

ОБ АРХИТЕКТУРЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

© 2019 Ю. П. Преображенский, Ю. Д. Яицких

Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)

В статье рассматриваются особенности архитектуры туманных вычислений. Показан функционал основных из трех уровней. Определены важные физические и виртуальные компоненты архитектуры туманных вычислений.

Ключевые слова: туманные вычисления, архитектура, компьютерная сеть.

Туманные вычисления являются нетривиальным расширением облака и, как правило, служат платформой, которая соединяет многочисленные сенсорные устройства, расположенные на границе сети, с ядром вычислительной структуры облака (рис.).

По туманным вычислениям предстоит еще много исследований. Поэтому можно сделать несколько упрощенных, но реалистичных предположений.

Терминальные узлы (TN) в сети, такие как мобильные телефоны, интеллектуальные транспортные средства и интеллектуальные счетчики, которые способны передавать геоположение с помощью технологий GPS, GIS или GNSS.

Уровень вычислений тумана состоит из «интеллектуальных» устройств, которые способны к вычислению, обработке и хранению данных в дополнение для маршрутизации и пересылки пакетов данных на верхний уровень.

Сетевые устройства на уровне туманных вычислений (рис.) имеют возможность распределять нагрузку на сеть, вычислительные ресурсы и память между собой [1-3]. Туманные вычислительные устройства способны обеспечить оптимальную поддержку мобильности TN. Общая архитектура тумана может быть представлена как трехуровневая сеть.

Уровень 1: это самый нижний слой, охватывающий все TN (Устройства IoT), которые отвечают за обнаружение множества события и передачи необработанных сенсорных данных непосредственно на верхний уровень в иерархии [4, 5].

Уровень 2. Средний слой – это слой туманных вычислений, состоит из устройств, таких как маршрутизаторы, шлюзы, коммутаторы и устройства доступа точки, которые могут обрабатывать, вычислять и временно хранить полученную информацию. Эти туманные вычисления устройства подключены к облачной инфраструктуре и отвечают за для периодической отправки данных в облако.

Уровень 3. Слой облачных вычислений является самым верхним уровнем в этой архитектуры. Уровень состоит из нескольких высокопроизводительных серверов и центров обработки данных, которые способны обрабатывать и хранить огромный объем данных.

Самый первый уровень создает сеть из нескольких конечные устройства, подключенных к Интернету и оснащенных датчиками, которые часто называют IoT. Данные, передаваемые этими устройствами, принимаются граничными шлюзами, присутствуют на границе туманного яруса. В отличие от облачной архитектуры, в туманной вычисляются не все данные, а пакет перенаправляется в основной модуль облачных вычислений для обработки [6-8]. Вместо этого, все расчёты в режиме реального времени и чувствительные к задержкам выполняются на самом туманном уровне.

Туманные вычисления для устройства на этом уровне имеют ограниченное количество временных хранилищ, которое позволяет им временно хранить полученные данные для анализа, а затем отправлять исходным устройствам необходимые отклики. Близкорасположенные устройства группируются вместе [9-11], формируя виртуальный кластер (VC). Предполагается, что эти VC имеют инъективное (один-к-одному) сопоставление с экземплярами тумана (FI). FI концептуализированны и специфичны для

Преображенский Юрий Петрович – Воронежский институт высоких технологий, к. т. н., профессор, petrovichyur@yandex.ru.

Яицких Юлия Дмитриевна – Воронежский институт высоких технологий, специалист, Yuuuliayaitskiih23@yandex.ru.

географического местоположения, VC состоит из всех подключенных к Интернету TN в этом месте обслуживаются совместно расположенные FI. На основании своего местоположения TN может оставить и присое-

диниться к любому VC, и отключиться и подключиться к соответствующий FI. Предполагается, что FI способен к самоадаптации в зависимости от нагрузки.



Рисунок. Архитектура системы с использованием туманных вычислений.

Математическим образом опишем архитектуру туманных вычислений, определяя ее составные объекты и операционную деятельность. При построении математической модели предполагается, что общее число TN охватывает все VC на первом уровне и постоянна во времени. Кроме того, VC обеспечивают полное покрытие для всех TN, присутствующих на нижнем уровне. Ниже определены важные физические и виртуальные компоненты архитектуры туманных вычислений.

Определение 1(TN)(1):

TN обозначается как T и является шестизначным числом

$$T = \langle T_{id}, T_{st}, \tau_i, L, H, I[q] \rangle \quad (1)$$

Где T_{id} – целое число, является уникальным идентификатор TN, Набор TN обозначается буквой T.

Определение 2 (состояние TN):

T_{st} , определяет, в каком узел находится состоянии, и представляется как логическое значение: $T_{st} = \{0, 1\}$, где значения 0 и 1 символизируют неактивное и активное состояние.

Определение 3 (тип TN):

(τ_i) указывает тип события, воспринимаемый узлом. Математически тип пред-

ставлен элементом множества $\tau = \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$, где τ обозначает набор всех событий, отслеживаемых TN, а p - общее количество событий различных типов.

Определение 4 (Местоположение TN):

Геопространственное местоположение TN является четырехкомпонентным (2).

$$L = \langle l_x, l_y, l_z, t_s \rangle \quad (2)$$

где l_x, l_y и l_z являются долготой, широтой и высотой TN, а t_s обозначает временную метку, в которую узел передает свое местоположение.

Свойство 1: Принадлежность TN к VC в момент времени t не зависит от его принадлежности в момент времени t – 1.

Кортеж H диктует спецификацию TN, которые включают его аппаратное обеспечение, а также режим работы, рабочую частоту и частоту дискретизации.

Определение 5 (Спецификации TN):

Спецификация TN (H) состоит из шести составляющих (3).

$$H = \langle P, M, B, S, c, f \rangle, \quad (3)$$

где, P является характеристикой процессора узла, который включает в себя такие детали, как скорость ядра обработки, спецификацию шины и размер внутреннего регистра (кэш-

памяти). Спецификации первичной памяти (RAM), такие как объем памяти, тактовая частота и скорость передачи данных, хранятся в M . Кортёж B описывает детали батареи, а именно напряжение, размер (AA или AAA), тип (электроды Ni или C), и количество требуемых элементов батареи. S является символическим представлением различных типов датчиков, которые используются в качестве подмодулей узла. Кортёж c обозначает оборудование, используемое для беспроводной связи для узла, такие как Bluetooth и ZigBee. Частотный диапазон, в котором работает TN, обозначается f .

Последний кортёж в определении TN, $I[q]$ представляет собой одномерный массив (с элементами q), в котором хранятся идентификаторы экземпляров приложений, работающих на устройстве. Нужно отметить, что, приложения имеют независимое существование, но экземпляр приложения не может существовать без родительского устройства.

Определение 6 (Приложение):

Приложение A состоит из четырех кортёжей (4).

$$A = \langle A_{id}, A_{type}, A_{sp} \rangle \quad (4)$$

где, A_{id} – это идентификатор приложения, а A_{type} обозначает область применения, в которой используется приложение (например, медицина, образование, финансы, развлечения, утилиты и игры). A_{sp} определяет минимальные системные требования, необходимые для запуска приложения, включая сведения о процессоре, основной памяти и дополнительном хранилище, а также версию операционной системы.

Определение 7 (Экземпляр приложения):

Экземпляр приложения, I , состоит из пяти кортёжей (5.5).

$$I = \langle I_{id}, A_{id}, T_{id}, I_{st}, I_{req} \rangle \quad (5)$$

где I_{id} — это идентификатор экземпляра приложения, который можно рассматривать как идентификатор процесса, сгенерированный системой. A_{id} и T_{id} имеют те же значения, указанные ранее. I_{st} является логической переменной $I_{st} = \{0, 1\}$, где значения 0 и 1 указывают на то, что экземпляр приложения имеет два состояния (неактивен и активен). Последний кортёж I_{req} – это требование к ресурсу экземпляра приложения.

Это требование к ресурсам связано с пропускной способностью сети (для потоковых приложений), возможностью вычислений и анализа (для медицинских приложений) или с точки зрения мощности хранения и обработки (для игровых приложений). Несколько экземпляров приложения могут одновременно выполняться на TN и такие экземпляры отличаются уникальными идентификаторами.

Определение 8 (VC):

VC, обозначенный V , соответствует логической границе, состоящей из нескольких локализованных TN, и математически определен как четыре компонента (6).

$$V = \langle V_{id}, T[u], R, F_{id} \rangle \quad (6)$$

где V_{id} – это идентификатор VC, а $T[u]$ – непустой одномерный массив размера u , в котором хранятся идентификаторы всех составляющих TN. Очевидно, что массив должен иметь динамическую длину, где длина массива в любой момент времени указывает количество TN, которые присутствуют в VC, и длина изменяется, когда некоторые мобильные TN покидают кластер или присоединяются к нему. Регион, контролируемый VC, который включает в себя все промежуточные TN, обозначается R . Это стоит упомянуть для эффективного мониторинга всех TN. Мы разделили местность на несколько непересекающихся регионов – каждый регион сопоставлен с VC. Физический FI, на который отображается VC, называется идентификатором FI, F_{id} .

Свойство 2: Отображение из набора VC в набор FI, представленное как:

$$f(\cdot): \tilde{v} \rightarrow \tilde{f} \text{ является инъективным.}$$

Теперь мы определим термин FI и модули туманных вычислений, которые вместе составляют средний уровень.

Определение 9 (FI): Экземпляр туманных вычислений или просто FI, обозначенный (f) математически определяется как три кортёжа (7).

$$f = \langle F_{id}, C_{AP}, D[v] \rangle \quad (7)$$

где F_{id} – уникальный идентификатор экземпляра вычислений тумана, а C_{AP} – точка доступа, через которую FI подключен к базовому облаку вычислительной структуры. Третий кортёж, $D[v]$ – это непустой одномерный массив размером v , в котором хранятся идентификаторы всех устройств составляющих туман вычислений устройства FI.

Свойство 3: Отображение из набора TNs в набор FI, обозначается как: $f'(\cdot): \tilde{T} \rightarrow \tilde{F}$ многие к одному.

Определение 10 (Устройство туманных вычислений):

Определим устройство туманных вычислений D с точки зрения его типа и характерных особенностей в форме трех кортежей (8).

$$D = \langle D_{id}, D_{type}, D_{sp} \rangle \quad (8)$$

где D_{id} и D_{type} — это идентификатор и тип (например, шлюз, маршрутизатор, блок обработки (или хранилище) устройства туманных вычислений. Аппаратные средства и соответствующие спецификации устройства хранятся в кортеже D_{sp} .

Теперь, когда мы определили все компоненты архитектуры туманных вычислений, мы анализируем спрос VC перед его родительским FI. Функция спроса $\Omega(\cdot)$ определяется как (9).

$$\begin{aligned} \Omega(v) &= \sum_i \Omega(T_i), \forall i = I(I)u \\ &= \sum_i \sum_q \Omega(T_i \succ L_j), \forall i = I(I)u, \forall j \\ &= I(I)q \end{aligned} \quad (9)$$

Оператор \succ используется для обозначения связи приемника между пары операндов. Например, $X \succ Y$ указывает, что Y является приемником X . Более того, из определения (7) мы получаем, что $\Omega(T_i \succ L_j) = T_i \succ L_j \succ I_{req}$, $\forall i, j$. На основании этого уравнения функциональные услуги предоставляются уровнем тумана различным экземплярам приложения, запущенные в TNs. Только в определенных случаях, когда вмешательство ядра облака является обязательным, и для периодического обновления для уровня облачных вычислений.

Предложение 1: Парное пересечение VCs является нулевым.

Доказательство: докажем это методом противоречия. Мы предполагаем, что $\exists v_i, v_j$, такие что $v_i \cap v_j \neq \Phi$ таким образом $\exists T_k$ такие что (10).

$$T_k \in v_i, v_j \Rightarrow T_k \in v_i \cap v_j \quad (10)$$

Согласно свойству 2 (11)

$$\begin{aligned} f'(T_k) &= F_p, F_p \in \tilde{F} \Rightarrow f^{-1}(F_p) \\ &= \{v_i, v_j\} \end{aligned} \quad (11)$$

Что невозможно по отображению свойства 1. Таким образом, наше предположение неверно. Это завершает доказательство.

Предложение 2: в любой момент времени, $|\tilde{T}| = |v_1| + |v_2| \dots + |v_m|$, где $|\tilde{T}|$ обозначает общее количество TNs, присутствующих на первом уровне, $|v_i|$ обозначает количество TNs, сопоставленных с i -м VC, а m — общее количество VC, присутствующих в системе.

Доказательство: докажем вышесказанное методом противоречия. Предположим, что (12)

$$|\tilde{T}| \neq |v_1| + |v_2| \dots + |v_m| \quad (12)$$

Это подразумевает, что существует хотя бы одна пара (v_i, v_j) такая что (13)

$$v_i, v_j \in \tilde{v}, v_i \cap v_j \neq \Phi \quad (13)$$

Что противоречит предложению 1. Доказательство завершено.

Предложение 3: Отображение $g(\cdot)$ множества всех TNs на множество VCs отображается сюръективно.

Доказательство: согласно свойствам 1 и 2, становится понятно, что $\forall T_i \in \tilde{T}$, $\exists v_i \in \tilde{v}$, такой что $g(T_i) = v_j$. Следовательно, $\forall v_i \in \tilde{v}$, $g^{-1}(v_j) = K \subseteq \tilde{T}$. Сейчас, если $g^{-1}(v_j) = \Phi$, длина $v_i \succ T[u]$ равно 0. Однако согласно определению 8 $T[u]$ не равно нулю. Таким образом, для каждого v_j существует по крайней мере один предварительный образ T_i . Это завершает доказательство сюръективности для $g(\cdot)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завьялов, Д. В. О применении информационных технологий / Д. В. Завьялов // Современные наукоемкие технологии. — 2013. — № 8-1. — С. 71-72.
2. Черников, С. Ю. Использование системного анализа при управлении организациями / С. Ю. Черников, Р.В. Корольков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2014. — № 2 (5). — С. 16.
3. Кульнева, Е. Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е. Ю. Кульнева, И. А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 5-2. — С. 50.
4. Львович, Я. Е. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский,

С. О. Головинов // Телекоммуникации. – 2010. – № 11. – С. 2-6.

5. Преображенский, Ю.П. О повышении эффективности работы промышленных предприятий / Ю. П. Преображенский // Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития. Сборник научных статей 8-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2018. – С. 45-48.

6. Lvovich, I.Y. The simulation of error-correcting communication channel for video transmission / I. Y. Lvovich, A. P. Preobrazhenskiy, O. N. Choporov // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2018 – Proceedings 1. – 2018. – С. 1-6.

7. Львович, Я. Е. Исследование характеристик защищенности мобильных сенсорных сетей / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский, Ю. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Радиолокация, навигация, связь Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А. С. Попова. В 6-ти томах. – 2019. – С. 239-244.

8. Скляр, А.В. Анализ подстройки стабилизирующих параметров для сшивания частей декомпозированной радиотехнической системы при использовании дополнения Шура / А. В. Скляр // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 127-150.

9. Будко, Н. А. Применение ИНС в интерфейсах человек-машина / Н. А. Будко, Р. Ю. Будко, А. Ю. Будко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 328-340.

10. Свиридов, В. И. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем управления и взаимодействие пользователя с компьютером / В. И. Свиридов, Е. И. Чопорова, Е.В. Свиридова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 430-438.

11. Кизим, А. В. Программный комплекс поддержки модернизации технических систем / А. В. Кизим, А. В. Матохина, А. Г. Кравец, И. П. Мединцева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 2 (25). – С. 311-324.

ABOUT ARCHITECTURE OF FOG COMPUTATIONS

© 2019 Yu. P. Preobrazhenskiy, Yu. D. Yaitsskiy

Voronezh Institute of high technologies (Voronezh, Russia)

The paper discusses the features of fog computing architecture. The functional of its main three levels is shown. Important physical and virtual components of the fog computing architecture are identified.

Key words: fog computing, architecture, computer network.