

References

1. Letaief K.B., Zhang W. Cooperative communications for cognitive radio networks. *Proceedings of the IEEE*, 2009, vol. 97, no. 5, pp. 878–895. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2009.2015716>
2. Sun C., Zhang W., Letaief K.B. Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints. *2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2007, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/WCNC.2007.6>
3. Bhowmick A. et al. Cooperative spectrum sensing with double threshold and censoring in Rayleigh faded cognitive radio network. *Wireless Personal Communications*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 1–24.
4. Eliseev S.N., Trifonova L.N., Stepanova N.V. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks with Rayleigh fading. *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2020)*, 2020, p. 9131156. DOI: <https://doi.org/10.1109/WECONF48837.2020.9131156>
5. Fink L.M. *Discrete Signal Transmission Theory*. Moscow: Sov. Radio, 1970, pp. 240–245. (In Russ.)
6. Eliseev S.N., Trifonova L.N., Stepanova N.V. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks with regenerative relay of signals in the delivery channel. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 43–48. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.2.43-48>
7. Eliseev S.N. Broadcasting multimedia content in a broadcasting area with a multinational population. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2015, vol. 9, no. 7, pp. 11–15. (In Russ.)
8. Ganesan G. Li Y. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks. *Proceedings First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, 2005, pp. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.1109/DYSPAN.2005.1542628>
9. Geirhofer S., Tong L., Sadler B. Dynamic spectrum access in the time domain: Modeling and exploiting white space. *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 45, no. 5, pp. 66–72.
10. Marcus M. Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum: the controversy at the federal communications commission. *Proceedings of the IEEE*, 2005, vol. 43, no. 5, pp. 24–25.

Received 08.12.2020

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 004.75

ТЕХНОЛОГИИ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Орехов С.Е., Артамонов Д.П., Иванов С.А.

Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого, Серпухов, РФ

E-mail: majorose@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по обоснованию применимости современных технологий распределенных вычислений Hadoop/MapReduce и параллельных сетевых трактов в перспективных интегрированных системах управления. Под интегрированной системой управления понимается такая система управления, в которую встроены программные интерфейсы взаимодействия с обеспечивающей ее автоматизированной системой связи. Отличительной особенностью интегрированных систем управления является совместное использование общей универсальной аппаратно-программной платформы, которая динамически реконфигурируется под требования той или иной системы. Реконфигурация платформы должна обеспечивать высокие показатели функциональной устойчивости и эффективности решения клиентских запросов, для чего проанализированы существующие технологии обработки больших данных и предложен вариант их модификации, учитывающий потенциальные возможности параллельных сетевых трактов. Практическая реализация представленных концептуальных положений позволит существенно снизить информационную нагрузку на сетевую инфраструктуру и повысить эффективность функционирования системы управления.

Ключевые слова: дивергентный подход, децентрализация информационной сети, многомерная маршрутизация пакетов, виртуализация каналов, распределенные вычисления, модифицированная модель MapReduce

Введение

Эволюционирование систем управления и обеспечивающих их функционирование сетей связи обусловило появление нового важного компонента – автоматизированной системы управления связью (АСУС), при этом поддержка принятия решений, согласно общепринятым научным взглядам, должна быть прерогативой еще одного, не менее важного компонента – искусственного интеллекта. Последний компонент, базируясь на технологиях высокопроизводительных распределенных (облачных) вычислений, также для своей работы использует сеть каналов связи и аппаратно-программные комплексы сбора, хранения и обработки информации. Совокупность указанных компонентов, предназначенных для решения задач по достижению общей цели, представляет собой «интегрированную систему управления» (ИСУ), под которой понимается система управления со встроенными программными интерфейсами взаимодействия с автоматизированной системой связи. Отличительной особенностью ИСУ является совместное использование общей универсальной аппаратно-программной платформы, которая динамически реконфигурируется под требования той или иной системы.

Дивергентный подход к построению перспективных интегрированных систем управления

Определим набор концепций и стандарты, в соответствии с которыми осуществляется функционирование и развитие ИСУ на основе современных клиент-серверных технологий, как конвергентную парадигму. В противоположность конвергентному подходу в качестве ядра дивергентной парадигмы выступают идеи децентрализованного управления сетью, а также распределенного хранения и обработки данных. Главное преимущество дивергентной ИСУ заключается в достижении максимальной потенциально возможной функциональной устойчивости за счет обеспечения наивысшего уровня самоорганизации. Процесс самоорганизации, как правило, состоит из двух этапов: этапа инсталляции физической сети и этапа конфигурирования логической сети (см. рисунок 1).

Пример, представленный на рисунке 1, демонстрирует используемый при самоорганизации принцип физической децентрализации информационной сети ИСУ (иерархическая сеть, состоящая из одного верхнего звена управления (ВЗУ) и трех нижних звеньев управления (НЗУ)) с сохранением ее логической централизованной

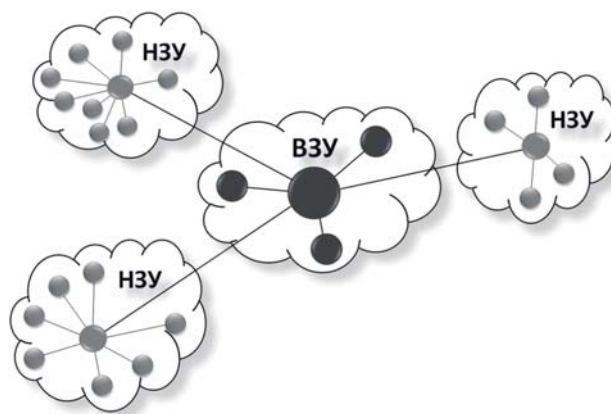


Рисунок 1. Принцип физической децентрализации информационной сети ИСУ с сохранением ее логической централизованной структуры

структуры. Каналы связи в логической сети, так же как и звенья управления, виртуализируются. Виртуализация каналов осуществляется на основе технологии VPN и метода многомерной маршрутизации пакетов (ММП) [1].

В качестве типовых элементов физической информационной сети ИСУ – информационно-коммуникационных узлов (ИКУ) – могут применяться мобильные микроЦОД контейнерного или модульного исполнения, преимущественно с автономной системой энергоснабжения.

Телекоммуникационная сеть, через которую осуществляют обмен данными ИКУ, также предлагается строить на децентрализованных принципах, лежащих в основе самоорганизующихся мобильных сетей MANET. Протоколы маршрутизации (коммутации) и управления трафиком такой сети должны обеспечивать ей высокую пропускную способность в сочетании с минимальным временем установления соединения и гарантированным качеством обслуживания поступающих в сеть абонентских запросов.

Обобщенная структура физической информационной сети ИСУ представлена на рисунке 2.

В информационной сети ИСУ выделяют облачную и туманную компоненты по признаку территориальной масштабируемости сети. Облачная компонента реализует функции интерсетевого контура управления, а туманная – функции интрасетевого либо локального контуров управления.

Аппаратно-программный состав ИКУ в целях унификации используемого оборудования представляет собой совокупность вычислительных модулей, устройств хранения, распределения и передачи информации, преимущественно состоящих из комплектующих массового производства (Commodities), и программного обеспечения с открытым кодом (Open Source).



Рисунок 2. Обобщенная структура физической информационной сети ИСУ



Рисунок 3. Блок-схема дивергентной парадигмы ИСУ

Из имеющихся проектов с открытыми кодами наибольшее распространение имеют: Apache Ambari, Zettaset Orchestrator, Platform MapReduce, Rock+ (StackIQ Enterprise Data), In-Memory Data Grid (IMDG), Hadoop [5].

Обобщая вышеизложенное, основные требования, предъявляемые к перспективной ИСУ, сводятся к следующей агрегированной блок-схеме, представленной на рисунке 3.

Использование дивергентного подхода к построению перспективных ИСУ позволит суще-

ственно повысить функциональную устойчивость системы управления в целом и ее отдельных элементов в частности при обеспечении заданных требований к информационному обмену.

Выбор аппаратно-программной платформы для перспективной интегрированной системы управления

Наиболее подходящим программно-аппаратным ядром перспективной ИСУ в настоящее время представляется кластер Hadoop [2].

Hadoop – это свободно распространяемый набор утилит, библиотек и фреймворк для разработки и выполнения распределённых программ, работающих на кластерах из сотен и тысяч узлов. Эта основополагающая технология хранения и обработки больших данных (Big Data) [9; 10] является проектом верхнего уровня фонда Apache Software Foundation.

Изначально проект разработан на Java в рамках вычислительной парадигмы MapReduce, когда приложение разделяется на большое количество одинаковых элементарных заданий, которые выполняются на распределённых компьютерах (узлах) кластера и сводятся в единый результат [6; 8].

Проект состоит из следующих основных четырех модулей.

1. Hadoop Common – набор инфраструктурных программных библиотек и утилит, используемых в других решениях и родственных проектах, в частности для управления распределёнными файлами и создания необходимой инфраструктуры.

2. HDFS – распределённая файловая система, Hadoop Distributed File System [2; 3] – технология хранения файлов на различных серверах данных (узлах, DataNodes), адреса которых находятся на специальном сервере имен (мастере, NameNode). За счет дублирования (репликации) информационных блоков HDFS обеспечивает надежное хранение файлов больших размеров, распределённых между узлами вычислительного кластера поблочно.

3. YARN – система планирования заданий и управления кластером (Yet Another Resource Negotiator), которую также называют MapReduce 2.0 (MRv2) – набор системных программ (демонов), обеспечивающих совместное использование, масштабирование и надежность работы распределённых приложений. Фактически YARN является интерфейсом между аппаратными ресурсами кластера и приложениями, использующих его мощности для вычислений и обработки данных.

4. Hadoop/MapReduce – платформа программирования и выполнения распределённых MapReduce-вычислений, с использованием большого количества компьютеров (узлов, nodes), образующих кластер.

Сегодня вокруг Hadoop существует целая экосистема связанных проектов и технологий, которые используются для интеллектуального анализа больших данных (Data Mining), в том числе с помощью машинного обучения (Machine Learning) [6].

Технология Hadoop/MapReduce распространяется как небольшими компаниями, так и грандами индустрии наподобие IBM и EMC, принята практически всеми компаниями, занятыми в этой сфере, и обладает рядом достоинств, к числу которых относятся [5]:

- низкая стоимость;
- быстрое действие;
- масштабируемость по ресурсам хранения;
- масштабируемость по производительности;
- толерантность к типам данных;
- гибкость по отношению к языкам программирования.

Вместе с тем у Hadoop «в чистом виде» есть свои слабые места:

- сложность настройки;
- трудность в управлении;
- недостаточно высокая надежность;
- низкая безопасность;
- отсутствие возможности оптимизации обслуживания.

Нередко все проблемы работы с большими данными сводят к Hadoop/MapReduce, упуская из виду, что Hadoop/MapReduce и сопровождающие технологии Pig, Hive, HBase и др. создавались без расчета на актуальные сегодня требования: реальное время и потоковые данные.

Конвергенция технологии параллельных сетевых трактов в модель MapReduce

Согласно концепции Hadoop, обработка больших данных осуществляется путем распределения имеющегося объема информации по узлам облачного вычислительного кластера, который хранится в формате HDFS. С информационным массивом по запросам от пользователей выполняются определенные операции в рамках модели распараллеливания потоков данных MapReduce [3; 4], представленной на рисунке 4.

Сущность MapReduce заключается в обработке клиентских запросов распределённым вычислительным кластером, работающим под управлением Hadoop, путем разбиения глобальной области определения функциональной зависимости на более мелкие локальные подмножества, которые могут храниться на разных серверах центра хранения данных (ЦХД), объединённых общей HDFS, и обрабатываться по заранее установленным мапирующим правилам собственными вычислительными мощностями – мапирующими процессорами (CPU, GPU) центра обработки данных (ЦОД).

Мапирующий процессор генерирует пары «ключ/значение» в виде информационных мас-

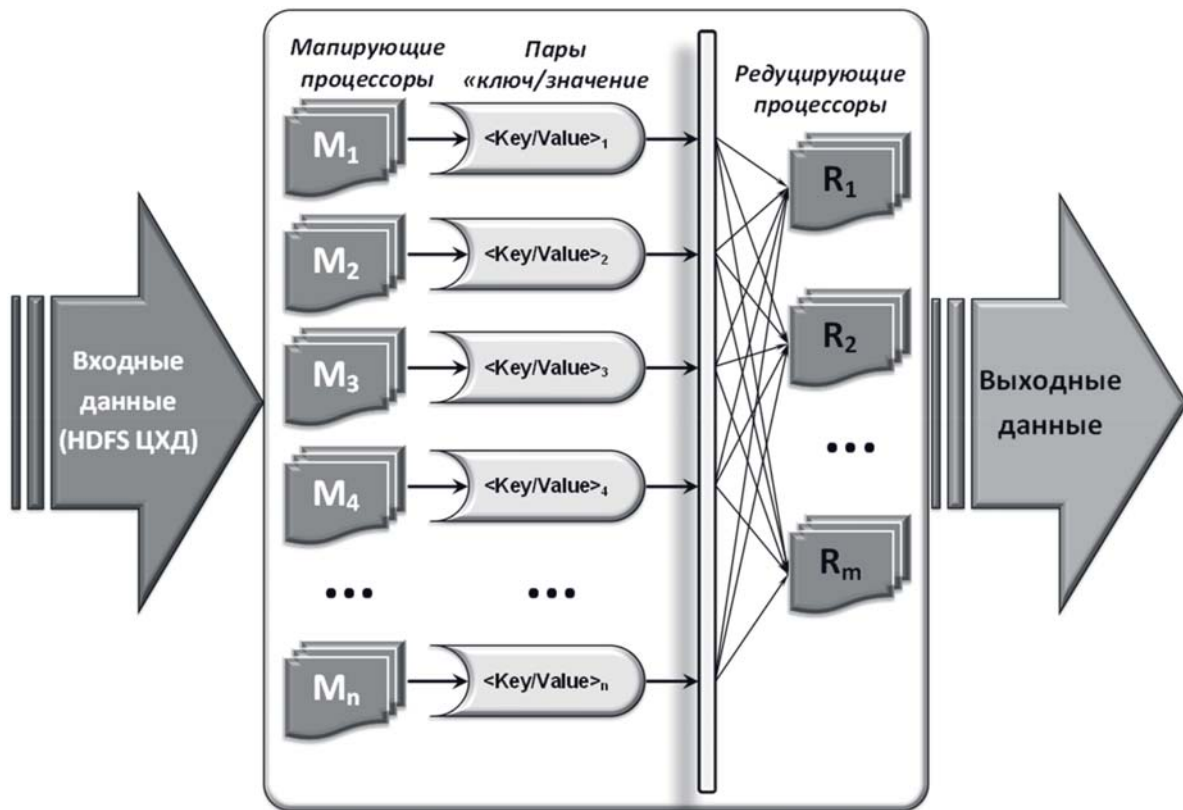


Рисунок 4. Классическая модель MapReduce

сивов, являющихся входными данными для редуцирующих процессоров ЦОД, задача которых заключается в вычислении интегрального значения заданной пары «ключ/значение». Назовем данную операцию сверткой ключевых значений на мапируемом множестве. В общем случае свертка так же, как и мапирование может осуществляться на разных узлах вычислительного кластера.

Другими словами, в облачном кластере на узлах первичной обработки («мэппингах») генерируются массивы частных решений и передаются по каналам связи на узлы вторичной обработки («ридьюсеры») для расчета общего решения пользовательской задачи. Объем циркулирующей в сети информации напрямую зависит от объема и количества частных решений, что может существенно перегружать ее. В свою очередь, производительность кластера тем выше, чем больше параллельно работающих узлов, объединенных топологией «точка-многоточка» на базе высокоскоростных каналов связи.

На практике в больших сетях невозможно сконфигурировать указанную выше оптимальную физическую топологию. Следовательно, необходимо искать квазиоптимальные схемы параллельных вычислений, например параллельный сетевой тракт (ПСТ) [1]. Очевидно, что мерность ПСТ влияет на повышение производительности кластера, а ранг маршрутов – на степень свертки

объемов частных решений (уменьшает нагрузку на сеть).

Модифицированная модель MapReduce, использующая параллельные сетевые тракты и представленная на рисунке 5, предполагает уточнение классической модели путем реализации параллельно-последовательной схемы обработки пользовательских запросов с автоматизированного рабочего места (АРМ) должностного лица (ДЛ), которая позволит существенно снизить объемы циркулирующих в сети кластера мапируемых данных при обеспечении заданной вычислительной мощности.

Снижение информационной нагрузки на сеть кластера достигается введением комбинированных (мапирующе-редуцирующих) узлов, оптимально распределенных в ПСТ диспетчером параллельных вычислений (ДПВ) и осуществляющих последовательную свертку мапируемых данных.

Заключение

В настоящее время отсутствуют научно обоснованные технические решения по динамической реконфигурации телекоммуникационной платформы под оптимальную для облачного высокопроизводительного вычислительного кластера топологию. В качестве варианта предлагается использовать технологию программно-определя-

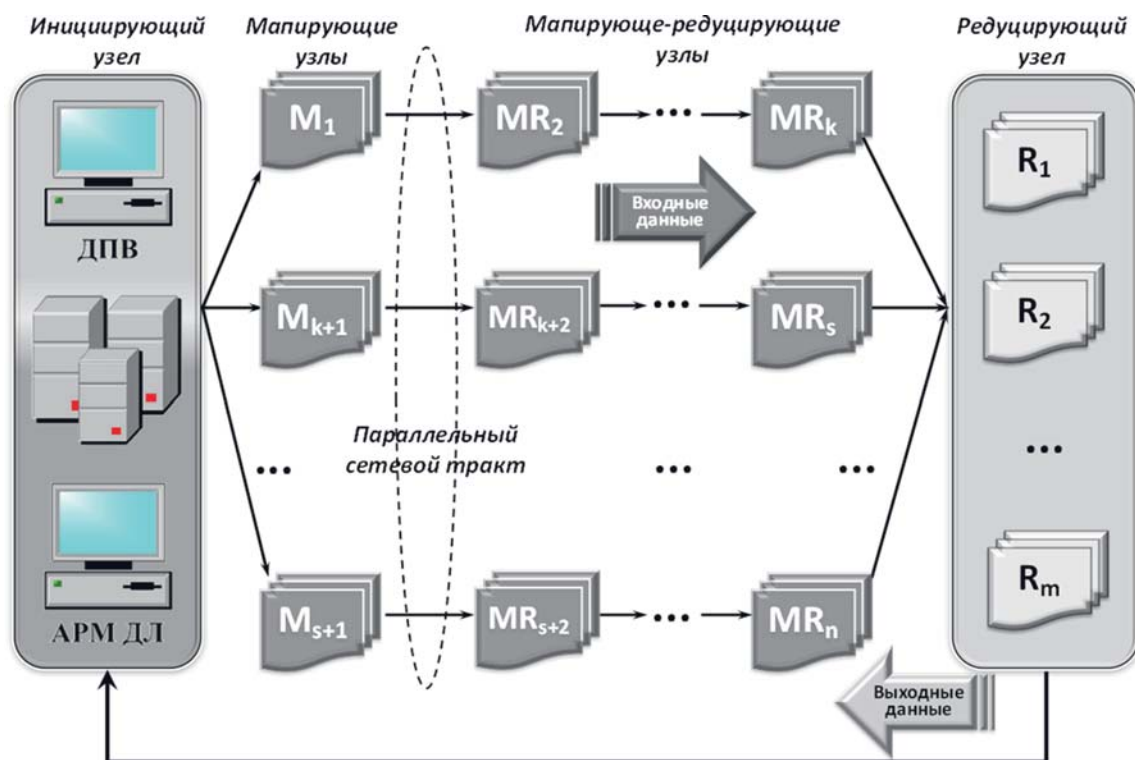


Рисунок 5. Модифицированная модель MapReduce, использующая параллельные сетевые тракты

емых сетей (SDN) совместно с виртуализацией сетевых функций (NFV) [7] и ММП/ПСТ [1] для реализации схемы MapReduce [8] в зависимости от типа пользовательской задачи и загруженности динамически реконфигурируемой телекоммуникационной платформы, чему и посвящены дальнейшие исследования.

Литература

- Орехов С.Е., Сысоев И.В. Оптимизация распределения TCP нагрузки по параллельному сетевому тракту сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов // Известия Института инженерной физики. 2014. Т. 1, № 31. С. 57–59.
- Holmes A. Hadoop in Practice. New York: Manning Publications Co., 2012. 537 p.
- Big data. Тематическое приложение к газете «Вестник Ростелекома» // Ростелеком PRO. 2016. 63 с.
- Scarpino M. OpenCL in Action. How to Accelerate Graphics and Computation. New York: Manning Publications Co., 2012. 434 p.
- Черняк Л. Платформы для Больших Данных. ФОПС // Открытые системы. 2012. № 07. URL: <http://www.osp.ru/os/2012/07/13017635> (дата обращения: 01.02.2020).
- Вичугова А. Hadoop. 2020 // Специализированный авторизованный Учебный центр для корпоративного обучения по Большим Данным. URL: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/hadoop> (дата обращения: 01.02.2020).
- Nadeau T.D., Gray K. SDN: Software Defined Networks. Sebastopol: O'Reilly, 2013. 352 p.
- Chalkiopoulos A. Programming MapReduce with Scalding Community Experience Distilled. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2014. 148 p.
- Big-Data Analytics and Cloud Computing: Theory, Algorithms and Applications / M. Trovati [et al.]. Berlin: Springer, 2016. 169 p.
- Kumar V.N., Shindgikar P. Modern Big Data Processing with Hadoop: Expert Techniques for Architecting End-to-End Big Data Solutions to Get Valuable Insights. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018. 394 p.

Поступило 24.07.2020

Орехов Сергей Евгеньевич, к.т.н., начальник кафедры систем связи и телекоммуникаций Филиала Военной академии ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого (ФВА РВСН). 142210, Российская Федерация, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, 17. Тел. +7 968 553-16-81. E-mail: majorose@mail.ru

Артамонов Дмитрий Павлович, преподаватель ФВА РВСН. 142210, Российская Федерация, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, 17. Тел. +7 906 757-54-62. E-mail: dmitrii-art@mail.ru

Иванов Сергей Александрович, преподаватель ФВА РВСН. 142210, Российская Федерация, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, 17. Тел. +7 985 299-79-40. E-mail: 1973-154@mail.ru

CLLOUD COMPUTING TECHNOLOGIES IN INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS

*Orekhov S.E., Artamonov D.P., Ivanov S.A.
Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (Serpukhov),
Serpukhov, Russian Federation
E-mail: majorose@mail.ru*

The article presents the new scientific results of modern distributed computing Hadoop/MapReduce and parallel network paths technologies applicability in advanced integrated management systems. An integrated management system is a management system that has built-in software interfaces for interaction with the automated communication system that provides it. A distinctive feature of integrated management systems is the joint use of a common universal hardware and software platform, which is dynamically reconfigured to achieve the requirements of a particular system. Reconfiguration of the platform should provide high indicators of functional stability and efficiency of solving client requests; for this purpose, the existing large data processing technologies are analyzed and a option of their modification is proposed, taking into account the potential of parallel network paths. Practical implementation of the presented conceptual provisions will significantly reduce the information load on the network infrastructure and improve the efficiency of the management system.

Keywords: *divergent approach, network decentralization, multidimensional packet routing, channel virtualization, distributed computing, modified MapReduce model*

DOI: 10.18469/ikt.2020.18.4.13

Orekhov Sergey Evgenievich, Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (Serpukhov), 17, Brigadnaya Street, Moscow region, Serpukhov, 142210, Russian Federation; Head of Communication Systems and Telecommunications Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 968 553-16-81. E-mail: majorose@mail.ru

Artamonov Dmitry Pavlovich, Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (Serpukhov), 17, Brigadnaya Street, Moscow region, Serpukhov, 142210, Russian Federation; Platoon commander – Teacher of the battalion of cadets of secondary vocational education. Tel. +7 906 757-54-62. E-mail: dmitrii-art@mail.ru

Ivanov Sergei Aleksandrovich, Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (Serpukhov), 17, Brigadnaya Street, Moscow region, Serpukhov, 142210, Russian Federation; Teacher of RVSN Communication Systems Department. Tel. +7 985 299-79-40. E-mail: 1973-154@mail.ru

References

1. Orekhov S.E., Sysoev I.V. Optimization of TCP load distribution over a parallel network path of a communication network with multidimensional packet routing. *Izvestija Instituta inzhenernoj fiziki*, 2014, vol. 1, no. 31, pp. 57–59. (In Russ.)
2. Holmes A. *Hadoop in Practice*. New York: Manning Publications Co., 2012, 537 p.
3. Big data. Thematic supplement to the newspaper Vestnik Rostelecom. *Rostelekom PRO*, 2016, 63 p. (In Russ.)
4. Scarpino M. *OpenCL in Action. How to Accelerate Graphics and Computation*. New York: Manning Publications Co., 2012, 434 p.
5. Chernjak L. Big Data Platforms. *FORS. Otkrytye sistemy*, 2012, no. 07. URL: <http://www.osp.ru/os/2012/07/13017635> (accessed: 01.02.2020). (In Russ.)

6. Vichugova A. Hadoop. 2020. Specialized authorized training center for corporate training on Big Data. URL: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/hadoop> (accessed: 01.02.2020).
7. Nadeau T.D., Gray K. *SDN: Software Defined Networks*. Sebastopol: O'Reilly, 2013, 352 p.
8. Chalkiopoulos A. *Programming MapReduce with Scalding Community Experience Disitilled*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2014, 148 p.
9. Trovati M. et al. *Big-Data Analytics and Cloud Computing: Theory, Algorithms and Applications*. Berlin: Springer, 2016, 169 p.
10. Kumar V.N., Shindgikar P. *Modern Big Data Processing with Hadoop: Expert Techniques for Architecting End-to-End Big Data Solutions to Get Valuable Insights*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018, 394 p.

Received 24.07.2020

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

УДК 004

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДДЕРЖКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ТРЕБОВАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ткаченко К.С.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, РФ

E-mail: kstkachenko@sevsu.ru

Современные производственные предприятия работают на основе сложных цифровых систем. Инфраструктура этих систем состоит из компьютерных узлов. Компьютерные узлы могут работать эффективно либо неэффективно. Эффективность работы компьютерных узлов отражается на работе инфраструктуры и на самом производственном предприятии. Поэтому необходимо управлять компьютерными узлами. Рассматривается управление компьютерными узлами, основанное на моделировании систем массового обслуживания и непараметрических статистиках. Предложены структуры средств для выполнения корректировки параметров компьютерных узлов инфраструктуры. Полученные структуры средств могут лежать в основе выполнения корректировки параметров компьютерных узлов инфраструктуры. Эта корректировка с участием лица, принимающего решения, будет производиться с учетом моделирования систем массового обслуживания и применения к результатам непараметрических статистик. Корректировка параметров позволит обеспечить эффективную поддержку цифровых технологий при изменениях требований на производственных предприятиях.

Ключевые слова: *производственные предприятия, компьютерные узлы, моделирование*

Введение

Электронный документооборот на производственных предприятиях должен быть организован в соответствии с современными потребностями и правилами [1]. На производственных предприятиях системы электронного документооборота отличаются от типовых решений необходимостью учета различных стадий производственного процесса, в том числе проектирования, производства и эксплуатации. Организация и внедрение электронного документооборота в бизнес-процессы существующего производственного предприятия должна осуществляться не стихийно, а ориентироваться на серийное производство продукции. Поэтому эффект от внедренных комплексов документооборота должен отражаться на работе производственных и проектных подразделений предприятия.

Функционирование этих комплексов происходит при взаимодействии локальных баз данных и архивов документации между собой напрямую, а также с использованием технологий облачных и интернета вещей. Внедрение электронного документооборота в некоторой степени изменяет алгоритмы проектирования изделий и работы производственного предприятия, поскольку отражается на процессах принятия решений. В результате формируются киберфизические системы, функционирование которых невозможно без обеспечения требуемых показателей безопасности и надежности.

Необходимость высокопроизводительных вычислений

Повышение роста сложности организации производственных предприятий приводит к уси-