

Т
е
л
ек
ом
му
н
и
к
а
р
а
и
и

Ежемесячный научно-технический,
информационно-аналитический
и учебно-методический журнал

TK
5105.A1
.T2673
2020
v.2



2 2020

Телекоммуникации

Ежемесячный научно-технический,
информационно-аналитический
и учебно-методический журнал

Издается с июля 2000 г.

2
2020

Рекомендован ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д-р техн. наук, проф. Титов В.С.,
e-mail: tas_06@mail.ru

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

д-р техн. наук, проф. Сизов А.С.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Андеев В.Б. — д-р техн. наук, проф.
Аджемов А.С. — д-р техн. наук, проф.
Алгулиев Р.М. — д-р техн. наук, академик НАНА
Архипов Н.С. — д-р техн. наук, проф.
Бондур В.Г. — д-р техн. наук, академик РАН
Джиган В.И. — д-р техн. наук, доц.
Емельянов С.Г. — д-р техн. наук, проф.
Зотов И.В. — д-р техн. наук, проф.
Каляев И.А. — д-р техн. наук, чл.-корр. РАН
Каперко А.Ф. — д-р техн. наук, проф.
Ключников И.И. — д-р техн. наук, проф.
Кониченко А.В. — д-р техн. наук, проф.
Ларкин Е.В. — д-р техн. наук, проф.
Леньшин А.В. — д-р техн. наук, проф.
Муха А.П. — д-р техн. наук, проф.
Назаров А.Н. — д-р техн. наук, проф.
Новиков Д.А. — д-р техн. наук, чл.-корр. РАН
Обуховец В.А. — д-р техн. наук, проф.
Пустовойт В.И. — д-р физ.-мат. наук, академик РАН
Синицын И.Н. — д-р техн. наук, проф.
Сырямкин В.И. — д-р техн. наук, проф.
Шишкун Н.В. — д-р техн. наук, доц.
Хафизов Р.Г. — д-р техн. наук, проф.
Цыцулин А.К. — д-р техн. наук, проф.
Юсупов Р.М. — д-р техн. наук, чл.-корр. РАН

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

канд. техн. наук, проф. Ширабакина Т.А.,
e-mail: tas_06@mail.ru

При использовании материалов журнала
в любой форме ссылка на журнал обязательна.

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

105215, Москва,
9-я Парковая ул., д. 60.
Tel./факс: (495) 988-98-65,
тел.: (495) 988-98-67.
<http://www.nait.ru>
e-mail: admin@nait.ru

© ООО «Наука и технологии», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Леньшин А.В., Лебедев В.В. К вопросу экспертной оценки качества системы идентификации воздушных объектов 2

Мишин А.Б., Морковин С.В., Осипова Н.С. Сравнительный анализ алгоритмов трекинга в библиотеке OpenCV 7

СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Парфенов В.И., Ле Ван Донг. Оптимальный алгоритм комплексирования информации в беспроводных сенсорных сетях с учетом влияния помех в канале радиосвязи 12

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Марьянов П.А., Миняев А.А., Осипова Н.С., Бурков М.Н. Обнаружение движения в видеопотоке с использованием функции компенсации движения стандарта H.264 18

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Андеев В.Б., Анищенко А.В. Применение частотно-селективных обнаружителей лазерного излучения для защиты речевой информации от ее утечки по лазерному каналу 24

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Дудник Л.Н., Шевцов Ю.Д., Фадеев Е.Д., Чернуха Ю.В. Прогнозирование параметров локальной вычислительной сети на основе метода экспоненциального сглаживания 31

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Алекперов Р.Г. Мобильные вычислительные облака: текущее состояние и перспективы развития 37

УДК 001:004.7

Мобильные вычислительные облака: текущее состояние и перспективы развития

Р.Г. АЛЕКПЕРОВ

Институт информационных технологий НАНА, Баку, AZ 1141, Азербайджан

E-mail: t.direktor_muavini@iit.science.az

DOI: 10.31044/1684-2588-2020-0-2-37-47

Статья поступила в редакцию 06.08.2019

Принята после доработки 06.08.2019

Принята к публикации 12.11.2019

В статье анализируются проблемы, возникающие в мобильных вычислительных облаках (МВО), созданных с целью устранения существующих ограничений (энергопотребление, мощность обработки, ресурсы памяти и т.д.) в ресурсах мобильных устройств, и пути их решения. Мультимедийные программные приложения, используемые на мобильных устройствах, требуют все больших вычислительных ресурсов и ресурсов памяти. Исследуются мобильные вычислительные облака на основе cloudlet с иерархической структурой. В представленной исследовательской работе анализируются мобильные вычислительные технологии на основе cloudlet. Предложенная архитектура обеспечивает более эффективное использование потребностей мобильных устройств в вычислительных ресурсах и ресурсах памяти, а также устранение сетевых задержек. Показано снижение экспериментальным путем потребления энергии и задержек при использовании мультимедийного программного обеспечения мобильных устройств на основе cloudlet в мобильных сетях.

Ключевые слова: мобильные вычислительные облака, мобильные устройства, cloudlet, канал связи, мультимедийные программные приложения, канал беспроводной связи, энергопотребление.

Problems that occur in mobile cloud computing (MCC), as well as solutions to eliminate existing constraints in mobile devices resources (energy efficiency, power supply and memory resources, etc.) have been analyzed. Multimedia software applications used in mobile devices require increasingly large computing and memory resources. Available resources for mobile devices are not yet sufficient to handle such issues quickly and deliver them to the user. Mobile cloud computing eliminates resource scarcity in mobile devices, allowing cloud host servers to run software applications in mobile devices. Cloudlet hierarchical mobile cloud computing is considered and Cloudlet-based mobile computing technologies are studied. The effective provision of the demand proposed architecture for computing and memory resources of mobile devices and elimination of network delays were noted. An experimental decrease in energy consumption and delays was found out during the use of mobile devices' multimedia software in Cloudlet-based mobile networks.

Keywords: mobile cloud computing, mobile device, cloudlet, communication channel, multimedia software application, wireless communication channel, power consumption.

Введение

В современную эпоху мобильные устройства играют незаменимую роль в повседневной жизни людей. Прикладные

программы, загружаемые на мобильные устройства, требуют все больших ресурсов памяти. Однако ресурсов на мобильных устройствах все еще недостаточно. Мобильные вы-

числительные облака устраниют проблему нехватки ресурсов мобильных устройств, передавая данные или вычисления, производимые в мобильных устройствах, в облако. Помимо осуществления звонков с мобильных устройств, создания или редактирования документов, использования электронной почты и социальных сетей, пользователи широко используют программные приложения (обработка изображений, онлайн-игры, переводческие программы, мультимедийные программы), которые требуют больших вычислительных ресурсов и ресурсов памяти. Ограничения в технических характеристиках мобильных устройств (время работы батареи, нехватка вычислительных ресурсов и ресурсов памяти и т.д.) не позволяют пользователям эффективно использовать мультимедийные программные приложения. Таким образом, разрыв между мобильными приложениями, которые требуют больших вычислительных ресурсов и ресурсов памяти, и ограниченными возможностями мобильных устройств начинает увеличиваться. Стремительное развитие облачных технологий помогает устранить упомянутые пробелы.

Хотя облачные серверы имеют большие вычислительные ресурсы и ресурсы памяти в централизованных мобильных вычислительных системах, используемых пользователями, они не способны доставлять данные пользователям с высокой скоростью (из-за сетевых задержек). В последние годы стремительное увеличение числа мобильных пользователей в мобильных вычислительных облаках приводит к загрузке сети Интернет (каналы связи и узлы), что создает задержки при доставке пользователям данных, обрабатываемых в удаленных облачных серверах. Таким образом, создание мобильных вычислительных облаков с использованием cloudlet, расположенных вблизи базовых станций городских беспроводных сетей (WMAN — Wireless Metropolitan Area Networks), является одной из актуальных проблем. Предложенная модель позволяет мобильным пользователям устранять ограничения в вычислительных ресурсах и ресурсах памяти на устройствах, а также задержки в каналах связи. В статье

проанализирована архитектура мобильных вычислительных облаков на основе cloudlet с иерархической структурой, рассмотрены проблемы и разработаны стратегии их решения.

Обзор работ, связанных с исследованием

Большая часть исследований, проведенных в связи с технологиями МВО, посвящена вопросу эффективной организации процесса обработки пользовательских запросов на удаленных облачных серверах [1—2]. Согласно некоторым исследованиям пользовательские запросы приводят к увеличению задержек в каналах связи в результате загрузки сети Интернет в централизованных вычислительных облаках. В целях устранения задержек создаются расположенные ближе к пользователям сети cloudlet. В этом случае cloudlet обрабатывают запросы быстрее, а также позволяют мобильным устройствам потреблять меньше энергии [3—4]. В статье [5] исследовались условия, необходимые для создания cloudlet в мобильных вычислительных облаках, и нашел свое решение вопрос от том, рядом с какой базовой станцией целесообразнее разместить cloudlet. В статье [6] предлагается использовать cloudlet, мобильные приложения которых расположены ближе к мобильным устройствам, в целях устранения ограничения доступа к удаленным облакам посредством мобильной связи. В статье [7] рассматриваются условия доступа мобильного пользователя к cloudlet, длительность связи между пользователем и cloudlet и время решения проблем.

Согласно некоторым исследованиям задержки на каналах связи, а также энергопотребление могут быть уменьшены путем правильного размещения основных и вспомогательных частей программных приложений, используемых пользователями, соответственно, в мобильном устройстве и на облачных серверах [8]. В статье [9] отмечается, что задержки в обмене данными носят долгосрочный характер, поскольку облачные серверы физически далеки от пользователей. Размещение облачных серверов близко к пользователям значительно уменьшает задержки при обмене данными [10]. Исследователи предлага-

ют при небольшом количестве каналов связи между пользователем и cloudlet реализацию программного обеспечения с высоким качеством, минимальной задержкой и прерываниями [11]. В некоторых исследований [12] предлагается использовать облачные вычисления для снижения вычислительной нагрузки на мобильных устройствах. В статье [13] рассматривается вопрос кэширования данных для уменьшения задержек между мобильным устройством и облаком. В статье [14] предлагается мобильное облако с архитектурой dynamic Cloudlets. В этой архитектуре все устройства в пределах одной локальной сети были объединены для создания cloudlet, включая компьютеры и мобильные устройства. В работе [15] исследовали влияние мобильности пользователей на вычислительную производительность cloudlet путем изучения способности cloudlet получать доступ, когда мобильное устройство находится в движении, степени решения проблемы и выполнения задач. В статье [16] рассматривается структурная проблема сети на основе cloudlet и предлагается метод создания сети cloudlet в городских беспроводных сетях с целью решения проблем с местоположением и количеством cloudlet. Авторы [17] провели сравнительный анализ мобильных облаков с точки зрения передачи и задержек, и в результате было определено, что модель на основе cloudlet в большинстве случаев превосходит облачную модель. В другом исследовании представлена модель симуляции мобильных вычислительных облаков [18].

В статье [19] исследуются проблемы контроля доступа и распределения ресурсов для мобильных программных обеспечений, запущенных в cloudlet. В работе [20] затрагиваются технические проблемы использования cloudlet в мобильных вычислительных облаках. Для решения проблем была предложена новая архитектура. Предложенная архитектура позволяет управлять программами, запущенными мобильными пользователями в пределах cloudlet. Данное управление реализуется на основе определения виртуальных машин в cloudlet для любого пользователя. В статье [21] изучены ключевые критерии ис-

пользования виртуальных машин для управления операциями, запущенными в пределах cloudlet.

Кроме этого, рассмотрены вопросы продолжительности использования виртуальных машин при работе с cloudlet и правильного размещения виртуальных машин в cloudlet. Авторами [22] предлагается решение вопроса о выборе виртуальных машин, которые соответственно требованиям пользователя могут обеспечить более быстрое решение проблемы, используя технические возможности виртуальных машин, созданных в cloudlet. В статье [23] рассматривается вопрос оптимального распределения мобильных прикладных программ среди облачных серверов мобильной сети. Некоторые исследования посвящены созданию сетевой инфраструктуры cloudlet, расположенной вблизи точек доступа (Access Point) с большим количеством пользователей городских беспроводных сетей. Поэтому предлагается размещать cloudlet в непосредственной близости от большой концентрации мобильных пользователей (торговых центров, библиотек, школ, университетов, стадионов, вокзалов, аэропортов и т.д.) [24–25]. В работе [26] рассматривается вопрос о размещении программных средств на заранее выбранном cloudlet с учетом частоты запросов к этим программным средствам. В случае необходимости сохранения программного средства с более высоким приоритетом сохраненное в памяти, но относительно редко используемое программное средство может быть удалено из ресурсов памяти cloudlet [27]. В статье [28] изучается вопрос о создании начальных вычислительных ресурсов (виртуальных машин) с использованием метода иерархического анализа для эффективного использования в условиях вычислительных облаков.

Создание иерархической сетевой инфраструктуры на основе cloudlet

В настоящее время, несмотря на то что используемые пользователями централизованные облака имеют большие вычислительные ресурсы и ресурсы памяти, они не обладают способностями высокоскоростной доставки данных пользователям. Стремительное увели-

чение числа мобильных пользователей в вычислительном облаке становится причиной загрузки сети, что приводит к большим задержкам в доставке обработанной информации пользователю. Чтобы устраниить этот недостаток, необходимо разместить ресурсы вычислительного облака ближе к пользователю. Вычисления, требующие больших ресурсов в мобильных вычислительных облаках, загружаются на ближайшие к пользователю серверы, что помогает максимально быстро решать задачу.

Таким образом, создается cloudlet вблизи базовых станций мобильных операторов для более широкого использования мобильного оборудования в облачных технологиях. Cloudlet представляет собой компьютер с подключением к Интернету, вычислительная мощность которого меньше, чем у облачных серверов, и больше, чем у мобильных устройств. Очень важно близкое размещение мобильного устройства для уменьшения задержек между мобильным устройством и облаком. Идеальное место для cloudlet — это рядом с ближайшей к мобильному устройству базовой станцией. Например, cloudlet можно разместить на мобильной базовой станции или точке доступа Wi-Fi (AP). Облачные сервисы, необходимые пользователям, реализуются посредством cloudlet. Допустим, пользователю необходимо работать с определенным программным приложением (сервис SaaS). Он запрашивает данную программу в ближайший к нему cloudlet и работает с ней в течение определенного периода времени, а затем направляет эту программу обратно на центральный сервер. Это снижает стоимость обслуживания в облаке, время, требуемое на решение задачи, уменьшается, а сеть не загружается. С другой стороны, можно удовлетворить спрос на большие вычислительные ресурсы и ресурсы памяти, используя традиционные централизованные облачные сервисы. Однако существуют задержки в получении результатов или данных в таких облачных сервисах. Например, Google создал новый сервис онлайн-перевода (Google Translate API), который позволяет пользователям, говорящим на разных языках, общаться друг с другом

через Интернет. Мобильные устройства (смартфоны), использующие услуги данной программы, не осуществляют перевод самостоятельно, а отправляют слова и предложения на серверы Google Cloud Platform. Перевод выполняется на серверах, и результаты отправляются лицам, общающимся друг с другом. Но при таких типах услуг чувствуется замедленность в работе сервиса. Хотя программа и выполняет перевод за долю секунд, задержки происходят в передаче перевода по сети в нужное место назначения. Поэтому желательно разместить переводческую программу на локальном сервере (cloudlet) близко к пользователю, который ее использует, и разрешить выполнять перевод быстро в режиме реального времени. Наглядным примером является использование мобильной прикладной программы «Siri» на платформе iOS. При подключении к «Siri» речь пользователя предварительно обрабатывается на мобильном устройстве, а затем передается в облачный сервис распознавания голоса через Интернет. Далее в облаке реализуется распознавание речи, а результат отправляется пользователю через Интернет, что приводит к задержкам. Если бы программное обеспечение «Siri» было размещено в ближайших к пользователю cloudlet, сократились бы задержки в его использовании [13]. В то же время размещение программного обеспечения, необходимого при использовании пользователями услуги SaaS, в ближайших cloudlet позволяет сервису быть дешевым, быстрым и качественным. В этой системе мобильные устройства направляют требуемые операции по обработке в cloudlet для выполнения и достижения конечного результата, что, в свою очередь, минимизирует задержки передачи, устраняет ограничения в вычислительных ресурсах и ресурсах памяти мобильных устройств, а также снижает энергопотребление мобильных устройств.

При использовании услуг вычислительных облаков пользователь использует два режима: офлайн и онлайн. Предположим, что пользователь получает облако виртуальных вычислений для задач, которые требуют большой вычислительной мощности. Направляет задачи

в облако и получает результат спустя определенное количество времени. В этом режиме нет прямой связи между компьютером пользователя и облаком в течение времени, необходимого для решения задачи. Однако существуют задачи, при решении которых имеется связь между пользователем и облаком до конца процесса. Это создает дополнительную нагрузку на сеть.

Преимущества использования cloudlet включают быстрый доступ к услуге, поддержку мобильности и снижение затрат на роуминг. Поскольку пользовательские программные приложения находятся в соседних облаках, пользователи могут сразу получить доступ к информации, устранивая задержки связи в сети. Кроме того, возможности cloudlet, как и в вычислительных облаках, шире, чем технические возможности мобильных устройств, что позволяет программным приложениям, которые не могут быть обработаны на мобильном устройстве, работать в облаках. Для решения упомянутых проблем используются основанные на cloudlet мобильные вычислительные системы с иерархической структурой (рис. 1). Как видно из схемы,

пользователи мобильного Интернета загружают и используют необходимые им программные приложения в компьютеры систем cloudlet, что, в свою очередь, снижает загрузку Интернета. Эта архитектура отчасти улучшает показатели некоторых параметров (время решения задачи, задержки в каналах связи и т.д.). В иерархически структурированной архитектуре на 1-м уровне размещаются серверы системы вычислительных облаков, на 2-м уровне — cloudlet рядом с базовыми станциями и на 3-м уровне — мобильные пользователи. Таким образом, для широкого и эффективного использования облачных технологий мобильными устройствами рядом с базовыми станциями операторов мобильной связи создается cloudlet. Когда мобильные пользователи входят в облачное программное обеспечение, они сначала присоединяются к ЦУР (Центр управления ресурсами — Resource Management Center), который затем соединяет пользователя с соответствующим облачным сервером в кратчайшие сроки.

Базовая станция передачи осуществляет соединения между сетью и мобильными устройствами 3G/4G, точками доступа — Wi-Fi и т.д.

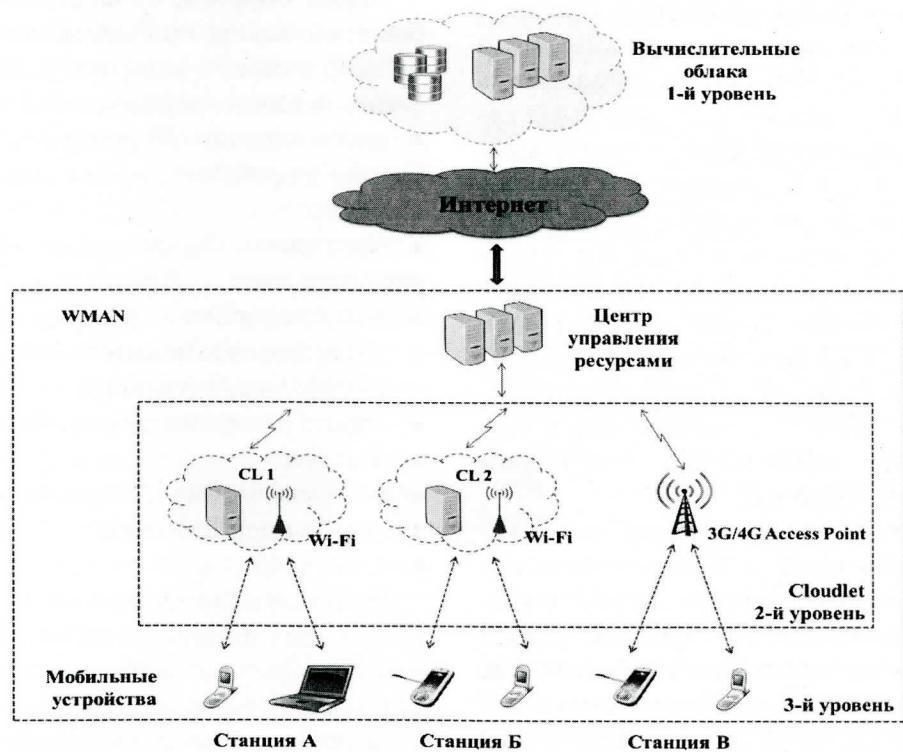


Рис. 1. Мобильные вычислительные облака на основе cloudlet

Запросы и сведения о мобильных пользователях (например, ID и местоположение) передаются в Центр управления ресурсами (центральными процессорами, подключенными к серверу), который предоставляет услуги мобильной сети. Впоследствии запросы абонентов посредством предложенной модели ЦУР отправляются на сервер, обеспечивающий доступ в Интернет, где создается связь с соответствующим облаком через Интернет. Центр управления предоставляет информацию о компьютерном оборудовании (сервер, настольный компьютер, ноутбук и т.д.), используемом для создания cloudlet. В то же время Центр управления собирает информацию о технических возможностях cloudlet (рабочая частота процессора, количество ядер процессора, количество виртуальных машин, их спецификации, объем памяти и т.д.) и о том, к каким cloudlet пользователям в мобильной сети находятся ближе. Поэтому на основе входящего запроса актуальными являются вопросы о размещении запрашиваемых из облачных серверов программных приложений, соответствующих требованиям пользователя, в cloudlet и виртуальной машине.

Давайте представим возможные сценарии мобильности для мобильного пользователя в сети cloudlet [17]. Мобильный пользователь в точке *A* подключается к CL1, используя существующее соединение Wi-Fi в зоне покрытия Cloudlet 1 (CL1). Возможность мобильного пользователя выйти за пределы зоны покрытия CL1, т.е. перейти к точке *B* и в зону покрытия Wi-Fi, может привести к его переходу в зону покрытия другого облака (CL2). Cloudlet CL1 и CL2 подключаются к удаленному облачному серверу, а пользователи, расположенные в точке *C*, подключаются к удаленному облаку через 3G/4G. Рассмотрим принцип работы системы.

1. Первоначально мобильный пользователь находится в точке *A*. В этом случае мобильное устройство получает доступ к удаленному серверу через CL1 и ЦУР и загружает необходимое ему программное обеспечение в cloudlet CL1 и остается в зоне доступа CL1 до тех пор, пока не будет завершена требуемая операция.

2. Мобильный пользователь в точке *A* перемещается в точку *B*. В этом случае мобильное устройство изначально находится в зоне доступа CL1, но покидает пределы покрытия CL1 без завершения требуемой операции, переходя в зону доступа CL2. В это время мобильное устройство использует CL2 для выполнения новых задач или завершения предыдущей операции. В случае если в CL1 останется незавершенная информация или процесс, посредством ЦУР обеспечивается передача данных из CL1 в CL2 для завершения этих операций. CL2, получив информацию, завершает процесс.

3. Когда мобильный пользователь перемещается из точки *B* в точку *C*, обработка данных выполняется в двух вариантах. В первом варианте мобильное устройство выполняет обработку данных через Интернет на удаленных облачных серверах организации (что вызывает задержки) или осуществляет решение задачи в cloudlet CL2 посредством ЦУР. Это уменьшает задержки и потребление энергии.

Проблемы мобильных вычислительных облаков и пути их решения

Таким образом, обобщая вышеизложенное, были выявлены проблемы, которые влияют на эффективное использование услуг в мобильных вычислительных облаках [29]:

- расположение облачных серверов системы Cloud Computing вдали от мобильных пользователей;
- задержки в каналах связи в результате перегрузки сети;
- возникновение разрывов в каналах связи;
- короткая продолжительность работы батареи мобильных устройств;
- работа программных приложений в режиме онлайн;
- несвоевременная доставка данных и результатов пользователю;
- и так далее.

Для решения упомянутых проблем используются следующие стратегии [11]:

- использование мобильных систем Cloud Computing с иерархической архитектурой;
- создание сетевой инфраструктуры на основе cloudlet;

- оптимальное размещение запросов пользователей в cloudlet;
- размещение программных приложений в близких к пользователю cloudlet;
- использование минимального количества каналов связи между cloudlet и пользователем;
- кластеризация программных приложений с высокой интенсивностью использования в cloudlet;
- и так далее.

Пользователи путем разрешения своих запросов в близко расположенные cloudlet и уменьшения количества каналов связи между пользователями и cloudlet могут устранять задержки и обеспечивать безопасность сети. Можно снизить энергопотребление, задержки и разрывы путем правильного размещения вспомогательных (интерфейс) и основных частей используемых пользователями программных приложений, соответственно, на мобильных устройствах и облачных серверах.

Эффективно используя ресурсы сетей cloudlet, можно решить некоторые из вышеупомянутых проблем. Определение возможностей вычислительных ресурсов и ресурсов памяти cloudlet и размещение программных приложений по запросам пользователя в cloudlet являются проблемным вопросом. Если вычислительные ресурсы и ресурсы памяти расположенного вблизи точки доступа (Access Point) cloudlet не способны обрабатывать запросы множества мобильных пользователей, тогда мобильный пользователь выбирает другой близкий к нему cloudlet и пользуется его ресурсами. С другой стороны, актуальными являются вопросы о выборе cloudlet с лучшими техническими возможностями, соответствующими требованиям пользователя, для неотложного решения проблемы, в то же время решается вопрос об оптимальном распределении пользовательских запросов в cloudlet. Компьютеры, используемые в сети cloudlet, обладают различными техническими параметрами (вычислительная мощность, объем памяти, частота и т.д.). С другой стороны, время, требуемое для решения проблемы, зависит от вычислительной

мощности виртуальной машины, созданной в cloudlet, и количества узлов, расположенных между пользователем и cloudlet. Чем меньше количество узлов между cloudlet и пользователем, тем меньше задержки. Это, в свою очередь, помогает быстрее доставлять результаты и данные пользователю. Также необходимо направить запрос любого пользователя в cloudlet с высокими техническими возможностями (чтобы сократить время решения задачи). Поэтому, прежде чем выбрать cloudlet, необходимо сначала проверить сеть и определить ситуацию. Таким образом, после проверки становится доступной информация о загрузке и технических возможностях cloudlet, и мы определяем, в каком cloudlet задача быстрее найдет свое решение. Задача быстрее решится в том cloudlet, технические показатели которого выше (вычислительная производительность, память и частота обработки). Однако тогда цена решения задачи будет больше, чем у других cloudlet. Следовательно, если выбранный cloudlet обеспечивает решение проблемы в течение времени, установленного пользователем, то следует выбрать cloudlet с низкой стоимостью решения, т.е. невыгодно решать вопрос быстрее поставленного срока и тратить больше средств [30].

Таким образом, при использовании мобильных облачных технологий пользователи в основном опираются на следующие критерии: низкая стоимость и время, необходимое для решения проблемы, обеспечение безопасности их данных и быстрая и надежная доставка данных и результатов пользователям.

Указанные критерии зависят от географического расположения облачных серверов от пользователей, мощности виртуальных вычислительных машин и степени загрузки сети. Поэтому необходимо разместить серверы мобильных облачных технологий близко к пользователям. Лучше всего размещать cloudlet возле каждой базовой станции. Но такие мобильные вычислительные облака стоят дороже, в то же время система не используется эффективно. По этой причине следует проводить мониторинг и анализ местоположения cloudlet (вблизи учебных заведений, торговых

центров, мест отдыха и т.д.). Количество каналов связи между пользователями и cloudlet должно быть минимальным, и это обеспечивает надежное функционирование каналов связи. Должны быть разработаны алгоритмы для правильного выбора cloudlet, которые гарантируют, что проблема пользователя будет решена в нужное время. Должны быть разработаны методы и алгоритмы для правильного выбора виртуальных машин, которые помогают снизить стоимость решения задачи в cloudlet. Кроме того, в созданных зонах должно быть определено, какие программные приложения используются пользователями чаще. После определения программных средств с высокой интенсивностью должны быть разработаны вопросы их кластеризации в cloudlet. Затем технические возможности системы cloudlet, которая будет создана в этой зоне. После определения мест концентрации большого количества людей и анализа данных большого объема, которые они используют, можно принять решение о размещении cloudlet в этих зонах. Таким образом, предлагаемая архитектура на cloudlet частично минимизирует задержки в каналах связи, устраняет ограничения в мобильных вычислительных ресурсах и ресурсах памяти, ускоряет время решения задачи и снижает потребление энергии мобильными устройствами. С другой стороны, поскольку программные средства в мобильных вычислительных облаках с иерархической структурой размещаются в близких к мобильному пользователю cloudlet, безопасность в каналах связи (минимизирует DoS-атаку на мобильные устройства) обеспечивается лучше. Поскольку в централизованных мобильных вычислительных облаках связь между мобильным пользователем и удаленным облачным сервером осуществляется через Интернет, интенсивность несанкционированных вмешательств в каналах связи возрастает и обеспечивать их безопасность становится сложнее. Рассмотрим вопросы анализа результатов потребления энергии и задержек при использовании мобильными пользователями удаленного облачного сервера или cloudlet.

Сравнение и оценка экспериментальных результатов

Рассмотрим сравнение экспериментальных результатов, полученных после использования мобильными пользователями удаленных облачных серверов и cloudlet в мобильных вычислительных облаках. Мобильный пользователь использует для подключения к облачному серверу 4G, а к cloudlet — Wi-Fi.

Для оценки предложенной модели были созданы два различных сценария мобильных вычислений. В первом сценарии мобильный телефон подключается к удаленному облачному серверу через 4G. Во втором сценарии мобильное устройство подключается к cloudlet (CL) через Wi-Fi. Cloudlet подключается к удаленному облачному серверу через проводное соединение. Этот эксперимент по двум подключениям был проверен реальным испытанием. Для экспериментов использовалось следующее оборудование:

- cloudlet сервер: Lenovo V110 ноутбук (Core i5-6200, CPU-2.4 GHz, RAM 4 Gb, HDD (SSD) 256 Gb);
- устройство ввода: подключенный к Интернету маршрутизатор (оптоволоконный кабель) Cisco-WS2950 PO-8TT-L);
- мобильный телефон: Samsung Galaxy Note 8 Exynos Octa 8895 (CPU-2.3 GHz, RAM 6 Gb, HDD (SSD) — 64 Gb).

Для проверки предложенной модели в Cloudlet, а также в корпоративное облако были загружены четыре файла объемом 10, 40, 66, 108 МБ. В ходе эксперимента сравнивалось энергопотребление, затраченное на загрузку файлов с мобильного устройства, со временем, необходимым для завершения операции и передачи всего процесса. Также установлена стоимость обоих сценариев. В таблице приведено сравнение результатов Cloudlet (Wi-Fi) и удаленного корпоративного облака (4G). Расходы рассчитывались исходя из стоимости пользования мобильным Интернетом (1 ГБ — \$5).

На рис. 2 показан сравнительный график общих задержек, необходимых для завершения процесса загрузки во время применения обоих сценариев (4G, Wi-Fi).

Сравнение результатов Cloudlet (Wi-Fi) и удаленного корпоративного облака (4G)

Объем файла	Форма подключения	Энергопотребление, мВт	Задержки, с	Скорость передачи, Мбит/с	Расходы (\$)
10 Мбайт	Cloudlet — Wi-Fi	31,3	0,49	20,1	≈0
	Облачный сервер — 4G	59,4	1,16	8,6	0,05
40 Мбайт	Cloudlet — Wi-Fi	42,7	1,96	20,4	≈0
	Облачный сервер — 4G	78,3	3,57	11,2	0,2
66 Мбайт	Cloudlet — Wi-Fi	72,6	3,17	20,8	≈0
	Облачный сервер — 4G	82,6	4,58	14,4	0,33
108 Мбайт	Cloudlet — Wi-Fi	82,8	5,02	21,5	≈0
	Облачный сервер — 4G	98,1	6,54	16,5	0,54

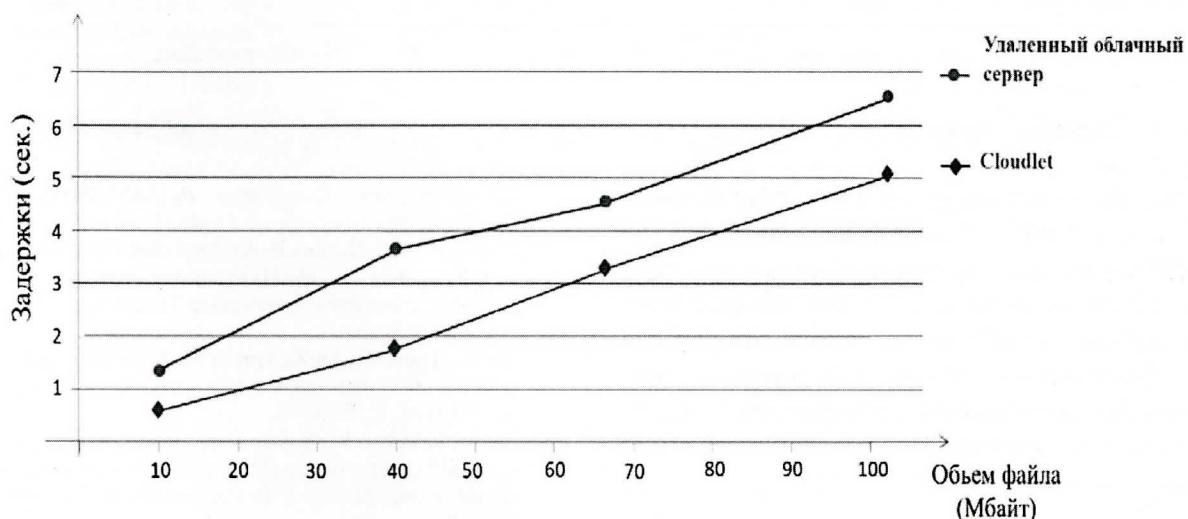


Рис. 2. Сравнение задержек в мобильных технологиях (4G, Wi-Fi), используемых для загрузки файлов разных размеров

На рис. 3 представлен график сравнительного анализа энергии, потребляемой мобильным устройством при использовании обоих сценариев. Проведенные испытания показывают, что использование cloudlet намного выгоднее, чем удаленных облачных серверов. Так, используя cloudlet, мобильные устройства потребляют в 1,2 раза меньше энергии, чем 4G. Кроме того, подключение к Wi-Fi происходит примерно в 1,3 раза быстрее, чем 4G. При использовании удаленных облачных серверов часто требуется больше времени для передачи файлов большого объема, а длительность задержек, возникающих при использовании cloudlet, может считаться приемлемой. Таким образом, нашло свое подтверждение предложение, что быстрая обработка программных приложений, запущенных в об-

лаке или cloudlet, и уменьшение энергопотребления устройства более эффективны в мобильных облаках на основе cloudlet.

В то же время целесообразнее использовать МВО на основе cloudlet для минимизации возникающих в сети задержек при использовании программных приложений мобильных вычислительных облаков.

Заключение

В статье изложены архитектурные и технологические принципы сетевой инфраструктуры на основе cloudlet, расположенной вблизи базовой станции городских беспроводных сетей. Показано, что мобильные вычислительные облака на основе cloudlet с иерархической структурой обеспечивают устранение нехватки в энергопотреблении,

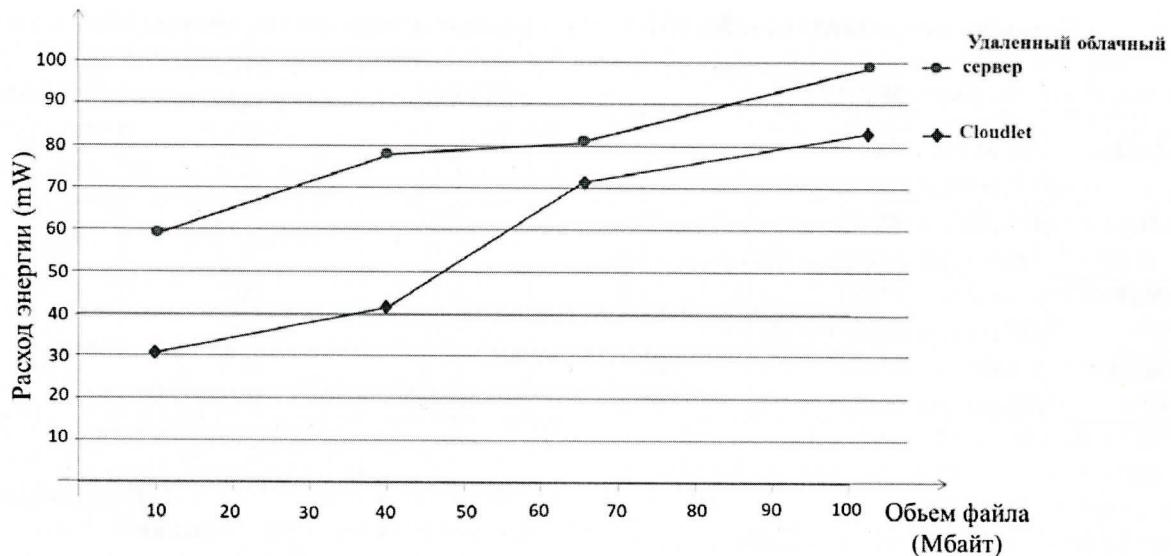


Рис. 3. Сравнение энергопотребления мобильных устройств с использованием различных технологий (4G, Wi-Fi)

вычислительных ресурсах и ресурсах памяти. Проанализированы проблемы, возникающие в МВО, и пути их решения. В результате проведенного эксперимента было установлено, что мобильные облака на основе cloudlet более эффективны для быстрой передачи программных приложений, работающих в облачном сервере, и снижения энергопотребления мобильного устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu F., Shu P., Jin H., Ding L., Yu J., Niu D., Li B. Gearing resource-poor mobile devices with powerful clouds: architectures, challenges, and applications // IEEE Wireless Communications. 2013. V. 20. No 3. P. 1422.
2. Dinh H.T., Lee C., Niyato D., Wang P. A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches // Wireless Communications and Mobile Computing. 2013. V. 13. N 18. P. 1587–1611.
3. Shim Y.C. Effects of cloudlets on interactive applications in mobile cloud computing environments // International Journal of Advanced Computer Technology. 2015. V. 4. No 1. P. 54–62.
4. Ha K., Pillai P., Richter W., Abe Y., Satyanarayanan M. Just-in-time provisioning for cyberforaging // in Proceeding of the 11th annual International Conference on Mobile systems, applications, and services. ACM. 2013. P. 153–166.
5. Alekberov R.K., Pashayev F.H., Alekperov O.R. Forecasting Cloudlet Development on Mobile Computing Clouds // Information Technology and Computer Science. 2017. No 11. P. 23–34.
6. Qi H., Gani A. Research on Mobile Cloud Computing: Review, Trend and Perspectives // IEEE 2nd International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications. 2012. P. 195–202.
7. Li Y., Wang W. The Unheralded Power of Cloudlet Computing in the Vicinity of Mobile Devices // 013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). 2013. P. 4959–4964.
8. Huerta-Canepa G., Lee D. A virtual cloud computing provider for mobile devices // International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. 2017. V. 3. No 3. P. 411–414.
9. Jia M., Liang W., Xu Z., Huang M. Cloudlet load balancing in wireless metropolitan area networks // IEEE. 2016. 10–14 April. P. 730–738.
10. Shi C., Lakafosis V., Ammar M.H., Zegura E.W. Serendipity: enabling remote computing among intermittently connected mobile devices // In Proc. of the ACM MobiHoc. 2012. P. 145–154.
11. Alekberov R.K., Alekperov O.R. Effective use Method of Cloudlet Resources by Mobile Users // International Journal of Computer Network and Information Security. 2018. V. 10. No 2. P. 46–52.
12. Fernando N., Loke S.W., Rahayu W. Mobile cloud computing: A survey. Future Gener. Comput. Syst. 29. 2013. P. 84–106.
13. Pang Z., Sun L., Wang Z., Tian E., Yang S. A Survey of Cloudlet based Mobile Computing // 2015 International Conference on Cloud Computing and Big Data. 2015. P. 268–275.
14. Verbelen T., Simoens P., de Turck F., Dhoedt B. Cloudlets: bringing the cloud to the mobile user // In Proceedings of the third ACM workshop on Mobile cloud computing and services. ACM. 2012. P. 29–36.
15. Hu W., Amos B., Chen Z., Ha K., Richter W., Pillai P., B. Gilbert, J. Harkes J., Satyanarayanan M. The case for offload shaping // In Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. ACM. 2015. P. 51–56.
16. Ceselli A., Premoli M., Secci S. Cloudlet network design optimization // In Proc. of IFIP Networking. May 2015.
17. Jararweha Y., Tawalbeh L., Ababneha F., Khreishah A., Dosarib F. Scalable Cloudlet-based Mobile Computing Model // The 11th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC – 2014). Procedia Computer Science 34. 2014. P. 434–441.

18. Jararweh Y., Alshara Z., Jarrah M., Kharbutli M., Al-saleh M.N. TeachCloud: a cloud computing educational toolkit // International Journal of Cloud Computing. 2013. V. 2. No 2/3. P. 237–257.
19. Dinh T.H., Niyato D., Wang P. Optimal admission control policy for mobile cloud computing hotspot with cloudlet // Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2012. 1–4 April IEEE. P. 3145–3149.
20. Quwaider M., Jararweh Y. Cloudlet-based for big data collection in body area networks // 2013 8th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST). 2013. 9–12 Dec. P. 137–141.
21. Shiraz M., Gani A. Mobile Cloud Computing: Critical Analysis of Application Deployment in Virtual Machines // International Proceedings of Computer Science & Information Tech. 2012. V. 27. P. 11–16.
22. Sarddar D., Bose R. A Mobile Cloud Computing Architecture with Easy Resource Sharing // International Journal of Current Engineering and Technology. 2014. V. 4. No 3. P. 1249–1254.
23. Gelenbe E., Lent R., Douratsos M. Choosing a local or remote cloud // Proceedings of 2nd International Symposium on Network Cloud Computing and Applications. 2012. P. 25–30.
24. Alakbarov R., Pashayev F., Hashimov M. Development of the Method of Dynamic Distribution of Users' Data in Storage Devices in Cloud Technology // Advances in Information Sciences and Service Sciences. 2016. V. 8. No 1. P. 16–21.
25. Gelenbe E., Lent R., Douratsos M. Choosing a local or remote cloud // Proceedings of 2nd International Symposium on Network Cloud Computing and Applications. 2012. P. 25–30.
26. Gupta P., Gupta S. Mobile Cloud Computing: The Future of Cloud. International Journal of Advanced Research in Electrical // Electronics and Instrumentation Engineering. 2012. No 3. P. 134–144.
27. Chen M., Hao Y., Li Y., Lai C.F., Wu D. On the computation offloading at ad hoc cloudlet: Architecture and service modes // IEEE Commun. Mag. 2015. V. 53. P. 18–24.
28. Микрюков А.А., Хантимиров Р.И. Задача первоначального выделения ресурсов в облачных вычислительных средах на основе метода анализа иерархий // Прикладная информатика. 2015. № 8. С. 184–185.
29. Алекперов О.Р. Проблемы, возникающие в мобильных вычислительных облаках, и пути их решения // Телекоммуникации. 2019. № 6. С. 38–48.
30. Alguliyev R.M., Aliguliyev R.M., Alekberov R.K., Alekperov O.R., Alguliyev R.M. The Skyline Operator for Selection of Virtual Machines in Mobile Computing // International Journal of Modern Education and Computer Science. 2018. V. 10. No 11. P. 1–10.

ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии»

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации № 018873 от 27 мая 1999 г.

Редактор Морозова И.М.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «СиД».

Сдано в набор 12.11.2019. Подписано в печать 17.12.2019.

Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 5,82. Уч.-изд. л. 6,13. Печать цифровая. Тираж 65 экз. «Свободная цена»

Отпечатано в ООО «СиД».