

Универсальное алгоритмическое пространство распределённых и параллельных вычислений

Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. Предложен подход к исследованию и решению общесистемных проблем глобальной информационной связности, которые возникают из-за разнородности глобальной компьютерной среды (ГКС). Выделены и анализируются компьютерные аспекты проблем устойчивого развития социосистем. Рассмотрено влияние комбинаторной сложности функциональной интеграции разнородных ресурсов ГКС на создание больших распределённых социотехнических систем. Показан путь к снятию барьеров сложности интеграции за счёт устранения общих причин разнородности, а также к бесшовному распространению свойства универсальной программируемости на сколь угодно большие сети. Изложены принципы формирования универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений в ГКС на основе предлагаемой авторами компьютерной элементной базы с новой архитектурой.

Ключевые слова: глобальная компьютерная среда, информационная связность, разнородность, интеграция, распределённые и параллельные вычисления, универсальное алгоритмическое пространство, бесшовное программирование, компьютерная элементная база.

DOI 10.14357/20718632180207

Введение

Глобальная компьютерная среда (ГКС) представляет собой многие миллиарды связанных сетями компьютерных устройств разных классов – от массовых (встраиваемых в мобильные объекты в целях управления, носимых средств мобильной связи и ПК) до суперкомпьютеров. Компьютерные узлы сетей оснащаются растущим разнообразием интеллектуальных датчиков, встраиваются в разнообразные механизмы, предметы массового пользования. Глобальные сети связывают средства и системы жизнеобеспечения, различные производственные комплексы и процессы – экономические, энергетические, транспортные, робототехнические и др.

ГКС стала носителем исторически беспрецедентного феномена глобальной информационной связности¹, который можно выразить формулой "Всё влияет на всё и сразу". Вовлекая в глобальное информационное пространство миллиарды субъектов/объектов, ГКС стихийно реализует между ними интенсивные интернет-коммуникации. Социальные сети порождают новые массовые, в том числе манипулируемые, формы и способы социальной самоорганизации. В условиях связности глобальные стихийно протекающие процессы

¹ Термин "связность" вводится для обозначения характеристического свойства новейшего феномена глобального влияния в целях дальнейшего его всестороннего научного анализа.

трудно прогнозируемой эволюции форм и способов социальной самоорганизации охватывают практически все сферы жизнедеятельности – от обиходных коммуникаций до глобальных бизнес-процессов функционирования производственных и распределительных сфер мировой экономики.

ГКС становится "вездесущей" сильносвязанной средой с функциями универсальной информационно-управляющей инфраструктуры [1] для воплощения во всех сферах жизнедеятельности распределённых социотехнических систем и управления ими [2]. Мир разрозненных вещей и слабосвязанных субъектов спонтанным образом и с трудно предсказуемыми последствиями трансформируется в глобально сильносвязанную киберсистему [1].

Дальнейшее развитие функционала ГКС во многом связывается с развитием технологий "Интернета вещей" (Internet of Things) и "Интернета. Всего" (Internet of Everything), а также зарождением и быстрым прогрессом цифровой экономики (ЦЭ), в которой осуществление бизнес-процессов в растущих пропорциях возлагается на компьютерно-сетевые технологии обработки глобально-распределённой информации в ГКС.

По данным [3] доля ЦЭ в ВВП России в 2016 г. составила 2% (1,7 трлн. руб.), что на 10% выше значения 2015г. Среднегодовой долларовой рост в 2010–2016 гг. составил 4,8%, что ниже темпов роста ЦЭ в странах-лидерах (Скандинавия – 6–7%, США и Великобритания – 8–9%), и значительно ниже, чем в Китае (более 20%). Предполагается, что в РФ развитие ЦЭ в основных отраслях к 2021 году позволит создавать добавленную стоимость 5–7 трлн. руб. в год, что сопоставимо с общими доходами российского бюджета от нефтегазового сектора в 2014 году (7,4 трлн. руб.).

Практические примеры осуществления распределённых социотехнических систем ЦЭ появляются с возникновением и становлением многочисленных сфер шеринговой экономики. К ним относятся бизнесы с управлением транспортом посредством прямого информационного взаимодействия клиентов и водителей (Uber-системы), системы автоматического (без посредников) взаимодействия "спрос-предложение" в сферах аренды недвижимости, использования "на про-

кат" разнообразных вещей и предметов и многое другое. Инструментарий, используемый во многих применениях, основывается на мобильных компьютерных устройствах (на стороне клиентов), входящих в глобальные сети, а также сетевых серверных и облачных технологиях (на стороне, предоставляющей услуги).

К магистральным тенденциям развития систем ЦЭ можно отнести новейшие элементы банковских технологий, такие как блокчейн [4] – цепочки блоков транзакций. Они формируются в ресурсах ГКС в виде децентрализованных (по способу хранения информации) баз данных, в которых информация распределена по многим компьютерам, с обеспечением высоких уровней надёжности как защищённого хранения, так и транзакций.

Перечисленные примеры направлений определяют не столько стратегию развития ГКС, сколько практику весьма ограниченных возможностей существующих компьютерно-сетевых технологий (в плане системной и функциональной интеграции сетевых ресурсов).

1. О путях качественного развития глобальной компьютерной среды

В настоящее время в рамках сетевых архитектур "Клиент-Сервер" для отдельных классов узкопрофильных комплексов задач (в том числе приведённых выше) при создании распределённых социотехнических систем для предоставления развитых алгоритмических сервисов в части хранения и переработки больших данных используются технологии Cloud- и Fog Computing [5]. Их недостатки – высокая системная сложность центральной (серверной) части накопления и переработки информации, которая требует больших затрат на создание, сопровождение и развитие, а также наличие верхнего предела пропускной способности в части приёма и переработки потенциально неограниченных потоков информации клиентских запросов.

В общем случае это означает, что из-за роста интенсивности обмена потоками данных между узлами ГКС текущее состояние глобально распределённых социотехнических систем, определяемое значением распределённой памяти всех их компьютеров, становится практически

недоступным для переработки в реальном времени в целях управления.

Наряду с технологиями централизованного предоставления алгоритмических сервисов в режимах отдалённого доступа в ГКС используются и децентрализованные одноранговые сети Peer-to-Peer (P2P) [6]. В их основу положено максимальное использование функциональных и вычислительных возможностей каждого узла и сетевых коммуникаций. Это позволяет с высокими уровнями параллелизма и надёжности осуществлять распределённую передачу, хранение и обработку информации одновременно во всех вовлекаемых компьютерных узлах.

В сетевых архитектурах P2P объёмы хранимой информации, а также коммуникационные и вычислительные нагрузки, относительно равномерно распределяются по узлам, поэтому отсутствуют перегруженные центры. При этом суммарная пропускная способность в части передачи и переработки информации растёт с увеличением числа вовлекаемых узлов и размеров распределённых систем.

Децентрализованные архитектуры P2P при определённых, пока не осуществлённых условиях, в отличие от других сетевых архитектур имеют принципиальную возможность охвата совокупных ресурсов ГКС. Однако для этого для одноранговых сетей необходима общая модель универсально-программируемой распределённых вычислений в ГКС. На практике в отсутствие такой модели сетевые архитектуры P2P реализуют в виде разнородных узкопрофильных систем с ограниченными функциональными возможностями. Например – многочисленные системы обмена файлами и сообщениями, платежей, майнинг криптовалют, технологии блокчейнов и др.

Во всех приведённых примерах в разных сетевых архитектурах для управления социотехническими системами задействуется лишь незначительная доля совокупного вычислительного потенциала миллиардов компьютерных узлов ГКС. Причина в том, что узкопрофильные распределённые архитектуры не в состоянии полномасштабно раскрывать системообразующий потенциал совокупных ресурсов ГКС [1, 7, 8]. Поэтому быстрорастущий вы-

числительный потенциал ГКС, несмотря на её "всеохватность", не используется в должной мере для решения проблем устойчивого развития социумов в условиях глобальной информационной сильносвязности.

С увеличением размеров и масштабов использования ГКС в силу её крайне разнородности происходит опережающий рост неконтролируемой системной сложности, утрата контроля над обеспечением кибербезопасности [8], а также неуправляемый лавинный рост слабо формализованной информации, непригодной для глубокой алгоритмической переработки в целях устойчивого развития. Всё это свидетельствует о *глубинном общесистемном кризисе развития ГКС*.

Для решения всё более масштабных проблем устойчивого развития социумов в условиях стихийного роста глобальной информационной сильносвязности требуется трансформация ГКС в качественно новый – системно-целостный – инструмент универсально программируемого управления социальными, экономическими и техногенными процессами.

Переход от стихийного роста ГКС к её упорядоченному и контролируемому развитию в целях дальнейшего прогресса сетевых систем управления социотехническими системами требует новых принципов, общих методов и инструментария.

Первоочередные проблемы фундаментального характера на путях к полномасштабному раскрытию практически неограниченного системообразующего потенциала совокупных ресурсов ГКС состоят в следующем:

- выявление и устранение первопричин непрерывного воспроизводства разнородности аппаратных, программных и информационных ресурсов ГКС, которая с увеличением количества задействованных компьютеров в распределённых системах ведёт к комбинаторному росту сложности и себестоимости их системной и функциональной интеграции;
- бесшовное распространение свойства универсальной программируемости с внутрикомпьютерных ресурсов на сколь угодно большие сети;
- переход к универсально программируемым одноранговым сетевым архитектурам P2P,

которые потенциально способны охватить совокупные ресурсы ГКС.

2. Компьютерные проблемы глобальной информационной связности

На первых этапах своего становления ГКС стала носителем всемирного информационного пространства, воплотившего феномен [1, 8] глобальной информационной связности. Впервые это новейшее и потому малоизученное наукой внутрисистемное качество ГКС сформировалось в ходе её стихийного роста и развития в сетевой архитектуре WWW на основе гипертекста – простейшей модели глобализации информационного пространства с ограниченным функционалом. Из трёх фундаментальных видов действий с информацией – хранение, передача и преобразование – в ней осуществлена сильно-связная глобализация лишь первых двух.

Стихийное расширение крайне разнородной ГКС в отсутствие общей модели универсально программируемой переработки глобально распределённой информации сопровождается нарастанием её внутренних дисбалансов. Реализация гипертекстовой модели в ГКС обеспечила глобализацию хранения и передачи информации с ориентацией на производство, переработку и потребление информации человеком. Рост масштабов использования ГКС максимально активировал социумы в части производства быстро растущих потоков крайне разнородной информации, ориентированной на неформальное восприятие человеком. Социальная среда посредством ГКС стала производить экспоненциально растущие потоки слабо формализованной информации. Эти потоки на многие порядки превышают биологически и социально ограниченную пропускную способность человеческой среды в части их полномасштабной переработки. Они не могут циркулировать в распределённых социотехнических системах с полным циклом сбора, накопления и алгоритмической переработки распределённой информации в компьютерной среде в целях управления устойчивым развитием социумов.

В результате темпы роста потоков и объёмов информации на порядки превышает существующие

в ГКС системно-функциональные возможности её алгоритмической переработки в целях управления устойчивым развитием социосистем. При этом быстро растущий совокупный вычислительный потенциал универсальных компьютеров всех узлов ГКС для их алгоритмической переработки остаётся невосполнимым.

Наглядным результатом несбалансированного развития ГКС является кризис перепроизводства информации. Своевременно не переработанные сверхпотоки информации оборачиваются нарастающим снижением устойчивости мировой социосистемы.

В настоящее время влияние феномена глобальной информационной связности выросло настолько, что функционирование и прогресс мировой социосистемы уже напрямую зависит от системных свойств ГКС и закономерностей её развития.

Для устранения внутренних дисбалансов развития ГКС и выхода из кризиса перепроизводства информации на смену функционально ограниченной гипертекстовой модели должна прийти общая модель универсально программируемых распределённых вычислений в сколь угодно больших сетях [1, 7]. На основе такой модели станет возможным переход к новым компьютерно-сетевым архитектурам, необходимым для формирования в ГКС универсального и кибербезопасного алгоритмического пространства, в котором свойство универсальной программируемости бесшовно распространяется на совокупные ресурсы ГКС [7, 8]. Такие решения откроют возможности минимизации издержек создания, эксплуатации и развития сколь угодно больших сильно-связных социотехнических систем.

Изучение и совершенствование общесистемных свойств и фундаментальных закономерностей развития ГКС, а также форм её взаимодействия с социальной средой становится важной задачей для науки в целом. Неуправляемый рост ГКС с её внутренними дисбалансами и глобально проявляемыми противоречиями, до сих пор определяющийся стихией рыночной конъюнктуры, приближается к тем критическим уровням, когда спонтанное развитие сверхбольших сильно-связных систем начинает

подчиняться своим, пока ещё не выявленным, закономерностям влияния больших чисел, которые приносят статистический детерминизм в их функционирование и развитие.

Принципы формирования общего подхода к рассмотрению ГКС как целостного кибернетического объекта и универсальной управляющей инфраструктуры предложены в [1]. Развитием этого подхода стала концепция единого алгоритмического пространства распределённых вычислений и сетевидного управления [7], а также исследования, в которых с общих позиций рассматриваются проблемы развития ГКС и создания распределённых систем в скользящих больших сетях [8].

3. Социальные проблемы глобальной информационной связности

Влияние ГКС на социумы весьма неоднозначно. На фоне резкого повышения их информационной активности, формирования и сверхбыстрого развития новых высокотехнологичных сфер массового производства-потребления в условиях неуправляемого роста глобальной информационной связности нарастают проявления общесистемного кризиса устойчивости развития

мировой социосистемы, который на протяжении почти двух десятилетий не поддается наработанным методам финансово-экономического регулирования.

Кризис перепроизводства информации в ГКС – одна из главных причин череды новейших перманентных кризисов глобальной экономики, начавшейся в 00-е годы.

Далее на примере анализа графика изменения биржевого индекса Nasdaq Composite (Рис. 1), характеризующего развитие информационно-компьютерных технологий (ИКТ), проиллюстрируем неоднозначное влияние глобальной информационной связности на мировую экономику. Экспонента своевременно не переработанной информации, которая производится в ходе функционирования социумов и накапливается в ГКС, оборачивается неконтролируемым ростом информационных шумов, в которых существующие институты управления и рыночной самоорганизации утрачивают действенность, что негативным образом сказывается на устойчивости мировой социосистемы в целом. Подтверждение этому – череда мировых кризисов, начавшаяся с экономического кризиса "пузыря доткомов" [9], который начал расти с середины 90-х по мере быстрого развития Интернета.



Рис. 1. График биржевого индекса Nasdaq Composite
(<https://ru.investing.com/indices/nasdaq-composite-chart>)

Инвесторы были увлечены принципиально новыми возможностями ГКС. Это – массовые каналы распространения рекламы, получения доступа к неограниченному числу потенциальных покупателей, а также возможности кардинального снижения капитальных затрат на организацию торговых площадок, а также издержек по их эксплуатации.

За короткий период с 1997 г. по 02.2000 г. инвестиционная активность возросла почти в 5 раз (с 1000 до 4750 пунктов). Результат – появление большого количества новых интернет-компаний в различных сферах торговли и других сферах. Однако, 02.2000 г. финансовый "пузырь" лопнул. Менее чем за два года индекс упал до стартового (перед началом бума) уровня.

Ожидаемые сверхприбыли обернулись для частных инвесторов убытками от множеств несостоявшихся проектов и потерей вложенных капиталов. Цена первого мирового кризиса глобализации информационного пространства, включая потери ожидаемых прибылей инвесторов, составила порядка 5 триллионов долларов.

Кризис доткомов показал несоответствие интернет-технологий того времени завышенным ожиданиям инвесторов в сфере интернет-торговли и биржевой торговли и, тем самым, создал на площадке ГКС прецедент конфликта информационных технологий и бизнес-интересов. Полученная психологическая травма от внезапного краха "очевидных" ожиданий не прошла бесследно. Безоглядный оптимизм инвесторов в ожидании роста сверхприбылей пропорционально прогрессу ИКТ сменился осторожным опасением новых неприятных сюрпризов. Инвестиционные проекты в этой сфере стали более выверенными. Смену инвестиционной стратегии достаточно убедительно показывает рассматриваемый график на протяжении всех 16 лет после первого глобального "разочарования".

За период 2002 - 2007 гг. мы видим осторожный рост, который скорее закрепил скепсис инвесторов. Тем более что финансовый кризис 2008 г. (под именем "ипотечного") не добавил оснований для доверия тем, кто считает ИКТ локомотивом глобальной экономики. Похоже, что стратегические курсы глобализации информационного пространства посредством опережающего прогресса

ИКТ и глобализации мировой экономики стали расходиться. По некоторым оценкам, цена финансовых потерь от мирового кризиса 2008 г. составила от 40 до 70 триллионов долларов. При этом причины этого второго после доткомов кризиса связывают с использованием компьютерных моделей биржевой игры на курсах необеспеченных ценных бумаг.

Мы наблюдаем второй "урок" инвесторам и соответствующее "наказание" в виде очередного кризиса за не очень глубокое проникновение в тайны законов развития ИКТ в условиях дефакто сложившейся глобальной информационной связности. В этом можно усматривать подтверждение того, что в глубинах рыночной стихии процессов экономической и информационной глобализаций не всё состыковывается между собой.

Понятно, что более чем скромные успехи в отдаче инвестиций от вложений в ИКТ не могли предотвратить второе проявление кризиса "несовместимости" информационной и экономической глобализаций. Выход из кризиса, ставшего одним из самых дорогих, потребовал экстраординарных мер, выходящих за здравый смысл здоровых экономик. Одна из которых – практическое обнуление кредитных ставок. Введены, также и другие "неэкономические" меры – вплоть до искусственного культивирования множественных военных конфликтов.

Начиная с 2009 г. индекс, в основном, растёт, и достаточно устойчиво. В 2015 г. он впервые достиг уровня начального – "доткомовского" – максимума от 2000 г. Бурно развивающимся отраслям ИКТ потребовалось 15 лет кропотливой и сверхпродуктивной работы, чтобы вернуться на уровни инвестиционной активности далёкого (по современным меркам) прошлого. На фоне масштабов проникновения массовых компьютерно-сетевых средств в жизнь каждого человека это выглядит, по меньшей мере, странно.

В начале 2018 г. индекс достиг абсолютного максимума – около 7500 пунктов, превысив предкризисное значение 2000 г. примерно на 2750 пунктов. Так, рыночные индикаторы более чем скромно оценивают вклад сверхбыстрого развития ИКТ в мировую экономику за 18 лет. На графике видно, что относительный рост на 2750 пунктов в траектории выхода из очередного "дна"

происходил неоднократно, причём в течение значительно более короткого времени. Для мировой рыночной экономики такие показатели невозможно воспринимать как успех.

Что же произошло за 18 лет в самих ИКТ? Для компьютерной индустрии прошедшие с 2000 по настоящее время годы стали венцом технической и потребительской революции. Это, во-первых, фантастические достижения технологий массового производства сверхбольших интегральных схем (СБИС) и основных компонентов массовых компьютеров:

- количество транзисторов на кристалле выросло примерно со 100 млн до 10 млрд (100-кратный рост),
- рабочая частота массовых микропроцессоров выросла со 100 Мгц до 3-4 Ггц (рост в 30-40 раз),
- массовое производство многоядерных микропроцессоров,
- объём оперативной памяти в массовых компьютерах вырос с 32-64 МБ до 8 ГБ (рост более чем в 100 раз);
- объёмы внешней дисковой памяти в массовых приложениях выросли примерно с 200 МБ до 2-4 ТБ (рост в 20000 раз);
- появление и массовое распространение флэш-памяти.

Не менее значительны успехи и в производстве сетевого оборудования. Они привели к росту ГКС от 100 млн до 3-4 млрд узлов (в 30-40 раз). На порядки большее количество встраиваемых компьютерных узлов связывают сети технического назначения.

Такие достижения в развитии компьютерной и сетевой элементной базы (ЭБ) привели к появлению новых классов массовых компьютеров – носимых мобильных устройств (смартфоны, планшеты), разнообразные гаджеты. Это новые рынки и новые, практически неограниченные, перспективы совершенствования не только социотехнических, но и социальных систем.

Представленный на Рис. 1 ход событий в области весьма нестабильной инвестиционной активности и технологический фон высочайших достижений в сферах ИКТ, на котором они происходят, заставляют думать, что *потенциал ныне действующей модели глобализации мировой экономики приблизился к своему исчерпанию.*

В связи со сказанным уместен вопрос: почему, несмотря на почти полный охват социумов ресурсами ГКС, мировая экономика фактически игнорирует сверхбыстрый прогресс компьютерно-сетевых технологий и отвечает не новым скачком развития мировой экономики, а кризисами, стагнацией и расширением вооружённых конфликтов?

Ясных ответов пока не существует, но ключевые направления, в которые следует их искать с учётом растущего влияния феномена глобальной информационной сильносвязности назвать можно: это *построение универсальной модели распределённых вычислений, охватывающей совокупные ресурсы ГКС и пересмотр на этой основе моделей глобализации экономики.*

Масштабы воздействия ГКС на социальную и техногенную среды достигают критических уровней. Беспрецедентный, стихийно растущий и до сих пор неконтролируемый феномен глобальной сильносвязности обесценивает существующие институты управления устойчивым развитием социальных и техногенных систем. Это становится причиной снижения качества управления на всех уровнях, что сопровождается нарастанием кризисных явлений и дестабилизацией как отдельных социосистем, так и мировой социосистемы в целом.

Глубинные причины новейшего перманентного кризиса мировой социосистемы следует искать не только в рамках традиционных политэкономических подходов (во многом антагонистических), но и во *внутрисистемных дисбалансах развития ГКС, как новейшего фактора тотального влияния.*

Для новейших антикризисных мероприятий требуются общие подходы, направленные на устранение внутрисистемных дисбалансов ГКС и достижение её качественно новых системобразующих возможностей.

4. Барьеры разнородности глобальной компьютерной среды

Основу существующей ГКС составляют гетерогенные сети, которые на коммуникационных уровнях связывают разнородные вычислительные и информационные ресурсы. Для систем распределённых вычислений в гетерогенных сетях применяются Grid- и Cloud-

технологии [5] с априори ограниченными масштабами вовлечения сетевых ресурсов. При их создании возникает необходимость решения многовариантных задач сопряжения и системной/функциональной интеграции разнородных информационных и вычислительных ресурсов. Многовариантность решений этих задач предполагает их комбинаторную сложность.

Современные распределённые и суперкомпьютерные системы могут содержать миллиарды вычислительных узлов. В условиях информационной, аппаратной и программной разнородности создание, интеграция и программирование систем с такими количествами узлов для преодоления комбинаторной сложности требуются неприемлемые затраты средств и времени.

Борьба с разнородностью среды при реализации всё более масштабных систем путём лобового преодоления комбинаторной сложности посредством большого разнообразия трудно совместимых технологий не имеет долгосрочных перспектив. Для кардинального снижения сложности функциональной интеграции ресурсов ГКС далее предлагается общий системный подход, направленный на разработку новой компьютерной ЭБ с конкурентоспособными компьютерно-сетевыми архитектурами для формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений.

5. Виды параллелизма глобальной компьютерной среды

В ГКС реализуются два вида параллелизма – межкомпьютерный (сетевой) и внутрикомпьютерный (вычислительный). Они отличаются и по способам воплощения, и по назначению.

Межкомпьютерный параллелизм воплощается в сетях, которые представляют собой пространственно распределённые вычислительные среды. Увеличение количества узлов позволяет неограниченно расширять пространственные ареалы сетей и/или увеличивать плотность расположения узлов в ограниченных ареалах. Будучи оснащёнными сенсорными и исполнительными устройствами, они ориентированы на управление распределёнными системами стационарных и мобильных объектов. Потенциал наращивания

сетевого параллелизма определяется системообразующими возможностями ГКС.

Назначение сетей – формирование среды накопления цифровой информации в узлах с возможностью её передачи между ними, а также формирования вычислительных и управляющих систем обработки распределённой информации. Сети обеспечивают формирование сильносвязных информационных пространств, которые служат основой для построения и интеграции распределённых социотехнических систем разнообразного назначения. Сетевой параллелизм можно рассматривать как системообразующий и "управленческий", лежащий в основе универсальной парадигмы сетецентрического управления [1, 7, 8].

Внутрикомпьютерный вычислительный параллелизм реализуется в многоядерных и суперкомпьютерных системах в виде универсально программируемых вычислительных сред с плотной упаковкой компонентов. Количество связанных узлов (процессоров, ядер) при ограничениях на внешние габариты и энергопотребление таких систем наращивается путём уменьшения размеров узлов и расстояний между ними за счёт повышения плотности размещения.

Компьютерная ЭБ для высокопроизводительных вычислений в виде однокристалльных многопроцессорных компьютеров-ускорителей общего назначения с многоядерными архитектурами [10] развивается благодаря прогрессу СБИС-технологий глубокого нано-метрового диапазона (90-5-3 нм). Количество узлов в них, начиная от нескольких десятков, достигает сотен, тысяч и более ядер, что позволяет с одного чипа снимать производительность 2-8 Тфлопс и более. При предельном снижении размеров технологических норм кремниевых СБИС-технологий (5-3 нм) на чипе можно разместить более 16000 ядер с пиковой производительностью 30-90 Тфлопс/чип и более [11].

На Рис. 2 показаны графики экспоненциального роста со временем количества вычислительных узлов в глобальных сетях (N_{glob_net}) и общего количества ядер (N_{micro}) в многоядерных суперкомпьютерах.

На рисунке видно, что к 2010 г. количество вычислительных узлов ГКС достигло значения 10^9 . Такой же порядок количества ядер в су-

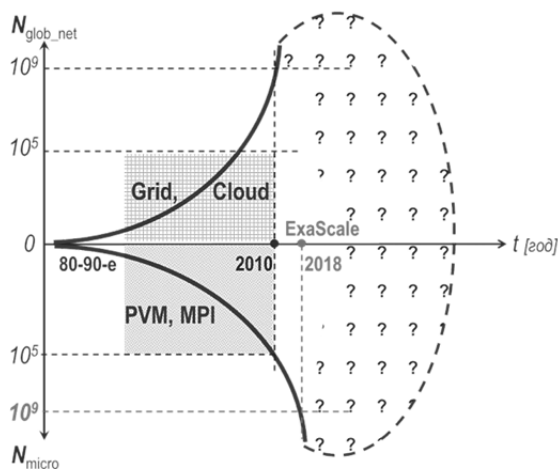


Рис. 2 Массовый параллелизм на сетевом и суперкомпьютерном уровнях

перкомпьютерных средах будет достигнут в 2020-2023 гг в рамках проектов суперкомпьютеров экзафлопсной (ExaScale) производительности.

До сих пор развитие сетей и суперкомпьютеров происходит практически независимо. Сети нацелены на обмены данными, суперкомпьютеры – на ускорение задач большой вычислительной сложности. В одном случае сетевые взаимодействия между узлами осуществляются по сетевым протоколам, в другом – посредством управляемых коммутаторов. Отдельно развивались как архитектуры, так и программное обеспечение.

По мере развития сетевых технологий, начиная с середины 90-х, ресурсы ГКС стали использоваться для решения задач большой вычислительной сложности. Это направление получило название метакомпьютинга. В такие вычисления вовлекаются сотни тысяч и более компьютеров, входящих в ГКС. Это направление развивается и в настоящее время – как недорогая альтернатива суперкомпьютерам. Решаются многие задачи – обработка данных с космических радиотелескопов, дешифрация, синтез химических соединений и др. При этом важно, чтобы задачи могли разбиваться на большое количество слабо связанных фрагментов, которые параллельно обрабатываются на многих связанных сетями компьютерах.

В конце 90-х и начале 00-х годов широкое распространение получили технологии форми-

рование в ГКС распределённых вычислительных систем "виртуальных суперкомпьютеров" на основе различных моделей Grid Computing [5]. В 00-е годы в практику распределённой обработки в ГКС вошли технологии на основе моделей Cloud Computing [5].

Параллельное программирование для кластеров и суперкомпьютеров осуществляется на основе технологий MPI и PVM. Однако, относительно эффективное применение этих технологий программирования возможно только в ограниченном диапазоне вычислительных узлов – примерно до 10^5 - 10^6 (рис.2). Принципиальные ограничения на количество узлов действуют также и для Grid- и Cloud-технологий.

В диапазоне количества узлов 10^9 и выше возникают общие для сверхбольших вычислительных сред проблемы обеспечения надёжности вычислений в ненадёжной среде, представления задач в максимально параллельной форме и отображения этого параллелизма на вычислительные среды. В настоящее время эти проблемы не имеют полномасштабных решений и требуют новых подходов. На рис.2 области нерешённых проблем организации вычислений в сверхбольших средах обозначены вопросительными знаками.

Таким образом, можно говорить о сопоставимости масштабов сетевого и вычислительного параллелизма ГКС и необходимости формирования общих подходов к постановке и решению проблем организации вычислений в сверхбольших вычислительных средах.

Сверхбольшие вычислительные среды (с количеством узлов $\sim 10^9$ - 10^{10} и более), будь то сетевые или суперкомпьютерные для обеспечения системной целостности должны функционировать в универсальном алгоритмическом пространстве распределённых и параллельных вычислений на основе общих принципов и правил управления вычислительными процессами, таких как:

- математическая однородность форм представления и способов обработки компьютерной информации на машинном уровне вычислительных сред;
- сквозное адресное пространство сетевых и суперкомпьютерных вычислительных сред;
- бесшовное программирование;

- надёжные вычисление в среде с ненадёжными компонентами;
- кибербезопасность.

В [12] обращено внимание на то, что взаимодействие сетевых ресурсов с суперкомпьютерами отходит от классической очередности исполнения задания на компьютере: (подготовка → исполнение → анализ результатов). Быстрое развитие функциональных и вычислительных возможностей мобильных компьютерных устройств, к которым присоединяются сенсорные и исполнительные устройства, позволяет организовывать в сетях сложные процессы автоматического управления. В этих процессах мобильные устройства во взаимодействии между собой и со стационарными суперкомпьютерами выполняют сложные автономные миссии, например, группы БЛА, осуществляющие экологический мониторинг.

Разделение функций между суперкомпьютерами и остальными ресурсами сетей в универсальном алгоритмическом пространстве распределённых и параллельных вычислений в рамках концепции сетецентрической глобализации парадигмы управления [1, 7] осуществляется следующим образом. Математические модели сложных систем, требующие больших объёмов вычислений, реализуются в суперкомпьютерах в режимах прогностического моделирования. Такие модели могут зависеть от многих параметров, значения которых связаны с текущим состоянием большого количества глобально распределённых сильносвязанных объектов/субъектов. Сетевые ресурсы, охваченные универсальным алгоритмическим пространством, обеспечивают непрерывный сбор, идентификацию и классификацию значений параметров, поддерживают их актуальность и своевременную доставку к суперкомпьютерным узлам. При этом суперкомпьютеры ведут расчёты в реальном времени функционирования социотехнических систем с учётом актуальных значений собираемых данных, что позволяет использовать их в контурах управления устойчивым функционированием и развитием сколь угодно больших социотехнических систем.

6. О новой модели вычислений

Разнородность ГКС – это неконтролируемое разнообразие трудно совместимых форм пред-

ставления данных и программ на машинных уровнях, которое, будучи с точки зрения алгоритмической универсальности заведомо избыточным, приводит к несовместимости аппаратных и программных платформ, росту «информационного шума» и комбинаторной сложности создания и интеграции больших распределённых и суперкомпьютерных систем.

Исследования показали [1, 7], что причины разнородности форм представления данных и программ скрыты в постулатах классической модели универсальных вычислений Дж. фон Неймана, лежащей в основе современных микропроцессоров, из которых формируются сети и суперкомпьютеры.

Отметим важные, но обычно игнорируемые, побочные эффекты классической модели. Во-первых, она позволяет инженерам на эвристическом уровне создавать изначально несовместимые, компьютерные платформы. Во-вторых, данная модель имеет две избыточные степени свободы управления вычислениями, открытые для программистов, что позволяет им произвольным образом строить структуры данных и по собственному усмотрению алгоритмически кодировать их в потоках адресов. Именно в этих свойствах скрыты причины непрерывного воспроизводства разнородности форм представления данных, а значит – несовместимости аппаратных и программных платформ.

В [1, 7] посредством компьютерного исчисления древовидных структур (ИДС) проведено математическое обобщение классической модели вычислений, которое математически регламентирует формы представления данных и программ и устраняет её избыточные степени свободы. Тем самым устраняются первопричины разнородности и комбинаторного сопротивления глобальной интеграции.

Предложенное исчисление – это математически замкнутый и функционально полный набор простейших операций формирования и преобразования двоичных деревьев, который оставляет основу нового компьютерный базиса [7]. Универсальный объект исчисления в этом базисе – двоичные деревья, которые являются математически однородным структурным объектом представления данных и программ. Содержимое вершин может быть битом, байтом, числом, символом,

строкой произвольного размера (двоичной или символьной) или массивом.

В новом базисе алгоритмы преобразования деревьев программируются посредством выделения и обхода вершин двоичных деревьев. Для выделения вершин вводятся курсорные переменные, которые принимают значение указателей на вершины, расположенные в памяти. На деревьях можно определять любое количество курсорных переменных. Процесс обработки реализуется перемещением курсоров по дереву посредством команд исполняемой программы с применением к текущим вершинам операций обработки содержимого вершин или функций преобразования (редактирования) деревьев. Таким образом, осуществляется формирование и произвольные преобразования древовидных структур.

Важно отметить, что перемещение многих курсоров и выполнение операций с вершинами, на которые они указывают, может осуществляться программистом как последовательно, так и в режиме асинхронного (динамического) распараллеливания. Посредством курсорных переменных в едином компьютерном базисе ИДС автоматически и бесшовным образом реализуются как распределённые, так и параллельные вычисления.

Принципиально новое качество проведённого обобщения [1, 7, 8] классической модели состоит в том, что ИДС позволяет:

- устранить причины воспроизводства разнородности данных, а также аппаратных и программных платформ;
- с обеспечением кибербезопасности бесшовно распространить свойство универсальной программируемости с внутрикомпьютерных ресурсов на сколь угодно большие совокупности связанных вычислительных узлов.

7. К универсальному алгоритмическому пространству распределённых и параллельных вычислений

Компьютерный базис ИДС составляет математическую основу общего формализма для универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений, который позволит с единых позиций рас-

сматривать и решать различные аспекты проблем организации вычислений в сверхбольших вычислительных средах (рис.2). Охватывая совокупные ресурсы ГКС, такое пространство позволяет размещать фрагменты сколь угодно больших динамически изменяющихся древовидных структур, представляющих данные и программы, в памяти как сетевых, так и суперкомпьютерных узлов ГКС. Важно отметить, что логика работы с деревьями в процессе составления и исполнения программ остаётся инвариантной относительно размещения деревьев в памяти вовлекаемых узлов.

При этом программно управляемый асинхронный параллелизм вычислений на деревьях, реализуемый посредством управления перемещением многих курсоров по сколь угодно большому дереву, применим как к распределённым вычислениям в сетевых средах, так и к параллельным вычислениям в суперкомпьютерных средах. Если вершины деревьев размещены в памяти сетевой среды, то автоматически реализуется параллелизм распределённых вычислений, если в памяти узлов суперкомпьютерной среды, то – вычислительный параллелизм. Если вершины размещаются в памяти сетевой и суперкомпьютерной сред, то реализуется смешанный параллелизм всех вовлекаемых ресурсов ГКС.

Важно отметить, что многокурсорный параллелизм, реализуемый на деревьях, представляющих собой математически замкнутый объект, имеет ограниченный набор видов конфликтов взаимодействия многих курсоров при их попадании на общие вершины. Все такие конфликты разрешимы на логическом уровне с применением достаточно простых алгоритмов и средств управления.

При необходимости различие расстояний и латентности межузловых обменов в программах, исполняемых в ГКС, можно учитывать посредством параметризации временных задержек.

Наследуя универсальность и простоту процедурного стиля программирования классической компьютерной аксиоматики, новая модель позволит задействовать в универсальном алгоритмическом пространстве распределённых и параллельных вычислений наработки существующих компьютерных и программных платформ, обес-

печивая тем самым эволюционный переход в новое алгоритмическое пространство, охватывающее совокупные ресурсы ГКС.

8. Об архитектуре элементной базы универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений

Для воплощения в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений необходима компьютерная ЭБ трёх видов:

- классические универсальные микропроцессоры с небольшим количеством ядер (от 2 до 16);
- однокристалльные компьютеры-ускорители общего назначения – класса General Purpose (GP) – для задач с массовым параллелизмом с большим количеством ядер (от десятков до тысяч и более);
- однокристалльные сетевые компьютеры с немикропроцессорной архитектурой на основе нового компьютерного базиса ИДС.

Первые два вида широко представлены на рынке и активно применяются в разнообразных компьютерных средствах и системах. Третий – новый класс архитектур, не имеющий аналогов, предназначен для формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений с бесшовным распространением универсальной программируемости на совокупные ресурсы ГКС.

Далее представлены отечественные разработки по архитектурам компьютерной ЭБ 2-го и 3-го видов, не имеющие аналогов.

8.1. Однокристалльный сетевой компьютер с немикропроцессорной архитектурой

В качестве ЭБ для формирования в ГКС универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений предлагается однокристалльный сетевой компьютер с немикропроцессорной архитектурой [8]. В его основу положен компьютерный базис ИДС, на основе которого построено математическое обобщение классической модели универсального компьютера [1, 7].

Главным объектом математического обобщения стала оперативная память (ОЗУ). Место физического устройства одномерной памяти с произвольным доступом к линейно организованному адресному пространству в обобщённой модели занимает "умная" память хранения множеств произвольных двоичных деревьев.

Отметим особенности компоновки этого сетевого компьютера (Рис. 3). В отличие от микропроцессоров в отдельном корпусе интегральной схемы заключены не арифметико-логическое устройство (АЛУ) и устройство управления (УУ), а оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), УУ и устройство ввода/вывода (В/В). Устройство В/В реализует обмены данными с внешним миром через встроенные контроллеры, в том числе через сетевые порты.

В сетевом компьютере (Рис. 3, б) на аппаратном уровне реализуются:

- универсальный компьютерный базис ИДС;
- основные функции ядра операционных систем (динамическое распределение памяти, защита доступа к данным, управление процессами, включая управление локальным вводом/выводом и сетевыми обменами данных и

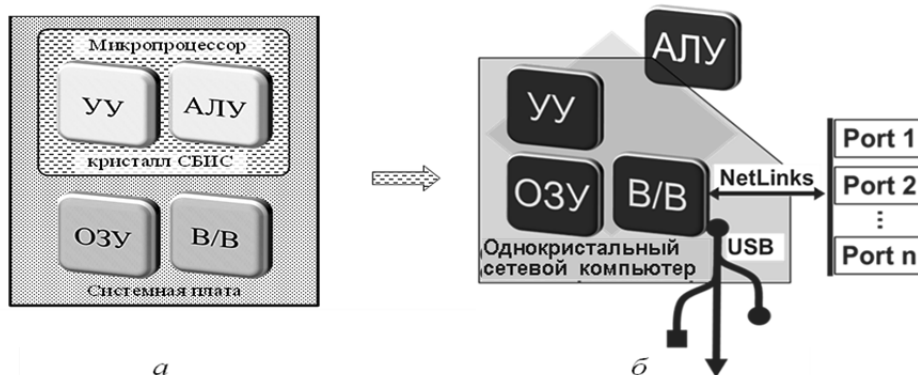


Рис. 3. От микропроцессорной архитектуры (а) к «немикропроцессорной» (б)

др.), чем достигается кардинальное снижение системной сложности функциональной интеграции сетевых вычислительных ресурсов, а также высокие уровни защиты программ от несанкционированного доступа со стороны других программ;

- встроенные средства маршрутизации и защищённые протоколы, поддерживающие свободно масштабируемые распределённые вычисления в сетевых ресурсах.

8.2. Однокристалльный многопроцессорный компьютер-ускоритель общего назначения для задач с массовым параллелизмом

Для высокопроизводительной обработки данных в широких классах задач с массовым параллелизмом на уровне неделимых операций предлагается высокоэффективная, структурно-масштабируемая многопроцессорная архитектура, ориентированная на однокристалльную СБИС-реализацию. Она служит основой для построения компьютерной ЭБ в виде семейства программно-совместимых однокристалльных компьютеров-ускорителей общего назначения ПС-2000М [13], которая предназначена для использования в качестве ускорителей в различных классах компьютеров – от носимых и встраиваемых до суперкомпьютеров. Структурная масштабируемость архитектуры ПС-2000М позволяет использовать для реализации таких компьютеров-ускорителей СБИС-технологии в глубоком нанометровом диапазоне 90-7-3 нм с количеством ядер на чипе от 256 до 16384 и более, соответственно. При рабочей частоте 0.5-1.5 ГГц производительность (при высокой энергоэффективности) таких компьютеров в зависимости от числа ядер будет достигать значений от 0.3 до 30 и 90 Тфлопс/чип и более.

В основу предлагаемой ЭБ положена оригинальная многопроцессорная архитектура отечественного компьютера ПС-2000 [14], который с 1981 по 1988 гг. выпускался большой промышленной серией. Система ПС-2000 стала первым в мире решением в классе многопроцессорных компьютеров-ускорителей общего назначения для задач с массовым параллелизмом. Высокая вычислительная и энергетическая эффективность (производительность в расчёте на едини-

цу оборудования и ватт) структурно масштабируемого с ростом количества процессорных элементов компьютера ПС-2000 подтверждена обширным и успешным опытом его промышленного использования в 80-90х годах на широких классах задач с массовым параллелизмом в различных сферах народного хозяйства и обороны. Это – промышленная обработка данных сейсморазведки нефтяных месторождений, космической телеметрии, гидроакустической информации, изображений, моделирование сложных явлений, объектов и систем, стендовые испытания агрегатов и др.

Компьютеры линии ПС-2000 стали примером соединения в оригинальном архитектурном и техническом изделии актуальной востребованности, опережающих идей и промышленного их воплощения с использованием широкодоступных отечественных технологий.

В настоящее время отечественные разработчики высокопроизводительных компьютерных систем до сих пор не имеют собственной компьютерной ЭБ в классе однокристалльных компьютеров-ускорителей с существенно многоядерной архитектурой. Относительная конкурентоспособность предлагаемой к реализации ЭБ ПС-2000М на доступных отечественных СБИС-технологиях 90-45 нм в отношении зарубежных многоядерных ускорителей ведущих производителей, реализуемых на технологиях 28-22 нм, может быть достигнута за счёт принципиальных преимуществ архитектуры ПС-2000М.

Более полное использование в ПС-2000М массового параллелизма задач на уровне неделимых операций позволяет существенно снижать аппаратные затраты на управление и в разы поднимать удельную производительность в расчете на транзистор и ватт энергопотребления. В этом состоит конкурентоспособность структурно масштабируемой архитектуры ПС-2000М в отношении представленных на мировом рынке многоядерных графических ускорителей общего назначения GP GPU (NVIDIA, AMD), а также других решений (Intel, IBM) [13].

Современные СБИС-технологии (22-7-3 нм) открывают возможности полного раскрытия архитектурного потенциала и конкурентных преимуществ структурно масштабируемой архитектуры ПС-2000М.

Заключение

В работе исследована проблематика формирования универсального алгоритмического пространства распределённых и параллельных вычислений в ГКС путём создания и широкого применения отечественной компьютерной ЭБ с новой архитектурой. Его формирование необходимо для кардинального снижения системной сложности интеграции вычислительных и информационных ресурсов ГКС в целях создания сколь угодно больших управляющих и вычислительных систем, нацеленных на обеспечение устойчивого развития социосистем, функционирующих в условиях глобальной информационной связности.

Новая компьютерная ЭБ на основе опережающих компьютерных архитектур позволит исключить импортозависимость в создании наукоёмкого технологического фундамента для решения важнейших задач обеспечения экономического суверенитета и укрепления безопасности страны. Такая ЭБ позволит отечественным разработчикам и производителям вычислительной техники сформировать собственные позиции на мировом рынке путём экспорта конкурентоспособной высокотехнологичной продукции.

Литература

1. Затуливетер Ю.С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации // Проблемы управления. 2005. № 1. Ч. I. С. 1-12; №2. Ч. II. С. 13-23.
2. David K., Geihs K., Leimeister J.M., Roßnagel A., Schmidt L., Stumme G., Wacker A (Editors). *Socio-technical Design of Ubiquitous Computing Systems* // Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London (eBook). Library of Congress Control Number: 2014938066. Springer International Publishing Switzerland. 2014. 353p. URL: [http://dx.bookzz.org/genesis/1291000/d7e346c69aad49dc bba3e4dae11cce27/_as/Klaus_David,_Kurt_Geihs,_Jan_Marco_Leimeister,_Al\(BookZZ.org\).pdf](http://dx.bookzz.org/genesis/1291000/d7e346c69aad49dc bba3e4dae11cce27/_as/Klaus_David,_Kurt_Geihs,_Jan_Marco_Leimeister,_Al(BookZZ.org).pdf) (дата обращения: 11.03.2018).
3. Банке Б., Бутенко В., Мишенина Д., Полунин К., Степаненко А., Сычева Е. Россия онлайн: четыре приоритета для прорыва в цифровой экономике / The Boston Consulting Group. Октябрь 2017. - URL: http://image- src.bcg.com/Images/Russia-Online_tcm27-178074.pdf (дата обращения: 11.03.2018)
4. Свон М. Блокчейн. Схема новой экономики / Пер. с англ. – М.: "Олимп-Бизнес", 2015. 142 с. (Swan, M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. Ed. N.Y.: "O'Reilly Media, Inc.", 2015. 142 p.)
5. Šojat Z., Skala K. Views on the Role and Importance of Dew Computing in the Service and Control Technology / Proceedings of the 39th International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO - 2016), Opatija, Croatia. 2016, pp.164-168. ISBN 978-953-233-087-8.
6. Klinker E. When Should You Choose P2P? / URL: <http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/Featured-Articles/When-Should-You-Choose-P2P-65119.aspx> (дата обращения: 11.03.2018)
7. Затуливетер Ю.С. Компьютерный базис сетевидного управления / Труды Российской конференции с международным участием "Технические и программные средства в системе управления, контроля и измерения" (УКИ'10). Институт проблем управления РАН. - М., 2010. – С.17-37. URL: <http://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38190/20052-38190.pdf> (дата обращения: 11.03.2018).
8. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетевидного управления. Ч. 1. Анализ проблематики // Проблемы управления. 2016. № 3. С. 49-57. Ч. 2. Подход к общему решению // Проблемы управления. 2016. № 4. С. 58-69.
9. Smith K. History of the Dot-Com Bubble Burst and How to Avoid Another URL: <http://www.moneycrashers.com/dot-com-bubble-burst/> (дата обращения: 11.03.2018).9
10. Основная информация о NVIDIA / URL: <http://www.nvidia.ru/object/about-nvidia-ru.html> (дата обращения: 11.03.2018).
11. Артамонов С.Е., Затуливетер Ю.С., Козлов В.А., Фищенко Е.А. К созданию однокристального многопроцессорного компьютера общего назначения с массовым параллелизмом (Элементы стратегии опережения в создании отечественной элементной базы) // Датчики и системы. 2013. № 6. С. 64-77.
12. Амелин К.С., Граничин О.Н., Кияев В.И. Мобильность или Супервычисления: кто кого? // Суперкомпьютеры, №4, 2010, С.30-33.
13. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А., Артамонов С.Е., Козлов В.А. Элементы стратегии и архитектурные предпосылки опережения в области однокристальных многопроцессорных компьютеров с массовым параллелизмом // Информационные технологии. 2014. №2. Приложение. С. 1-32.
14. Левин В.К., Якунин А.С. и др. История отечественной электронной вычислительной техники. М.: ЗАО "Издательский дом "Столичная энциклопедия". 2014. 576 с. (Многопроцессорный компьютер PC-2000 С. 255-271.)

Затуливетер Юрий Семёнович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва. Ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 160, в том числе 3 монографии. Область научных интере-

сов: параллельные и распределённые вычисления, многопроцессорные компьютерные архитектуры и системы, сетевые вычислительные среды, сетевое управление, социальные аспекты кибернетической глобализации.

E-mail: zvt@ipu.rssi.ru

Фищенко Елена Алексеевна. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва. Ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук. Количество печатных работ: 90, в том числе 3 монографии. Область научных интересов: параллельные и распределённые вычисления, многопроцессорные архитектуры, системы команд и ассемблеры многопроцессорных систем, распараллеливание алгоритмов, оценка эффективности параллельных компьютеров, распределённые вычисления, сетевое управление. E-mail: elena.fish@mail.ru

The Universal Algorithmic Space of Distributed and Parallel Computing

Yu.S. Zatuliveter, E.A. Fishchenko

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The approach to the investigation and solution of system-wide problems of global information strong-connectivity that arise due to the heterogeneity of the global computer environment (GCE) is proposed. Computer aspects of the problems of stable development of social systems are singled out and analyzed. The influence of the combinatorial complexity of the functional integrating of the heterogeneous resources of the GCE on the creation of large-scale distributed socio-technical systems is considered. The way to removal of barriers of integration complexity is shown at the expense of elimination of the general reasons of heterogeneity, and also to seamless expansion of the property of universal programmability on large-scale networks. Principles for the formation of a universal algorithmic space for distributed and parallel computing in GCE are described on the basis of the proposed hardware components with a new architecture.

Keywords: global computing environment, information strong-connectivity, heterogeneity, integration, distributed and parallel computing, universal algorithmic space, seamless programming, VLSI computer hardware components.

DOI 10.14357/20718632180207

References

1. Zatuliveter, Yu.S. 2005. Problemy globalizatsii paradigmy upravleniya v matematicheski odnorodnom pole komp'yuternoy informatsii [The problems of a globalization of the control paradigm in a mathematically uniform field of computer information]. Problemy upravleniya [Control Sciences] 1: 1-12; 2: 13-23.
2. David K, K. Geihs, J. M. Leimeister, A. Roßnagel, L. Schmidt, G. Stumme, A. Wacker (Editors). Socio-technical Design of Ubiquitous Computing Systems // Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London (eBook). Library of Congress Control Number: 2014938066. Springer International Publishing Switzerland. 2014. 353p. Available at: [http://dx.bookzz.org/genesis/1291000/d7e346c69aad49dcbba3e4dae11cce27/_as/Klaus_David,_Kurt_Geihs,_Jan_Marco_Leimeister,_Al\(BookZZ.org\).pdf/](http://dx.bookzz.org/genesis/1291000/d7e346c69aad49dcbba3e4dae11cce27/_as/Klaus_David,_Kurt_Geihs,_Jan_Marco_Leimeister,_Al(BookZZ.org).pdf/) (accessed: 11.03.2018).
3. Banke B., V. Butenko, D. Mishenina, K. Polunin, A. Stepanenko, Ye. Sycheva . 2017. Rossiya onlayn: chetyre prioriteta dlya proryva v tsifrovoy ekonomike [Russia Online: Four Priorities for a Breakthrough in the Digital Economy] / The Boston Consulting Group. - Available at: http://image-src.bcg.com/Images/Russia-Online_tcm27-178074.pdf/ (accessed March 11, 2018).
4. Swan, M. 2015. Blockchain: Blueprint for a New Economy. Ed. N.Y.: "O'Reilly Media, Inc.", 142 p.
5. Šojat Z., K. Skala. 2016. Views on the Role and Importance of Dew Computing in the Service and Control Technology / Proceedings of the 39th International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO - 2016), Opatija, Croatia. 2016, pp.164-168.
6. Klinker E. When Should You Choose P2P? Available at: <http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/Featured-Articles/When-Should-You-Choose-P2P-65119.aspx/> (accessed March 11, 2018).
7. Zatuliveter, Yu.S. 2010. Komp'yuternyy bazis setetsentricheskogo upravleniya. [Computer basis of network-centric control]. Trudy Rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Tekhnicheskiye i programmnyye sredstva v sisteme upravleniya, kontrolya i izmereniya" [Proceedings of the Russian Conference with international participation "Technical and software tools in the management, control and measurement system"]. Moscow. 17-37. Available at: <http://www.ipu.ru/sites/default/files/publications/38190/20052-38190.pdf/> (accessed March 11, 2018).

8. Zatuliveter, Yu.S., E.A. Fishchenko. 2016. Problemy programmiruyemosti, bezopasnosti i nadezhnosti raspredelennykh vychisleniy i setetsentricheskogo upravleniya. [Problems of programmability, safety and reliability of distributed computing and network-centric control.] Problemy upravleniya [Control Sciences] 3: 49-57; 4: 58-69.
9. Smith. K. History of the Dot-Com Bubble Burst and How to Avoid Another. Available at: <http://www.moneycrashers.com/dot-com-bubble-burst/> (accessed March 11, 2018).
10. Osnovnaya informatsiya o NVIDIA. [Basic information about NVIDIA]. Available at: <http://www.nvidia.ru/object/about-nvidia-ru.html> / (accessed March 11, 2018).
11. Artamonov S.Ye., Yu.S. Zatuliveter, V.A. Kozlov, E.A. Fishchenko. 2013. K sozdaniyu odnokristal'nogo mnogoprotsessor-nogo komp'yutera obshchego naznacheniya s massovym parallelizmom (Elementy strategii operezheniya v sozdanii otechestvennoy elementnoy bazy) [To the creation of a single-chip multiprocessor computer of general purpose with mass parallelism (Elements of the strategy of advancement in the creation of the domestic computer)]. Datchiki & Systemi [Sensors & Systems]. 6: 64-77.
12. Amelin K.S., O.N. Granichin, V.I. Kiyayev. 2010. Mobil'nost' ili Supervychisleniya: kto kogo? [Mobility or Supercomputing: Who's Who?]. Superkomp'yutery, [Supercomputers]. 4: 30-33.
13. Zatuliveter, Yu.S., E.A. Fishchenko., S.Ye. Artamonov, V.A. Kozlov. 2014. Elementy strategii i arkhitekturnyye predposylki operezheniya v oblasti odnokristal'nykh mnogoprotsessornykh komp'yutеров s massovym parallelizmom. [Elements of the strategy and the architectural preconditions for advancing in the field of single-chip multiprocessor computers with mass parallelism]. Informatsionnyye tekhnologii. [Information Technology]. 2: Prilozheniye. [Application] 1-32.
14. Yakunin A.S., ed. 2014. Istoriya otechestvennoy elektronnoy vychislitel'noy tekhniki. [The history of domestic electronic computers]. Moscow: ZAO "Izdatel'skiy dom "Stolichnaya entsiklopediya". [ZAO "Publishing house" Capital Encyclopedia "]. 756 p.

Yu.S. Zatuliveter, PhD, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 117997, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia. E-mail: zvt@ipu.rssi.ru

E.A. Fishchenko, PhD, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 117997, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia. E-mail: elena.fish@mail.ru