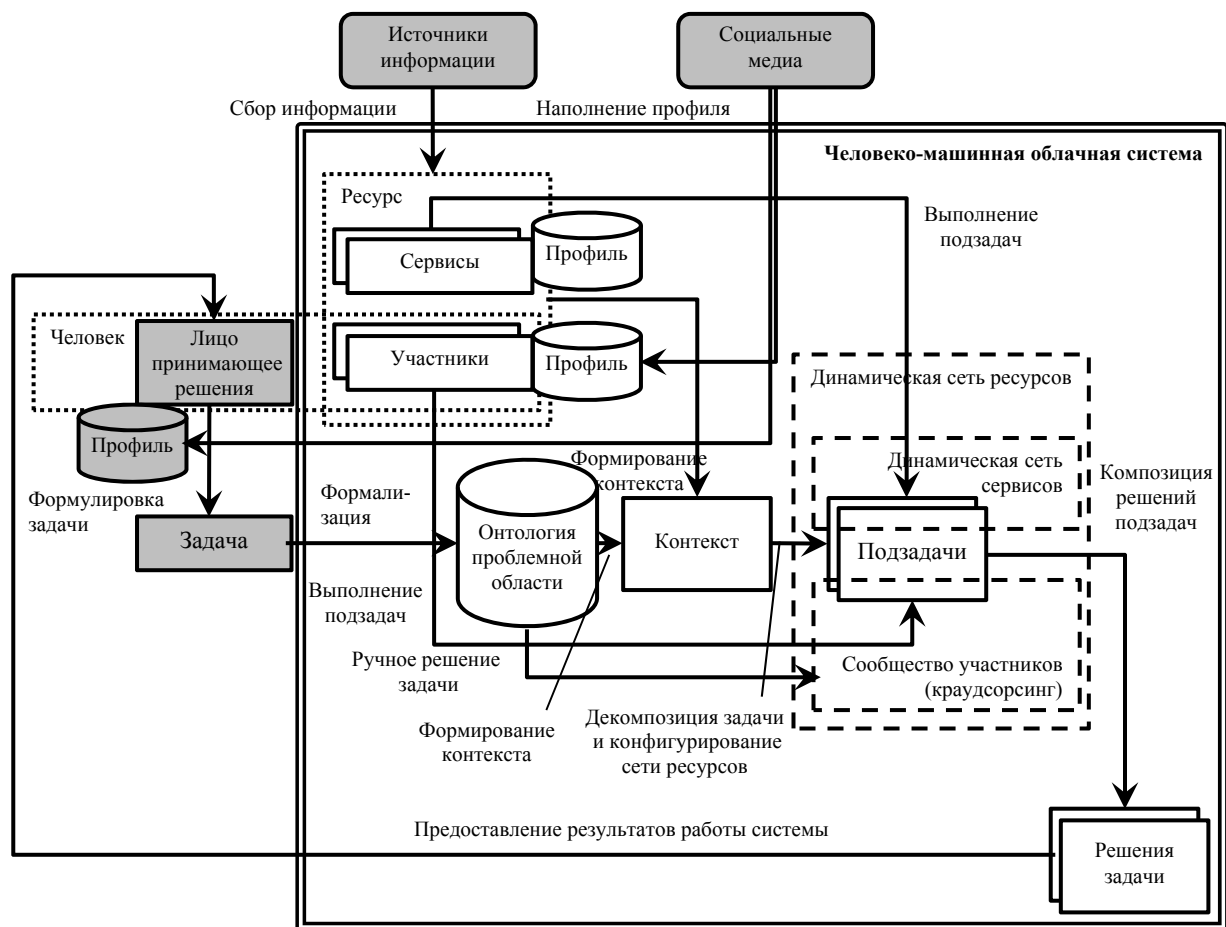


Рис. 1. Методология построения распределенных систем поддержки принятия решений на основе человеко-машинных облачных вычислений

Согласно предлагаемой методологии человек в системе поддержки принятия решений может играть две роли: выступать в роли конечного пользователя (лица, принимающего решения), либо выступать в роли ресурса (участника облачной системы), предлагающего свои услуги по решению определенных классов задач. Помимо участников, ресурсами системы являются также различные программные сервисы. Каждый ресурс (человек или сервис) описывается с помощью профиля компетенций, сформированного в терминах онтологии проблемной области. Профиль компетенций используется при поиске ресурсов, требуемых для решения задачи.

Сам процесс решения задачи, поступающей от лица, принимающего решения, основан на формализации задачи с использованием онтологии проблемной области (формирование контекста). Под контекстом здесь понимается задача, описанная в терминах онтологии проблемной области. Далее происходит автоматическая декомпозиция задачи на подзадачи,

соответствующие возможностям, предоставляемым отдельными сервисами, с последующей композицией результатов работы сервисов в возможные альтернативные решения исходной задачи. Декомпозиция осуществляется на основе онтологии проблемной области, в которой описаны как основные понятия и связи между ними, так и шаблоны декомпозиции. Параллельно с декомпозицией задачи осуществляется динамическое формирование сети ресурсов (сервисов и участников), которым могут быть назначены подзадачи. Декомпозиция исходной задачи продолжается до тех пор, пока не будет найден такой вариант декомпозиции, при котором возможно назначение подзадач ресурсам, удовлетворяющее требованиям (стоимостным, качественным), заданным лицом, принимающим решения в задаче. Сформированная сеть представляет собой описание потока работ, в ходе которого происходит формирование решения задачи (или нескольких альтернативных решений, выбор одного из которых оставляется за лицом, принимающим решения).

Автоматическая декомпозиция и конфигурирование сети сервисов могут окончиться неудачей по разным причинам. Во-первых, автоматическая декомпозиция невозможна для неструктурированных задач, во-вторых, итоговая сеть может не быть сформирована из-за нехватки ресурсов определенного вида. В этих случаях предполагается использовать следующие две стратегии. Декомпозиция задачи может быть осуществлена с использованием интеллектуальных усилий участников системы, осуществляющих структуризацию задачи и соотнесение ее составных частей с концептами онтологии. Другой стратегией является поиск наименее формализованного пути решения задачи, когда распределение задачи и ее назначение участникам осуществляется не в режиме «проталкивания» (централизованного назначения задач участникам), а в режиме «открытого конкурса», когда задача попадает в некоторый открытый пул задач, а участники могут самостоятельно выбирать задачи из этого пула для решения.

5. Архитектура

Архитектура облачной системы для распределенных систем поддержки принятия решений основывается на концепции NIST (National Institute of Standards and Technology, США). Предложенная архитектура затрагивает все три слоя, предложенные NIST: инфраструктуру, платформу и программное обеспечение.

Основными пользователями, взаимодействующими с системой, являются: конечный пользователь (лицо, принимающее решение), участник (предоставляющий свои способности и умения пользователям системы), разработчик сервисов (разрабатывающий и развертывающий прикладные сервисы, решающие проблемно-ориентированные задачи), администратор системы (осуществляющий конфигурирование алгоритмов функционирования системы – управления ресурсами, формирования профилей, декомпозиции задач, а также осуществляющий мониторинг использования ресурсов системы).

Уровень инфраструктуры (IaaS) унифицирует различные типы ресурсов: традиционные вычислительные ресурсы, ресурсы, связанные с сенсорами и актуаторами, и ресурсы, связанные со знаниями людей-участников системы. Участники могут присоединиться к человеку-машинному облаку и определить, какими именно компетенциями и предпочтениями они обладают, задать ограничения по загрузке и времени доступности, типу заданий, в решении которых они могут принимать участие. Участник может также задать размер ожидаемой компенсации за свои услуги. На уровне инфраструктуры также обеспечи-

вается заполнение и актуализация профилей пользователей и профилей компетенций ресурсов, а также механизмы управления инфраструктурой, включающие обработку запросов на подключение/отключение исполнителей от инфраструктуры облака и запросов на предоставление ресурсов, удовлетворяющих определенным требованиям.

Следует отметить, что ресурсы, управляемые слоем инфраструктуры, не обязательно должны быть ориентированы на использование только для одной проблемной области. Использование многоцелевой облачной системы обладает важным свойством консолидации ресурсов, особенно важным для систем, включающих такие ограниченные и уникальные ресурсы как ресурсы, связанные с людьми. Для обеспечения универсальности слоя компоненты управления слоем инфраструктуры, имеющие дело с управлением ресурсами, связанными с участниками, используют модуляризованную онтологию, в которой различные модули соответствуют различным проблемным областям.

Уровень платформы (PaaS) состоит из набора многоцелевых сервисов, которые могут быть использованы для построения приложений, использующих операции, выполняемые людьми. Сервисы этого уровня включают четыре группы.

- Масштабируемые сервисы хранения и обмена информацией. Эта группа включает сервисы баз данных и сервисы, реализующие различные архитектурные подходы к обмену информацией (передача сообщений, «классная доска» и пр.).

- Сервисы обработки данных, поступающих от сенсоров. Эти сервисы получают, обрабатывают и агрегируют данные, поступающие от сенсоров, предоставляя приложениям гибкий и удобный доступ к этим данным.

- Сервисы, предоставляющие удобные абстракции для организации потоков работ, включающих операции, выполняемые людьми. Предназначены для спецификации и выполнения потока работ, затрагивающего последовательную активизацию различных сервисов. Специфика, связанная с учетом операций, выполняемых людьми, заключается в предоставлении типовых паттернов организации подобных работ.

- Сервисы контекстно-зависимого конфигурирования динамической сети ресурсов. Эти сервисы осуществляют декомпозицию задачи и формирование динамической сети ресурсов, обеспечивающей ее решение. При составлении и выполнении сети данные сервисы используют возможности сервисов формирования и исполнения потока работ.

Среди представленных четырех групп, сервисы трех групп предоставляют возможности достаточно

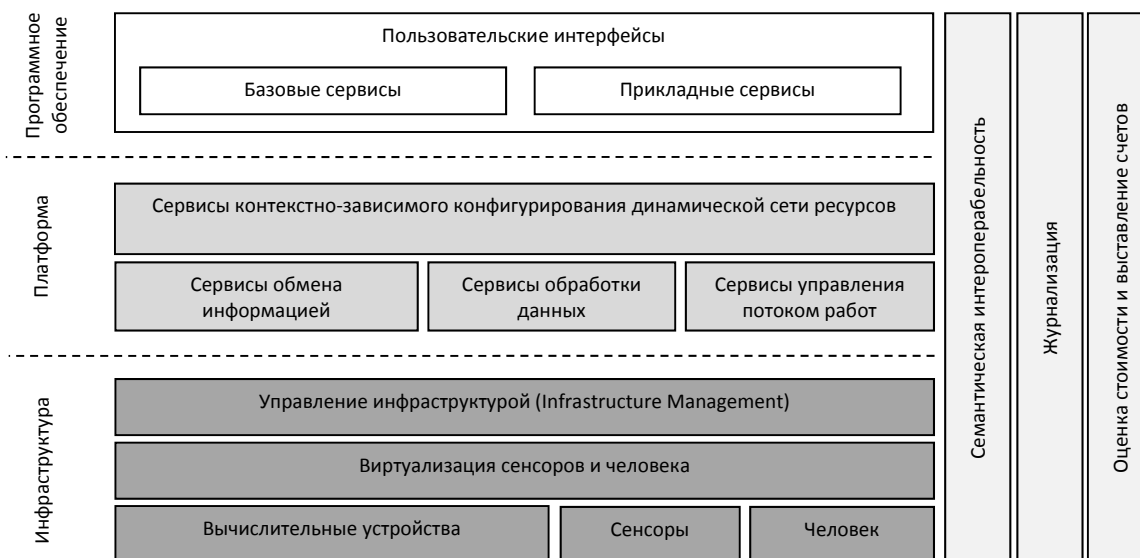


Рис. 2. Архитектура

низкого уровня, позволяющие, однако, создавать приложения для конечного пользователя, использующие операции, выполняемые людьми. Сервисы же четвертой группы представляют высокоуровневый интерфейс, использующий возможности онтологического моделирования для автоматизации некоторых задач поддержки принятия решений и снимающий необходимость реализации многих операций системой поддержки принятия решений а priori, поскольку их реализация может быть получена в ходе трансформации структурированного условия задачи.

Уровень программного обеспечения (SaaS). Этот уровень включает сервисы и приложения, непосредственно решающие задачи поддержки принятия решений. Эти сервисы могут быть разделены на две группы: базовые сервисы, реализующие общие операции, и прикладные сервисы, предназначенные для конечных пользователей.

На всех уровнях поддерживается семантическая интероперабельность, журнализация и стоимостная оценка выполняемых операций.

Заключение

На основе актуальных исследований в области облачных сред для управления человеческими ресурсами и сетями сенсоров была выполнена спецификация требований к системам человеко-машинных облачных вычислений. Были выделены три группы требований: бизнес требования, архитектурные требования и пользовательские требования на основе схемы разработанной в International Institute of Business Analysis. В соответствии с представленными требованиями были разработаны ме-

тодология и архитектура для построения распределенных систем поддержки принятия решений на основе человеко-машинных облачных вычислений. Методология основана на представлении знаний проблемной области с помощью онтологии, позволяющей осуществлять автоматическую декомпозицию задачи на подзадачи, соответствующие компетенциям имеющихся в системе сервисов, с последующей композицией результатов работы сервисов в возможные альтернативные решения исходной задачи. Предложенная архитектура включает все три слоя, предложенные National Institute of Standards and Technology: инфраструктуру, платформу и программное обеспечение.

Литература

1. Gavrilov, D. Russia Cloud Services Market 2016–2020 Forecast and 2015 Vendor Shares, IDC, September 2016.
2. Distefano, S., Merlino, G., Puliafito, A. SaaS: A Framework for Volunteer-Based Sensing Clouds // *Parallel and Cloud Computing*. 2012. Vol. 1, No. 2. Pp. 21-33.
3. Merlino, G., Arkoulis, S., Distefano, S., Papagianni, C., Puliafito, A., Papavassiliou, S. Mobile Crowdsensing as a Service: A Platform for Applications on Top of Sensing Clouds // *Future Generation Computer Systems*. 2016. Vol. 56. Pp. 623-639.
4. Formisano, C. et al. The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities // *In 3rd International Conference Future Internet of Things and Cloud*. 2015. Rome. Pp. 325-332.
5. Dustdar, S., Bhattacharya, K. // *The social compute unit // IEEE Internet Computing*. 2011. Vol. 15(3). Pp. 64-69.
6. Sengupta, B., Jain, A., Bhattacharya, K., Truong, H.-L., Dustdar, S. Collective Problem Solving Using Social Compute Units // *International Journal of Cooperative Information Systems*. 2013. Vol. 22, No. 4, 21 P.

7. Mavridis, N. et al. CLIC: A Framework for Distributed, On-Demand, Human-Machine Cognitive Systems. 2013. URL: <https://arxiv.org/abs/1312.2242>.
8. Mavridis, N. et al. Smart buildings and the human-machine cloud // 2015 IEEE 8th GCC Conference and Exhibition. 2015. Pp. 1-4.
9. Mavridis, N. et al. The Human-Robot Cloud: Situated collective intelligence on demand // Proceedings - 2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems. 2012. Pp. 360-365.
10. Schall, D. A human-centric runtime framework for mixed service-oriented systems // Distributed and Parallel Databases. 2011. Vol. 29. Pp. 333-360.
11. Schall, D. Service-Oriented Crowdsourcing: Architecture, Protocols and Algorithms // SpringerBriefs in Computer Science. 2012. Springer New York. 94 P.
12. Schall, D. Service Oriented Protocols for Human Computation // Handbook of Human Computation. 2013. Springer New York. Pp. 551-560.
13. Power D.J. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers // Greenwood/Quorum Books. 2002. Westport, 251 P.
14. Iren, D. et al. Utilization of synergetic human-machine clouds: A big data cleaning case. 1st International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering. 2014. Pp. 15-18.
15. Sarasua, C., Simperl, E., Noy, N.F. CrowdMap: crowdsourcing ontology alignment with microtasks // In Proceedings of the 11th international conference on The Semantic Web. 2012. Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Pp. 525-541.

Смирнов Александр Викторович. Заведующий лабораторией Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Окончил Ленинградский государственный политехнический университет в 1979 году. Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ. Количество печатных работ: более 350. Область научных интересов: управление знаниями, веб-сервисы, системы групповой поддержки принятия решений, виртуальные предприятия, управление цепями поставок. E-mail: smir@iiias.spb.su

Пономарев Андрей Васильевич. Старший научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Окончил Тюменский государственный нефтегазовый университет в 2003 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 45. Область научных интересов: анализ данных, рекомендуемые системы, краудсорсинг и крауд-вычисления. E-mail: ponomarev@iiias.spb.su

Кашевник Алексей Михайлович. Старший научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет в 2005 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: более 150. Область научных интересов: управление знаниями, облачные среды, человеко-машинное взаимодействие, робототехника, профилирование, онтологии, интеллектуальные пространства. E-mail: alexey@iiias.spb.su

Левашова Татьяна Викторовна. Старший научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Окончила Ленинградский электротехнический институт в 1998 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: более 200. Область научных интересов: интеллектуальные системы поддержки принятия решений, управление знаниями, управление контекстом, сети ограничений. E-mail: tatiana.levashova@iiias.spb.su

Тесля Николай Николаевич. Старший научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» в 2013 году. Количество печатных работ: более 40. Область научных интересов: управление знаниями, человеко-машинное взаимодействие, онтологии, интеллектуальные пространства, инфомобильность, информационная безопасность. E-mail: teslya@iiias.spb.su

Human-Computer Cloud for Decision Support: Platform Methodology and Architecture

A.V. Smirnov, A.V. Ponomarev, A.M. Kashevnik, T.V. Levashova, N.N. Teslia

Abstract. Rapid development of cloud services can be seen last years in Russia and other countries. Usually companies prefer to get services in the minor areas as cloud services instead of internal staff. Integration of cloud computing concept with crowd computing allows to provide customers completely new services based on competencies of group of people. The paper presents state-of-the-art in the area of cloud computing for controlling of human resource and sensor networks; requirements for human-computer cloud systems; methodology and architecture for development of distributed decision support systems based on human-computer cloud.

Ключевые слова: human-computer cloud, decision support, crowd computing, ontologies.

References

1. Gavrilov, D. 2016. Russia Cloud Services Market 2016–2020 Forecast and 2015 Vendor Shares. IDC. Available at: <http://idcrussia.com/ru/research/published-reports/64109-russia-cloud-services-market-2016-2020-forecast-and-2015-vendor-shares/2-abstract> (accessed December 1, 2016).
2. Distefano, S., Merlino, G., Puliafito, A. 2012. SaaS: A Framework for Volunteer-Based Sensing Clouds. *Parallel and Cloud Computing*. 1(2):21-33.
3. Merlino, G., Arkoulis, S., Distefano, S., Papagianni, C., Puliafito, A., Papavassiliou, S. 2016. Mobile Crowdsensing as a Service: A Platform for Applications on Top of Sensing Clouds. *Future Generation Computer Systems*. 56:623-639.
4. Formisano, C. et al. 2015. The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities. In 3rd International Conference Future Internet of Things and Cloud. Rome. 325-332.
5. Dustdar, S., Bhattacharya, K. 2011. The social compute unit // *IEEE Internet Computing*. 15(3):64-69.
6. Sengupta, B., Jain, A., Bhattacharya, K., Truong, H.-L., Dustdar, S. 2013. Collective Problem Solving Using Social Compute Units. *International Journal of Cooperative Information Systems*. 22(4).
7. Mavridis, N. et al. 2013 CLIC: A Framework for Distributed, On-Demand, Human-Machine Cognitive Systems. Available at: <https://arxiv.org/abs/1312.2242> (accessed December 1, 2016).
8. Mavridis, N. et al. 2015. Smart buildings and the human-machine cloud. 2015 IEEE 8th GCC Conference and Exhibition. 1-4.
9. Mavridis, N. et al. 2012. The Human-Robot Cloud: Situated collective intelligence on demand // *Proceedings - 2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems*. 360-365.
10. Schall, D. 2011. A human-centric runtime framework for mixed service-oriented systems // *Distributed and Parallel Databases*. 29:333-360.
11. Schall, D. 2012. *Service-Oriented Crowdsourcing: Architecture, Protocols and Algorithms*. SpringerBriefs in Computer Science. Springer New York. 94 p.
12. Schall, D. 2013. *Service Oriented Protocols for Human Computation* // *Handbook of Human Computation*. Springer New York. 551-560.
13. Power D.J. 2002. *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers* // Greenwood/Quorum Books. Westport, 251 p.
14. Iren, D. et al. 2014. Utilization of synergetic human-machine clouds: A big data cleaning case. 1st International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering. 15–18.
15. Sarasua, C., Simperl, E., Noy, N.F. 2012. CrowdMap: crowdsourcing ontology alignment with microtasks. In *Proceedings of the 11th international conference on The Semantic Web*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1:525-541.

Smirnov Alexander Viktorovich. The head of laboratory at St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). PhD, professor, honored scientist. In 1979 he has graduated from Leningrad state polytechnic university. Author more than 350 research papers. Research interests: knowledge management, web-services, group decision support systems, virtual enterprises, supply chain management. E-mail: smir@iias.spb.su

Ponomarev Andrei Vasilievich. Senior researcher at St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). PhD. In 2003 he has graduated from Tyumen State Oil and Gas University. Author of 45 research papers. Research interests: data analysis, recommendation systems, crowd computing, crowd sourcing. E-mail: ponomarev@iias.spb.su

Kashevnik Alexey Mikhailovich. Senior researcher at St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). PhD. In 2005 he has graduated from St.Petersburg state polytechnic university. Author more than 150 research papers. Research interests: knowledge management, cloud computing, human-computer interaction, robotics, user profiling, ontologies, smart spaces. E-mail: alexey@iias.spb.su

Levashova Tatiana Viktorovna. Senior researcher at St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). PhD. In 1998 he has graduated from Leningrad state electro technical institute. Author more than 200 research papers. Research interests: intelligent decision support systems, knowledge management, context management, constraint networks. E-mail: tatiana.levashova@iias.spb.su

Teslia Nikolay Nikolayevich. Senior researcher at St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). PhD. In 2013 he has graduated from St.Petersburg state electro technical university “LETI”. Author of 40 research papers. Research interests: knowledge management, human-computer interaction, ontologies, smart spaces, infomobility, security. E-mail: teslya@iias.spb.su