ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ туманных вычислений

А.Пинчук, директор ООО "НТЦ ПРОТЕЙ",
Н.Соколов, д.т.н., директор по науке ООО "ПРОТЕЙ СпецТехника",
В.Фрейнкман, директор по маркетингу и системным исследованиям ООО "НТЦ ПРОТЕЙ"

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2018.72.3.38.45

Рассматриваются концептуальные положения туманных вычислений с точки зрения требований к сетям электросвязи, поддерживающим соответствующие функциональные возможности. Это – первая статья авторов, которая входит в цикл публикаций, посвященных туманным вычислениям. Она содержит четыре раздела: краткое изложение истории развития туманных вычислений; системно-сетевые аспекты реализации концепции туманных вычислений; общие принципы реализации исследуемой концепции; прогностические оценки развития туманных вычислений.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Термин "туманные вычисления" (Fog Computing, Fog Networking, Fogging) стал использоваться в технической литературе не так давно [1, 2] – примерно с 2012 года. Само явление как объект исследования известно более сорока лет [3] под разными названиями, среди которых чаще встречается словосочетание "распределенные вычислительные системы". Возникновение нового названия обусловлено в том числе качественными отличиями туманных вычислений от предшествующих системных и технических решений. Выбор нового термина был продиктован названием альтернативной и одновременно взаимодополняющей концепции – "облачные вычисления" [4, 5]. "Облако" в общем случае находится вдали от устройства, для которого необходимо обработать информацию, а "туман" – вблизи.

Историю развития туманных вычислений можно описать, введя основные этапы доминирования разных решений для постоянно протекающего процесса "централизация – децентрализация". Эти этапы показаны на рис.1. Предлагаемая иллюстрация характерна для сложных систем любого вида [6]. Рассматриваемый пример касается эволюции

вычислительных средств [1-5] и сопутствующего развития телекоммуникационных сетей как сложных систем [7].

На первом этапе используются счетные палочки (или подобные им средства), которые признаются одним из первых приспособлений для проведения элементарных вычислений. Очевидно, что для передачи информации о полученных результатах телекоммуникационные сети не использовались ввиду их отсутствия. На втором этапе появились механические вычислительные средства (например, арифмометр), а позже – калькуляторы. Насущная необходимость в сетях передачи данных еще не возникла. Для обмена результатами пользователей вполне устраивали сети телеграфной и телефонной связи. Первый и второй этапы уместно рассматривать как процессы децентрализованной обработки информации.

На третьем этапе стали доступны ресурсы электронных вычислительных машин (ЭВМ). Для обмена информацией потребовались сети передачи данных. Этот этап, пожалуй, стал первым процессом централизации обработки информации.

На четвертом этапе появились персональные компьютеры. Сформировалась также информационная система Интернет [8], обеспечивающая

наряду с другими сетями обмен данными большого объема. Преобладали процессы децентрализованной обработки информации.

На пятом этапе возросла роль ряда информационных технологий вида Big Data [9] и Data Mining [10] – большие данные и извлечение ценной информации. Они привели к использованию суперкомпьютеров и центров обработки данных (ЦОД). Вместе с тем формирование рынка IoT [11] – Интернета вещей – стимулировало достижение определенного консенсуса в связке "централизация – децентрализация". Именно на пятом этапе возникли и укоренились термины "облачные вычисления" и "туманные вычисления".

Концепция туманных вычислений начала превращаться в реальность благодаря трем факторам. Во-первых, вычислительные мощности терминального оборудования и устройств, размещаемых в "тумане", позволяют выполнять дополнительные вычисления без каких-либо проблем. Во-вторых, количество терминалов растет очень быстро и эта тенденция сохранится в обозримой перспективе. В-третьих, целесообразно разгрузить централизованные системы (в том числе облачные) от лишней работы. При этом большинство периферийных устройств и систем построено на базе относительно стандартных архитектур и использует типовые операционные системы, что позволяет загружать на них дополнительное программное обеспечение.

СИСТЕМНО-СЕТЕВЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Важная особенность туманных вычислений заключается в оптимальном приближении

тех устройств, которые осуществляют решение поставленных задач, к источнику и/или потребителю информации. Актуальность концепции туманных вычислений уместно объяснить на простом примере: необходимо передать информацию, обработать ее, что требует времени T , и получить результат до истечения срока Z . Пусть известна среда передачи информации, которая определяет время распространения сигналов γ на единицу длины. Предположим, что информация имеет небольшой объем и передается с высокой скоростью. Тогда формула, позволяющая оценить допустимое расстояние между источником/приемником информации и вычислительным устройством L , определяется очевидным образом:

$$2\gamma L + T = Z \rightarrow L = \frac{Z - T}{2\gamma}. \quad (1)$$

Ряд вычислений требует сравнительно простых операций. При высокой производительности вычислительных устройств величиной T можно пренебречь. В этом случае для оценки допустимого расстояния L приемлемо приближенное соотношение:

$$L = \frac{Z}{2\gamma}. \quad (2)$$

Следовательно, для услуг и приложений, ориентированных на быстрое получение ответа (минимальные значения Z), величина L не может быть такой, чтобы осуществлять обработку информации в "облаке". Пусть значение γ является типовым для оптического волокна – 5 мкс/км. Если, например, необходимо

Рис.2. Модель исфокоммуникационной системы

получить результат за 0,1 мс, то величина L , как следует из соотношения (2), не должна превышать 10 км. Это означает, что вычисления следует выполнять либо в самом источнике информации, либо в устройстве, которое расположено в границах сетей доступа или агрегации [12, 13].

На рис.2 приведена модель исфокоммуникационной системы, составленная на основании положений, которые приведены в рекомендациях сектора стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ) серии Y. Модель включает пять основных элементов, причем четыре из них образуют телекоммуникационную систему. Виды размещаемых вычислительных устройств по элементам модели выбраны условно, но весьма близки к используемым на практике.

Для телекоммуникационной системы любого рода важную роль играют интерфейсы двух видов: пользователь – сеть (User – Networks Interface, UNI) и сеть – сеть (Network – Network Interface, NNI). Скорости обмена данными по этим интерфейсам обозначены на рис.2 как B_{UNI} и B_{NNI} соответственно. Общность тенденций эволюции для исфокоммуникационных систем любого рода состоит в постоянном росте величин B_{UNI} и B_{NNI} . Практическая реализация

концепций "Интернет вещей" и "туманные вычисления" также стимулирует рост величин B_{UNI} и B_{NNI} . Иная ситуация может сложиться с пропускной способностью транспортных ресурсов в других элементах рассматриваемой модели. Данное утверждение основано на том, что значительный объем данных станет обрабатываться в непосредственной близости от источников/приемников информации – в "тумане". Это разгрузит такие элементы, как большая ЭВМ, суперкомпьютер и ЦОД.

В качестве основной сети доступа для Интернета вещей рассматриваются средства мобильной связи поколений 4G и 5G [14, 15], хотя на практике выбор вариантов ее построения заметно шире. В частности, радиоинтерфейс на участке от "вещи" до ближайшего элемента сети может быть организован с использованием различных технологий; ими могут быть Bluetooth, LoRA и т.д.

Поколение 4G известно также по аббревиатуре LTE – Long Term Evolution. Причем для Интернета вещей в настоящее время рекомендуется спецификация NB-LTE – узкополосный (Narrow Band) вариант [16]. Именно эта спецификация рассматривается сегодня как наилучшим образом ориентированная на поддержку Интернета вещей, поскольку в краткосрочной и, возможно, среднесрочной перспективе наибольшее число вещей,

Рис.3. Общие принципы реализации концепции "туманные вычисления"

которые будут подключены к интернету, – это разного рода сенсоры и датчики. Их количество потенциально очень велико, но при этом такого рода вещи генерируют небольшие объемы трафика. По этой причине появилась аббревиатура NB-IoT – узкополосный Интернет вещей. Он представляет собой сеть, оптимизированную для обслуживания большого количества устройств, которые используют для обмена информацией узкополосные тракты. При этом в перспективе, с появлением широкополосных потребителей трафика (беспилотный транспорт, управление транспортными потоками, телемедицина), для реализации концепции Интернета вещей не исключено задействование весьма существенных транспортных ресурсов [17] по причине необходимости передавать большие объемы видеoinформации, а также сообщения, связанные с тактильными ощущениями [18], а это значит, что вместо NB-IoT на участке радиодоступа надо будет использовать более широкополосные технологии, такие как 5G.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Возможности туманных вычислений будут использоваться различными терминалами, но основную

их часть составляют устройства IoT, подключаемые за счет беспроводных технологий. Тем не менее уже применяются (в ограниченном объеме) датчики IoT, подключаемые кабельными линиями. Они могут задействовать вычислительные ресурсы за счет установки специально разработанных адаптеров, включаемых в концентраторы нагрузки (или входящих в их состав). Целесообразность применения концентраторов – предмет отдельного технико-экономического исследования, результаты которого не влияют на концептуальные положения туманных вычислений.

Помимо базовых станций (БС – base station) и их контроллеров (base station controller) для реализации туманных вычислений используется ряд технических средств, основные из которых перечислены ниже [2, 16, 19, 20]:

- блок SGW (Serving Gateway – обслуживающий шлюз), обеспечивающий взаимодействие сети доступа, которая заканчивается в контроллере БС, и ядра сети LTE;
- блок PGW (Packet data network Gateway – шлюз для сетевой пакетной передачи данных), выполняющий функции сопряжения с другими сетями передачи различного назначения;
- аппаратно-программные средства EPC (Evolved Packet Core – функционально дополненное

пакетное ядро сети), которые представляют собой образованную в основном блоками SGW и PGW базовую сеть оператора связи;

- блок HSS (Home Subscriber Server – сервер абонентских данных), выполняющий функции регистров и иного оборудования (в частности HLR, VLR, AUC, EIR), которые применялись в сетях мобильной связи второго и третьего поколения;
- аппаратно-программные средства LPWAN (Low Power Wide Area Network – сеть большого радиуса действия с низким потреблением энергии), представляющие собой специализированную систему обмена данными небольшого объема для различных приложений IoT.

Общие принципы реализации концепции туманных вычислений показаны на рис.3. Он иллюстрирует два альтернативных варианта проведения туманных вычислений. В ряде случаев эти варианты могут использоваться как взаимодополняющие решения, позволяющие обеспечить высокую надежность выполнения необходимых операций.

Технические средства, обеспечивающие функции доступа в заранее заданном частотном диапазоне, объединяют упомянутое выше понятие LTE. В некоторых технических документах совокупность LTE и EPC рассматривается как функционально дополненная пакетная система связи – EPS (Evolved Packet System). Технические средства, выполняющие туманные вычисления,

показаны в границах овала, нарисованного пунктирной линией. Доступ ко всем вычислительным ресурсам осуществляется при помощи различных аппаратно-программных средств.

Вариант организации туманных вычислений, изображенный в верхней части предложенной модели, следует считать основным. Он обеспечивает обслуживание основной доли трафика, способен предоставлять широкий спектр дополнительных услуг, а также нацелен на развитие туманных вычислений в соответствии с ведущими тенденциями эволюции инфокоммуникационной системы, определяемыми, в свою очередь, процессами модернизации экономики и социальной сферы.

Вариант организации туманных вычислений, представленный в нижней части рассматриваемой модели, позволяет предоставлять некоторые виды услуг до реализации полноценного сценария их развертывания. Речь в основном идет о решении частных задач, возникающих в отдельных сферах жилищно-коммунального хозяйства и на некоторых промышленных предприятиях. Кроме того, организация сети класса LPWAN может стать средством резервирования для обеспечения более высоких показателей надежности для сравнительно малочисленной группы пользователей.

Оценка транспортных ресурсов, необходимых для реализации туманных вычислений, является предметом отдельных исследований. При их проведении должны быть определены также транспортные ресурсы, которые нужно зарезервировать для обеспечения заданных показателей надежности, устанавливаемых в соглашении об уровне обслуживания SLA (Service Level Agreement). По всей видимости, в ряде SLA потребуется гарантировать коэффициент готовности на уровне 0,99999 – величины, которая определяется правилом "пять девяток" [13].

Показатели качества обслуживания QoS (Quality of Service) мультисервисного трафика, представленного в виде совокупности IP-пакетов, нормируются на основе методологии, которая предложена МСЭ в рекомендациях серии Y. Для стандарта LTE дополнительно определены девять классов идентификаторов качества обслуживания QCI (QoS Class Identifier). Каждому идентификатору QCI поставлен в соответствие свой уровень приоритета на обслуживание, а также нормированы допустимая задержка и вероятность потери IP-пакетов.

Следует выделить еще одно направление в развитии вычислений с точки зрения пространства их применения – Dew Computing. Это словосочетание трактуется как вычисления в "розе" или в "капле" (рис.4). Каждое из трех пространств служит для решения своего круга задач, образуя единую вычислительную систему. При этом возможно взаимное использование доступных ресурсов, если это позволяет повысить качество предоставления услуг.

Пространство вычислений в "розе" включает выполнение необходимых операций в самом оконечном устройстве класса IoT или в термине, расположенном в нескольких метрах от него. При этом программное обеспечение может предварительно закачиваться в "росу" из тумана или облака. Туда же могут быть направлены результаты вычислений, что подчеркивают линии с однонаправленными стрелками. Информационное взаимодействие "росы", "тумана" и "облака" определяется характером решаемых задач, постановка которых может

меняться в широких пределах. По этой причине следует разработать совокупность сценариев информационного взаимодействия, при помощи которых можно оценить область изменения требований к вычислительным ресурсам. Эта область требований позволит, в свою очередь, оценить необходимые транспортные ресурсы и производительность средств коммутации (маршрутизаторов IP-пакетов).

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Количественным и качественным прогнозам, касающимся развития туманных вычислений, свойственна низкая достоверность. Данное утверждение по мере приближения к точке сингулярности становится характерно для все большей части инноваций в области высоких технологий [21]. По этой причине прогностические оценки уместно рассматривать, например, при помощи "окна Овертона" [17]. Это дает возможность оценивать прогнозируемые численные

значения и вербальные утверждения как "разумные", "приемлемые" или "немыслимые" [22]. Подобная методология позволяет использовать сценарный подход [23], учитывающий даже маловероятные (на первый взгляд) направления в развитии исследуемого процесса или объекта. Оценки трех перечисленных видов соотносятся с пессимистическим, прагматическим и оптимистическим сценарием соответственно. Для получения численных оценок потенциальных пользователей логично опираться на результаты, приведенные в [17, 24]:

- к 2020 году в мире будет функционировать порядка 7 трлн устройств, что примерно на три порядка больше численности населения нашей планеты;
- уровень насыщения интернет-вещами в мире на отдаленную перспективу составит порядка 100 трлн объектов различной природы;
- необходимые (реально используемые, а не декларированные провайдерами услуг широкополосного доступа) скорости обмена данными через интерфейс пользователь – сеть на отдаленную перспективу для пессимистического, прагматического и оптимистического сценариев развития инфокоммуникационной системы составят (для суммарного трафика людей и вещей) 100 Мбит/с, 1 Гбит/с и 10 Гбит/с соответственно.

Очевидно, что количество интернет-вещей будет неравномерно распределено по странам с разным уровнем развития. Если в качестве упрощающего допущения не принимать во внимание это обстоятельство, то с учетом доли населения Российской Федерации в общей численности жителей земного шара получаем, что к концу 2020 года в нашей стране количество интернет-вещей может возрасти до 150 млрд. В качестве уровня насыщения может быть принят порог, равный 2 трлн. Оценки, приведенные выше для скорости обмена данными, не меняются.

Данные результаты в значительной степени базируются на прогнозах, отражающих мнение энтузиастов концепции Интернета вещей. По этой причине их следует рассматривать как оценки, присущие оптимистическому сценарию. Для получения практически интересных оценок уместно использовать информацию, собранную путем анкетирования группы экспертов. Итоги предварительного опроса, в котором, правда, участвовала небольшая группа специалистов, позволяют предположить: наиболее вероятно,

что количество интернет-вещей к 2020 году в Российской Федерации составит 1 млрд.

Очевидно, что не все интернет-вещи будут использовать технологии туманных вычислений. По этой причине количество интернет-вещей, подключенных ко Всемирной паутине, к 2020 году в России вряд ли превысит 0,5 млрд.

Представляют практический интерес и прогностические оценки, касающиеся объема данных, относящихся к сфере туманных вычислений. Сообщество практиков и консультантов по телекоммуникационным и информационным технологиям Wikibon [25] предлагает делить трафик по объему генерируемых данных на следующие категории:

- голос, видео, изображения;
- развлечения, социальные сети;
- обработка данных;
- медицина;
- Интернет вещей;
- видеонаблюдение.

Самый быстрый рост объема создаваемых данных в последние годы, по оценкам сообщества Wikibon, наблюдается в трех последних секторах (по приведенной выше классификации). Именно эти сектора образуют вероятную сферу применения технологии туманных вычислений, что показано на рис.5. Отметим, что данные прогностические оценки были опубликованы три года назад, а само исследование началось еще раньше. В ближайшее время могут появиться уточняющие статистические данные, но тенденции, показанные на рис.5, по всей видимости, не изменятся.

Следует подчеркнуть, что долгосрочным прогнозам всегда свойственна невысокая достоверность. Применительно к туманным вычислениям существует дополнительный фактор снижения достоверности прогностических оценок, связанный с возможными технологическими инновациями, которые способны существенно изменить уровни спроса и предложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the internet of things. – Proceedings of the first edition of the MC. Workshop on Mobile cloud computing. 2012. P. 13-16.
2. Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. Fog for 5G and IoT. – Wiley, 2017. 305 p.
3. Глушков В.М., Калиниченко Л.А., Лазарев В.Г., Сифоров В.И. Сети ЭВМ. – М.: Связь, 1977. 280 с.

4. Риз Дж. Облачные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 288 с.
5. Шалагинов А.В. Генезис и будущее облачных вычислений, или Досушие размышления о "третьем глазе" // ИКС. 2015. №9-10. С. 60-63.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука. 1978. 400 с.
7. Efimov V.V., Sokolov N.A. The Public Communication Network Development as the Process of Complex System Evolution. – Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, Russia, April 2016, ITMO University, Saint-Petersburg, Russia. FRUCT Oy, Finland. P. 449-455.
8. Кейс С. Третья волна интернета. Какими качествами должен обладать предприниматель будущего. – М.: Эксмо, 2017. 192 с.
9. Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques. – Prentice Hall, 2015. 218 p.
10. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques. – Morgan Kaufmann Publishers, 2011. 703 p.
11. Росляков А.В., Ваяшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. Интернет вещей. – Самара: ПГУТИ, ООО "Издательство АсГард", 2014. 340 с.
12. Lopez V., Velasco L. Elastic Optical Networks: Architectures, Technologies, and Control. – Springer, 2016. 299 p.
13. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб.: Техника связи, 2012. 432 с.
14. Cloud and Fog Computing in 5G Mobile Networks. Emerging advances and applications. Edited by Markakis E., Mastorakis G., Mavromoustakis C.X., Pallis E. – The Institution of Engineering and Technology, 2017. 438 p.
15. Fog for 5G and IoT. Edited by Hsing T.R., Lau V.K.N., Chiang M. – Wiley, 2017. 288 p.
16. Landström S., Bergström J., Westerberg E., Hammarwall D. NB-IoT: a sustainable technology for connecting billions of devices. – Ericsson technology review, 2016. № 3. 12 p.
17. Соколов Н.А. Сценарии реализации концепции "Интернет вещей" // Первая миля. 2016. №4. С. 50-54.
18. Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. №1. С. 44-46.
19. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, 3rd Edition. – Academic Press, 2016. 616 p.
20. Metsälä E., Salmelin J. LTE Backhaul: Planning and Optimization, 1st Edition. – Wiley, 2015. 304 p.
21. Панов А.Д. Сингулярная точка истории // Общественные науки и современность. 2005. № 1. С. 122-137.
22. Beck G. The Overton Window. – Mercury Radio Arts, 2010. 321 p.
23. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование. Связь между будущим и стратегией. – М.: Олимп-Бизнес, 2009. 256 с.
24. Бондарик В.Н., Кучерявый А.Е. Прогнозирование развития Интернета вещей на горизонте планирования до 2030 года // Труды МФТИ. Том 5. №3. 2013. С. 92-96.
25. <https://wikibon.com>.