

Модель обмена системы распределенного реестра облачных, туманных и граничных вычислений

С. П. Воробьев, С. Н. Широбокова, В. А. Евсин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия

Аннотация. В работе описаны аспекты, которые следует учитывать при построении модели оптимизации архитектуры распределенного реестра (динамичный характер расположения сетевых служб, генерация взрывных объёмов служебного сетевого трафика, сложно прогнозируемый характер разнородного информационного трафика разнообразных устройств IoT, наличие достаточно сложных специфичных интенсивных сетевых взаимосвязей и взаимодействий по обмену данными при синхронизации новых блоков или записей, достижении криптографического консенсуса и резервировании полноценных копий реестра) с использованием концепции облачных, туманных и граничных вычислений и технологий интернета вещей. Рассмотрены вопросы необходимости моделирования информационного трафика в сети распределенного реестра как фрактального. Представлена формализованная постановка задачи минимизации информационного трафика и нагрузки сети с учетом реализации сервисов в среде облачных, туманных и граничных вычислений в рамках построения оптимальной многоуровневой топологии архитектуры вычислительной сети системы распределенного реестра.

Ключевые слова: многоуровневая топология, распределенный реестр, облачные вычисления, туманные вычисления, граничные вычисления.

DOI 10.14357/20718632220202

Введение

Целью данной работы является общий обзор различных аспектов реализации распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений и анализ факторов, которые необходимо учитывать при построении математической модели информационного обмена системы распределенного реестра, интегрированной с корпоративной информационной системой предприятия.

В настоящее время внедрение новых и модернизация уже существующих технологий проходит в рамках реализации общего концеп-

туального подхода «цифровизации», которая рассматривается как перспективный инструмент, так и фактор устойчивого развития. Задача состоит в обеспечении прорывного инновационного потенциала путём использования современных архитектурных решений построения информационных систем и технологических приёмов обработки данных, в частности, использование распределенного реестра, что позволяет государственным и частным структурам в сфере платежей и расчетов, интенсифицировать деятельность, способствует радикальному изменению системы обслуживания и

хранения активов, урегулированию взаимных обязательств, позволяет опираться на системный способ хранения данных транзакций юридической, финансовой, статистической и другой информации с высоким уровнем прозрачности [1]. Использование распределённого реестра естественным образом обеспечивает высокую надежность и повышение общего уровня безопасности путем избыточного распределения данных между множеством сетевых узлов и наличия большого количества копий данных, а также непрерывное функционирование распределенной системы, бесперебойность и гарантированность обработки транзакций [2].

1. Актуальность решения задачи построения архитектуры распределенного реестра

Существующие платформы построения систем распределенных реестров в основном обеспечивают выбор реализации архитектурного решения только из ограниченного количества допустимых вариантов в зависимости от конкретной области применения и, поэтому, ни одна из платформ в настоящее время не позволяет построить оптимальную инфраструктуру. Поскольку для систем распределенного реестра существует общее требование подтверждения всеми участниками корректности каждой транзакции, то реализация этого правила приводит к значительному увеличению времени ожидания с ростом числа узлов вычислительной сети, а также увеличению нагрузки на узлы в части хранения данных. Поэтому при разработке архитектуры системы распределенного реестра кроме традиционных задач по построению масштабируемой защищенной и надежной системы, уменьшения уязвимости процедур согласования и разработки децентрализованных механизмов соблюдения правил, повышению энергоэффективности, обеспечению интероперабельности и т.д. необходимо также решать проблему проектирования сетевой вычислительной инфраструктуры с определением оптимального размещения ресурсов, сегментированием различных этапов обработки транзакций, компонент реестра и пропускных способностей каналов связи, выбора эффективных с точки зрения минимизации трафика

криптоалгоритмов и механизмов управления криптоключами. Достаточно популярным вариантом реализации систем распределенного реестра, в частности блокчейна, становится использование архитектуры облачных, туманных и граничных сервисов в рамках *IoT* [3; 4], что вносит свои весьма специфичные аспекты, которые следует учитывать при создании и моделировании систем.

IoT реализует концепцию интенсивного сетевого взаимодействия большого количества различных датчиков и устройств, рабочих станций, мобильных смартфонов, которые обмениваются информацией между собой, с серверами и внешней средой, обеспечивая выполнение в режиме реального времени операций обработки и анализа данных. Данные, которые необходимы для расчета значений интегральных показателей, передаются в облачную инфраструктуру. Основной объём обработки информации выполняется на уровне туманных вычислений. Этот подход фактически делает распределённый реестр (или блокчейн) базовой технологией с сервисами *IaaS* и *colocation* для обеспечения хранения информации в облачных и туманных сервисах с невозможностью их исправления в дальнейшем. Поэтому на повестку дня выходит не только вопрос комплексирования эффективных больших облачных, туманных и граничных технических решений для систем распределенного реестра, но и результативного поиска оптимальной сетевой структуры с распределением вычислительных ресурсов при общей минимизации объёма сетевого трафика, что может быть выполнено на основе многоуровневого подхода к построению топологической структуры вычислительной сети [5, 6].

2. Аспекты построения системы

Динамичный характер расположения сетевых служб и, соответственно, проблемы с их обнаружением традиционными механизмами за счет необходимости наличия определенного периода синхронизации в крупномасштабной сети, поддержка скоростной конфигурации вычислительных устройств при переносе сервисов с генерацией взрывных объемов служебного сетевого трафика, необходимость балансировки как вычислительной нагрузки между серверами и устройствами *IoT*, так и информационного и

служебного трафика при работе алгоритмов распределенного реестра в условиях существующих ограничений пропускной способности каналов связи на уровне граничных и туманных вычислений предъявляют специфические требования к архитектуре вычислительной сети. Также нужно учитывать сложно прогнозируемый характер разнородного информационного трафика разнородных устройств *IoT* (данные измерений датчиков и сенсоров, потоки изображений и видео, результаты промежуточного анализа собранной информации и др.) в единой сети наряду с передачей трафика распределенного реестра.

Общая математическая постановка задачи построения и оптимизации многоуровневой топологической структуры архитектуры вычислительной сети системы распределенного реестра на основе облачных, туманных и граничных вычислений включает моделирование передачи информационного и служебного трафика взаимодействия вычислительных и информационных ресурсов хранения и обработки данных, а также возможность предоставления сервисов на различных уровнях. При построении и реализации модели необходимо учитывать практически нулевую задержку передачи данных на уровне граничных вычислений и как следствие снятие определенной части информационной нагрузки с облачной инфраструктуры, изменение направлений передачи информационного трафика, а также увеличение стоимости технических устройств граничных вычислений.

Модель информационного обмена системы распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений ориентирована на кардинальное отличие, которое заключается в том, что в традиционных сетях информационный трафик передается в основном направлении между клиентом и сервером, а в облачной инфраструктуре между серверами, и подразумевается передача данных внутри центра обработки данных (ЦОД). Это было вызвано в свое время приходом сервис-ориентированной архитектуры на смену клиент-серверного подхода и получило свое развитие в рамках модели облачных вычислений. С целью повышения эффективности использования и обеспечения рациональной загрузки

вычислительных мощностей ЦОД процессы распределяют между различными серверами, выполняются процедуры миграции виртуальных машин между серверами, что приводит к увеличению трафика между оборудованием в центре обработки данных. Также внедрение конвергентной и гиперконвергентной инфраструктуры, передача служебной информации между виртуальными *firewalls*, оборудованием программно-определяемой сети, балансировщиками нагрузки и т.д. негативно влияет на объем трафика внутри ЦОД [7].

Кроме того, подход к построению модели на основе многоуровневой топологической структуры является перспективным в рамках проектирования и управления программно-определяемыми системами концепции *SDx (Software Defined Everything)* в плане построения сетевой инфраструктуры корпоративной информационной системы и центра обработки данных, в том числе поддерживающих процедуры распределенного реестра.

Программно-определяемая сеть *SDN (Software Defined Network)* позволяет автоматизировать процесс управления и конфигурирования активными устройствами масштабных сетей и динамически изменять инфраструктуру в зависимости от текущей структуры бизнес-процессов предприятия и потребностей пользователей. Многоуровневая топологическая структура органично согласуется с представлением структуры вычислительной сети на основе виртуализации сетевых функций *NFV (Network Functions Virtualization)*. Вариантом концепции *SDN* для территориально распределенных корпоративных систем предприятия являются пришедшие на смену классическим решениям глобальных сетей программно-определяемые распределенные сети *SD-WAN (Software Defined WAN)*, которые обеспечивают интеллектуальное управление маршрутизацией трафика приложений (в том числе в рамках облачных и туманных вычислений, а также поддерживают непрерывность функционирования *multi cloud*), динамически формируя различную топологию сети в зависимости от решаемых бизнес-задач [8, 9].

Процесс проектирования информационной системы распределенного реестра требует корректного учета нагрузки потоков данных на сетевые ресурсы каналов связи и активное сете-

вое оборудование, что является достаточно сложной задачей, поскольку информационный обмен в сети распределенного реестра на различных уровнях может происходить в каналах как с ограниченной пропускной способностью (например, стандарт *IEEE 802.15.4* с достаточно высокими задержками – что, в частности, применимо для сети *IoT* граничных вычислений), так и в каналах, которые характеризуются высокой скоростью передачи данных. Поэтому модель передачи информации в сети *IoT* в принципе может отличаться от традиционных существующих моделей. Технология распределенного реестра характеризуется передачей большого количества информационных и служебных транзакций резкими всплесками, причем в режиме синхронизации и первичного подключения узлов формируется лавинообразное увеличение трафика, наблюдается также присутствие внутренней корреляции, наличие эффекта последствия. Серьезной проблемой является задача учета характеристик информационного трафика как между конкретными узлами вычислительной сети, так и транзитных потоков, а также необходимость учета интеграции и дифференциации потоков, отслеживание механизмов *QoS* при рассмотрении достаточно сложной сетевой инфраструктуры.

Также, при построении модели необходимо учитывать, что технология распределенного реестра предполагает наличие достаточно сложных специфичных интенсивных сетевых взаимосвязей и взаимодействий по обмену данными при синхронизации новых блоков или записей, достижении криптографического консенсуса и резервировании полноценных копий реестра [10]. Все это приводит к увеличению объема информационного трафика в рамках вычислительной сети облачных, туманных и граничных вычислений. В значительной степени на характеристики служебного обмена в сетях распределенного реестра влияет используемый протокол получения консенсуса. Наиболее распространенными типами протоколов являются: *PoW (GHOST, SPECTRE, PHANTOM)*, *PoS (Ouroboros, Peercoin, NXT)*, *PoA*, *PoI*, *PoS + PoW*, *DPoS*, *RBFT*, *RAFT*, *Paxos (Practical BFT, HoneyBadger BFT, Algorand, Hashgraph)*, *Non-BFT*.

При рассмотрении модели не следует опускать возможность взаимодействия сети системы распределенного реестра с другими сетями независимых реестров на основе способа атомарного обмена с криптографическим протоколом *HTLC*, в основном с использованием подхода «мост» и мастер-сеть. В этом случае могут использоваться протоколы совместимости *Interledger*, *Blocknet* и др.

Объемы и интенсивности информационного трафика также зависят от исполняемой роли участника распределенного реестра: пользователь, валидатор или майнер, посредник, администратор, сервер, оракул.

3. Необходимость использования фрактальной модели информационного трафика

Классический подход учета информационных потоков при моделировании и оптимизации заключается в приближенном использовании эрланговских или экспоненциальных (пуассоновских) моделей, которые хорошо изучены и просто формализуются, позволяют достаточно эффективно и с наименьшими затратами получать приемлемые адекватные результаты. Проведенное в последнее время исследование работы существующих вычислительных сетей показало, что реальные потоки трафика соответствуют фрактальным (самоподобным) процессам, и использование этого подхода при моделировании позволяет получить более адекватное описание и результаты, которые ближе соответствуют действительным характеристикам реальной системы по сравнению с применением классических методик расчета [11] при описании трафика локальных и глобальных вычислительных сетей, передачи данных, речи, изображений и видео информации в мультисервисных сетях. Мультисервисная вычислительная сеть характеризуется предоставлением достаточно масштабного спектра услуг, которые предъявляют разнообразные требования к ресурсам сети по надежности, пропускной способности, качеству обслуживания в широком диапазоне значений. Учитывая, что в настоящее время в вычислительной сети, построенной с использованием облачных, туманных и граничных технологий

передаётся интегрированная информация самого различного вида и характера, нельзя рассматривать ее как узко специализированную систему, и информационный трафик представляется фрактальной моделью. Но в этом случае достаточно сложно получить аналитические выражения потока фрактального трафика для вычисления интегральных характеристик исследуемой вычислительной сети, т.к. самоподобный трафик отличается наличием высокой степени непредсказуемости, в нём присутствуют значительные выбросы значений на общем фоне относительно низкого среднего уровня, что приводит к возможному непредсказуемому увеличению значений задержки и джиттера даже при наличии резерва пропускной способности в канале. В последнее время опубликовано достаточно большое количество работ о методах прогнозирования интенсивности фрактального трафика Интернет, о подходах к прогнозированию фрактального трафика [12-14], но на практике полученные результаты не всегда отвечают требованиям необходимой точности.

В настоящее время для моделирования самоподобных процессов наиболее популярными являются метод Манделброта с несколькими независимыми *ON-OFF* источниками, и методы на основе броуновского движения. Наибольшее распространение при моделировании фрактальных процессов получил метод Манделброта. Но на настоящий момент времени в принципе отсутствуют общепризнанные универсальные методы и методики для моделирования потока фрактальной природы. Ввиду относительной простоты реализации для генерации искусственного трафика произвольной длины, невысокой вычислительной сложности и простого обоснования фрактальных свойств трафика широко используется модель *Input M / G / ∞* [14]. Трафик формируется как агрегированный или суммарный поток от множества источников. В результате, адекватный подход может состоять в реализации программной функции, конкретное значение которой вычисляется, когда это необходимо в процессе моделирования исходя из существующей ситуации в сетевой инфраструктуре. Фактически увеличивается время моделирования и загрузка процессора, но это позволяет отказаться от использования приближенных средних значений и более точно опи-

сывать характеристики исследуемых информационных потоков в рамках конкретного сегмента вычислительной сети.

Для детализации общего описания архитектуры информационной системы распределенного реестра S на базе многоуровневого подхода вводятся множество $O^{(l)}$, которое описывает узлы и объекты системы, и множество $T^{(l)}$, которое включает семейства подмножеств множества O , определяющее структуру связи между объектами системы и задающее топологическую структуру системы S на l -ом уровне $l = \{el, fl, cl\}$ граничных, туманных и облачных вычислений. Множество $IM = \{IM_j, j = \overline{1, kir}\}$ описывает информационные ресурсы распределенного реестра, множество $VR = \{VR_j, j = \overline{1, ks}\}$ описывает вычислительные мощности системы, которые характеризуются большим разнообразием, т.к. включают и серверы центров обработки данных облачной и туманной инфраструктур, и компьютерные устройства различных форм-факторов граничной структуры широкого спектра возможностей по сбору, обработке и анализу информации.

4. Модель информационного обмена структуры реестра

Характеристики трафика и загрузки вычислительной сети системы S на l -уровне задаются программными функциями FTR и ρ^l , вычисляемые, в частности, на компонентах $O^{(l)}$ и $T^{(l)}$. На нижнем уровне граничных вычислений следует определить подмножество $T_{i_{opt}}^{(el)}$ из семейства $T^{(el)}$, которое задает состав активного сетевого оборудования в рамках инфраструктуры системы распределенного реестра S на *IoT*, а также необходимых информационных и вычислительных ресурсов, серверов и сервисов, их взаимосвязь с целью минимизации:

$$FTR(O^{(el)}, T_{i_{opt}}^{(el)}, VR^{(el)}, IM^{(el)}) \xrightarrow{i} \min,$$

$$\rho^l(O^{(el)}, T_{i_{opt}}^{(el)}, \lambda^{(el)}(O^{(el)}, \gamma^{(el)})) \rightarrow \min,$$

с соблюдением необходимых функциональных ограничений и ограничений реализуемого сетевого стандарта:

$$h_j^{(el)}(T_{i_{opt}}^{(el)}, VR^{(el)}, IM^{(el)}) \leq H_j^{(el)}, \quad j = \overline{1, m^{(el)}}.$$

Функция $\lambda^{(el)}$ определяет интенсивность формирования пакетов сетевого стандарта в зависимости от интенсивности формирования транзакций γ узлами сети распределенного реестра $O^{(el)}$.

На среднем уровне туманных вычислений при построении модели следует определить подмножество $T_{i_{opt}}^{(fl)}$ из семейства $T^{(fl)}$, которое задает состав активного сетевого оборудования $X^{(fl)}$ в рамках инфраструктуры распределенного реестра S на основе коммутаторов или маршрутизаторов, а также необходимых информационных и вычислительных ресурсов, серверов и сервисов, их взаимосвязь с целью минимизации:

$$FTR(O^{(fl)}, T_{i_{opt}}^{(fl)}, VR^{(fl)}, IM^{(fl)}) \xrightarrow{i} \min,$$

$$\rho^l(O^{(fl)}, T_{i_{opt}}^{(fl)}, \lambda^{(fl)}(O^{(fl)}, \gamma^{(fl)})) \rightarrow \min,$$

с соблюдением соответствующих функциональных ограничений и ограничений реализуемого сетевого стандарта:

$$h_j^{(fl)}(T_{i_{opt}}^{(fl)}, VR^{(fl)}, IM^{(fl)}) \leq H_j^{(fl)}, \quad j = \overline{1, m^{(fl)}}.$$

На верхнем уровне облачных вычислений множество $X^{(cl)}$ состоит из сетевого оборудования, входящего в инфраструктуру «облака», а также соответствующих информационных и вычислительных ресурсов подсистем системы распределенного реестра S и требуется определить подмножество $T_{i_{opt}}^{(cl)}$ при оптимальном значении критериев:

$$FTR(O^{(cl)}, T_{i_{opt}}^{(cl)}, VR^{(cl)}, IM^{(cl)}) \xrightarrow{i} \min,$$

$$\rho^l(O^{(cl)}, T_{i_{opt}}^{(cl)}, \lambda^{(cl)}(O^{(cl)}, \gamma^{(cl)})) \rightarrow \min,$$

и выполнении ограничений параметров качества обслуживания:

$$h_j^{(cl)}(T_{i_{opt}}^{(cl)}, VR^{(cl)}, IM^{(cl)}) \leq H_j^{(cl)}, \quad j = \overline{1, m^{(cl)}}.$$

Математическая модель подразумевает введение множества узлов системы распределенного

реестра, включая и устройства IoT

$$WS = \{WS_i, i = \overline{1, n_{ws}}\},$$

где n_{ws} – количество узлов; множества элементов сетевого оборудования вычислительной сети $SW = \{SW_i, i = \overline{1, n_{sw}}\}$;

n_{sw} – количество устройств мультисервисной вычислительной сети интегрированной системы распределенного реестра; множества вычислительных серверов $SR = \{SR_i, i = \overline{1, n_{sr}}\}$;

n_{sr} – количество серверов системы распределенного реестра; множества систем хранения информационных ресурсов $SS = \{SS_i, i = \overline{1, n_{ss}}\}$;

n_{ss} – количество систем хранения в рамках распределенного реестра.

Результатом является формирование общего множества объектов облачных, туманных и граничных вычислений $O = WS \cup SR \cup SW \cup SS$. Описание характеристик информационного трафика на отдельных сегментах системы распределенного реестра задается функцией $ftr(O_i, O_j), i \neq j$.

При построении детализированной модели оптимизации вводятся следующие переменные:

$$x_{o_i}^{el} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{ элемент множества } O \text{ принадлежит} \\ \text{ уровню граничных вычислений } T^{(el)} & ; \\ 0 - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$x_{o_i}^{fl} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{ элемент множества } O \text{ принадлежит} \\ \text{ уровню туманных вычислений } T^{(fl)} & ; \\ 0 - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$x_{o_i}^{cl} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{ элемент множества } O \text{ принадлежит} \\ \text{ уровню облачных вычислений } T^{(cl)} & ; \\ 0 - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$x_{ws, sw_j} = \begin{cases} 1, \text{ если рабочая станция } WS_i \text{ подключена} \\ \text{ к коммутатору } SW_j & ; \\ 0 - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$x_{sr, sw_j} = \begin{cases} 1, \text{ если сервер } SR_i \text{ подключен к коммутатору } SW_j & ; \\ 0 - \text{ в противном случае} \end{cases} \quad 1$$

В данной математической постановке рассматривается физическое подключение рабочей станции или вычислительного устройства (в качестве которого могут также выступать датчики или сенсоры сбора информации о внешних условиях, а также актуаторы исполнения команд

с реализацией интеллектуальных функций по обработке данных). Беспроводное подключение или мобильные устройства в данной постановке модели не рассматриваются и являются предметом исследования в других моделях авторов. Определенная часть устройств с достаточными вычислительными возможностями реализует алгоритмы функций распределенного реестра.

Серверы уровня туманных вычислений системы распределенного реестра могут быть реализованы как традиционным серверным оборудованием, так и специализированным надежным и устойчивым к воздействиям серверным устройством, ориентированным на высокопроизводительную поддержку виртуализации одновременной работы множества систем в реальном масштабе времени, выполняющим функции шлюза в облачную инфраструктуру и предоставляющим полный контроль, управление функциональностью и высокую доступность сервисов.

Сервер уровня облачных вычислений распределенного реестра реализует высоко масштабируемую энергосберегающую стоечную или модульную интегрированную систему, ориентированную на поддержку виртуализации и адаптированные для конкретных приложений, оптимизированные для однородных архитектур с горизонтальным масштабированием или для развертывания различных конфигураций (серверы баз данных, серверы хранения данных, серверы приложений, серверы виртуализации и т.д.).

Система хранения уровня облачных вычислений должна отвечать темпам развития новых сервисов и требованиям функционирования распределенного реестра, а также соответствовать росту пропускной способности магистральных каналов связи, что приводит к использованию твердотельных накопителей на базе энергонезависимой памяти и использованию новых протоколов хранения данных типа высокоскоростного протокола *NVMe*, который обеспечивает подключение *SSD*-накопителей с меньшими накладными расходами.

Эффективность исследуемой многоуровневой топологической структуры системы распределенного реестра определяется следующей формулой общего объема информационного трафика системы распределенного реестра:

$$FTS(x_{o_i}^{el}, x_{o_i}^{fl}, x_{o_i}^{cl}, x_{ws,sw_j}, x_{sr,sw_j}, x_{ss,sw_j}, x_{sw,sw_j}, x_{sw_j}^{el}, x_{sw_j}^{fl}, x_{sw_j}^{cl}) \longrightarrow \min.$$

5. Выбор алгоритма решения задачи оптимизации многоуровневой топологии и результаты эксперимента

Системы распределенного реестра облачных, туманных и граничных вычислений обычно являются достаточно масштабными и могут включать тысячи и десятки тысяч узлов, поэтому, поскольку их проектирование и оптимизация фактически требует нахождения решения *NP*-полной задачи, то единственным вариантом становится применение эвристических алгоритмов.

Для эвристических алгоритмов не существует теоретического доказательства их сходимости к оптимальному глобальному решению, но практические результаты показывают возможность эффективного получения рационального решения, которое достаточно близко к оптимальному. С 80-х годов началось развитие популяционных алгоритмов решения оптимизационных задач, которые предполагают одновременное рассмотрение нескольких вариантов решения плохо формализованных задач высокой размерности и обеспечивают высокие характеристики по сходимости и вероятности нахождения глобального экстремума либо близкого к оптимальному результату [15-19]. Разновидностью популяционных алгоритмов являются эволюционные алгоритмы, среди которых классическим примером стали генетические алгоритмы. Различают канонический алгоритм Холланда, простой алгоритм Голдберга, алгоритм *Genitor* Уитли, алгоритм *CHC* Эшельмана, гибридные алгоритмы, многопопуляционные алгоритмы, адаптивные алгоритмы, микроалгоритмы.

Для реализации генетического алгоритма решения задачи поиска рационального варианта архитектуры системы распределенного реестра с использованием концепции облачных, туманных и граничных вычислений на основе минимизации информационной сетевой нагрузки использовалась модификация класси-

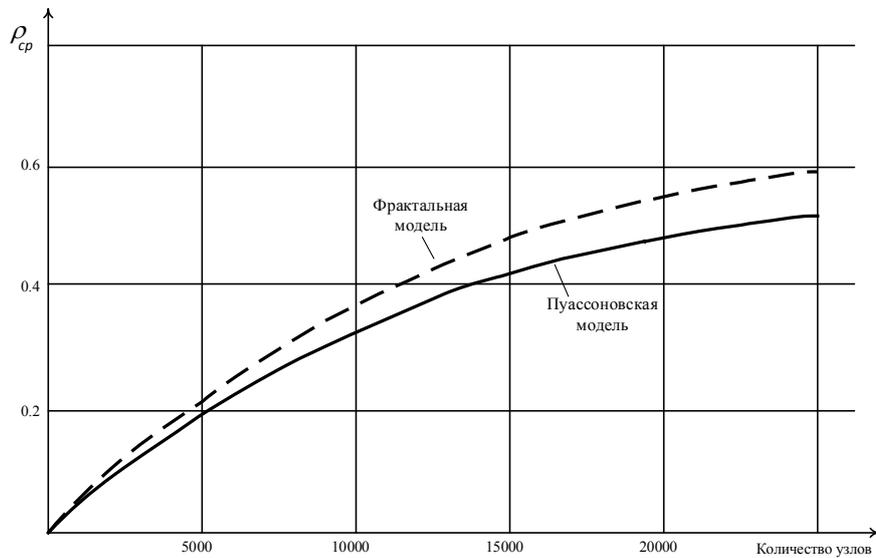


Рис. 1. Результаты сравнения значений нагрузки сетевого трафика для пуассоновской и фрактальной моделей

ческого алгоритма с переменной мутацией (Рис. 1), в которой ее вероятность определяется текущими потребностями алгоритма, что позволяет локализовать первичные результаты решения на начальных этапах работы и сократить общий объем вычислений для достаточно трудоёмкой задачи с большим размером хромосомы и присутствием специфических ограничений топологической структуры и характера информационного трафика.

В результате, можно сделать вывод о возможности использования подхода многоуровневого представления топологической структуры при определении оптимальной или рациональной сетевой архитектуры информационной системы распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений при помощи эвристического генетического алгоритма для фрактальной модели трафика.

Заключение

В работе исследована проблематика построения и моделирования системы распределенного реестра в рамках общей интегрированной корпоративной вычислительной сети предприятия, в которой циркулируют различные виды данных и решаются функционально-ориентированные задачи по управлению производ-

ственной, информационной и организационной деятельностью. При построении модели информационного обмена необходимо учитывать множество факторов, которые не имеют непосредственного отношения (особенности сетевых протоколов, реализация мультикаста в интегрированной сети, управления полосой пропускания), но актуальны для решения задачи совмещения в единой сетевой инфраструктуре работы системы распределенного реестра и систем управления предприятием. В связи с этим, в данной работе был выполнен обзор различных аспектов реализации распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений, включая аспекты совместной работы с традиционными сетевыми приложениями и протоколами классических вычислительных сетей систем управления предприятием и анализ факторов, которые необходимо учитывать при построении математической модели информационного обмена системы распределенного реестра, интегрированной с корпоративной информационной системой предприятия.

Разработанная модель информационного обмена системы распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений на базе многоуровневого представления топологической структуры позволяет

решать задачу по построению или эксплуатации эффективной сетевой инфраструктуры в рамках концепции мультисервисной сети интернета вещей *IoT* и обеспечивать использование технологий распределенного реестра для виртуализации технологических, производственных и экономических функций. Показана возможность использования подхода многоуровневого представления топологической структуры при определении оптимальной или рациональной сетевой архитектуры информационной системы распределенного реестра в рамках облачных, туманных и граничных вычислений при помощи эвристического генетического алгоритма для фрактальной модели трафика.

Литература

1. Федеральный Закон от 31 июля 2020 г. n 259-ФЗ "О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". URL: www.garant.ru/hotlaw/federal/1403491 (дата обращения: 15.01.2022г.).
2. Jiang F., Zhang Y. An Integrated Impact of Blockchain Technology on Supply Chain Management and the Logistics Industry // Handbook of Research on Social Impacts of E-Payment and Blockchain Technology, 2022. 29 p. DOI: 10.4018/978-1-7998-9035-5.ch010.
3. Gong J., Navimipour N.J. An in-depth and systematic literature review on the blockchain-based approaches for cloud computing // Cluster Computing. 2021. DOI:10.1007/s10586-021-03412-2.
4. Roig P.J., Alcaraz S., Gilly K., Bernad C., & Juiz C. Modeling of a Generic Edge Computing Application Design // Sensors (Basel, Switzerland), no. 21, 2021. DOI:10.3390/s21217276.
5. Vorobyev S.P. The mathematical model of building a multi-level topology of computer network for distributed corporate system based on the inverse problem // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. vol. 11. is 6. pp. 1243-1247.
6. Воробьев С.П. Возможные направления использования концепции многоуровневой топологии и оптимизации распределенных корпоративных систем // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. №8. С. 131-143.
7. Prince Sekwatlakwatla; Maredi Mphahlele; Tranos Zuva Traffic flow prediction in cloud computing/ 2016 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE) 28-29 Nov. 2016 DOI: 10.1109/ICACCE.2016.8073735
8. Arwa M., Hamdan M., Khan S., Abdelaziz A., Babiker S.F., Imran M., Marsono M.N. Software-defined networks for resource allocation in cloud computing: A survey. Comput. Netw. 2021. 195. 108151.
9. Самуйлов К. Е., Шалимов И. А., Бужин И. Г., Миронов Ю. Б. Модель функционирования телекоммуникационного оборудования программно-конфигурируемых сетей // Современные информационные технологии и ИТ-образование, vol. 14, no. 1, 2018, pp. 13-26.
10. Liu Q., Zou X. Research on trust mechanism of cooperation innovation with big data processing based on blockchain. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2019, no. 26, 2019. DOI: 10.1186/s13638-019-1340-5.
11. Треногин Н.Г., Петров М.Н., Соколов Д.Е. Свойства фрактального трафика при прохождении системы массового обслуживания с очередью // Сибирский аэрокосмический журнал. vol. 18. no. 1. 2017. pp. 105-110.
12. Поршнева С.В., Божалкин Д.А. К вопросу о самоподобии трафика, передаваемого в магистральном интернет-канале // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-2. С. 301-310.
13. Trenogin N.G., Petrov M.N., Sokolov D.E. Empirical relationship for queue length estimation in a system with fractal shot input // Сибирский аэрокосмический журнал, 2017. vol. 18. no. 2. pp. 294-299.
14. Наместников С.М., Служивый М.Н., Украинцев Ю.Д. Основы теории телетрафика: учебное пособие. // Ульяновск, УлГТУ. 2016. 154 с.
15. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение / 2-е изд., доп. // Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2002. 242 с.
16. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning // Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989. 412 p.
17. Maghawry A., Hodhod R.A., Omar Y.M., Kholief M.H. An approach for optimizing multi-objective problems using hybrid genetic algorithms // Soft Computing, no. 25, 2021, 389-405 pp. DOI:10.1007/s00500-020-05149-3/
18. Fu G., Huang H., Li Y., Zhou J. An adaptive hybrid evolutionary algorithm and its application in aeroengine maintenance scheduling problem // Soft Computing, no. 25, 2021, 6527-6538 pp. DOI:10.1007/s00500-021-05647-y/
19. Machado J.G., Pires M.G., Bertoni F.C., Pimenta A.H., Camargo H.A. A Modified NSGA-DO for Solving Multi-objective Optimization Problems // 10th Brazilian Conference on Intelligent Systems, 2021, vol. 13073, DOI:10.1007/978-3-030-91702-9_9/

Воробьев Сергей Петрович. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация. Доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 134. Область научных интересов: математическое моделирование, многоуровневая топология, распределённая информационная система, архитектура вычислительной сети. E-mail: vsp1999@yandex.ru

Широбоква Светлана Николаевна. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация. Доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 224. Область научных интересов: вычислительная математика, прикладная информатика, математическое моделирование информационных систем и процессов, информационные технологии, предметно-ориентированные информационные системы. E-mail: shirobokova_sn@mail.ru

Евсин Владимир Александрович. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация. Ассистент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии». Количество печатных работ: 88. Область научных интересов: вычислительная математика, математическое моделирование и проектирование информационных систем, оптимизация информационных процессов, искусственный интеллект. E-mail: ewsin.wladimir95@gmail.com.

Exchange Model of a Distributed Registry System for Cloud, Fog and Edge Computing

S. P. Vorobyev, S. N. Shirobokova, V. A. Evsin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

Abstract. In this paper describes aspects that should be consider when building a model for optimizing the architecture of a distributed registry (the dynamic nature of the location of network services, the generation of explosive volumes of service network traffic, the difficult-to-predict nature of heterogeneous information traffic of various IoT devices, the presence of rather complex specific intensive network interconnections and data exchange interactions when synchronizing new blocks or records, achieving cryptographic consensus and backup of full-fledged copies of the registry, the type of consensus protocol, the role of a distributed registry participant) using the concept of cloud, fog and edge computing and Internet of Things technology. The issues of the necessity of modeling information traffic in a distributed registry network as fractal are considered. A formalized formulation of the problem of minimizing information traffic and network load is presented, taking into account the implementation of services in the environment of cloud, fog and boundary computing within the framework of building an optimal multilevel topology of the distributed registry system computing network architecture.

Keywords: multilevel topology, distributed registry, cloud computing, fog computing, edge computing.

DOI 10.14357/20718632220202

References

1. Federal'nyj Zakon ot 31 iyulya 2020 g. n 259-FZ "O cifrovyyh finansovyh aktivah, cifrovoy valyute i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakono-datel'nye akty Rossijskoj Federacii" [Federal Law No. 259-FZ of July 31, 2020 "On Digital Financial Assets, Digital Currency and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation"]. Available at: www.garant.ru/hotlaw/federal/1403491 (Accessed: 15.01.2022).
2. Jiang F., Zhang Y. 2022. An Integrated Impact of Blockchain Technology on Supply Chain Management and the Logistics Industry // Handbook of Research on Social Impacts of E-Payment and Blockchain Technology. 29 p. DOI: 10.4018/978-1-7998-9035-5.ch010
3. Gong J., Navimipour N.J. An in-depth and systematic literature review on the blockchain-based approaches for cloud computing // Cluster Computing. 2021. DOI:10.1007/s10586-021-03412-2.
4. Roig P.J., Alcaraz S., Gilly K., Bernad C., Juiz C. 2016. Modeling of a Generic Edge Computing Application Design // Sensors (Basel, Switzerland), no. 21, 2021. DOI:10.3390/s21217276.
5. Vorobyev S.P. 2016. The mathematical model of building a multi-level topology of computer network for distributed corporate system based on the inverse problem // Journal of Engineering and Applied Sciences. vol. 11. is 6. pp. 1243-1247.
6. Vorobyev S.P. 2009. Vozmozhnye napravleniya ispol'zovaniya koncepcii mnogourovnevnoj topologii i optimizacii raspredelennyh korporativnyh sistem [Possible Directions of Application of Multi-Layer Topology Concept in Designing and Optimization of Distributed Corporate Systems]. Voprosy sovremennoj nauki i praktiki [Problems of Contemporary Science and Practice]. Vernadsky University. №8. pp. 131-143.

7. Prince Sekwatlakwatla, Maredi Mphahlele, Tranos Zuva. 2016. Traffic flow prediction in cloud computing/ 2016 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE) 28-29 Nov. DOI: 10.1109/ICACCE.2016.8073735
8. Arwa M., Hamdan M., Khan S., Abdelaziz A., Babiker S.F., Imran M., Marsono M.N. 2021. Software-defined networks for resource allocation in cloud computing: A survey. *Comput. Netw.* 195. 108151.
9. Samouylov K.E., Samouylov I.A., Buzhin I.G., Mironov Y.B. 2018. Model' funkcionirovaniya telekommunikacionnogo oborudovaniya program-mno-konfiguriruemym setej [Model of Functioning of Telecommunication Equipment for Softwareconfigured Networks] // *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie [Modern information technologies and IT education]*, vol. 14, no. 1, pp. 13-26.
10. Liu Q., Zou X. 2019. Research on trust mechanism of cooperation innovation with big data processing based on blockchain. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 26, 2019. DOI: 10.1186/s13638-019-1340-5.
11. Trenogin N.G., Petrov M.N., Sokolov D.E. 2017. Svoystva fraktal'nogo trafika pri prohozhdenii sistemy massovogo obsluzhivaniya s ochered'ju [Properties of fractal traffic on the output of a queuing system] // *Sibirskij ajerokosmicheskij zhurnal [The Siberian Aerospace Journal]*. vol. 18. no. 1. pp. 105-110.
12. Porshnev S.V., Bozhalkin D.A. 2016. K voprosu o samopodobii trafika, peredavaemogo v magistral'nom internet-kanale [On the question of self-similarity of the traffic transmitted in the backbone internet channel] // *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]*. № 4-2. pp. 301-310.
13. Trenogin N.G., Petrov M.N., Sokolov D.E. 2017. "Empirical relationship for queue length estimation in a system with fractal shot input" *Sibirskij ajerokosmicheskij zhurnal [The Siberian Aerospace Journal]*, vol. 18. no. 2. pp. 294-299.
14. Namestnikov S.M., Sluzhivyy M.N., Ukrainev J.D. 2016. Osnovy teorii telegrafiki [Fundamentals of the theory of telegraphy] // Ulyanovsk, UISTU. 154 p. (In Russ.).
15. Kurejchik V.M. 2002. Geneticheskie algoritmy i ih primeneniye [Genetic algorithms and their application] / 2nd ed., exp. // Taganrog: Publishing Company TRTU. 242 p.
16. Goldberg D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning // Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 412 p.
17. Maghawry A., Hodhod R.A., Omar Y.M., Kholief M.H. 2021. An approach for optimizing multi-objective problems using hybrid genetic algorithms // *Soft Computing*, no. 25, 389-405 pp. DOI:10.1007/s00500-020-05149-3.
18. Fu G., Huang H., Li Y., Zhou J. 2021. An adaptive hybrid evolutionary algorithm and its application in aeroengine maintenance scheduling problem // *Soft Computing*, no. 25, 6527-6538 pp. DOI:10.1007/s00500-021-05647-y.
19. Machado J.G., Pires M.G., Bertoni F.C., Pimenta A.H., Camargo H.A. 2021. A Modified NSGA-DO for Solving Multiobjective Optimization Problems // *10th Brazilian Conference on Intelligent Systems*, vol. 13073, DOI:10.1007/978-3-030-91702-9_9.

Vorobyev S. P. Associate professor of Information and measuring systems and technologies department, PhD in Technology, associate professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya str., Novocherkassk, 346428, Russia, e-mail: vsp1999@yandex.ru

Shirobokova S. N. Associate professor of Information and measuring systems and technologies department, PhD in Economics, associate professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya str., Novocherkassk, 346428, Russia, e-mail: shirobokova_sn@mail.ru

Evsin V. A. Assistant of Information and measuring systems and technologies department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya str., Novocherkassk, 346428, Russia, e-mail: ewsin.wladimir95@gmail.com