

УДК 004.032

ББК 3.32

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-СЕРВИСОВ В ЗАДАЧЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМ С СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ¹

Душкин Д.Н.²,

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

Данная работа посвящена проблеме выбора корректных критериев сравнения веб-сервисов по предпочтению. Проводится обзор и анализ существующих подходов выбора таких критериев. Подробно рассматривается вопрос оценки чувствительности веб-сервисов. Вводится понятие классов чувствительности веб-сервисов, описана методика выделения и автоматизированного определения классов с помощью техник машинного обучения. Приведены результаты вычислительного эксперимента, реализующего методику. Делаются выводы по проведенной работе и обозначаются перспективные направления исследований.

Ключевые слова: веб-сервисы, сервисно-ориентированная архитектура, машинное обучение, анализ чувствительности.

Введение

Предоставление сервиса вместо аппаратного и программного обеспечения стало одним из ведущих направлений совре-

¹ Автор признателен Смирновой Н.В., Миркину Б.Г. и Фархадову М.П. за ценное обсуждение содержания статьи.

² Душкин Дмитрий Николаевич, аспирант (ddushkin@asmon.ru, тел. 8(916)978-58-96).

менной индустрии информационных технологий. Данная тенденция во многом меняет экономику сферы информационных технологий и оказывает влияние на формирование информационного общества в целом [1].

В основе сервис-ориентированных систем лежит веб-сервис — автономный вычислительный ресурс, предоставляющий свои функции через сеть Интернет (или Интранет) посредством открытых протоколов обмена данными, не зависящих от платформ как самих ресурсов, так и связываемых с ними программных систем. Системы, использующие в своей работе веб-сервисы, называют системами с сервисно-ориентированной архитектурой (СОА).

Часто одну и ту же функцию предоставляют различные сервисы. Например, функцию геокодинга, т.е. конвертацию адреса в географические координаты (например, «Москва, ул. Профсоюзная, 65» в «55.651345, 37.5382»), предоставляют сервисы Google Maps, Яндекс Карты, Bing Maps (сервис Microsoft), Nokia Maps и другие. В таком случае перед инженерами, проектирующими систему с СОА, ставится многокритериальная задача выбора оптимального по предпочтениям веб-сервиса, предоставляющего функцию геокодинга.

В обозреваемых работах (см. далее) выбор критериев сводится к ряду простых, лежащих на поверхности: среднее время отклика, наработка на отказ и ряду других. Не было найдено таких критериев, которые описывали бы веб-сервис в долгосрочной перспективе, что важно в ситуациях, когда необходимо быть уверенным в предлагаемом уровне производительности при увеличении нагрузки. Определение такого критерия может быть полезно как при выборе оптимальной архитектуры системы с СОА, так и при составлении документов регламентирующих соглашение об оказании уровня услуг (англ. service level agreement, SLA).

Примером такого критерия может служить чувствительность веб-сервиса. Чувствительность — критерий, на основе которого может быть оценена возможность обеспечения опре-

деленного уровня производительности при возрастающей нагрузке [2].

Работа состоит из четырех основных частей. Первая часть посвящена обзору современного состояния исследований критериев сравнения веб-сервисов и систем с СОА в целом. Вторая часть посвящена решению задачи оценки чувствительности веб-сервиса. В третьей части кратко описываются результаты вычислительного эксперимента, проведенного на основе выборки из 50 веб-сервисов. В заключительной части делаются выводы по проведенной работе и обозначаются предстоящие направления исследований.

1. Обзор литературы

В российской научной литературе исследованию веб-сервисов уделено мало внимания. В работе [3] веб-сервисы используются как ресурсы, содержащие различные образовательные материалы. В качестве критериев сравнения выбраны класс онтологии и степень близости ресурсов веб-сервиса к заданному классу онтологии. Приводится алгоритм формирования набора веб-сервисов для заданного контекста. Обсуждаемые критерии выбора не являются универсальными и подходят только для узкой предметной области, поэтому результаты этой работы невозможно использовать для решения общей задачи выбора веб-сервисов.

В работе [4] предлагается алгоритм выбора резервных веб-сервисов на основе вычисления интегральной оценки веб-сервиса – весовой функции, вычисляемой по следующим критериям: количество отказов, деленное на количество вызовов (другими словами доступность), среднее время обслуживания запроса и стоимость одного запроса, заданная экспертом. Каждый из критериев умножается на весовой коэффициент, отражающий важность критерия в данный момент времени; полученные значения складываются. Путем сравнения таких интегральных оценок выбирается альтернативный веб-сервис. Стоит заметить, что в данном подходе не рассматриваются

функциональные требования к веб-сервису (т.е. не учитываются предоставляемые веб-сервисом функции); при составлении интегральной оценки веб-сервиса критерии не приводятся к единой шкале для осуществления возможности их сравнения по предпочтению; не рассмотрены способы получения весовых коэффициентов.

В работе [5] рассматривается применение теории нечетких чисел в задаче выбора сервисов для реализации определенных бизнес-процессов в рамках корпоративной информационной системы. Используя терминологию настоящей работы, можно сказать, что в [5] выделяют ряд функциональных критериев (критерии реализации бизнес-процессов) и нефункциональных. К нефункциональным относятся оценки экономических затрат: единовременных, периодических и косвенных. Другие нефункциональные критерии не рассматриваются. Оценки качества реализации функциональных требований определяются экспертно. В целом, в работе в основном рассматривается экономический аспект выбора веб-сервисов, техническая сторона вопроса, касающаяся надежности и производительности веб-сервисов, практически не освещена.

Большое количество исследований по сервисно-ориентированным вычислениям проведено в рамках европейского научно-исследовательского проекта SENSORIA. Часть результатов этих исследований посвящена методам оценки качества веб-сервисов (см., например, [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]). Необходимым условием применимости данных методов является наличие модели оцениваемого веб-сервиса в формализме одной из алгебр случайных процессов. Разработка такой модели требует определенных затрат времени и ресурсов, которые имеет смысл затрачивать разработчику веб-сервиса, но не внешнему пользователю, периодически сталкивающемуся с необходимостью выбора одного из существующих на рынке веб-сервисов для реализации одной из многих функций разрабатываемой им системы массового обслуживания.

Особого внимания заслуживает работа [7], в которой

предлагается алгоритм формирования коллективной оценки веб-сервиса, использующий в качестве мнений экспертов (выборщиков) степени доверия одних веб-сервисов к другим. Этот алгоритм схож с алгоритмом PageRank [13], используемым в поисковом сервисе Google для оценки степени полезности сайтов в зависимости от количества и качества внешних ссылок на эти сайты. Данный подход имеет следующие недостатки: 1) для определения производительности веб-сервиса используется только два числовых показателя (время ответа и доступность), 2) для использования подхода необходимы сведения о том, как ранжируемые веб-сервисы связаны между собой, при этом предполагается, что топология композиции веб-сервисов известна, т.е. доступна информация о том, как веб-сервисы взаимодействуют друг с другом. Второй недостаток существенен, поскольку данные предположения противоречат принципу слабой связности веб-сервисов, являющемуся одним из основных положений подхода к организации сервисно-ориентированных вычислений.

Стоит отметить статью [2], в которой рассматривается такая характеристика, как чувствительность веб-сервиса, отражающая изменение числовых показателей системы при варьировании нагрузки на нее. В статье [2] рассмотрен только случай линейного увеличения нагрузки на систему, при котором отмечается логарифмическое ухудшение пропускной способности сервиса. Кроме того исследовался только «идеальный» лабораторный вариант, когда одна машина в рамках локальной сети тестировала другую. Делалось предположение о схожести полученных результатов исследований для всех веб-сервисов, что не верно при определенных конфигурациях лежащей платформы (например, в случае «облачной» инфраструктуры) и характере дополнительного внешнего трафика веб-сервиса.

В статьях [6, 14] предлагаются онтология и расширение языка XML, которые должны использоваться: 1) провайдерами сервисов для описания качества предоставляемого обслу-

живания, 2) потребителями сервисов для описания требуемого качества обслуживания. Предлагаемая онтология разделена на три уровня. С помощью верхнего уровня описываются сведения об основных концепциях, связанных с измерением показателей качества обслуживания, таких как способ оценки показателя (субъективный или объективный), наличие корреляций между рассматриваемыми показателями и т.д. С помощью среднего уровня онтологии описываются сведения о наиболее значимых по мнению авторов показателях качества обслуживания распределенных систем, такие как доступность сервиса, производительность, надежность и т.д. Нижний уровень предназначен для описания сведений о значениях показателей, специфичных для предметной области сервиса. Авторы предлагают использовать многоагентную систему, в которой должны регистрироваться провайдеры сервисов. Предполагается, что они в дальнейшем будут отсылать ей значения показателей качества обслуживания, а потребители веб-сервисов будут обращаться к ней для выбора наиболее подходящего веб-сервиса. Предлагается способ выбора веб-сервиса для двух показателей качества обслуживания, учитывающий корреляции между показателями. Недостатком подхода является необъективность оценок показателей качества, основанная на доверии к заявляемым провайдерами показателям.

В работе [15] описан способ вычисления интегральной оценки качества веб-сервисов, основанным на использовании утилиты `ring`, посылающей запросы по протоколу ICMP. Несмотря на то, что функционал утилиты `ring` является частью стека TCP/IP, часто сервера настраивают на игнорирование подобных запросов с целью предотвращения проведения атак злоумышленником. Кроме того, в качестве показателей, на основе которых формируется интегральная оценка качества, авторы предлагают использовать только среднее время отклика, время отклика на последний запрос и т.д. При этом не учитывается возможность периодического изменения значений показателей в зависимости от времени суток.

В [16] подробно рассматривается проблема измерения и предсказания производительности систем. При этом изучаемые системы представлены в виде «черного ящика». С помощью методов статистического машинного обучения формируется модель, способная спрогнозировать последующее поведение системы при различных условиях, например, при изменении числа одновременных пользователей системы. Данная работа близка по методологическому содержанию к настоящей работе, но с тем отличием, что в ней в качестве систем рассматриваются только реляционные базы данных с привязкой к синтаксису языка SQL.

Из приведенного обзора можно сделать вывод о малом внимании к критериям, описывающим производительность и надежность веб-сервисов при растущей нагрузке. Такие сведения важны при проектировании системы с СОА на этапе определения максимальной загруженности, при которой система сможет обеспечить приемлемый уровень предоставляемых услуг при данном наборе используемых веб-сервисов. В настоящей работе исследуется критерий чувствительности, позволяющий решить описываемую проблему.

2. Определение чувствительности веб-сервиса

Чувствительность веб-сервиса — критерий, на основе которого может быть оценена возможность обеспечения определенного уровня производительности веб-сервиса при возрастающей нагрузке.

В следующих подразделах работы освещена процедура выделения классов чувствительности и распределения классов по предпочтению. Класс чувствительности определяет принадлежность веб-сервиса к группе, характеризуемой определенными диапазонами значения показателей. Автоматизированное определение класса чувствительности веб-сервисов с помощью алгоритма машинного обучения «с учителем» — методом опорных векторов (англ. Support vector machine, SVM), а также описание системы, осуществляющей все шаги опре-

деления чувствительности, будут описаны в следующих работах.

Выделения классов чувствительности веб-сервисов реализуется следующим образом:

- 1) Формируется случайная выборка веб-сервисов (см. подраздел 2.1).
- 2) Проводится тестирование выборки по определенному плану (см. подраздел 2.2).
- 3) Составляется матрица «объект-признак». С этой целью полученные данные преобразовываются для выделения ряда признаков (факторов), отражающих характер изменения производительности при возрастающей нагрузке (см. подраздел 2.3).
- 4) Проводится эвристическое разделение множества веб-сервисов на классы по уровню чувствительности, экспертно классы упорядочиваются по предпочтению (см. подраздел 2.4).
- 5) Для проверки корректности эвристического разделения веб-сервисов на классы проводится кластеризация данных с помощью алгоритма машинного обучения «без учителя» — методом k -средних (см. подраздел 2.5).

2.1. Формирование выборки

Выборка веб-сервисов формируется на основе данных из каталога API Directory [17], содержащего информацию о более чем 5000 различных веб-сервисах. Выбираются разнородные сервисы, реализующие функции картографии и геокодинга, предоставляющие информацию о различных показателях торговых бирж, о погоде, новостях и т.д. Все сервисы предоставляют свои функции по протоколу REST.

2.2. План теста

Задача теста — определить величину среднего времени обработки запросов, стандартное отклонение времени обработки запросов и количество необработанных запросов при заданной нагрузке. В процессе тестирования осуществляется последовательное выполнение итераций, отличающихся числом запросов в секунду. В рамках каждой итерации в течение секунды отправляется определенное число запросов к веб-сервису по протоколу HTTP. Запросы равномерно распределены в рамках секунды.

Пусть λ_{max} — максимальное число запросов в секунду, S — шаг теста (число, на которое увеличивается количество запросов в секунду в последующей итерации). Тогда можно посчитать общее число итераций в тесте N_{iter} :

$$(1) \quad N_{iter} = \left\lceil \frac{\lambda_{max}}{S} \right\rceil$$

Пусть $\mathbf{r} \in \mathbb{R}^k$ — вектор, содержащий время обработки запросов всего теста, где k — общее число отосланных запросов за все итерации. Для простоты дальнейших вычислений, если i -ый запрос не был обработан или был обработан с ошибкой, то $r_i = 0^3$.

Пусть $Iter \in \mathbb{R}^{N_{iter} \times k}$ — матрица, содержащая информацию о принадлежности запросов к определенным итерациям. $Iter_{i,j} = 1$, если запрос j выполнялся в рамках итерации i , иначе $Iter_{i,j} = 0$. Например,

$$Iter = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В примере запрос 1 отправлен в первой итерации, запросы 2 и 3 — во второй итерации, 4-ый запрос — в третьей.

³При вычислении среднего арифметического и стандартного отклонения исключаются те запросы, время обработки которых равно нулю ($r_i = 0$).

2.3. Получение матрицы «объект-признак»

Матрица «объект-признак» $X \in \mathbb{R}^{m \times n}$, где m — число объектов, n — количество признаков, формируется на основе результатов тестов веб-сервисов. Результат теста состоит из вектора времен обработки запросов \mathbf{r} и матрицы распределения запросов по итерациям $Iter$. Ряды матрицы соответствуют объектам (веб-сервисам), столбцы — признакам. Обозначим $\mathbf{x}^{(i)}$ i -ый ряд матрицы X . Вектор $\mathbf{x}^{(i)}$ является объединением трех векторов:

$$\mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{t}^{(i)} \cup \mathbf{d}^{(i)} \cup \mathbf{e}^{(i)}$$

, где вектор $\mathbf{t}^{(i)} \in \mathbb{R}^{N_{iter}}$ содержит среднее время обработки запросов по итерациям i -го веб-сервиса, $\mathbf{d}^{(i)} \in \mathbb{R}^{N_{iter}}$ — стандартное отклонение времен обработки запросов по итерациям, $\mathbf{e}^{(i)} \in \mathbb{R}^{N_{iter}}$ — количество ошибочных или необработанных запросов по итерациям (далее для краткости такие запросы будем называть просто «необработанные запросы»). Таким образом общее количество признаков $n = 3 * N_{iter}$.

Вектор $\mathbf{t}^{(i)}$ вычисляется следующим образом:

$$t_j^{(i)} = \frac{1}{j \cdot S} \sum_{l: Iter_{j,l}^{(i)}=1} r_l^{(i)}$$

где $i = \overline{1, \dots, n}$ — номер веб-сервиса, $j = \overline{1, \dots, N_{iter}}$ — номер итерации, $l = \overline{1, \dots, k}$ — номер запроса, $\mathbf{r}^{(i)}$ — вектор, содержащий время обработки запросов i -го веб-сервиса, $Iter^{(i)}$ — матрица, содержащая информацию о принадлежности запросов к определенным итерациям. Запись $\sum_{l: Iter_{j,l}^{(i)}=1} r_l^{(i)}$ следует понимать как «сумма по элементам $r_l^{(i)}$, где l такое, что $Iter_{j,l}^{(i)} = 1$ », или «сумма по элементам, принадлежащим i -ой итерации».

Вектор $\mathbf{d}^{(i)}$:

$$d_j^{(i)} = \sqrt{\frac{1}{j \cdot S - 1} \sum_{l: Iter_{j,l}^{(i)}=1} (r_l^{(i)} - t_j^{(i)})^2}$$

Вектор $\mathbf{e}^{(i)}$:

$$e_j^{(i)} = \sum_{l: Iter_{j,l}^{(i)}=1, r_l=0} 1$$

Нормализуем полученные данные. Для этого зададим функцию нормализации g_j :

$$g_j : x_{i,j} \mapsto \frac{x_{i,j} - \min_j x_{i,j}}{\min_j x_{i,j} - \min_j x_{i,j}}$$

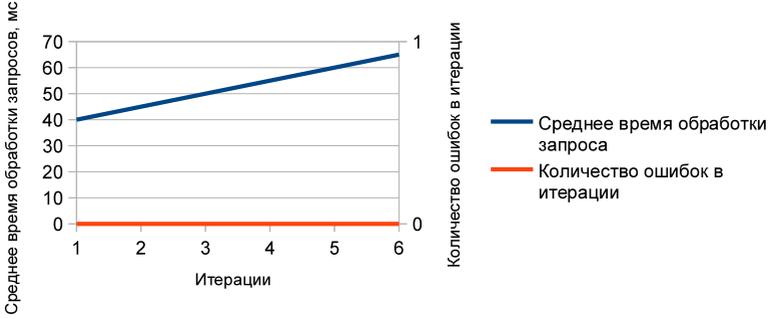
Примем за $X' = g(X)$ нормализованную по признакам матрицу «объект-значение».

2.4. Эвристическое выделение классов чувствительности веб-сервиса

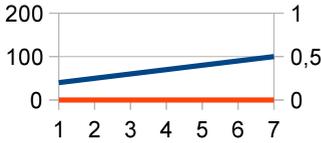
По результатам проведенных тестов было выявлено, что реальные веб-сервисы имеют большой разброс значений критериев. Анализируя полученные массивы данных, нетрудно определить случаи низкой чувствительности, когда повышение нагрузки практически не влияет на значения показателей, и случаи высокой чувствительности, когда небольшое повышение нагрузки значительно увеличивает среднее время обработки запросов и часто ведет к отказу в обслуживании большей части запросов. Однако большинство веб-сервисов демонстрируют промежуточное поведение и возникают сложности с определением их класса чувствительности.

Ниже представлено эвристическое разделение веб-сервисов на классы чувствительности: от предпочтительной низкой чувствительности к высокой. При эвристическом разделении учитывались только показатели среднего времени обслуживания запроса и количество необработанных или ошибочно обработанных запросов на итерацию. Стандартное отклонение в большинстве случаев имеет линейную корреляцию со средним временем обработки запросов.

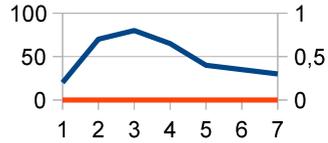
Первый класс (рис. 1(а)) — низкая чувствительность, характеризуется медленным повышением (иногда отсутствием



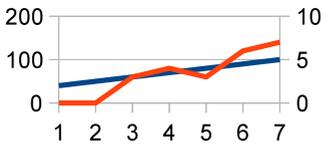
(a) 1 класс чувствительности (низкая чувствительность)



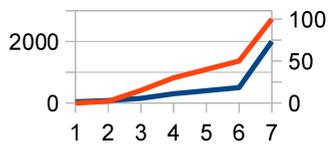
(b) 2 класс чувствительности



(c) 3 класс чувствительности



(d) 4 класс чувствительности



(e) 5 класс чувствительности (высокая чувствительность)

Рис. 1. Концептуальное определение классов чувствительности

повышения) среднего времени обслуживания запросов, отсутствием необработанных запросов.

Второй класс (рис. 1(b)) – средняя чувствительность, характеризуется более быстрым повышением среднего времени обслуживания запросов по сравнению с первым классом, отсутствием необработанных запросов.

Третий класс (рис. 1(c)) – повышение с последующим понижением среднего времени обслуживания запросов, отсутствие необработанных запросов. Такое поведение характерно для ряда «облачных» веб-сервисов (при увеличении нагрузки динамически увеличивается мощность обслуживающего узла) или веб-сервисов с адаптивным распределителем нагрузки (англ. Load balancer) (при высокой утилизации ресурсов одного обслуживающего узла часть запросов передается на обслуживание узлам с меньшей утилизацией).

Четвертый класс (рис. 1(d)) по характеру повышения среднего времени обслуживания похож на второй, но с повышением нагрузки появляется небольшое число необработанных запросов.

Пятый класс (рис. 1(e)) – высокая чувствительность, характеризуется резким повышением среднего времени обслуживания, большим числом необработанных запросов.

2.5. Автоматизированное выделение классов чувствительности

С целью проверки обоснованности эвристического разделения веб-сервисов, а также с учетом последующей автоматизации процесса определения класса чувствительности используется кластеризация данных с помощью алгоритма k-средних [18]. В качестве входных данных используются нормализованная матрица «объект-признак», 5 центроидов (по количеству эвристически определенных классов), каждую итерацию центроиды выбираются случайно, всего проводится 50 итераций, в качестве меры расстояния используется расстояние Евклида.

Результаты кластеризации на экспериментальной выборке приводятся в следующем разделе.

3. Проведение тестов и анализ полученных данных

Зададим план теста: максимальное число запросов в секунду $\lambda_{max} = 300$, шаг теста $S = 10$. Такие значения параметров выбраны экспериментально, т.к. было установлено, что начиная с 280-290 запросов в секунду большинство веб-сервисов демонстрируют устойчивое поведение. Выборка состоит из 50 веб-сервисов: Google Maps, Яндекс Карты, Bing Maps, Nokia Maps, Twitter, Factolex, Quora и др. Исходя из плана теста несложно определить размер матрицы $X \in \mathbb{R}^{50 \times 90}$, т.е. матрица представляет 50 объектов, каждый из которых характеризуется 90 показателями.

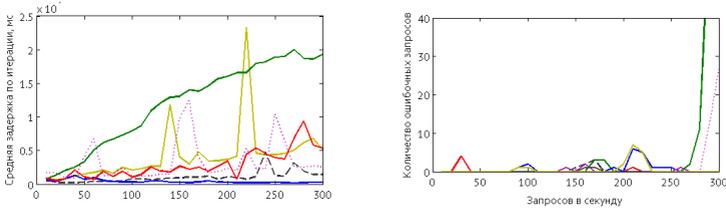
На рис. 2(a) показана⁴ первая группа признаков «среднее время отклика по итерациям» 5-ти веб-сервисов⁵. Данные выбраны таким образом, чтобы веб-сервисы наглядно можно было бы отнести к различным классам. Каждая линия соответствует одному веб-сервису.

Иллюстрация группы признаков «стандартное отклонение времен обработки запросов по итерациям» отсутствует в силу достаточно устойчивой корреляции с первой группой признаков. На рис. 2(b) показана третья группа признаков «число ошибочных запросов по итерациям».

На рис. 3 представлены результаты кластеризации. Каждая линия обозначает один веб-сервис, линии одного цвета принадлежат одному кластеру. Также результаты кластеризации можно визуализировать с помощью метода главных компонент [19], уменьшив размерность с 90 до 2 признаков, наиболее полно объясняющих изменчивость и взаимосвязи ис-

⁴ Для удобства вместо номера итерации на оси x показано число запросов в данной итерации.

⁵ Если отобразить на графике все 50 веб-сервисов, то график станет слишком зашумленным.



(а) Группа признаков «среднее время отклика от числа запросов в секунду»
 (б) Группа признаков «число ошибочных запросов от числа запросов в секунду»

Рис. 2. Ненормализованные группы признаков

ходных данных. На графике каждый плюс обозначает один веб-сервис; плюсы, закрашенные одним цветом, принадлежат одному кластеру.

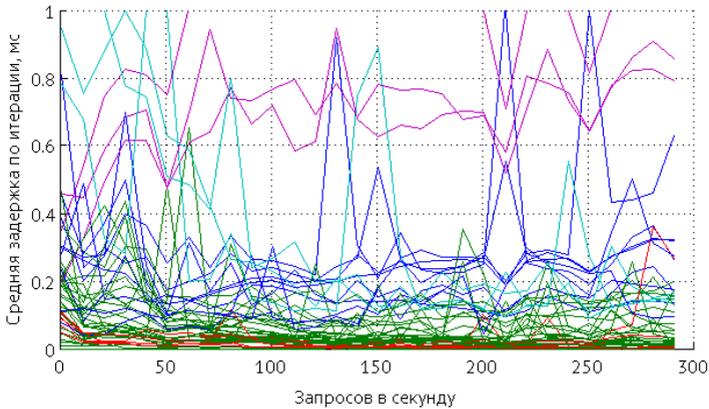


Рис. 3. Нормализованная группа признаков «среднее время отклика от числа запросов в секунду» с распределенными по кластерам веб-сервисами

На рис. 4 хорошо видна разделяемость множества веб-сервисов на различные кластеры. Сопоставляя рис. 4 и рис. 3, а также руководствуясь эвристической классификацией, описанной в подразделе 2.4, можно соотнести кластеры с классами

ми чувствительности.

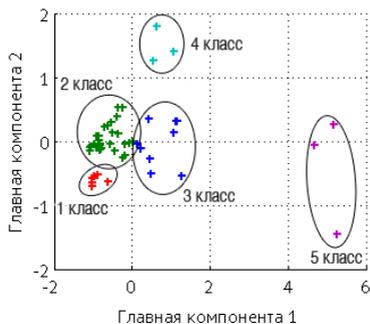


Рис. 4. Применение метода главных компонент к результатам кластерного анализа

4. Выводы

На основе проведенных исследований можно сделать вывод — реальные веб-сервисы демонстрируют различную производительность и надежность при повышении нагрузки. Выявлению такого показателя, который смог бы охарактеризовать различное поведение веб-сервисов при повышении нагрузки, посвящена настоящая работа.

Используя корректное программное обеспечение для проведения тестов и сбора данных, методы анализа данных и машинного обучения возможно автоматизировать процесс определения класса чувствительности веб-сервиса. Автоматизация такого процесса позволит учитывать перспективную производительность и надежность веб-сервисов на этапе проектирования систем с сервисно-ориентированной архитектурой, что особенно полезно при создании систем с высокой нагрузкой.

Видится перспективным продолжение исследований по данной тематике. Возможно выделение новых признаков (и отбор наиболее значимых из имеющихся), характеризующих

чувствительность. Полезна формализация плана проводимого теста с учетом закона распределения среднего времени обработки запросов и погрешностей, возникающих вследствие неизвестного внешнего трафика веб-сервиса. В виду отсутствия программного обеспечения для формирования оптимального по предпочтениям набора веб-сервисов, используемых системой с сервисно-ориентированной архитектурой, а также с учетом растущего рынка программного обеспечения как услуги (англ. Software as a Service, SaaS), видятся перспективными работы по формированию требований к такой системе и её реализация.

В ходе проведения исследований на языке программирования Erlang⁶ реализован автономный сервер, проводящий необходимые тесты, с возможностью получения текущего состояния по сети Интернет. Анализ данных, кластерный и факторный анализы выполнены в математической среде Matlab.

Список литературы

- [1] Wirsing Martin. SENSORIA Software Engineering for Service-Oriented Overlay Computers Result brochure. — 2010. — URL: www.sensoria-ist.eu.
- [2] Maximilien E. Michael, Singh Munindar P. Toward automatic web services trust and selection // Proceedings of the 2nd international conference on Service oriented computing. — ICSOC '04. — New York, NY, USA : ACM, 2004. — P. 212–221. — URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1035167.1035198>.
- [3] Смирнов А.В., Левашова Т.В., Шилов Н.Г. Конфигурирование сервис-ориентированных

⁶Функциональный язык программирования Erlang был выбран из соображений минимизации системной погрешности при проведении тестов, поскольку данная технология обладает эффективной архитектурой параллелизации вычислений.

сетей ресурсов для интеллектуальной поддержки дистанционного образования // Открытое образование. — 2010. — no. 2. — P. 111–117. — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет экономики, статистики и информатики". URL: http://www.e-joe.ru/i-joe/i-joe_02/index.html.

- [4] Бабошин А.А., Кашевник А.М. Подход к организации взаимодействия веб-сервисов на основе модели потока работ // Труды СПИИРАН. — 2007. — no. 5. — P. 247–254.
- [5] Затеса А.В. Нечеткая модель стоимости в рамках сервисно-ориентированного подхода к архитектуре информационных систем // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. Изд. МГУЭСИ. — 2011. — no. 1. — P. 162–164.
- [6] Maximilien E. Michael, Singh Munindar P. A Framework and Ontology for Dynamic Web Services Selection // IEEE Internet Computing. — 2004. — Vol. 8, no. 5. — P. 84–93. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MIC.2004.27>.
- [7] Combining Quality of Service and Social Information for Ranking Services / Qinyi Wu, Arun Iyengar, Revathi Subramanian et al. // Service-Oriented Computing / Ed. by David Hutchison, Takeo Kanade, Josef Kittler et al. — Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009. — Vol. 5900. — P. 561–575. — URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1696105>.
- [8] Non-functional properties in the model-driven development of service-oriented systems / Stephen Gilmore,

- László Gönczy, Nora Koch et al. // *Softw. Syst. Model.* — 2011. — Vol. 10, no. 3. — P. 287–311. — URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10270-010-0155-y>.
- [9] Quantitative analysis of services / Igor Cappello, Allan Clark, Stephen Gilmore et al. // *Rigorous software engineering for service-oriented systems* / Ed. by Martin Wirsing, Matthias Hözl. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. — P. 522–540. — URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2043021.2043052>.
- [10] Tribastone Mirco, Gilmore Stephen. Scaling performance analysis using fluid-flow approximation // *Rigorous software engineering for service-oriented systems* / Ed. by Martin Wirsing, Matthias Hözl. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. — P. 486–505. — URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2043021.2043050>.
- [11] Brewer, Eric A. Towards robust distributed systems // *Proceedings of the nineteenth annual ACM symposium on Principles of distributed computing.* — Vol. 19 of 7. — Portland, OR : ACM, 2000.
- [12] UML extensions for service-oriented systems / Howard Foster, László Gönczy, Nora Koch et al. // *Rigorous software engineering for service-oriented systems* / Ed. by Martin Wirsing, Matthias Hözl. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. — P. 35–60. — URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2043021.2043027>.
- [13] Brin Sergey, Page Lawrence. The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine // *Comput. Netw. ISDN Syst.* — 1998. — Vol. 30, no. 1-7. — P. 107–117. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7552\(98\)00110-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7552(98)00110-X).
- [14] Maximilien E. Michael, Singh Munindar P. Agent-based trust model involving multiple qualities // *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents*

and multiagent systems. — AAMAS '05. — New York, NY, USA : ACM, 2005. — P. 519–526. — URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1082473.1082552>.

- [15] Egambaram Dr. Iiavarasan, Vadivelou G., Sivabramanian S. Prasath. QOS BASED WEB SERVICE SELECTION. — 2010. — URL: <http://130.203.133.150/viewdoc/similar;jsessionid=203D2038AF5FF99220B66A9583AD8F36?doi=10.1.1.175.8941&type=sc>.
- [16] Ganapathi Archana Sulochana. Predicting and Optimizing System Utilization and Performance via Statistical Machine Learning : Ph.D. thesis : UCB/EECS-2009-181 / Archana Sulochana Ganapathi ; EECS Department, University of California, Berkeley. — 2009. — P. 97.
- [17] Web Programmable. API Direcotry.
- [18] MacQueen J. B. Some Methods for Classification and Analysis of MultiVariate Observations // Proc. of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability / Ed. by L. M. Le Cam, J. Neyman. — Vol. 1. — University of California Press, 1967. — P. 281–297.
- [19] Pearson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space // Philosophical Magazine. — 1901. — Vol. 2, no. 6. — P. 559–572.