

© 2012 г. С.А. ВЛАСОВ, канд. техн. наук,
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)
В.В. ДЕВЯТКОВ, канд. техн. наук,
(ООО «Элина-Компьютер», Казань)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ПРОЕКТ GPSS CLOUD

Представлены принципы и особенности построения облачных систем автоматизации имитационных исследований (САИИ). Приводится архитектура и математическое описание облачной САИИ на основе моделирующего ядра GPSS World.

APPLICATION OF CLOUD TECHNOLOGIES BY THE SIMULATION TESTS: GPSS CLOUD DRAFT/ S.A. Vlasov (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: vlasfot@ipu.ru), V.V. Devyatkov (Elina Computer Ltd, Sechenova street, 17, Kazan, Tatarstan). The principles and design features of cloud automation simulation studies are presented. We present the architecture and the mathematical description of the cloud system based on modeling kernel GPSS World.

1. Введение

Имитационное исследование является сложным, по сути, и длительным по времени процессом, который требует множества вычислений, в том числе распределенных. Выделяют несколько этапов имитационных исследований (ИИ)[1]. В самом общем, укрупненном виде, это следующие этапы: постановка задачи, сбор и обработка данных, разработка и корректировка модели, моделирование, накопление результатов, планирование экспериментов, анализ результатов, документирование и хранение результатов. Для проведения таких исследований создаются различные системы автоматизации имитационных исследований (САИИ) [2]. Авторами предлагается облачный подход к проведению ИИ, позволяющий упростить и унифицировать проведение исследований для конечных пользователей, абстрагировать исследователя от технических особенностей организации вычислений. Облачная САИИ является инвариантной по отношению к окончному аппаратному и программному обеспечению. Ее отличительным достоинством являются минимальные требования к пользовательскому оборудованию – для проведения самых сложных имитационных исследований достаточно обычного интернет-планшета.

2. Облачные вычисления

Облачные вычисления уходят корнями в 60-ые годы прошлого века. В 1961 г. американский ученый и руководитель группы «Long Range Computer Study Group» в

MIT Джон Маккарти впервые предположил, что вычислительная технология разделения времени может привести к будущему, в котором вычислительные мощности и даже определенные приложения будут продаваться с использованием бизнес-модели сферы коммунальных услуг подобно воде и электричеству. Почти все современные характеристики облачных вычислений (эластичность, предоставление по подписке, доступ через глобальную сеть, иллюзия бесконечных ресурсов), сравнение с электричеством и использованием различных форм (открытая, частная, государственная, общественная) были подробно изложены в книге Дугласа Паркилла [3]. Таким образом, под облачными вычислениями следует понимать современную реализацию концепции вычислительной коммунальной услуги [4].

Облачные вычисления представляют собой тренд, охватывающий передовые информационные технологии, делающие видение «вычисление как электричество» реальностью. Основными такими технологиями являются виртуализация, сервис-ориентированная архитектура и принцип Multi-Tenancy [5]. Также можно выделить следующие информационные технологии – HTML5, WEB 2.0, Hadoop, NoSQL, Big Data, AJAX, Map/Reduce, iPad.

Согласно определению NIST¹ облачные вычисления - это модель организации удобного повсеместного сетевого доступа по требованию к разделяемому пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов (например - сети, сервера, хранилище данных, приложения, сервисы), которые могут быть быстро предоставлены и возвращены обратно с минимальными усилиями и взаимодействием с провайдером.

3. Облачные вычисления в имитационном моделировании

Системы автоматизации имитационных исследований (САИИ) можно классифицировать по стадиям развития вычислительных парадигм, приведенных в [6]:

- мейнфрейм-САИИ (системы разделения времени);
- персональные САИИ (уровень одного компьютера);
- сетевые САИИ (однородные распределенные вычисления в рамках LAN);
- распределенные САИИ (гетерогенные вычисления в WAN/Internet, включая GRID-системы);
- облачные САИИ.

Отдельно также можно выделить высокопроизводительные САИИ, использующие мощности вычислительных кластеров и суперкомпьютеров других архитектур для выполнения сложных параллельных вычислений.

Облачные САИИ, таким образом, являются следующим логическим шагом в развитии САИИ. Применение облачных вычислений в САИИ позволит организовать повсеместный доступ к проведению сложных имитационных исследований и комплексных циклов исследования. Облачные САИИ реализуют концепцию «Имитационные исследования как услуга»: эта услуга «генерируется» в датацентре и распространяется через Интернет на компьютеры и мобильные устройства исследователей, такие как интернет-планшеты. По типу клиентской (пользовательской) части облачные САИИ можно далее разбить на настольные (ПК, ноутбук), мобильные (интернет-планшет) и веб-САИИ (веб-браузер).

Проект построения облачной САИИ на основе языка GPSS World реализуется в компании «Элина-Компьютер» и носит условное название GPSS Cloud [7,8]. Проект

¹ Национальный институт стандартов и технологий, США, www.nist.gov

GPSS Cloud опирается на имеющийся у нас опыт применения распределенных вычислений в имитационном моделировании, в частности это разработанные и апробированные программные средства «Сервер GPSS» и «Системная шина моделирования». Сервер GPSS является программной реализацией сетевой САИИ на основе GPSS World, а системная шина моделирования – шаблон построения САИИ в рамках сервис-ориентированной архитектуры – одного из «столпов» облачных вычислений.

4. Облачная САИИ GPSS Cloud

GPSS Cloud позволяет проводить удаленные комплексные имитационные исследования «по требованию». Исследователь со своего рабочего компьютера или планшета получает гибкий доступ к мощной базе математического, программного и аппаратного обеспечения, распространяемого в виде сервисов (услуг, служб) через стандартные интерфейсы. Согласно [2] все САИИ могут быть разбиты по типу конечных пользователей на три группы: САИИ для профессионалов ИМ, САИИ для отдельных отраслей экономики и имитационные приложения для крупных предприятий.

Проект GPSS Cloud предоставляет возможности для проведения исследований по модели SaaS («ПО как услуга»), ориентированные на профессионалов ИМ. Данные возможности предоставляются как через веб-интерфейс, так и в виде стандартизированных сервисов, что позволяет интегрировать функциональность этих сервисов в существующие и разрабатываемые приложения. Все это позволяет, как создавать САИИ для последних двух групп пользователей, так и разрабатывать сторонние пользовательский интерфейс и клиентские приложения для различных платформ. Функциональность сервисов инвариантна к предметной области и охватывает все основные этапы имитационных исследований, включая оптимизацию, планирование экспериментов и анализ результатов ИМ. GPSS Cloud также предоставляет инструментарий для разработки и размещения веб-приложений по модели PaaS. Этот веб-инструментарий позволяет разрабатывать собственные веб-интерфейсы и бизнес-логику, приспособленные для потребностей конкретного пользователя или группы пользователей. Примеры подобного сочетания моделей доставки облачных вычислений включают решения от Google (Google Apps – SaaS, Google App Engine – PaaS) и Salesforce.Com (salesforce.com – SaaS, force.com – PaaS). GPSS Cloud может быть размещена, как в собственном дата-центре, так и в открытом облаке по модели IaaS, например в AWS – сервисы Amazon EC2 (вычисления), Amazon S3 и Amazon EBS (хранилище).

5. Трехуровневая архитектура GPSS Cloud

GPSS Cloud по модели SaaS, как и все современные веб-приложения, построена по модели трехуровневой архитектуры (рис. 1) путем выделения трех логических уровней приложения – уровня представления, уровня бизнес-логики и уровня данных. Каждый уровень GPSS Cloud физически обособлен и занимает отдельную часть дата-центра.

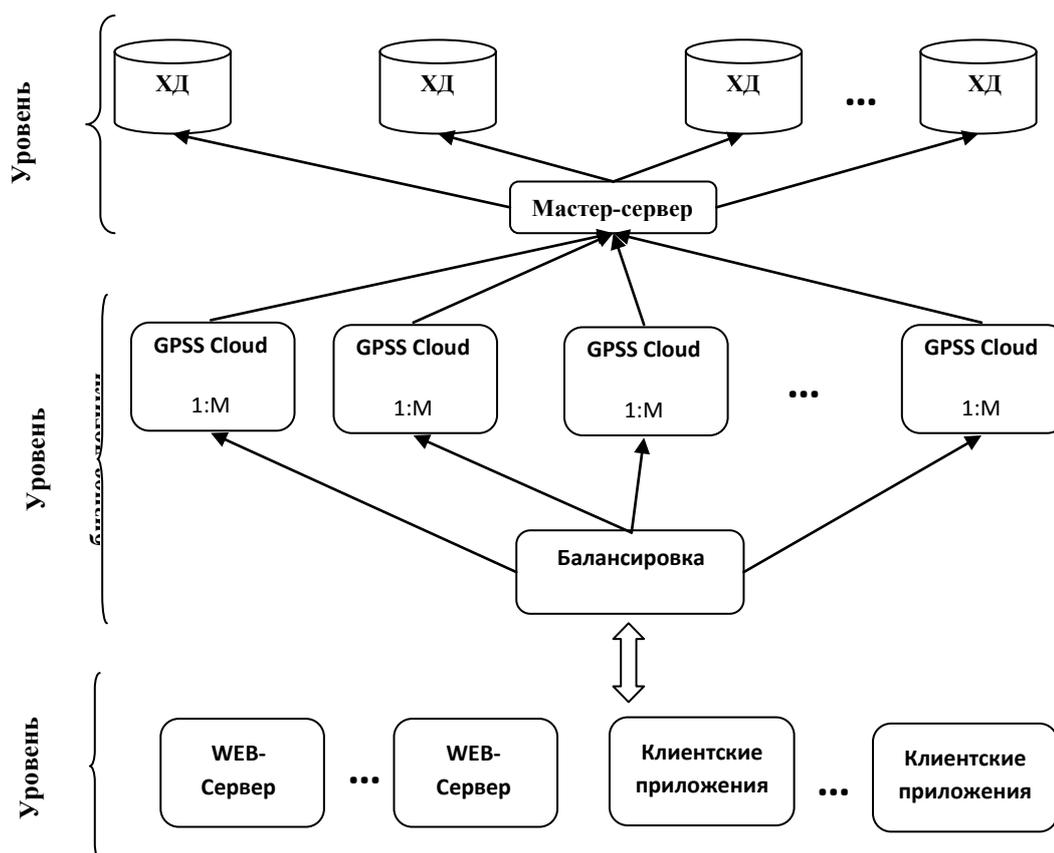


Рис. 1 - Архитектура GPSS Cloud

Условные обозначения: ХД – хранилище данных, СХД – система хранения данных, GMI – GPSS Cloud Machine Image (виртуальный образ GPSS Cloud)

Ядро приложения GPSS Cloud существует на уровне бизнес-логики и горизонтально масштабируется на множество виртуальных машин. Приложение построено по принципу «Multi-Tenancy», т.е. каждый экземпляр приложения не закреплен за конкретным пользователем, а обслуживает множество пользователей (1:M). Последнее достигается выделением всех пользовательских данных в отдельный кластер СХД, что позволяет приложению не хранить данные о сеансах моделирования (*stateless*): запрос пользователя распределяется балансировщиком нагрузки на доступную виртуальную машину, а необходимые данные подгружаются из СХД, и после окончания выполнения запроса соответствующие данные и состояние сохраняются обратно в СХД. Поскольку все экземпляры приложения не содержат критичных данных и являются идентичными, дополнительные экземпляры приложения при масштабировании могут быть быстро развернуты из стандартного виртуального образа GMI (GPSS Cloud Machine Image).

Уровень данных представляет собой СХД, состоящую из кластера серверов ХД и мастер-сервера, который осуществляет распределение данных между узлами СХД. Кроме того мастер-сервер реализует стандартный интерфейс к СХД, инвариантный к ее программно-аппаратным особенностям. Данные в СХД хранятся следующих типов – данные о моделируемой предметной области, сценарии (модели) и результаты ИМ, а также предпочтения пользователя, используемые в частности для настроек интерфейса веб-приложения.

Уровень представления образуют как доступный веб-интерфейс, так и различные сторонние клиентские приложения, использующие функциональность GPSS Cloud через предоставляемые стандартные интерфейсы.

Стандартные интерфейсы между уровнями реализовываются в виде общепринятых веб-сервисов (SOAP) и REST-сервисов (HTTP, XML). Кроме того, сам уровень бизнес-логики строится в соответствии с принципами сервис-ориентированной архитектуры (SOA).

6. Сервис-ориентированная архитектура уровня бизнес-логики

Сервис-ориентированная архитектура (SOA) – современный подход к разработке распределенных модульных приложений, основанный на выделении в качестве элементарных блоков приложения многократно-используемых автономных и обособленных ИТ-сервисов с четким интерфейсом, взаимодействующих между собой посредством обмена стандартизированными сообщениями через вычислительную сеть. Построенное на принципах SOA приложение является гетерогенным и распределенным в том смысле, что принципы внутреннего построения и надлежащей архитектуры отдельных сервисов являются несущественными, как и их физическое нахождение. Отметим, что, несмотря на то, что SOA часто реализуется именно в виде веб-сервисов (и REST-сервисов), применение одних лишь веб-сервисов не позволяет построить сервис-ориентированных решений, если не следовать принципам SOA.

В первую очередь выделим сервисы в приложении GPSS Cloud, соответствующие отдельным этапам имитационного исследования:

- сервис моделирования;
- сервис распределенного моделирования/синхронизации;
- сервис высокопроизводительного моделирования;
- сервис планирования экспериментов;
- сервис оптимизации;
- сервис математических расчетов;
- сервис анализа и статистической обработки результатов;
- сервис графических расчетов (2D, 3D, стерео-3D);
- сервис взаимодействия с БД/СХД (сервис хранения данных).

Первые три сервиса реализуют соответственно следующие типы моделирования в GPSS Cloud:

1. моделирование – независимое выполнение ряда имитационных экспериментов для одной модели в режиме «как можно быстрее» с динамическим мониторингом данных – параллельное выполнение несвязанных (изолированных) друг с другом моделей или серии экспериментов;
2. распределенное моделирование – согласованное выполнение сложной модели, состоящей из составных моделей, сторонних сервисов и сервисов взаимодействия с пользователем в реальном масштабе времени (РМВ).
3. высокопроизводительное моделирование – выполнение сложной модели с применением параллельных вычислений.

Для интеграции сервисов в единое облачное приложение применяется шаблон сервисной шины предприятия ESB (Enterprise Service Bus). ESB - особый способ построения SOA-решений, при котором сервисы, составляющие приложение, развертываются вокруг сервисной шины, образующей среду для их взаимодействия.

Если SOA-приложение рассмотреть как оверлейную сеть, образованную над вычислительной сетью, то сервисная шина выступает здесь в роли сетевого коммутатора, выполняющего две основные функции - маршрутизацию и преобразование протокола передачи данных. Дополнительно ESB также выполняет функцию балансировки нагрузки. ESB реализуется в виде одной или нескольких равноправных служб, называемых ESB peers. Обращение клиентов к функциям GPSS Cloud осуществляется именно через сервисную шину моделирования SSB (Simulation Service Bus), служащую таким образом точкой входа в облачное приложение.

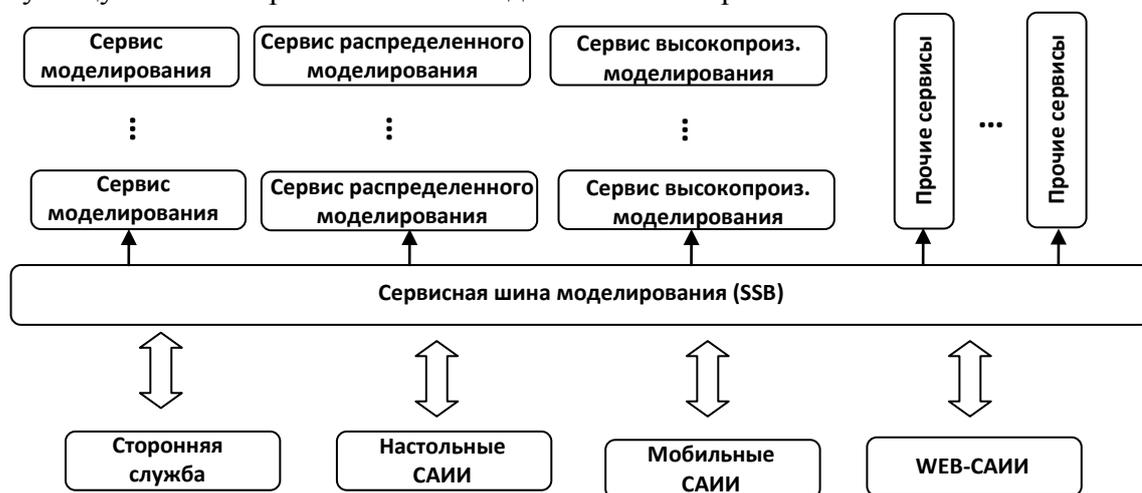


Рис. 2 – Сервис-ориентированная архитектура GPSS Cloud

Согласно рис. 2 сервисная шина является связующим звеном между клиентскими приложениями и бизнес-логикой GPSS Cloud, и осуществляет диспетчеризацию запросов от различных типов САИИ к соответствующим сервисам моделирования или сервисам других этапов имитационных исследований. SSB также способствует передачи данных в реальном масштабе времени (PMB) между облачным приложением и САИИ – управление процессом моделирования и вывод текущего состояния моделирования. Последнее особенно актуально для динамической визуализации моделируемого процесса.

SOA позволяет рассматривать GPSS Cloud как единое приложение с множественными экземплярами сервисов для балансировки нагрузки. Тот факт, что сервисы в общем случае находятся на разных виртуальных машинах скрыт для сервисной шины. Отметим, однако, что в случае повышения нагрузки на GPSS Cloud и невозможности ее адекватной балансировки происходит, при доступных физических ресурсах, инициирование разворачивания новых виртуальных машин на основе стандартных образов. Возвращаясь к вопросу об образах, очевидно, что имеет смысл группировки сервисов в несколько стандартных образов, вместо использования одного образа, включающего все сервисы приложения. Так, выделим следующие стандартные виртуальные образы:

1. образ обычного моделирования (сервис моделирования);
2. образ высокопроизводительного моделирования (сервис высокопроизводительного моделирования);
3. образ распределенного моделирования (сервис распределенного моделирования);
4. образ вспомогательных сервисов (все прочие сервисы).

Дополнительно можно выделить виртуальные образы веб-серверов, формирующих веб-интерфейс к GPSS Cloud. Веб-интерфейс является эволюцией настольных программных средств «Расширенный редактор GPSS World» [9] и «Редактор стандартных отчетов GPSS – GPSS RC»[link].

7. GPSS Cloud по модели PaaS

Для упрощения создания клиентских приложений GPSS Cloud включает веб-инструментарий разработки собственных веб-приложений, отражающих специфику моделирования предметной области. Как и программное средство «Универсальный редактор форм для моделей на GPSS World» [11] для настольных ПК, веб-редактор позволяет создавать и размещать веб-приложения, позволяющие вводить данные в модель, задавать план экспериментов и отображать результаты моделирования в табличной и графической формах (включая анимацию). Веб-инструментарий включает конструктор веб-форм на основе библиотеки шаблонов веб-форм, а также предусматривает интеграцию приложений с внешними сервисами, включая Google Docs.

GPSS Cloud также предоставляет Software Development Kit (SDK) для быстрой разработки клиентских приложений под различными настольными и мобильными платформами.

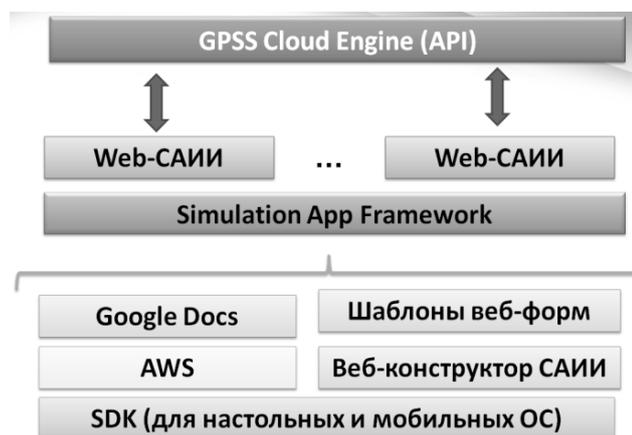


Рис. 3. GPSS Cloud по модели PaaS

8. Математическое описание GPSS Cloud

Приведем описание GPSS Cloud на основе аксиоматической облачной теории, предложенной Джо Виенманом [12].

Под облаком понимается структура $(S, T, G, Q, \delta, q_0)$, удовлетворяющая пяти формальным аксиомам: 1) общности, 2) независимости от местоположения, 3) постоянного подключения, 4) коммунальной услуги, 5) предоставления по требованию.

Определение: облачная структура – это шестерка $(S, T, G, Q, \delta, q_0)$, где:

Пространство $S = (M, \lambda)$ - метрическое пространство с метрикой $\lambda : M \times M \rightarrow R_0^+$,

Время $T = (Ts, \Sigma, \tau, <)$ - пространство с мерой и отношением строгого порядка, где Ts – множество промежутков времени,

Σ - σ -алгебра на Ts ,

$\tau : \Sigma \rightarrow R_0^+$ - мера на Σ ,

$<$ - отношение строгого порядка на T ;

Сеть $G = (V, E)$ - простой орграф без петель и кратных ребер, где

V - множество вершин,

E – множество ребер, $E \subseteq V \times V$ и $(u, v) \in E \Rightarrow (v, v) \notin E$ и $(v, u) \notin E$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, \dots\}$ - множество состояний, с каждым $q_j = (R_{q_j}, A_{q_j}, L_{q_j}, P_{q_j})$, где

$R_{q_j} : V \rightarrow R^r$ - ресурсная функция,

$A_{q_j} : E \rightarrow R^r$ - функция распределения ресурсов,

$L_{q_j} : V \rightarrow M$ - функция местоположения,

$P_{q_j} : E \rightarrow F$ - функция цены, где F – пространство функций

$$F = \{f \mid f : R^r \times R_0^+ \times R_0^+ \rightarrow R\}$$

$\delta : T \rightarrow Q$ - отображение перехода,

$q_0 \in Q$, где $q_0 = \delta(t_0)$.

Дадим характеристику перечисленным элементам облачной структуры применительно к проекту GPSS Cloud.

Пространство S – метрическое множество, элементами которого выступают точки на поверхности Земли, с метрикой определяемой сетевую задержку между точками. Это пространство служит для определения физического местоположения компонентов GPSS Cloud – дата-центров и пользователей. Точка в $S \subseteq R^2$ задается упорядоченной парой $\langle \text{широта, долгота} \rangle$.

Множество Ts в определении пространства $T = (Ts, \Sigma, \tau, <)$ представляет собой времена по UTC с посекундной точностью: $\{“23.04.2012 13:05:00”, “23.04.2012 13:05:01”, \dots, “24.04.2012 00:00”, \dots\}$. Алгебра Σ является непустым множеством подмножеств Ts , замкнутым относительно операций объединения и дополнения. Отображение τ является мерой протяженности Лебега на пространстве T .

Сетевой орграф $G=(V,E)$ задает облачную топологию: вершины определяют имеющиеся в наличии или запрашиваемые ресурсы, дуги – возможные пути перемещения ресурсов для удовлетворения спроса. Каждой вершине ставится в соответствие вектор ресурсов из R^r , каждое измерение которого характеризует отдельный ресурс, причем отрицательное значение свидетельствует о потребности в ресурсах.

Топология GPSS Cloud представляет двудольный граф с двумя типами вершин - «Поставщики» и «Потребители» с векторами ресурсов соответственно из R_0^+ и R_0^- . Из $(u, v) \in E$ следует, что u – предшественник v , а v – преемник u . Обозначим за I_v (Inputs - Входы) множество всех вершин-предшественников v , т.е. всех u для которых $(u, v) \in E$, а за O_u (Outputs – Выходы) – множество всех вершин-преемников u , т.е. всех v для которых $(u, v) \in E$. Приняв за положительное направление перемещения ресурсов направление «от поставщика к потребителю» получим, что I_v тождественно «Поставщикам», а O_u – «Потребителям».

В каждый момент времени облачная структура однозначно определяется своим составным состоянием $q \in Q$, включающем сведения о спросе и предложении ресурсов в каждой вершине, распределении ресурсов (удовлетворение спроса), местоположении вершин и ценовую политику.

Каждой вершине ставится в соответствие пятерка $\langle R1, R2, R3, R4, R5 \rangle$, где R1 – используемая вычислительная мощность для моделирования (в условных единицах), R2 – память для хранения результатов (в гигабайтах), R3 – вычислительная мощность суперкомпьютерного моделирования, R4 – вычислительная мощность для распределенного моделирования, R5 – вычислительная мощность для прочих сервисов.

Так, на рисунке 4, показаны четыре дата-центра с доступными в них ресурсами, и 4 клиента с запросом на ресурсы. Показано распределение ресурсов – ДЦ КФУ → Клиент А, ДЦ, ДЦ ВЗФЭИ → Клиент В, ДЦ ВЗФЭИ → Клиент С и ДЦ ВЗФЭИ → Клиент D.

Помимо ресурсов, каждой вершине ставится в соответствие ее физическое местонахождение в M , которое в случае мобильных клиентов может изменяться во времени. Цена использования облачных ресурсов для каждой дуги определяется как $p \cdot a \times \tau(t)$, где p – вектор цены, a – распределение ресурсов по дуге, “ \cdot ” – скалярное произведение векторов, $\tau(t)$ – протяженность временного интервала, определяемая мерой τ .

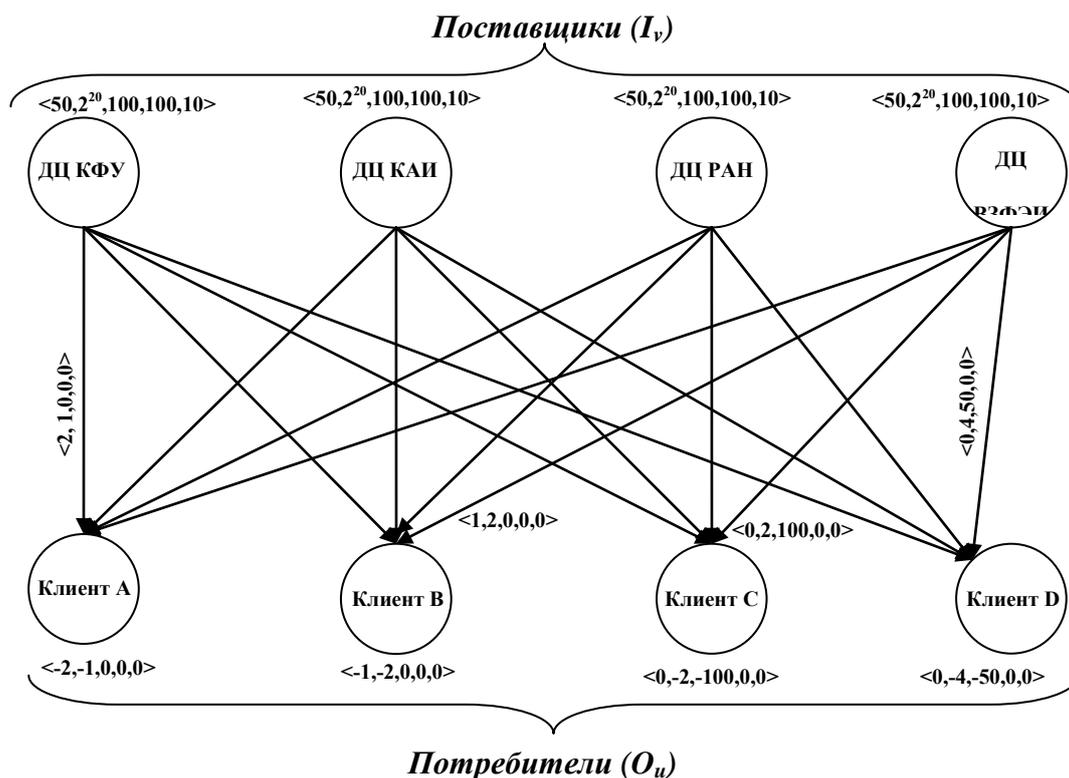


Рисунок 4 - Сетевой оргграф облачной структуры

Так, на рисунке 4, показаны четыре дата-центра с доступными в них ресурсами, и 4 клиента с запросом на ресурсы. Показано распределение ресурсов – ДЦ КФУ → Клиент А, ДЦ, ДЦ ВЗФЭИ → Клиент В, ДЦ ВЗФЭИ → Клиент С и ДЦ ВЗФЭИ → Клиент D.

Помимо ресурсов, каждой вершине ставится в соответствие ее физическое местонахождение в M , которое в случае мобильных клиентов может изменяться во времени. Цена использования облачных ресурсов для каждой дуги определяется как $p \cdot a \times \tau(t)$, где p – вектор цены, a – распределение ресурсов по дуге, “ \cdot ” – скалярное произведение векторов, $\tau(t)$ – протяженность временного интервала, определяемая мерой τ .

Задача облачных вычислений заключается в удовлетворении спроса на ресурсы и, если каждый потребитель может пользоваться ресурсами только от одного поставщика, является NP-полной [13].

9. Заключение

В настоящее время авторами ведется работа по развертыванию виртуальной лаборатории имитационных исследований на виртуальных машинах дата-центра Казанского федерального университета и в ряде других дата-центрах. Лаборатория включает два сервиса – сервис моделирования (GPSS) и сервис базы данных (SQL Server). Точкой входа в лабораторию служит «Сервер GPSS», осуществляющий диспетчеризацию запросов на виртуальные машины. Клиентским приложением является «Расширенный редактор GPSS», дополнительно ведется проектирование веб-интерфейса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. – 418 с.
2. Девятков Т.В. Некоторые вопросы создания систем автоматизации имитационных исследований // Прикладная информатика. 2010 г., № 5(29), с. 102-116.
3. Douglas F. Parkhill. The Challenge to Computer Utility. Addison-wesley, 1st edition (January 1, 1966), 207 pages
4. *Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing*. University of California at Berkeley, February 10, 2009, <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/Eecs-2009-28.pdf>
5. Larry Aiken. Why Multi-Tenancy is Key to Successful and Sustainable Software-as-a-Service. Cloudbook Journal Vol 2 Issue 1, 2011.
6. *Handbook of Cloud Computing*. Borko Furht (Editor), Armando Escalante (Editor). Springer, 1st Edition (September 29, 2010), 653 pages
7. Власов С.А., Девятков В.В., Кобелев Н.Б. Имитационные исследования: от классических технологий до облачных вычислений // V Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование, теория и практика» (Санкт-Петербург, 2011 г.): Сб. докладов. Т. 1. С. 42-50
8. Александров В.В. Единая облачная имитационная среда GPSS Cloud // V Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование, теория и практика» (Санкт-Петербург, 2011 г.): Сб. докладов. Т. 1. С. 315-319
9. Девятков В.В., Федотов М.В. Расширенный редактор GPSS World // V Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование, теория и практика» (Санкт-Петербург, 2011 г.): Сб. докладов. Т. 1. С. 355-359
10. Павлов В. Л., Федотов М. В. Применение методов распределенной обработки данных имитационного моделирования в системах корпоративного управления // IV

Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование, теория и практика» (Санкт-Петербург, 2009 г.): Сб. докладов.

11. *Девятков В.В., Исаев Ф.В.* Универсальный редактор форм для моделей на GPSS World // V Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование, теория и практика» (Санкт-Петербург, 2011 г.): Сб. докладов. Т. 1. С. 350-354
12. *Joe Wienman.* Axiomatic Cloud Theory. Working Paper, July 29, 2011.
http://www.JoeWeinman.com/Resources/Joe_Weinman_Axiomatic_Cloud_Theory.pdf
13. *Joe Wienman.* Cloud Computing is NP-Complete. Working Paper, February 21, 2011.
http://www.joeweinman.com/Resources/Joe_Weinman_Cloud_Computing_Is_NP-Complete.pdf