

Сравнение производительности серверных платформ в задачах поиска и анализа текстов¹

В.В. Ядринцев, Д.В. Зубарев, С.И. Мальковский, И.А. Тихомиров

Аннотация. Предложена методика сравнения производительности серверных платформ. Описаны конфигурация оборудования, особенности тестовых задач и используемые наборы данных. Сравнение производительности выполнено на двух современных серверных платформах с процессорами IBM Power8 и Intel Xeon. Эксперименты показали преимущество Power8 над Intel Xeon при решении тестовых задач, особенно на функции поиска текстовых заимствований.

Ключевые слова: сравнение серверных платформ, методика сравнения серверных платформ, семантический поиск, поиск текстовых заимствований, большие массивы текстов, IBM Power8, Intel Xeon.

Введение

В настоящее время наиболее популярными промышленными решениями для высокопроизводительных вычислений и обработки больших объёмов данных являются серверы на базе процессоров Intel Xeon. В качестве серьёзной альтернативы выступают решения на базе IBM Power8, которые также относятся к классу высокопроизводительных серверных платформ.

На данный момент проведено лишь несколько исследований, содержащих сравнение Power8 с современными поколениями платформ на базе процессоров Intel Xeon. При этом сравнения проводятся в основном на синтетических тестах, а не на реальных задачах обработки больших массивов данных. Например, в работах [1-5] тестируются архитектуры высокопроизводительных систем (High Performance Computing) многоядерных и многопоточных

микропроцессоров, в том числе Intel Xeon и IBM Power8. В работе [1] отмечается, что Power8 обеспечивает хорошую полосу пропускания памяти и лучшую одноядерную и сокетную производительность при обработке данных в оперативной памяти по сравнению с другими архитектурами. В работе [2] сравниваются производительности вычислительных платформ, которые в перспективе станут частью будущих датацентров. Основные результаты работ [2,3] показывают, что без учёта энергопотребления процессоры IBM Power8 и Intel Xeon находятся в одном классе производительности, при этом отмечается преимущество Power8 в режиме многопоточных приложений и некоторый проигрыш без включения многопоточного режима в ядрах. Согласно внутренним тестам IBM от апреля 2014 г., системы на базе Power8 способны анализировать данные в 50 раз быстрее, чем последние (на момент проведения тестов) x86-системы [6] (в ходе теста измерялась скорость

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-29-07016.

60 одновременных генераций отчётов из 2,6 терабайт данных в области бизнес-аналитики).

Целью настоящего исследования является разработка методики и сравнение производительности серверных платформ на базе процессоров IBM Power8 и Intel Xeon Broadwell без специальных настроек и оптимизации программного кода под определённую архитектуру на реальных задачах поиска и анализа текстов. Эксперименты в рамках настоящей работы выполнялись без задействования графических ускорителей, использовались ресурсы только основных вычислительных процессоров.

1. Конфигурации серверных платформ

На производительность серверов влияют практически все элементы оборудования: центральный процессор, оперативная память, дисковая подсистема и т.д. Поэтому особенно важно при тестировании платформ выбрать конфигурации с сопоставимыми характеристиками, иначе результаты сравнения могут быть поставлены под сомнение. Так как в рамках настоящей работы нас интересует именно производительность, для экспериментов выбрано оборудование, указанное в Табл. 1.

Отметим следующее: объём и тип оперативной памяти для обеих тестируемых серверных платформ одинаков, но частота шины памяти у платформы на базе Intel Xeon выше, при этом у системы на базе Power8 имеется кэш L4 объёмом 128МБ; общее количество физических ядер у решения на базе Intel Xeon – 16, а у IBM Power8 – 20; дисковая подсистема обоих решений имеет идентичный ключевой параметр: скорость вращения – 7200 оборотов в минуту. Таким образом, конфигурации тестируемых серверных платформ можно считать сравнимыми в плане аппаратной части за исключением центральных процессоров.

В качестве операционной системы на серверы установлен Debian 8.6 Jessie и приложение TextAppliance[8], реализующее функции, на которых будет оцениваться производительность серверных платформ.

Для выполнения расчетов были использованы вычислительные ресурсы ЦКП «Центр данных ДВО РАН» [9].

2. Особенности тестовых задач

TextAppliance предоставляет JSON-RPC API для сервисов поиска и анализа больших коллекций текстов. Для тестирования выбраны две

Табл. 1. Конфигурации серверных платформ

Семейство процессора	Intel Xeon Broadwell	IBM Power8
Дата выхода	1-ый квартал 2016	2-ой квартал 2014
Модель процессора	E5-2620 v4	EP05
Архитектура	x86_64	64-bit POWER8 (ppc64le)
Количество процессоров в системе	2	2
Количество ядер на процессор	8	10
Количество потоков на ядро	2	8 (в режиме SMT8)
Базовая тактовая частота	2,1 ГГц	2,86 ГГц
Объём ОЗУ, тип, частота передачи данных	256ГБ, DDR4, 2133МГц	256ГБ, DDR4, 1600МГц
Дисковые массивы	RAID10 из 4-х дисков по 4ТБ (7200 об./мин.)	RAID0 из 2-х дисков по 1ТБ (7200 об./мин.)
Модель серверной платформы	Supermicro SYS-6018R-WTR	IBM Power S822LC for HPC (8335-GTB) [7]
Тип серверной платформы	Стойка 19", 1U	Стойка 19", 2U
Операционная система	Debian 8 Jessie	Debian 8 Jessie
Тестируемое приложение	TextAppliance 1.6	TextAppliance 1.6

функции, наиболее востребованные у пользователей и требовательные к объёму вычислений, а именно, семантический поиск и поиск текстовых заимствований.

Сервис **семантического поиска** предоставляет полнотекстовый поиск документов по ключевым словам или предложениям, сформулированным на естественном языке с возможностью задания ограничений на поля метаданных документа (автор, заглавие и др.) [10]. Поиск работает на основе многокритериальной оценки сходства предложений. Учитываются статистические, синтаксические и семантические критерии.

Наиболее затратными операциями при семантическом поиске являются: случайное чтение с дискового массива или из кэша файловой системы; декомпрессия считанных данных; слияние (merging) полученных данных, ранжирование списка результатов.

Сервис **поиска текстовых заимствований** работает на основе поиска тематически похожих документов. Для предложений из множества тематически похожих документов осуществляется их многокритериальное сопоставление с наиболее значимыми предложениями проверяемого документа [11].

Наиболее затратными операциями при поиске текстовых заимствований являются: лингвистический анализ текста; случайные чтения с дискового массива или кэша файловой системы; сравнение полученных данных, ранжирование списка результатов.

3. Методика проведения эксперимента

Методика основана на идеях крэнфилдских экспериментов [12], а именно, открытости данных, воспроизводимости результатов и сравнимости условий проведения эксперимента.

Суть методики заключается в сравнении среднего времени выполнения JSON-RPC запросов к системе в условиях эмуляции работы большого количества одновременных пользователей. В рамках эксперимента используются два сервиса TechAppliance: поиск по запросу и поиск текстовых заимствований.

Отметим основные шаги методики (шаги одинаковы для обеих серверных платформ):

1. Конфигурирование тестируемого сервера: фиксация параметров, влияющих на результат сравнения.

2. Конфигурирование тестируемого приложения: настройка всех параметров приложения, выбор количества используемых модулей.

3. Подготовка тестовых данных: тестовых коллекций, набора запросов для функции поиска, набора документов для функции проверки на заимствования (подробнее о подготовке тестовых данных в соответствующей части работы).

4. Тестирование функции **поиска по запросу на английском языке** для разного количества одновременных пользователей.

5. Тестирование функции **поиска по запросу на русском языке** для разного количества одновременных пользователей.

6. Тестирование функции **поиска текстовых заимствований для текстов на английском языке** для разного количества одновременных пользователей.

7. Тестирование функции **поиска текстовых заимствований для текстов на русском языке** для разного количества одновременных пользователей.

8. Сбор полученных данных, формирование итогового результата и построение графиков, показывающих изменение среднего времени выполнения каждой протестированной функции в зависимости от количества одновременных пользователей.

Шаги 4-7 представляют собой эмуляцию одновременных обращений пользователей (в диапазоне от 1 до 100) к функциям системы в течение ограниченного времени (сессии). Положим, что N – количество одновременных пользователей, K – количество прогонов, T – время сессии (время, выделенное для одного прогона). Тогда для любого N : 1, 10, 20, ..., 90, 100 выполняем K прогонов, соблюдая следующие условия:

- N -пользователей одновременно, независимо друг от друга посылают JSON-RPC запросы к системе.
- Каждый пользователь ожидает, пока выполнится предыдущий его запрос.
- Пользователи берут параметры для запроса (в данном случае это поисковый запрос или документ для поиска заимствований) из

заранее подготовленной общей случайной последовательности, одинаковой для обеих тестируемых платформ, каждый запрос является уникальным.

- Если T истекло, то пользователи больше не отправляют новых запросов, происходит ожидание завершения уже «открытых» запросов.

Так как целью исследования является сравнение производительности платформ (процессоров), для минимизации влияния дисковой подсистемы необходимо выбрать такие параметры для экспериментов, которые минимизируют влияние скорости дисковой подсистемы.

- Достаточное количество прогонов (K) для кэширования основного объёма считываемых с диска данных (экспериментальным путём выявлено, что 2-3 одинаковых прогона в задаче поиска по запросу и 1-2 одинаковых прогона в задаче поиска заимствований кэшируют основной объём считываемых данных).

- Достаточное время сессии (T), чтобы за сессию было выполнено достаточное количество запросов (поиск по запросу в среднем выполняется в пределах одной секунды, а поиск текстовых заимствований – в пределах 10-ти секунд).

Таким образом, чтобы дисковая подсистема не влияла существенно на результаты сравнения производительности серверных платформ, определены следующие параметры эксперимента.

- $K = 5$, $T = 3$ минуты, $N = 1, 10, 20, \dots, 90, 100$ для задачи поиска по запросу;

- $K = 3$, $T = 5$ минут, $N = 1, 10, 20, \dots, 90, 100$ для задачи поиска текстовых заимствований.

В условиях одновременного обращения к системе большого количества пользователей возможно невыполнение некоторых запросов по причине сильной загрузки системы. Считая минимизацию количества необслуженных пользователей важнейшим требованием, при выборе итогового результата в первую очередь учитывается параметр «соотношение невыполненных запросов к общему количеству запросов», а затем остальные.

На шаге №8 в качестве итогового используется результат лучшего прогона по «соотношению невыполненных запросов к общему количеству запросов» и среднему времени обработки запроса, что обеспечивает минимизацию влияния слу-

Табл. 2. Тестовые коллекции и объем данных

Коллекция	Количество документов
Российские журналы открытого доступа (Cyberleninka, MathNet)	1 480 678
Русская Википедия (язык русский)	1 390 315
Препринты из arxiv.org	959 714
Английская Википедия (язык английский)	5 395 541
Всего	9 226 248

чайных факторов или задержек, связанных с кэшированием и дисковой системой.

4. Тестовые коллекции и данные

4.1. Тестовые коллекции

В рамках настоящего исследования используются следующие тестовые коллекции: российские журналы открытого доступа (Cyberleninka, MathNet), русскоязычная Википедия, журналы из arxiv.org, англоязычная Википедия (Табл.2).

4.2. Поисквые запросы

Для приближения к реальным условиям в качестве поисковых запросов используются слова и словосочетания из поискового индекса. При этом большая часть поисковых запросов (70%) являются наиболее частотными по рейтингу IDF (Inverse Document Frequency – инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах коллекции), 20% – среднечастотные, 10% – редкие. Полученная выборка поисковых запросов размещивается случайным образом. Схема выборки слов из индекса изображена на Рис. 1.

4.3. Документы для проверки на заимствования

Документы для поиска текстовых заимствований взяты из тестовых коллекций:

- **5000** случайных документов на русском (русскоязычная Википедия, российские журналы)

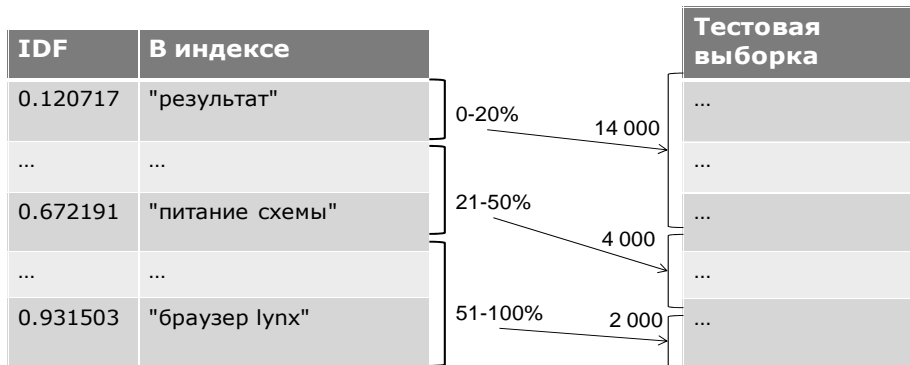


Рис. 1. Схема тестовой выборки поисковых запросов

- **5000** случайных документов **на английском** (англоязычная Википедия, arxiv.org)

Указанные выше документы исключены из индекса, чтобы не исказить результаты эксперимента.

5. Результаты экспериментов

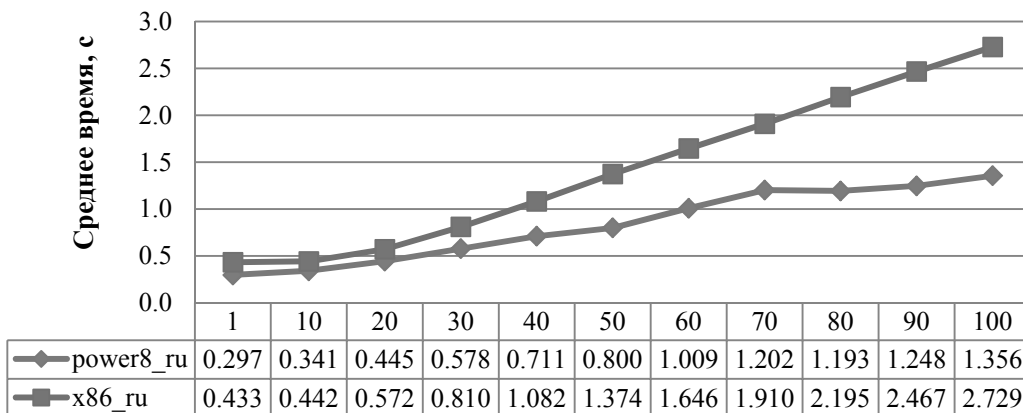
В рамках экспериментов исследуется влияние числа одновременных пользователей на среднее время выполнения поискового запроса и на среднее время поиска текстовых заимствований. Проведено по 4 эксперимента на каждой серверной платформе:

- Поиск по запросу на английском языке;
- Поиск по запросу на русском языке;
- Поиск текстовых заимствований для документов на английском языке;

- Поиск текстовых заимствований для документов на русском языке.

На Рис. 2 представлено влияние числа одновременных пользователей на среднее время выполнения поисковых запросов на русском языке. Рис. 3 отражает аналогичный результат для английского языка.

Из графиков на Рис. 2 и Рис. 3 очевидно, что для случая с одним пользователем среднее время обработки на сервере Power8 ниже, чем на сервере Intel Xeon. Это объяснимо тем, что базовая тактовая частота у Power8 выше, чем у Intel используемой спецификации. Независимо от тестовой коллекции и набора запросов среднее время выполнения запроса для сервера с архитектурой x86, начиная с 20-30-ти пользователей, возрастает линейно (Рис. 3: при 100 пользователях среднее время обслуживания



Количество одновременных пользователей

Рис. 2. Среднее время выполнения поисковых запросов на русском языке

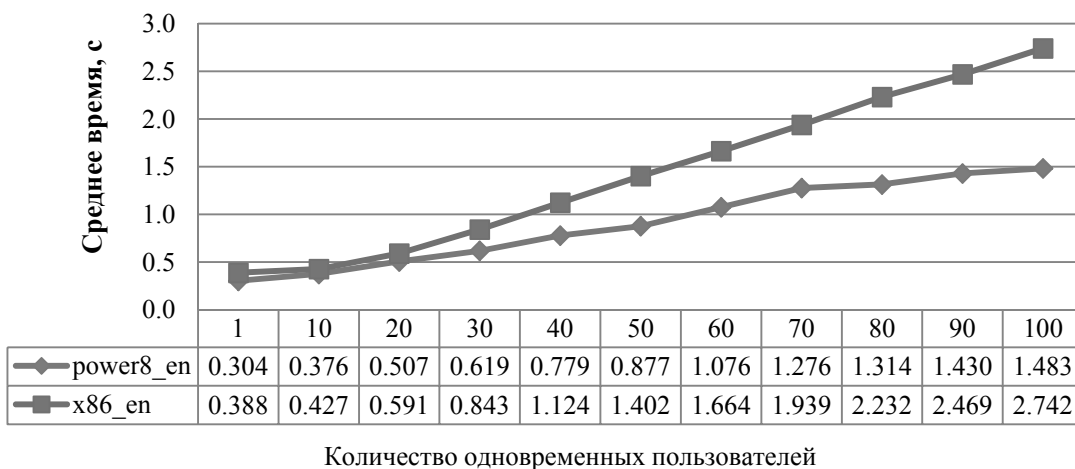


Рис. 3. Среднее время выполнения поисковых запросов на английском языке

в 4,63 раза больше, чем при 20 для запросов на английском языке; Рис.2: для запросов на русском языке аналогичный показатель равен 4,77). Начиная с 20-30 одновременных пользователей, сервер на Intel Xeon начинает работать неэффективно, что объяснимо тем фактом, что в используемой спецификации процессора физических ядер – 16, а виртуальных процессоров (потоков) – 32.

На Рис. 4 изображено влияние числа одновременных пользователей на среднее время выполнения поиска текстовых заимствований на русском языке. Рис. 5 отражает аналогичный результат для английского языка.

Из Рис. 4 и Рис. 5 видно, что в случае с одним пользователем среднее время проверки документа на x86 больше, чем на Power8 более чем в 1.45 раза (~1.455 раза для документов на

английском языке и ~2 раза для документов на русском языке). Начиная с 10 одновременных пользователей независимо от языка проверяемой коллекции наблюдается рост среднего времени выполнения запросов для обеих тестовых платформ, при этом:

- для серверной платформы на базе Power8 наблюдается равномерный рост;
- для серверной платформы на базе процессора Intel Xeon наблюдается существенно более быстрый по сравнению с Power8, неравномерный рост.

Среднее время выполнения функции поиска заимствований на Power8 более чем в 5 раз меньше для документов на русском языке и более чем в 3 раза на английском при 100 одновременных пользователях.



Рис. 4. Среднее время поиска заимствований для документов на русском языке

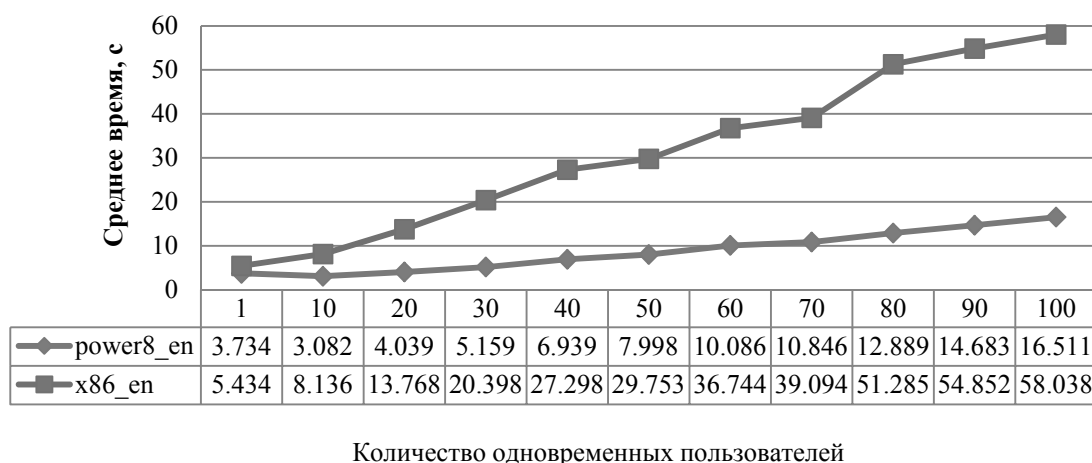


Рис. 5. Среднее время поиска заимствований для документов на английском языке

Заключение

В настоящем исследовании предложена методика и проведено сравнение производительности серверных платформ на базе процессоров Intel Xeon и IBM Power8 в задачах поиска и анализа текстов. В методике учтено влияние дисковой подсистемы и случайных факторов на конечный результат. Эксперименты проведены на сравнимых платформах в части оперативной памяти, дисковых массивов, операционной системы и тестируемого приложения. Существенным различием платформ являются процессоры Intel Xeon E5-2620 v4 и IBM Power8 S822LC. Эксперименты проведены для задач поиска по запросу и поиска текстовых заимствований на больших коллекциях текстов (более 9 млн.) для русского и английского языка.

В результате экспериментов сервер на базе Power8 показал результаты лучшие, чем Intel Xeon Broadwell. Преимущество Power8 особенно заметно на задаче поиска текстовых заимствований (более 3 раз для документов на английском и более 5 раз на русском). Стоит также отметить, что процессор Power8 более устойчив к интенсивной нагрузке. В первую очередь это обусловлено лучшей поддержкой многопоточности.

Дальнейшим направлением исследований является разработка методики для оценки стоимости решений на базе платформ с процессорами Power8 и Intel Xeon Broadwell с учётом

таких параметров, как закупочная стоимость платформы, стоимость обслуживания, энергопотребление, гарантированное среднее время выполнения запросов к системе. Такая методика могла бы оказаться очень полезной в практических задачах выбора платформы для реализации конкретных проектов.

Литература

- Hofmann, J., Fey, D., Riedmann, M., Eitzinger, J., Hager, G., and Wellein, G. Performance analysis of the Kahan-enhanced scalar product on current multi-core and many-core processors // *Concurrency Computat.: Pract. Exper.*, 29. doi:10.1002/cpe.3921, May 2017, e3921.
- A. G. Basden; Investigation of POWER8 processors for astronomical adaptive optics real-time control // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 452, Issue 2, <https://doi.org/10.1093/mnras/stv1396>, September 2015, pp. 1694–1701.
- Infrastructure Matters: POWER8 vs. Xeon x86 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ibmnetwork.com/hubfs/Power8_vs_x86.pdf?t=1485916400962 (дата обращения 19.09.2017)
- Abdurachmanov, David & Elmer, Peter & Eulisse, G & Knight, Robert. Future Computing Platforms for Science in a Power Constrained Era // *Journal of Physics: Conference Series*. 664. doi:10.1088/1742-6596/664/9/092007, 2015.
- Hofmann J., Hager G., Wellein G., Fey D. An Analysis of Core- and Chip-Level Architectural Features in Four Generations of Intel Server Processors // *High Performance Computing. ISC 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10266. Springer, Cham, 2017, pp. 294-314.
- IBM Tackles Big Data Challenges with Open Server Innovation Model [Электронный ресурс]. – URL: <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/43702.wss> (дата обращения 19.09.2017)

7. POWER8 Facts and Features [Электронный ресурс]. – URL: <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=POB03046USEN> (дата обращения 19.09.2017)
8. Ананьева М.И., Девяткин Д.А., Зубарев Д.В., Осипов Г.С., Смирнов И.В., Соченков И.В., Тихомиров И.А., Швец А.В., Шелманов А.О. TextAppliance: поиск и анализ больших массивов текстов // Труды 15-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. - Т3. - С. 220-228.
9. Центр коллективного пользования "Центр данных ДВО РАН" [Электронный ресурс]: сайт. – Хабаровск: ВЦ ДВО РАН. – URL: <http://lits.ccfefbras.ru> (дата обращения: 13.10.2017)
10. Осипов Г.С., Тихомиров И.А., Смирнов И.В. Семантический поиск в сети Интернет средствами поисковой машины Exactus // Труды одиннадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008. - М.: ЛЕНАНД, 2008. - С. 323-328.
11. D Zubarev, I Sochenkov. Using Sentence Similarity Measure for Plagiarism Source Retrieval.// CLEF (Working Notes), 2014, pp. 1027-1034.
12. P. A. Richmond. Review of the cranfield project. // Amer. Doc., 14, doi:10.1002/asi.5090140408, 1963, pp. 307–311.

Ядринцев Василий Владимирович. Аспирант РУДН. Окончил РУДН в 2017 году. Количество печатных работ: 3. Область научных интересов: искусственный интеллект, компьютерная лингвистика, обработка естественного языка. E-mail: vyadrincev@gmail.com

Зубарев Денис Владимирович. Инженер-исследователь ФИЦ ИУ РАН. Окончил РУДН в 2014 году. Количество печатных работ: 9. Область научных интересов: искусственный интеллект, информационный поиск, поиск текстовых заимствований. E-mail: zubarev@isa.ru

Мальковский Сергей Иванович. Научный сотрудник. ФГБУ ВЦ Дальневосточного отделения Российской академии наук (ВЦ ДВО РАН) Хабаровск. Окончил Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС) в 2006 году. Количество печатных работ: 5. Область научных интересов: математическое обеспечение, программные средства и системы для распределенных вычислений, GRID-технологий, облачных вычислений; математические методы в теории искусственного интеллекта и принятия решений. E-mail: sergey.malkovsky@gmail.com

Тихомиров Илья Александрович. Заведующий лабораторией ФИЦ ИУ РАН. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 74. Область научных интересов: искусственный интеллект, компьютерная лингвистика, обработка естественного языка. E-mail: tih@isa.ru

Performance comparison of server platforms in search and text analysis tasks

V.V. Yadrincev, D.V. Zubarev, S.I. Mal'kovskij, I.A. Tikhomirov

The paper suggests a methodology for comparing the performance of server platforms. Hardware configuration, test cases and data sets are described. We present a performance comparison on two modern server platforms (IBM Power8 and Intel Xeon). Experiments demonstrate the advantage of Power8 over Intel Xeon in testing tasks, especially on the plagiarism detection.

Keywords: server platforms comparison, methodology of comparison for server platforms, semantic search, plagiarism detection, large arrays of texts, IBM Power8, Intel Xeon Broadwell.

References

1. Hofmann, J., Fey, D., Riedmann, M., Eitzinger, J., Hager, G., and Wellein, G. Performance analysis of the Kahan-enhanced scalar product on current multi-core and many-core processors // *Concurrency Computat.: Pract. Exper.*, 29, doi:10.1002/cpe.3921, May 2017, e3921.
2. A. G. Basden; Investigation of POWER8 processors for astronomical adaptive optics real-time control // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 452, Issue 2, <https://doi.org/10.1093/mnras/stv1396>, September 2015, pp. 1694–1701.
3. Infrastructure Matters: POWER8 vs. Xeon x86. Available at: https://www.ibmbpnetwork.com/hubfs/Power8_vs_x86.pdf?t=1485916400962 (accessed at September 19, 2017)
4. Abdurachmanov, David & Elmer, Peter & Eulisse, G & Knight, Robert. Future Computing Platforms for Science in a Power Constrained Era // *Journal of Physics: Conference Series*. 664. doi:10.1088/1742-6596/664/9/092007, 2015.
5. Hofmann J., Hager G., Wellein G., Fey D. An Analysis of Core- and Chip-Level Architectural Features in Four Generations of Intel Server Processors // *High Performance Computing. ISC 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10266. Springer, Cham, 2017, pp. 294-314.

6. IBM Tackles Big Data Challenges with Open Server Innovation Model. Available at: <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/43702.wss> (accessed September 19, 2017)
7. POWER8 Facts and Features. Available at: <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=POB03046USEN> (accessed September 19, 2017)
8. Ananeva M.I., Devyatkin D.A., Zubarev D.V., Osipov G.S., Smirnov I.V., Sochenkov I.V., Tikhomirov I.A., SHvec A.V., SHelmanov A.O. TextAppliance: poisk i analiz bol'shih massivov tekstov [TextAppliance: search and analysis of large arrays of texts] // Trudy 15-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence with International Participation] KII-2016. - T3. - pp. 220-228.
9. Shared Facility Center "Data Center of FEB RAS" (Khabarovsk). Available at: <http://lits.ccfbras.ru> (accessed October 13, 2017)
10. Osipov G.S., Tikhomirov I.A., Smirnov I.V. Semanticheskij poisk v seti Internet sredstvami poiskovoj mashiny Exactus // Trudy odinnadcatoj nacionalnoj konferencii po iskusstvennomu untelektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2008. - M.: LENAND, 2008. - pp. 323-328.
11. D Zubarev, I Sochenkov. Using Sentence Similarity Measure for Plagiarism Source Retrieval.// CLEF (Working Notes), pp. 1027-1034.
12. P. A. Richmond. Review of the cranfield project. // Amer. Doc., 14, doi:10.1002/asi.5090140408, 1963, pp. 307–311.

Yadrincev V.V. Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation.
E-mail: vyadrincev@gmail.com

Zubarev D.V. Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation. E-mail: zubarev@isa.ru

Mal'kovskij S.I. Shared Facility Center "Data Center of FEB RAS", Khabarovsk, Russian Federation.
E-mail: sergey.malkovsky@gmail.com

Tikhomirov I.A. Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation. Head of Laboratory, Candidate of Technical Sciences. E-mail: tis@isa.ru