

УДК 004.832.32

С.А. Зинкин, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (Пенза, Россия) (e-mail: zsa49@yandex.ru)

Мустафа Садек Джафар, аспирант, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (Пенза, Россия) (e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ИНФРАСТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «СЕТЬ – ЭТО КОМПЬЮТЕР»

Рассмотрена концепция «сеть – это компьютер», которая получила свое дальнейшее развитие в виде парадигмы облачных приложений, обладающих свойствами «мультиарендности» и «живой» миграции баз данных. Особый интерес в этой связи представляет разработка гибкого связующего (middleware) программного обеспечения промежуточного уровня для больших переконфигурируемых кластерных серверных систем в рамках реализации средств поддержки концепции «больших данных». Поэтому развивается подход к проектированию реконфигурируемой и параметрически настраиваемой системной и функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем. В ряде случаев реализация данного подхода может обеспечить повышение эффективности и снижение стоимости больших программных и аппаратных систем. В статье приведена классификация распределенных вычислительных систем при учете специфики облачных, грид, кластерных и других видов коммунальных, параллельных и распределенных вычислений. Рекомендовано использовать в качестве базовых гибридные архитектуры, сочетающие положительные свойства облачных, грид и кластерных распределенных вычислительных систем. Развита концепция организации распределенных сетевых вычислений как сервисов, реализуемых по требованию клиента. Предложена сетевая модель, описывающая работу гибридной облачной грид-системы со сторонними аудиторами и провайдерами облачных сервисов. Отличительной особенностью предложенной модели является то, что при реализации концепции NCaaS (Network Computing as a Service on Demand – сетевая архитектура как сервис по запросу пользователя) до выполнения запроса типа Upload (загрузить в облако) может быть запрошена метаинформация о имеющихся ресурсах в целях дальнейшего создания виртуального кластера из доступных узлов сети провайдера облачных сервисов, а до выполнения запроса типа Download (скачать информацию из облака) запрашивается мета-информация об узлах, хранящих полученные результаты. Метаинформацию возможно получить не только от стороннего аудитора, но и от удаленного сервиса мониторинга. Для дальнейшего развития предлагаемых концепций до реальной технологии целесообразно разработать методику трансформации концептуальных моделей системной и функциональной архитектуры в спецификации, пригодных для образования виртуальных топологий сетевого компьютера типа NCaaS в гибридной облачной среде.

Ключевые слова: распределенные вычисления и системы; классификация; концептуальные модели; облачные и грид-системы; гибридные архитектуры; сетевая модель.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-75-93

Ссылка для цитирования: Зинкин С.А., Джафар Мустафа Садек. Развитие информационно-коммуникационных инфраструктур распределенных вычислительных систем на основе концепции «сеть – это компьютер» // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 75-93.

Введение

Распространение высокоскоростной широкополосной связи между компьютерами в сетях, постоянное увеличение вычислительных мощностей и рост Интернета привели к изменению способов по-

лучения вычислительных и информационных услуг. Географически распределенные ресурсы, такие как устройства хранения, источники данных и суперкомпьютеры, взаимосвязаны и могут быть

использованы пользователями всего мира как единый ресурс.

Сложность аппаратного и программного обеспечения вычислительных систем все более возрастает. Проектирование вычислительных сетей, распределенных вычислительных систем заставляет разработчиков искать новые подходы к проектированию непрерывно модифицируемого аппаратного и программного обеспечения. В последнее время большое внимание уделяется исследованию вычислительной инфраструктуры облачных сред, грид-систем и мобильных беспроводных сетей.

Компания Sun Microsystems, слившаяся со временем с корпорацией Oracle, провозгласила в свое время в качестве девиза концепцию «The Network is the Computer» («сеть – это компьютер»). Получили широкую известность ее ранние технологии, в той или иной степени поддерживающие данную концепцию: Network File System, Java, OpenSolaris, а также основанные на Java-технологиях методы построения распределенных вычислительных систем, например, такие как Remote Method Invocation, Jini, JavaSpaces, Java Management Extensions, Jiro, JXTA (Juxtapose). В настоящее время слоган «The Network is the Computer» фактически заменен понятием «Network Computing».

Характерной особенностью современных распределенных вычислительных систем является возможность динамического изменения их функциональной и системной архитектуры, что обеспечивает поддержку реализации концепции «сеть – это компьютер» на основе принципов, характерных для организации коммунальных вычислений. Существует большое число фирм и организаций, за-

нимающихся созданием распределенных сетевых приложений. Интенсивно развиваются современные технологии Cloud Computing, Grid Computing, Global Computing, Community Computing и другие технологии распределенных систем и вычислений, являющиеся, по существу, развитием концепции «The Network is the Computer», что свидетельствует об актуальности выбранного направления исследования в области проектирования распределенных вычислительных систем с облачной сетевой архитектурой, формируемой по требованию клиента.

Концепция «сеть – это компьютер» получила свое дальнейшее развитие в виде парадигмы облачных приложений, обладающих свойствами «мультиарендности» и «живой» миграции баз данных. Особый интерес в этой связи представляет разработка гибкого связующего (middleware) программного обеспечения промежуточного уровня для больших переконфигурируемых кластерных серверных систем в рамках реализации средств поддержки концепции «больших данных». Поэтому возник значительный интерес к проектированию реконфигурируемой и параметрически настраиваемой системной и функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем. В ряде случаев реализация данного подхода может обеспечить повышение эффективности и снижение стоимости больших программных и аппаратных систем.

1. Классификация распределенных вычислений и систем

Существует ряд классификаций распределенных вычислительных систем, однако многие из них не полны или не в полной степени учитывают современные тенденции развития распределенных вы-

числений и систем, рассматриваемых в качестве коммунальных услуг, предоставляемых пользователю.

На рисунке 1 представлена классификация распределенных вычислений и реализующих эти вычисления систем.

Данная классификация учитывает современные тенденции развития распределенных вычислений и систем, рассматриваемых в качестве коммунальных услуг, предоставляемых пользователю.

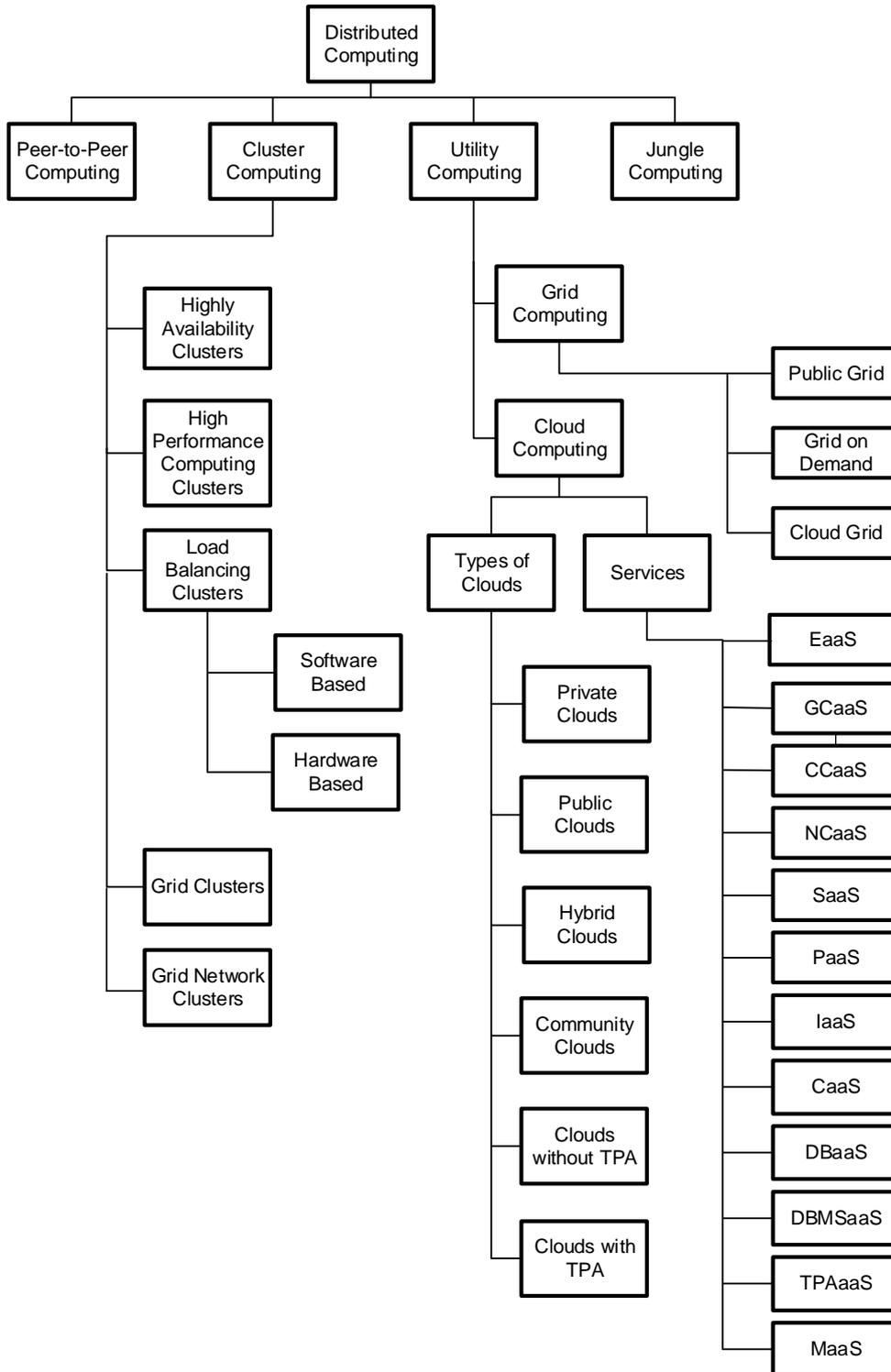


Рис. 1. Классификация распределенных вычислений и систем

Ниже описаны используемые термины и аббревиатуры, а также даны краткие комментарии. Для терминов на английском языке дан перевод. При составлении классификации были приняты во внимание литературные источники [1-12].

- **Distributed Computing (DC)** – вычисления, организуемые в распределенной (возможно, параллельной) вычислительной системе.

- **Peer-to-Peer Computing (PtPC, или P2PC)** – пиринговые вычисления, в реализации которых участвуют, как правило, оконечные компьютеры вычислительной сети, образующие масштабируемую в широких пределах одноранговую децентрализованную вычислительную среду, основанную на равноправии участников.

- **Cluster Computing (CC)** – кластеры (группы) компьютеров, связанные посредством высокоскоростных коммутаторов.

- **Highly Available Clusters (HAC)** – кластеры компьютеров, обеспечивающие высокий уровень надежности и готовности к использованию.

- **High Performance Computing Clusters (HPCC)** – высокопроизводительные кластеры.

- **Load Balancing Clusters (LBC)** – кластеры LBC-компьютеров, обеспечивающих балансировку вычислительной нагрузки.

- **Software Based LBC (SB LBC)** – программно-управляемые кластеры LBC-компьютеров.

- **Hardware Based LBC (HB LBC)** – аппаратно-управляемые кластеры LBC-компьютеров.

- **Grid Clusters (GC)** – кластеры компьютеров на основе высокоскоростных коммутаторов или локальных сетей, образующих грид-систему, то есть «решетку» компьютеров.

- **Grid Networking Clusters (GNC)** – организуемые в грид-системах виртуальные сетевые кластеры, содержащие в виде узлов отдельные компьютеры физической вычислительной сети (рис. 2).

- **Utility Computing (UC)** – вычисления, при реализации которых вычислительные возможности предоставляются как коммунальные услуги.

- **Grid Computing (GC)** – грид-вычисления; для реализации распределенных и, возможно, параллельных вычислений инфраструктура грид-системы образует виртуальный суперкомпьютер, доступный, как правило, нескольким организациям или проектным группам; виртуальный компьютер при этом может содержать как отдельные взаимосвязанные компьютеры, так и целые кластеры компьютеров, связанных высокоскоростными коммутаторами.

- **Public Grid Computing (PGC)** – грид-системы, открытые для коллективного пользования и образуемые свободно предоставляемыми вычислительными и коммуникационными ресурсами.

- **Grid Computing on Demand (GCoD)** – грид-системы типа GCoD; данные системы обычно являются коммерческими приложениями, организуемыми по требованию клиентов.

- **Cloud Grid Computing (CGC)** – грид-системы, организуемые в облачных предметно-ориентированных средах (рис. 3).

- **Cloud Computing (CC)** – облачные вычисления, реализуемые как частный случай коммунальных вычислений и предполагающие использование вычислительных ресурсов по типу использования ресурсов сети Интернет.

- **Types of Clouds** – разновидности облачных вычислений.

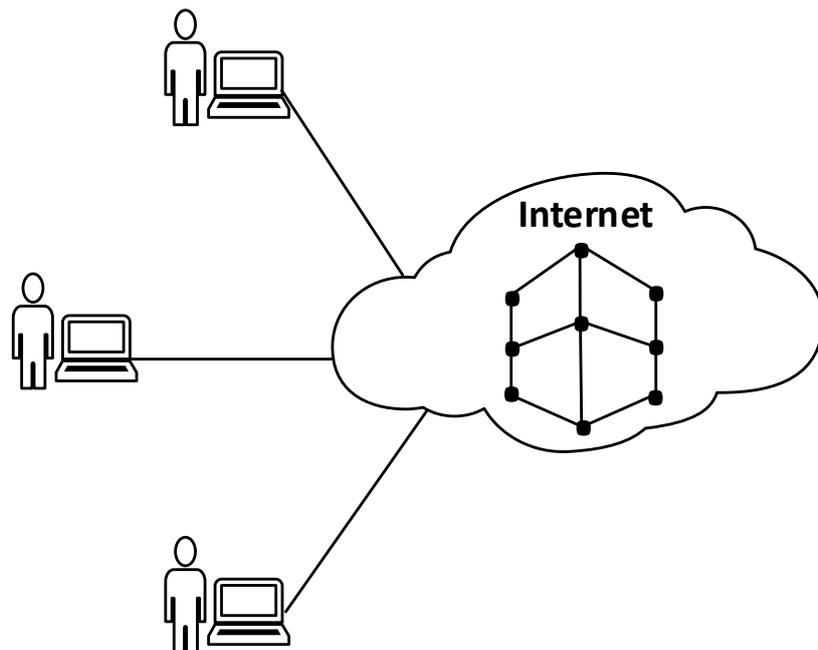


Рис. 2. Концептуальная модель Grid Networking Cluster (виртуального сетевого кластера)

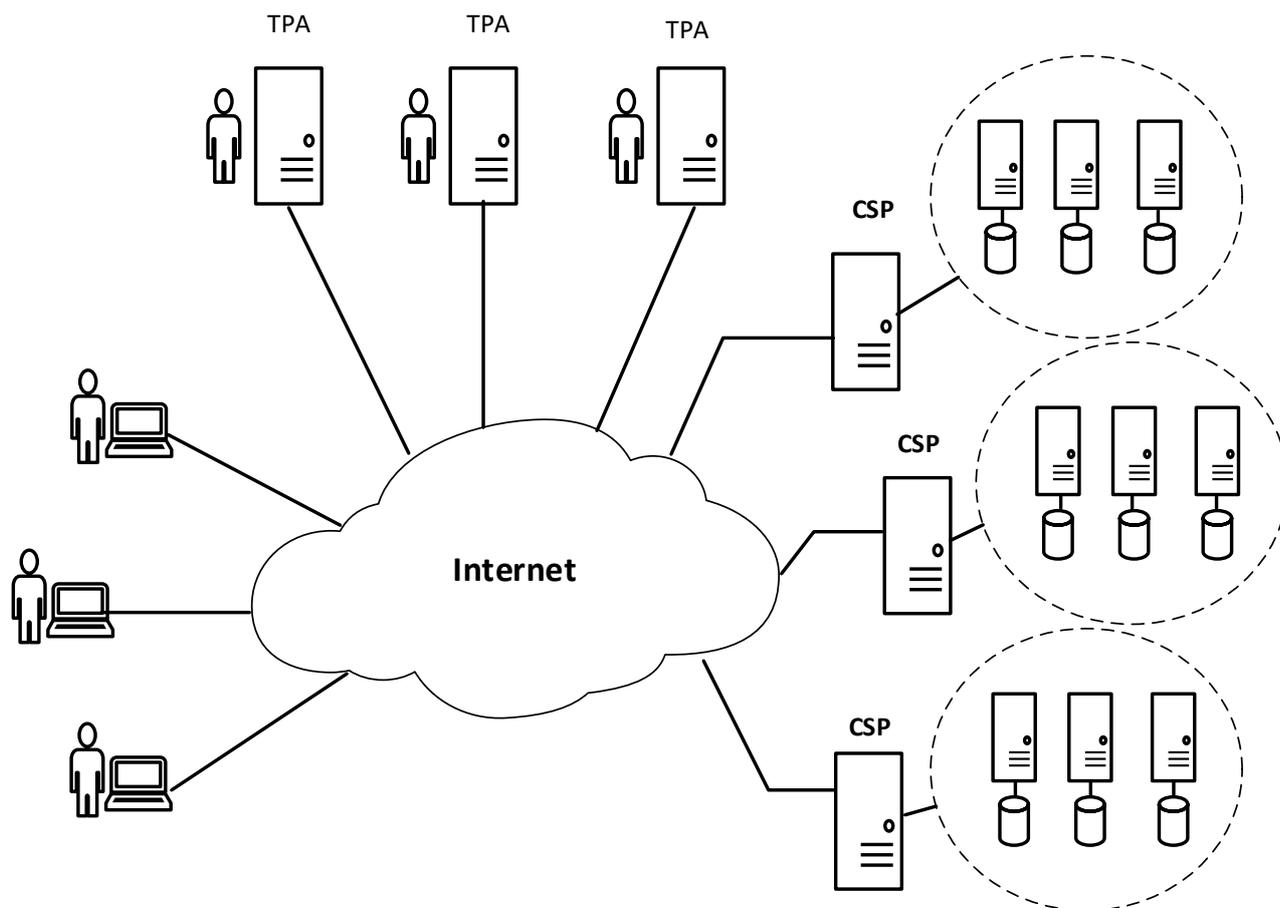


Рис. 3. Концептуальная модель облачной грид-системы CGC (Cloud Grid Computing) с несколькими сторонними аудиторами TPA (Third Party Auditors) и провайдерами облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider)

- Private Clouds (PrC) – “приватные, или частные, облака”, то есть облачная среда, реализуемая в вычислительной инфраструктуре, принадлежащей клиенту.

- Public Clouds (PubC) – общедоступная облачная среда.

- Hybrid Clouds (HC) – гибридная облачная среда, включающая как общедоступные, так и частные облачные ресурсы.

- Community Clouds (ComC) – облачная среда, коллективно используемая сообществом организаций.

- Clouds without TPA (CwoTPA) – облачная среда, предоставляющая вычислительные услуги или услуги хранения

без участия стороннего аудитора (TPA – Third Party Auditor, аудитор третьей стороны, или сторонний аудитор).

- Clouds with TPA (CwTPA) – облачная среда, предоставляющая вычислительные услуги или услуги хранения при участии стороннего аудитора TPA.

- Services – сервисы облачной среды.

- Everything as a Service (EaaS) – “всё” как сервис.

- Grid Computing as a Service (GCaaS) – грид-вычисления как сервис.

- Cluster Computing as a Service (CCaaS) – кластерные вычисления как сервис (рис. 4).

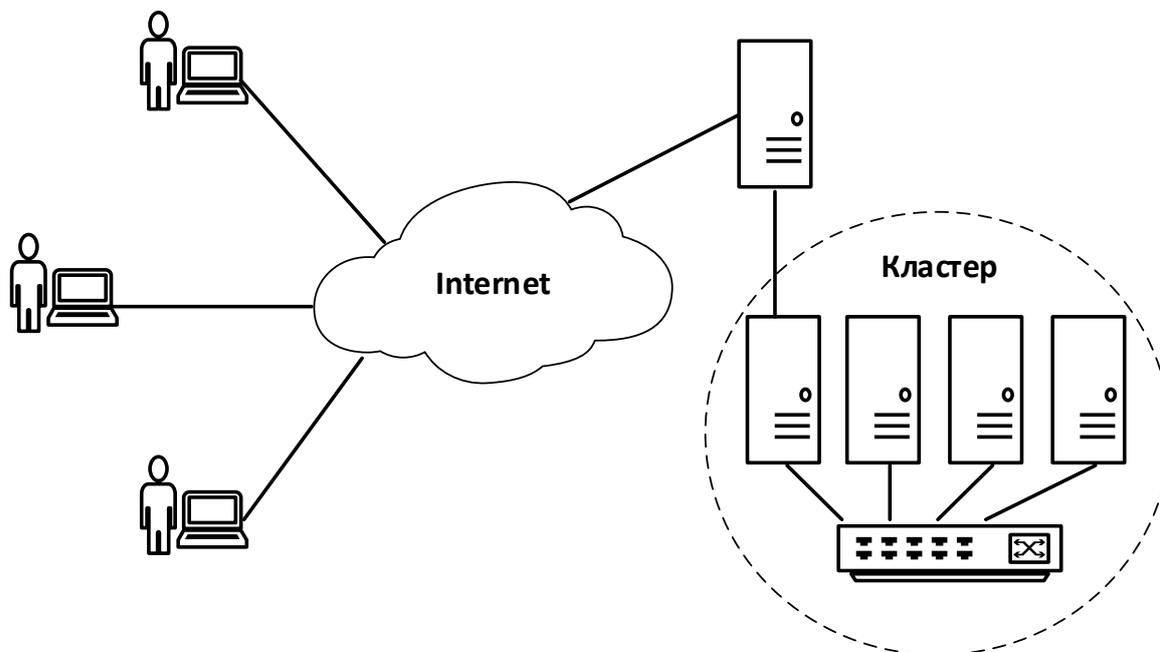


Рис. 4. Концептуальная модель CCaaS – Cluster Computing as a Service (кластерные вычисления как сервис)

- Network Computing as a Service (NCaaS) – сетевые вычисления как сервис.

- Software as a Service (SaaS) – программное обеспечение как сервис.

- Platform as a Service (PaaS) – платформа как сервис.

- Infrastructure as a Service (IaaS) – инфраструктура как сервис.

- Communications as a Service (CaaS) – коммуникации как сервис.

- Data Bases as a Service (DBaaS) – базы данных как сервис.

- Data Base Management System as a Service (DBMSaaS) – системы управления базами данных как сервис.

- Third Party Auditing as a Service (TPAaaS) – сторонний аудит как сервис;

- **Monitoring as a Service (MaaS)** – мониторинг использования облачной системы как сервис.

- **Jungle Computing (JC)** – форма организации распределенных вычислений, реализуемая в кластерных, грид и облачных средах на основе произвольной имеющейся инфраструктуры (Jungle в переводе с английского означает джунгли, джунгли) [1, 2, 5].

Как видно из анализа работ [3, 5], происхождение многих терминов обязано виртуализации процессов и ресурсов в распределенных вычислительных системах.

2. Выбор базовой концептуальной модели для организации функционирования сред, оперативно реализующих распределенные вычисления по требованию клиентов

Распределенные вычислительные системы, реализованные на базе концепции NCaaS, предоставляют клиентам сетевые вычисления как сервис. Реализациям отдельных элементов данной модели в части сохранения целостности, доступности и безопасности данных посвящены работы [13-19]. Концептуально данную модель организации распределенных вычислительных систем иллюстрирует рисунок 5. Данный рисунок из работы [19] модифицирован путем добавления физического или виртуального кластера, организуемого в грид-системе, причем концепция NCaaS расширена до концепции NCaaSSoD – сетевые вычисления как сервис, реализуемый по требованию клиента (Network Computing as a Service on Demand); основные этапы и компоненты, отмеченные на рисунке 5 кружками, имеют следующий смысл:

1 – загрузка (Upload) в облачное хранилище зашифрованных файлов;

2 – загрузка в компьютер стороннего аудитора метаданных для

верификации доступа к пользовательским файлам;

3 – запрос на верификацию доступа к файлам;

4 – вызов процедуры верификации доступа к файлам;

5 – ответ от провайдера облачных сервисов;

6 – результат верификации для клиента;

7 – скачивание (Download) зашифрованных данных из облачного хранилища;

8 – создание клиентом метаданных для верификации доступа к файлам;

9 – хранение метаданных для верификации доступа к файлам;

10 – сохранение зашифрованных файлов;

11 – метапланировщик облачных сервисов и сервисов

грид-инфраструктуры;

12 – коммутатор локальной сети грид-системы (в глобальной

сети наряду с коммутаторами используются также маршрутизаторы);

13 – хранение зашифрованных пользовательских файлов.

Концептуальная модель NCaaSSoD, представленная на рисунке 5, в целом соответствует принципам организации распределенных и параллельных сетевых вычислений в предметно-ориентированных облачных и грид-средах. Другие модификации концептуальных моделей распределенных вычислений, представленные рисунками 2, 3 и 4, также в той или иной степени соответствуют концепции сетевого компьютеринга как сервиса по требованию клиента.

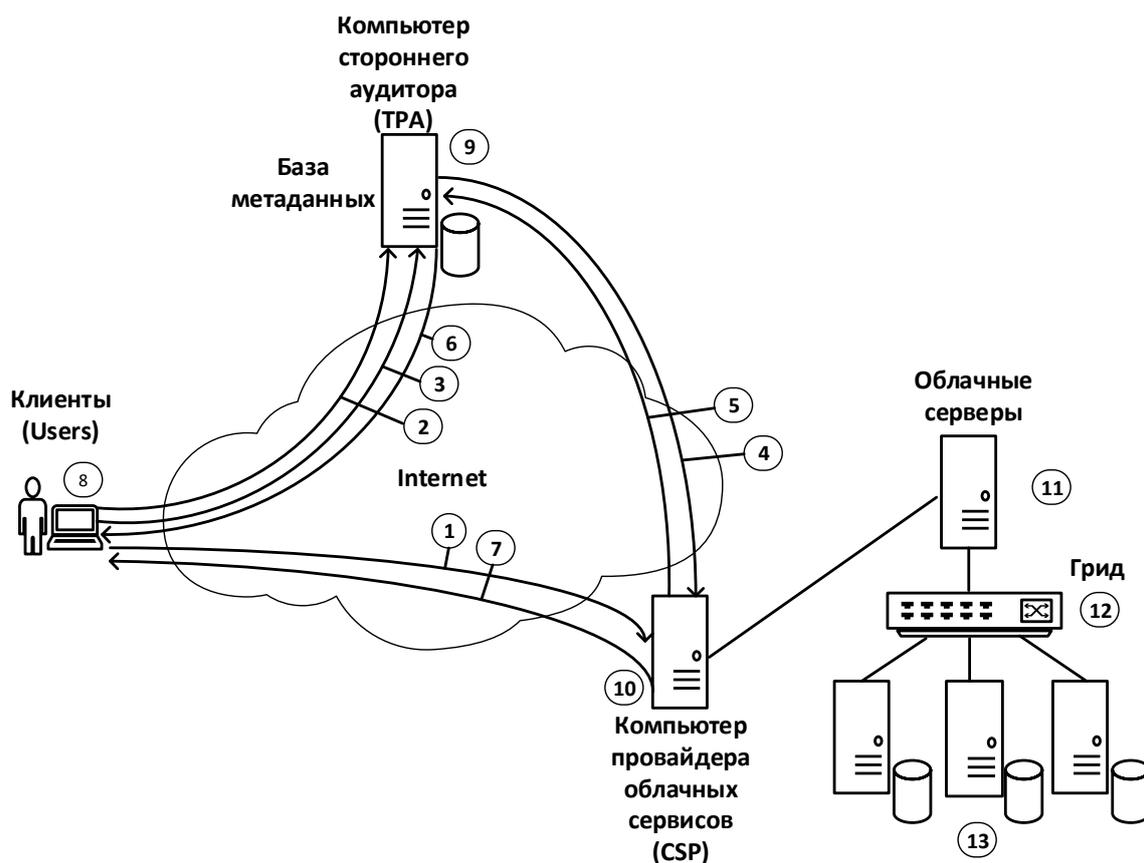


Рис. 5. Концептуальная модель сетевых вычислений как облачного сервиса, реализуемого по требованию клиента (Network Computing as a Service on Demand) [19, с изменениями]

Решения по организации доступа к метаинформации и пользовательским данным в облачных сервисах представлены в следующих работах: основные сведения о функциях стороннего аудитора TPA (Third Party Auditing) и провайдера облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider) – [19, 20]; сведения о реализации PDP-запросов (Provable Data Possession – доказательство правообладания запрошенными данными) и POR-запросов (Proof of Retrievability – доказательство восстанавливаемости запрошенных данных) на метаинформацию – [20-23].

Вопросы реализации и применения технических и программных средств, функциональность которых настраивается по требованию клиента, на содержательном уровне рассмотрены в работе [24]. В частности, в этой работе предло-

жено при реализации инфраструктуры ODDCI (On-Demand Distributed Computing Infrastructure – распределенная компьютерная инфраструктура по требованию) для распределенных вычислений использовать цифровые телевизионные сети, что позволит обеспечить высокую масштабируемость, гибкость и производительность распределенной компьютерной архитектуры, формируемой по заказу клиента.

Принципы виртуализации распределенных вычислительных систем сформулированы в работах [25-28]. В простейшем случае при виртуализации достаточно реализовать отображение множества логических узлов в сети в множество физических узлов. Коллективные и другие виды обменов информацией в распределенных вычислительных системах можно

организовать по принципам, используемым в пиринговых сетях [29-30].

На рисунке 6 приведен пример сети Петри (использованы основные сведения о сетях Петри, приведенные, например, в работе [31]), описывающей работу облачной грид-системы NCaaSOD со сторонними аудиторами ТРА и провайдерами облачных сервисов CSP, представленной на рисунке 5. На сети Петри кружками представлены позиции, представляющие очереди запросов от клиентов, а черточками – реализуемые программными компонентами активности, или переходы, продвигающие запросы к аудитору ТРА и далее к провайдеру CSP. В соответствии с этапами прохождения запроса, обозначенными на рисунке 5, сеть Петри описывает прохождение запросов четырех типов: Upload-запрос требует у провайдера облачного сервиса CSP выполнения загрузки в облачное хранилище зашифрованных файлов; Download-запрос требует у провайдера облачного сервиса CSP провести скачивание зашифрованных данных из облачного хранилища; PDP-запрос запрашивает у стороннего аудитора ТРА мета-информацию на подтверждение прав владения данными; POR-запрос запрашивает у стороннего аудитора ТРА метаинформацию о возможности извлечения и восстановления данных и предоставления их клиенту.

Отличительной особенностью предложенной модели является то, что для реализации концепции NCaaSOD до выполнения запроса типа Upload может быть запрошена метаинформация о имеющихся ресурсах в целях дальнейшего создания виртуального кластера из доступных узлов сети провайдера облачных сервисов, а до выполнения запроса типа Download запрашивается метаинформа-

ция об узлах, хранящих полученные результаты. Метаинформацию возможно получить не только от стороннего аудитора ТРА, но и от удаленного сервиса мониторинга RMS (Remote Monitoring Service).

Работа сети, представленной на рисунке 6, происходит следующим образом. Запросы, представленные метками, поступают на входную позицию Q_1 , переход L моделирует проверку аккаунтинга – Login и Password. При вводе ошибочных данных ввод следует повторить (метка поступает снова в позицию Q_1 через переход F , позицию Q_3 и переход R).

Если же данные о пользователе введены верно, то далее срабатывает переход S и метка передается в стартовую позицию *Start*. Далее, в зависимости от типа запроса – Upload, Download, PDP или POR срабатывает один из переходов S_1 , S_2 , S_3 или S_4 , и соответствующий запрос обрабатывается. Например, если это запрос типа Upload, при помощи перехода *MetaUp* моделируется обращение по сети к удаленному ресурсу ТРА. После получения ответа от данного ресурса срабатывает переход *MU* и далее аналогично моделируется обращение к удаленному ресурсу CSP. В модели, представленной на рисунке 6, условно отражены обращения к удаленным ресурсам.

3. Выбор базовой архитектуры распределенной вычислительной среды для реализации глобальных вычислений по требованию пользователя

Архитектура распределенных вычислительных систем, в том числе систем, строящихся на основе концепции «Network Computing», становится все более сложной.

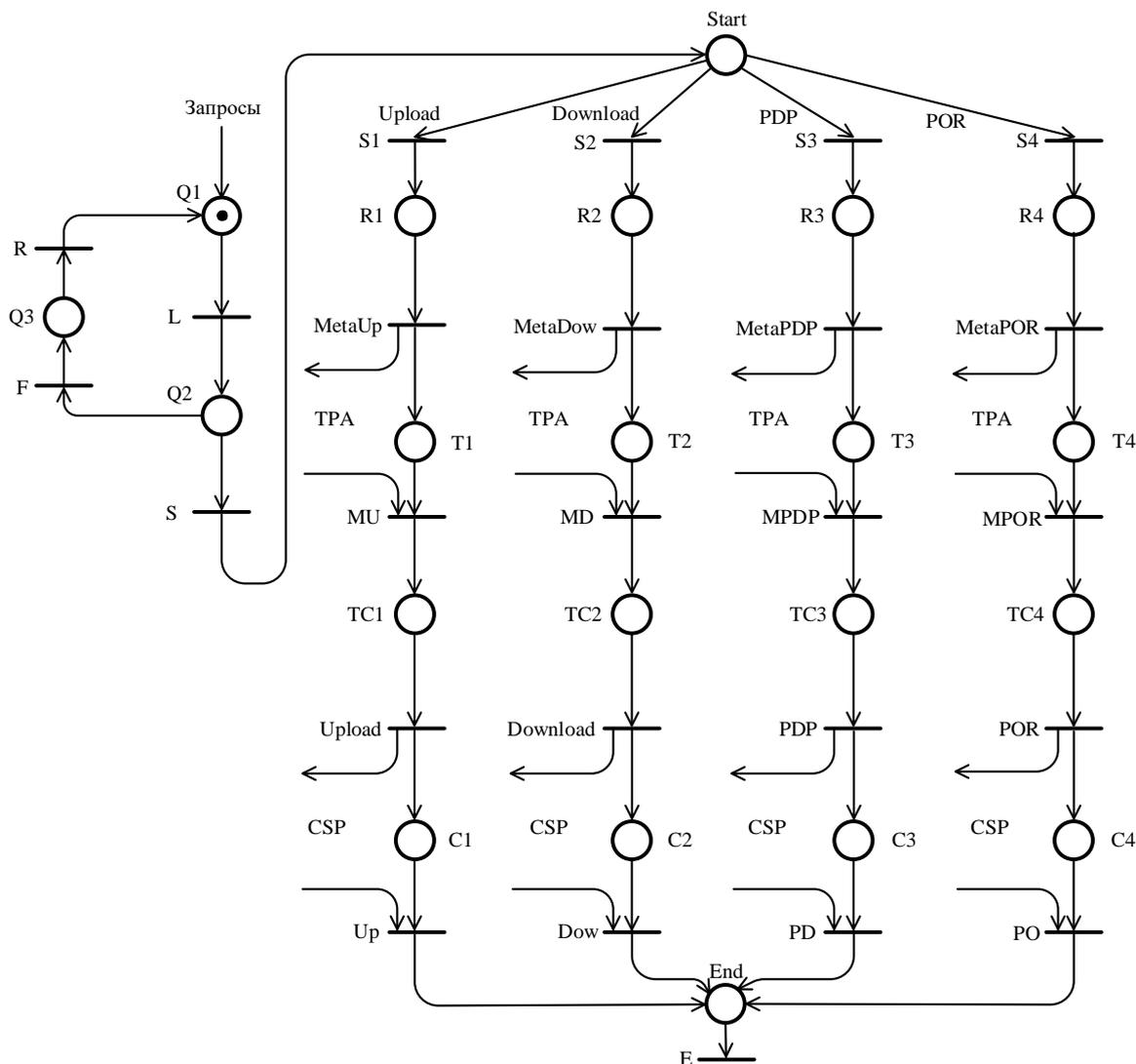


Рис. 6. Сеть Петри, описывающая работу облачной грид-системы NCaaS со сторонними аудиторами TPA (Third Party Auditors) и провайдерами облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider)

Общая системная и функциональная архитектура сложных сетевых распределенных вычислительных систем нередко является результатом интеграции нескольких технологий, например технологий локальных и глобальных сетей, беспроводных сетей, облачных и грид систем. В настоящей работе рассматривается сетевая архитектура сетевой распределенной вычислительной системы, включающей в свой состав беспроводную сеть MANET и TCP/IP сеть – фрагмент сети Internet. Сети MANET (Mobile Ad hoc NETWORKS) представляют собой беспро-

водные самоорганизующиеся сети со случайными мобильными абонентами, реализующие полностью децентрализованное управление при отсутствии базовых станций или опорных узлов [32-37]. Топология сетей MANET случайна и может быстро изменяться. Функционирование сетей MANET на уровне сетевых протоколов описано также в работах [38-39] одного из авторов настоящей работы.

На рисунке 7 представлена распределенная вычислительная система, в которой взаимодействуют две типовые распределенные облачные вычислительные

системы: MANET Cloud и Internet Cloud. Система с архитектурой NCaaSOD, реализуемая в сети Internet, представляет специфический сервис «сетевая архитектура, реализуемая как облачный сервис по тре-

бованию клиента». Здесь принято, что клиент-серверная архитектура доступа клиентов к серверам реализуется через составную TCP/IP сеть.

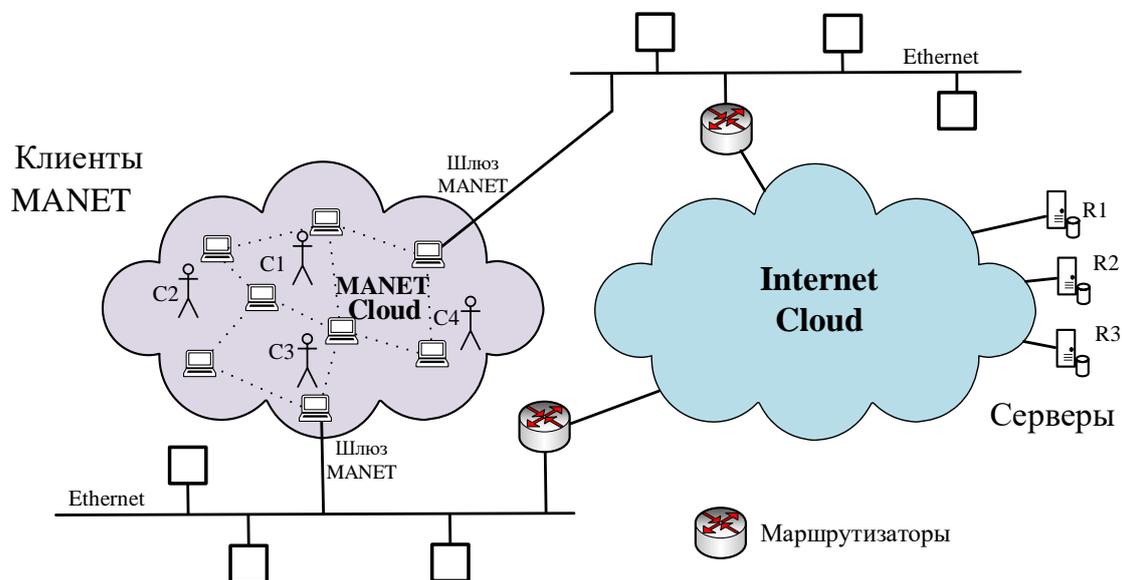


Рис. 7. Взаимодействие двух распределенных облачных вычислительных систем, реализующих архитектуру NCaaSOD

Несмотря на простоту модели, уже на концептуальном уровне проектирования распределенной вычислительной системы могут быть использованы различные схемы взаимодействий клиентов с серверами:

- схема 1: клиент обращается к определенному серверу;
- схема 2: клиент обращается к произвольному доступному серверу;
- схема 3: клиент последовательно опрашивает серверы при поиске информации и связывается с первым доступным сервером;
- схема 4: клиент осуществляет поиск информации, последовательно опрашивая серверы;
- схема 5: клиент блокирует серверы, не допуская доступа к ним других клиентов, и производит однотипные изменения в хранимых данных на всех серверах.

Возможна организация и других видов взаимодействий клиентов с серверами, при реализации которых учитываются различные критерии поиска, блокировки и разблокировки серверов.

Системы с архитектурой NCaaSOD на основе составной сети, представленной на рисунке 7, обладают высокой масштабируемостью и гибкостью, которая выражается в переменном составе инфраструктуры и в ее возможной реконфигурируемости.

Для облачно-сетевых архитектур целесообразно разработать реконфигурируемые исполнимые модели взаимодействия компонент в рамках заданной архитектуры, учитывающие сложные клиент-серверные взаимодействия, доступ к информационным ресурсам через компьютерную сеть, а также предложить методы применения таких моделей к проектиро-

ванию функциональной архитектуры распределенной вычислительной системы. Необходимо также, чтобы используемые модели относились к классу исполнимых формализованных моделей, чтобы их можно было бы непосредственно использовать при проектировании сетевого программного обеспечения. Основные предпосылки к созданию концептуально-поведенческих моделей с интерпретацией для реализации распределенных вычислительных систем в сетевой вычислительной и инфокоммуникационной среде предложены в работах [40-45].

Заключение

1. Проведена классификация распределенных вычислительных систем и вычислений. Анализ современной литературы показал, что распространение высокоскоростной широкополосной связи между компьютерами в сетях, постоянное увеличение вычислительной мощности и рост Интернета привели к изменению способов получения вычислительных и информационных услуг. Географически распределенные ресурсы, такие как устройства хранения, источники данных и суперкомпьютеры, взаимосвязаны и могут быть использованы пользователями всего мира как единый ресурс. Отмечена целесообразность использования в качестве базовых гибридных архитектур, сочетающих положительные свойства облачных, грид и кластерных распределенных вычислительных систем.

2. Функциональная архитектура для распределенной вычислительной системы, предоставляемой клиенту в виде облачного сервиса, определяется совокупностью сетевых приложений. При проектировании в рамках концепции «сеть – это компьютер» рекомендуется использо-

вать базовые облачные технологии, интегрированные с грид-технологиями.

3. При учете современной концепции предоставления вычислений как коммунальных услуг, для дальнейшего исследования может быть выбрана архитектура типа NCaaS – Network Computing as a Service On Demand (компьютерная сетевая архитектура как облачный сервис по запросу пользователя) как обеспечивающая необходимые гибкость и масштабируемость. Рассмотренная гибридная архитектура распределенной вычислительной среды для реализации глобальных вычислений, основанная на двух облачных средах – клиентской сети MANET Cloud и серверной сети Internet Cloud, отличается гибкостью в обеспечении требований клиента к переменной системной и функциональной архитектуре распределенной вычислительной системы.

4. Для дальнейшего развития предлагаемых концепций до реальной технологии целесообразно разработать методику трансформации концептуальных моделей системной и функциональной архитектуры в спецификации, пригодные для образования виртуальных топологий сетевого компьютера типа NCaaS в гибридной облачной среде.

Список литературы

1. Kahanwal B., Singh T. P. The Distributed Computing Paradigms: P2P, Grid, Cluster, Cloud, and Jungle // International Journal of Latest Research in Science and Technology. 2012, Vol. 1, is. 2, pp. 183-187.

2. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, Hen-

ri E. Bal. Department of Computer Science, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081A, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands, 2010, pp. 1-31.

3. Kumar R. Comparison between Cloud Computing, Grid Computing, Cluster Computing and Virtualization // International Journal of Modern Computer Science and Applications (IJMCSA). January, 2015. Vol. 3, No.1. Pp. 42-47.

4. Cluster computing and applications / M. Baker, A. Apon, R. Buyya, H. Jin. In A. Kent & J. Williams (Eds) // Encyclopedia of Computer Science and Technology. 2002. Pp. 87-125.

5. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, and Henri E. Bal, pp. 167-198. // In: Grids, Clouds and Virtualization / Cafaro M., Aloisa G. (Eds), Springer, 2011, XV, 235 p.

6. Mittal G., Kesswani N., Goswami K. A Survey of Current Trends in Distributed, Grid and Cloud Computing // International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering (IJASCSE). 2013. Vol. 2. No. 3. Pp. 1-6.

7. Sadashiv N., Kumar S. M. D. Cluster, Grid and Cloud Computing: A Detailed Comparison // The 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2011), August 3-5, 2011. SuperStar Virgo, Singapore, 2011. Pp. 477-482.

8. Jaiswal U. C. Study and Applications of Cluster Grid and Cloud Computing // International Journal of Engineering Research and Development. 2012. Vol. 3. No. 1. Pp. 45-50.

9. Kaur K., Rai A. K. A Comparative Analysis: Grid, Cluster and Cloud Computing // International Journal of Advanced Research in

Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 3. No. 3. Pp. 5730-5734.

10. Samah Mawia Ibrahim Omer, Amin Babiker A. Mustafa, Fatema Abdallah Elmahdi Alghali. Comparative study between Cluster, Grid, Utility, Cloud and Autonomic computing // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 2014. Vol. 9. Is. 6, Ver. III. Pp. 61-67.

11. Prathibha D. A., Latha B., Sumathi G. Issues in adapting cluster, grid and cloud computing for HPC applications // International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology. 2014. Vol. 2, no. 1. Pp. 12-16.

12. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications, series Computer Communications and Networks / B. Amedro, F. Baude, D. Caromel, C. Delbe, I. Filali, F. Huet, E. Mathias, O. Smirnov. Springer, 2010. Pp. 163-178.

13. Chourasiya N. L., Lature D., Kumavat A., Kalaskar V., Thaware S. Privacy-Preserving Public Auditing for Secure Cloud Storage // International Journal of Engineering Research and General Science (IJERGS). 2015. Vol. 3, no. 2. Pp. 744-748.

14. Kumarga N. P., Sireesha D. Ensuring Data Integrity in Cloud Computing // International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). 2014. Vol. 14, no. 9. Pp. 34-38.

15. Wasnik N. P., Bartere M. M. Privacy Preserving Auditing For Cloud Storage // International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. Vol. 4, no. 5. Pp. 2557-2560.

16. Bhagyashri S., Gurav Y. B. Privacy-Preserving Public Auditing For Secure Cloud Storage // IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE). Jul – Aug. 2014. Vol. 16, no. 4. Ver. III. Pp. 33-38.

17. Sowparnika M., Dheenadayalu R. Improving data integrity on cloud storage

services // *International Journal of Engineering Science Invention*. 2013. Vol. 2, no.2. Pp. 49-55.

18. Kshirsagar V. M., Gulhane V. S. A Review on Third Party Auditing by using KERBEROS System for Secure Cloud Storage // *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IAIEM)*. 2014. Vol. 3, no. 3. Pp. 426-432.

19. Maher Alharby. Third-Party based Data Auditing Service (TP-DAS). University of Manchester. School of Computer Science, 2015. Pp. 1-88.

20. Kumar B. S., Rani V. U., Mustafa Saad. Public Integrity Auditing for Dynamic Data Sharing With Multiuser Modification // *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2017. Vol. 5, no. 6. Pp. 856–859.

21. Provable data possession at untrusted stores / Ateniese G., Burns R., Curtmola R., Herring J., Kissner L., Peterson Z., Song D. // *Proc. of CCS'07*. New York, NY, USA: ACM, 2007. Pp. 598–609.

22. Juels A., Kaliski D. S. Pors: proofs of retrievability for large files // *Proc. of CCS'07*. New York, NY, USA: ACM, 2007. Pp. 584–597.

23. Bowers K. D., Juels A., Oprea A. Proofs of retrievability: Theory and implementation // *Cryptology ePrint Archive*, Report 2008/175, 2008. 24 p.

24. OddCI: On-Demand Distributed Computing Infrastructure / Costa R., Brasileiro F., Filho G. L., Sousa D. M. // *Proceedings of the 2nd Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (MTAGS'09)*, November 16th, 2009, Portland, Oregon, USA, Association for Computing Machinery, 2009. Pp. 1-10.

25. Distributed Virtual Machines: A System Architecture for Network Computing // Sireer E. G., Grimm R., Gregory A. J.,

Anderson N., Bershad B. N. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cs.cornell.edu/people/egs/papers/kimera-tr98-09-01.pdf>. (Дата доступа 10.05.2018).

26. Kaur P., Rani R. Distributed and Cloud Computing Architecture // *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*. 2017. Vol. 3. Is. 2. Pp. 1119-1123.

27. Hybrid MPI and OpenMP Parallel Programming / Rabenseifner R., Hager G., Jost G., Keller R. // In: Mohr B., Träff J. L., Worringer J., Dongarra J. (Eds). *Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface*. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006. Pp. 11-11.

28. Venkata M. G. , Bridges P. G. MPI/CTP: A Reconfigurable MPI for HPC Applications // Mohr B., Träff J. L., Worringer J., Dongarra J. (Eds). *Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface*. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006. Pp. 96-104.

29. Chen Rui, Meng Xiao-jing. Modeling of UDP Hole Punching in P2P Network Using Petri Net // *International Proceedings of Economics Development and Research*. 2012. Vol. 49. Pp. 150-154.

30. Park H., Ratzin R. I., Schaar M. Peer-to-Peer Networks: Protocols, Cooperation and Competition // *Source Title: Streaming Media Architectures, Techniques, and Applications: Recent Advances*. 2011. 33 p.

31. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications // *Proceedings of the IEEE*. April 1989. Vol. 77, no. 4. Pp. 541-580.

32. *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing* / Edited by Ivan

Stojmenovic. John Wiley & Sons, Inc., 2002. 630 p.

33. Chiu-Ching Tuan, Yi-Chao Wu. Grid Header Election by Predetermining in Mobile Ad-Hoc Networks // Journal of Applied Science and Engineering. 2012. Vol. 15, no. 1. Pp. 69-78.

34. Imran Ihsan, Muhammad Abdul Qadir, Nadeem Iftikhar. Mobile Ad-Hoc Service Grid – MASGRID // International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering. 2007. Vol. 1, no. 5. Pp. 778-781.

35. Bhaskaran R., Madheswaran M. Performance Analysis of Congestion Control in Mobile Ad-hoc Grid Layer // International Journal of Computer Applications. February, 2010. Vol. 1, no. 20. Pp. 102-110.

36. Li J., Khan S., Li Q. An efficient event delivery scheme in mobile ad hoc communities // Int. J. Communication Networks and Distributed Systems. 2013. Vol. 10, no. 1. Pp.25–39.

37. An Approach to Ad hoc Cloud Computing / Kirby G., Dearle A., Macdonald A., Fernandes A. // Distributed, Parallel, and Cluster Computing. 2010. Pp. 1-6.

38. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. ACK Based Scheme for Performance Improvement of Ad-hoc Network // International Journal of Advances in Engineering & Technology, (IJAET). May 2012. Vol. 3. Is. 2.

39. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. Design and Development of ACK-Based Scheme Using FSA for Ad-hoc Networks // International Journal of Modern Engineering Research, (IJMER). Mar-Apr 2012. Vol. 2. Is. 2. Pp. 102-106.

40. Mustafa Sadeq Jaafar. New trends in cloud computing / Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin // Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology “New Information Technologies

and Systems”, Penza, Penza State University, Russia, 2016, pp. 96-103.

41. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. Dynamically changeable formal models for networking and computing // Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems”, Penza, Penza State University, Russia, 2016. Pp. 87-94.

42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. Reconfigurable network models for distributed computing systems // Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017). Penza, Russia, November 22-24, 2017. Pp. 92-104.

42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. The Implementation of Global Computing Through the Mapping of Object-Oriented Petri Nets into the Architecture of Distributed Computing Systems // Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017). Penza, Russia, November 22-24, 2017. P. 105-116.

43. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing. D. V. Pashchenko, Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin, D. A. Trokoz, T. U. Pashchenko and M. P. Sinev // Proceedings of the 4th International Conference on Science & Engineering in Mathematics, Chemistry and Physics (SciTech 2016) Bandung, Indonesia, April 23-24, 2016. / In Journal of Physics: Conference Series 710 (2016) 012024 doi:10.1088/1742-6596/710/1/012024, ScieTech 2016, IOP Publishing, pp. 1-12.

44. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. The Auditing Based on the Public Variability, the Cloud’s Data Dy-

namics and Discrete-Event Simulation of a Distributed Resource in Computer Network // Academic Forum EMC-2015. Scientific

Publication. Taganrog: Publishing House of SFU, 2015. 116 p, Pp. 49-60.

Поступила в редакцию 08.06.18

UDC 004.832.32

S.A. Zinkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University (Penza, Russia) (e-mail: zsa49@yandex.ru)

Mustafa Sadeq Jaafar, Post-Graduate Student, Penza State University (Penza, Russia) (e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION INFRASTRUCTURE OF DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS BASED ON THE CONCEPT "THE NETWORK IS THE COMPUTER"

The concept "network is a computer" that has been further developed in the form of a paradigm of cloud applications that have the properties of "multi-lease" and "live" database migration is considered. Of particular interest in this regard is the development of a middleware for large reconfigurable clustered server systems as part of the support of the "big data" concept. Therefore, an approach is being developed to design a reconfigurable and parametrically tuned system and functional architecture of distributed computing systems. In some cases, the implementation of this approach can provide increased efficiency and cost reduction of large software and hardware systems. The article categorizes distributed computing systems when taking into account the specifics of cloud, grid, cluster and other types of communal, parallel and distributed computations. It is recommended to use as a basis hybrid architectures that combine the positive properties of cloud, grid and cluster distributed computing systems. The concept of organization of distributed network computing as services, implemented at the client's request, is developed. A network model that describes the work of a hybrid cloud grid system with third-party auditors and cloud service providers, is proposed. A distinctive feature of the proposed model is that when implementing as a concept NCaaS (network architecture as a service on the user's request) before the execution of a request, such as Upload (uploading data to the cloud), meta-information about available resources in order to further create a virtual cluster from the available nodes of the network of the cloud service provider, and before requesting the download type request (request information from the cloud), information is requested about the nodes that store the results. Meta-information can be obtained not only from a third-party auditor, but also from a remote monitoring service. To further develop the proposed concepts to real technology, it is advisable to develop a methodology for transforming conceptual models of the system and functional architecture into specifications suitable for the formation of virtual topologies of a network computer such as NCaaS in a hybrid cloud environment.

Key words: distributed computing and systems; classification; conceptual models; cloud and grid systems; hybrid architectures; network model.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-75-93

For citation: Zinkin S.A., Mustafa Sadeq Jaafar. Development of Information and Communication Infrastructure of Distributed Computing Systems Based on the Concept "The Network is the Computer". Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 75-93 (in Russ.).

Reference

1. Kahanwal B., Singh T. P. The Distributed Computing Paradigms: P2P, Grid, Cluster, Cloud, and Jungle. International Journal of Latest Research in Science and Technology, 2012, vol. 1, is. 2, pp. 183-187.

2. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo

Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, Henri E. Bal. Department of Computer Science, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081A, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands, 2010, pp. 1-31.

3. Kumar R. Comparison between Cloud Computing, Grid Computing, Cluster Computing and Virtualization. *International Journal of Modern Computer Science and Applications (IJMCSA)*. January, 2015, vol. 3, no.1, pp. 42-47.

4. Cluster computing and applications / M. Baker, A. Apon, R. Buyya, H. Jin. In A. Kent & J. Williams (Eds). *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, 2002, pp. 87-125.

5. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, and Henri E. Bal, pp. 167-198. In: *Grids, Clouds and Virtualization* / Cafaro M., Aloisa G. (Eds), Springer, 2011, XV, 235 p.

6. Mittal G., Kesswani N., Goswami K. A Survey of Current Trends in Distributed, Grid and Cloud Computing. *International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering (IJASCSE)*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 1-6.

7. Sadashiv N., Kumar S. M. D. Cluster, Grid and Cloud Computing: A Detailed Comparison. *The 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2011)*, August 3-5, 2011. SuperStar Virgo, Singapore, 2011, pp. 477-482.

8. Jaiswal U. C. Study and Applications of Cluster Grid and Cloud Computing. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 45-50.

9. Kaur K., Rai A. K. A Comparative Analysis: Grid, Cluster and Cloud Computing. *International Journal of Advanced Re-*

search in Computer and Communication Engineering, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 5730-5734.

10. Samah Mawia Ibrahim Omer, Amin Babiker A. Mustafa, Fatema Abdallah Elmahdi Alghali. Comparative study between Cluster, Grid, Utility, Cloud and Autonomic computing. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 2014, vol. 9, is. 6, ver. III, pp. 61-67.

11. Prathibha D. A., Latha B., Sumathi G. Issues in adapting cluster, grid and cloud computing for HPC applications. *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 12-16.

12. Amedro B., Baude F., Caromel D., Delbe C., Filali I., Huet F., Mathias E., Smirnov O. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications, series Computer Communications and Networks. Springer, 2010, pp. 163-178.

13. Chourasiya N. L., Lature D., Kumavat A., Kalaskar V., Thaware S. Privacy-Preserving Public Auditing for Secure Cloud Storage. *International Journal of Engineering Research and General Science (IJERGS)*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 744-748.

14. Kumarga N. P., Sireesha D. Ensuring Data Integrity in Cloud Computing. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 2014, vol. 14, no. 9, pp. 34-38.

15. Wasnik N. P., Bartere M. M. Privacy Preserving Auditing For Cloud Storage. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2015, vol. 4, no. 5, pp. 2557-2560.

16. Bhagyashri S., Gurav Y. B. Privacy-Preserving Public Auditing For Secure Cloud Storage. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, Jul – Aug. 2014, vol. 16, no. 4, ver. III, pp. 33-38.

17. Sowparnika M., Dheenadayalu R. Improving data integrity on cloud storage services.

International Journal of Engineering Science Invention, 2013, vol. 2, no.2, pp. 49-55.

18. Kshirsagar V. M., Gulhane V. S. A Review on Third Party Auditing by using KERBEROS System for Secure Cloud Storage. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM), 2014, vol. 3, no. 3, pp. 426-432.

19. Maher Alharby. Third-Party based Data Auditing Service (TP-DAS). University of Manchester. School of Computer Science, 2015, pp. 1-88.

20. Kumar B. S., Rani V. U., Mustafa Saad. Public Integrity Auditing for Dynamic Data Sharing With Multiuser Modification. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 856-859.

21. Ateniese G., Burns R., Curtmola R., Herring J., Kissner L., Peterson Z., Song D. Provable data possession at untrusted stores. Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 598-609.

22. Juels A., Kaliski D. S. Pors: proofs of retrievability for large files. Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 584-597.

23. Bowers K. D., Juels A., Oprea A. Proofs of retrievability: Theory and implementation. Cryptology ePrint Archive, Report 2008/175, 2008. 24 p.

24. Costa R., Bra-sileiro F., Filho G. L., Sousa D. M. OddCI: On-Demand Distributed Computing Infrastructure. Proceedings of the 2nd Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (MTAGS'09), November 16th, 2009, Portland, Oregon, USA, Association for Computing Machinery, 2009, pp. 1-10.

25. Sireer E. G., Grimm R., Gregory A. J., Anderson N., Bershad B. N. Distributed Virtual Machines: A System Architecture for Network Computing. URL: <http://www.cs.cornell.edu/people/egs/papers/kimera-tr98-09-01.pdf>. (Data dostupa 10.05.2018).

26. Kaur P., Rani R. Distributed and Cloud Computing Architecture. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2017, vol. 3, is. 2, pp. 1119-1123.

27. Rabenseifner R., Hager G., Jost G., Keller R. In: Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Hybrid MPI and OpenMP Parallel Programming. Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 11-11.

28. Venkata M. G. , Bridges P. G. MPI/CTP: A Reconfigurable MPI for HPC Applications. In: Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 96-104.

29. Chen Rui, Meng Xiao-jing. Modeling of UDP Hole Punching in P2P Network Using Petri Net. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 2012, vol. 49, pp. 150-154.

30. Park H., Ratzin R. I., Schaar M. Peer-to-Peer Networks: Protocols, Cooperation and Competition. Source Title: Streaming Media Architectures, Techniques, and Applications: Recent Advances, 2011. 33 p.

31. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*. April 1989, vol. 77, no. 4, pp. 541-580.

32. Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing, ed. by Ivan Stojmenovic. John Wiley & Sons, Inc., 2002, 630 p.

33. Chiu-Ching Tuan, Yi-Chao Wu. Grid Header Election by Predetermining in Mobile Ad-Hoc Networks. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 69-78.

34. Imran Ihsan, Muhammad Abdul Qadir, Nadeem Iftikhar. Mobile Ad-Hoc Service Grid – MASGRID. *International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering*, 2007, vol. 1, no. 5, pp. 778-781.
35. Bhaskaran R., Madheswaran M. Performance Analysis of Congestion Control in Mobile Ad-hoc Grid Layer. *International Journal of Computer Applications*. 2010, vol. 1, no. 20, February, pp. 102-110.
36. Li J., Khan S., Li Q. An efficient event delivery scheme in mobile ad hoc communities. *Int. J. Communication Networks and Distributed Systems*, 2013, vol. 10, no. 1, pp.25–39.
37. Kirby G., Dearle A., Macdonald A., Fernandes A. An Approach to Ad hoc Cloud Computing. Distributed, Parallel, and Cluster Computing, 2010, pp. 1-6.
38. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. ACK Based Scheme for Performance Improvement of Ad-hoc Network. *International Journal of Advances in Engineering & Technology, (IJAET)*, May 2012, vol. 3, is. 2.
39. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. Design and Development of ACK-Based Scheme Using FSA for Ad-hoc Networks. *International Journal of Modern Engineering Research, (IJMER)*, Mar-Apr 2012, vol. 2, is. 2, pp. 102-106.
40. Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin Mustafa Sadeq Jaafar. New trends in cloud computing. *Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology. New Information Technologies and Systems*, Penza, 2016, pp. 96-103.
41. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. Dynamically changeable formal models for networking and computing. *Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems”*. Penza, 2016, pp. 87-94.
42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. Reconfigurable network models for distributed computing systems. *Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017)*. Penza, 2017, pp. 92-104.
42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. The Implementation of Global Computing Through the Mapping of Object-Oriented Petri Nets into the Architecture of Distributed Computing Systems. *Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017)*. Penza, 2017, pp. 105-116.
43. Pashchenko D. V., Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Trokoz D. A., Pashchenko T. U., Sinev M. P. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing. *Proceedings of the 4th International Conference on Science & Engineering in Mathematics, Chemistry and Physics (SciTech 2016)* Bandung, Indonesia, April 23-24, 2016. / In *Journal of Physics: Conference Series* 710 (2016) 012024 doi:10.1088/1742-6596/710/1/012024, Sci-eTech 2016, IOP Publishing, pp. 1-12.
44. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. The Auditing Based on the Public Variability, the Cloud’s Data Dynamics and Discrete-Event Simulation of a Distributed Resource in Computer Network. *Academic Forum EMC-2015. Scientific Publication*. Taganrog, 2015, pp. 49-60.