

УДК 004.75

А.В. Горбенко, О.М. Тарасюк, А.С. Лысенко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ WEB СЕРВИСОВ В СРЕДЕ CLOUD COMPUTING

В статье представлены результаты практического измерения производительности Web сервисов .Net, развернутых в среде Cloud Computing – Microsoft Azure. При проведении экспериментов использовалась методика измерений, которая позволяет отделить характеристики самого web-сервиса от задержек, вносимых средой коммуникации Интернет. Полученные результаты свидетельствуют о значительной неопределенности характеристик web-сервисов, развернутых в Cloud-среде и вызываемых посредством глобальной сети Интернет. Показано, что технологии разработки и развертывания web-сервисов существенно влияют на их производительность.

Ключевые слова: Cloud Computing, web-сервисы, производительность.

Введение

Современные тенденции в области информационных технологий обуславливают стремительный рост внедрения и использования решений, функционирующих на основе модели аренды вычислительных ресурсов по требованию – Cloud Computing, в различных областях деятельности человека: от научных исследований и средств массовой информации до почтовых сервисов, корпоративных компьютерных систем, систем электронной коммерции и информационных Web-ресурсов.

«Облачные» вычисления (cloud computing) – это современная модель обеспечения повсеместного и удобного сетевого доступа по требованию к общему пулу удаленных конфигурируемых вычислительных и программных ресурсов и устройств хранения информации, которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами и/или обращениями к провайдеру [1].

Потребители облачных вычислений могут значительно уменьшить расходы на содержание собственной инфраструктуры информационных технологий, а также динамически реагировать на изменения вычислительных потребностей в моменты пиковой нагрузки, используя свойство вычислительной эластичности (Elastic computing) облачных услуг.

Среди различных форм организации и предоставления услуг Cloud Computing, к которым относятся SaaS (Software as a Service), PaaS (Platform as a Service) и IaaS (Infrastructure as a Service), последняя является наиболее гибким решением, позволяющим развертывать удаленные «виртуальные офисы» и формировать программное окружение аналогичное тому, которое установлено на персональном компьютере или локальном сервере. Однако, фактор удаленности арендуемых вычислительных ресурсов, накладные расходы, связанные с их виртуализацией,

и задержки среды коммуникации – Интернет оказывают негативное влияние на производительность приложений, развернутых в Cloud-среде.

Важным элементом программного окружения, определяющим назначение и функции компьютерной системы является прикладное программное обеспечение. Для его разработки может быть использован широкий спектр языков программирования, библиотек и технологий (frameworks), которые определяют эффективность создания и функционирования программного обеспечения.

Задача выбора адекватного инструментария разработки является важным этапом жизненного цикла программного обеспечения. Ее решение обуславливает сложность реализаций функциональных требований, требуемую квалификацию программистов, а также оказывает существенно влияние на нефункциональные характеристики: надежность, производительность, расширяемость, масштабируемость и др. Таким образом, актуальной задачей является исследование и сравнительный анализ производительности прикладного программного обеспечения в зависимости от используемого инструментария разработки, а также среды его развертывания. С учетом широкого распространения распределенных информационных систем такое исследование представляет особый интерес для web-сервисов – приложений, основанных на сервис-ориентированной модели взаимодействия [2] провайдера и потребителя информационных услуг.

В качестве общего недостатка существующих исследований, проводимых в рамках проектов Cloud Sleuth [3], Cloud Harmony [4] и др. следует отметить то, что указанные работы не позволяют оценить, каким образом задержки среды передачи Интернет влияют на производительность Cloud приложений.

Целью статьи является экспериментальное исследование производительности web-сервисов, разработанных с использованием различного инструментария платформы .Net и предназначенных как

для развертывания на локальном сервере предприятия и в Cloud-среде Microsoft Azure, а также выявление различных составляющих общего времени обслуживания: задержки передачи запроса /результата обслуживания по среде передачи Интернет, а также времени обработки запроса и формирования ответа Web-сервисом.

Основная часть

1. Методика проведения исследований

В качестве тестового приложения для оценки производительности Cloud-платформы был разработан web-сервис, выполняющий сортировку исходного трехмерного массива целых чисел с помощью алгоритма Quick sort. Web-сервис предоставляет возможность изменения объема передаваемых и возвращаемых данных, а также длительности обработки в Cloud-среде на основе задания пользователем количества элементов массива.

Для исследования влияния инструментария разработки на производительность программного обеспечения были реализованы три версии тестового web-сервиса, отличающиеся использованием:

1) инструментария ASMX (ASP.NET) для развертывания на локальном сервере под управлением операционной системы Windows Server 2008;

2) инструментария Windows Communication Framework (WCF) для развертывания на локальном сервере под управлением операционной системы Windows Server 2008;

3) инструментария WCF для развертывания в Cloud-среде PaaS – Microsoft Azure.

Для взаимодействия с пользователем было разработано универсальное клиентское приложение, которое выполняет обращение к web-сервису по протоколу SOAP [5] независимо от места его размещения и инструментария разработки.

С целью исследования влияния Интернет на производительность web-сервисов, развернутых в Cloud-среде была использована методика [6], позволяющая отделить задержку передачи запроса и результата обслуживания по сети Интернет от времени обработки запроса web-сервисом. Для этого в процессе обращения к web-сервису фиксировались четыре временные отметки (см. рис. 1):

1) T1 – время отправки клиентом запроса к web сервису;

2) T2 – время получения клиентского запроса web-сервисом;

3) T3 – время отправки web-сервисом результата обработки клиентского запроса;

4) T4 – время получения ответа от web-сервиса клиентским приложением.

Фиксация указанных временных отметок позволяют оценить следующие показатели производительности web-сервиса:

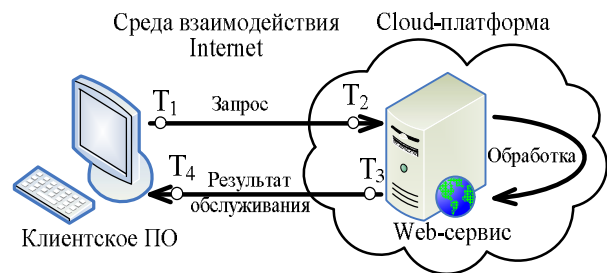


Рис. 1. Методика измерения времени обслуживания web-сервиса

1) общее время обслуживания (T_{RT}) – время между моментом отправки запроса клиентом и моментом получения им ответа от Web сервиса:

$$T_{RT} = T_4 - T_1; \quad (1)$$

2) задержка обслуживания web сервиса (T_{RPT}) – время обработки web-сервисом клиентского запроса, прошедшее от момента получения запроса до момента отправки результата обслуживания:

$$T_{RPT} = T_3 - T_2; \quad (2)$$

3) задержка передачи запроса/результата обслуживания по среде взаимодействия (T_{RTT}) – время, затрачиваемое на пересылку данных запроса/ответа между клиентским приложением и web-сервисом:

$$T_{RTT} = T_{RT} - T_{RPT} = (T_4 - T_1) - (T_3 - T_2). \quad (3)$$

2. Параметры исследования

Характеристики локального сервера и виртуального компьютера, на которых размещался тестовый web-сервис, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики платформ развертывания тестового web-сервиса

VM Instance	Windows Azure (Introductory Special)	In-house Server
Virtualisation technology	Windows Azure Hypervisor (Hyper-V)	-
CPU	1 Core 1.6 GHz	AMD Turion 64 1Core 2.00GHz
RAM	1.75 GB	2GB
Storage	225 GB	120 GB
OS	Windows Azure 64-bit	Windows Server 2008
Middleware	IIS 7.0	IIS 7.0
Data center location	Europe, USA	Home (LAN)

Для анализа изменения характеристик производительности WCF сервиса, предназначенного для работы в Cloud-среде Windows Azure [7], в зависимости от места его размещения использовались две идентичные виртуальные машины, одна из которых была развернута в датацентре компании Microsoft в г. Дублин (Великобритания), а другая – в г. Рэдмонд (США). В качестве входных данных, исследуемые web сервисы получали отсортированный по убыванию массив целых чисел, который автоматически генерировался на стороне клиентского приложения.

Обратно клиенту возвращался массив, отсортированный по возрастанию.

На рис. 2 и 3 представлены результаты экспериментов, проводимых над массивом размерностью 500 элементов, что соответствует объему запроса и ответа от web сервиса – 2 Кбайт.

Клиентское программное обеспечение было развернуто в корпоративной компьютерной сети Национального аэрокосмического университета.

Протяженность тестирования web сервисов – 30 часов. Интенсивность запросов – 1 запрос в час.

3. Анализ результатов оценки производительности

Результаты экспериментальных исследований показывают, что производительность исследуемых Web сервисов существенно зависит как от технологии реализации, так и от места их развертывания в Cloud среде, а также от взаимного расположения клиента и сервиса в глобальной сети Интернет.

На основании данных, полученных при проведении экспериментов, а так же выполненного статистического анализа, можно сделать следующие практические выводы о производительности исследуемых Web сервисов:

1. Несмотря на то, что технология WCF является поле поздней разработкой компании Microsoft по сравнению с технологией ASMX и обеспечивает большую гибкость при создании web сервисов, её использование более чем в два раза снижает производительность Web-приложений.

2. При развертывании WCF сервиса в Cloud среде Windows Azure наблюдается снижение его производительности более чем в два раза по сравнению с идентичным web-сервисом, развернутым на локальном сервере с близкими аппаратными характеристиками.

3. Web сервис, развернутый в Cloud среде Windows Azure в датацентре г. Рэдмонд (США) про-

явил заметную нестабильность в отличие от аналогичного Web сервиса, развернутого в датацентре в г. Дублин (Великобритания). При этом наблюдается устойчивое, хотя и незначительное, отклонение среднего времени обработки T_{RPT} для web-сервисов, развернутых в разных датацентрах несмотря на идентичные характеристики предоставляемых ими виртуальных компьютеров.

4. Это может свидетельствовать о разных аппаратных характеристиках физических серверов, используемых в различных датацентрах компании Microsoft.

5. Сетевая задержка оказывает существенное влияние на характеристики производительности web сервисов, развернутых в Cloud-среде. Кроме того, временные параметры Интернет характеризуются значительным уровнем нестабильности по сравнению с временем обслуживания запроса web-сервисом.

6. Нестабильность сетевой среды взаимодействия потребителя и провайдера web-услуг оказывает существенное влияние на неопределенность характеристик производительности. Эта неопределенность может быть охарактеризована коэффициентом вариации, который определяет отношение среднеквадратичного отклонения и математического ожидания времени обслуживания. В некоторых случаях этот параметр превышает 100%, что свидетельствует о существенной неопределенности характеристик производительности web-сервисов, измеряемых экспериментальным путем.

7. Необходимость использования нестабильной среды взаимодействия Интернет при доступе к Cloud-приложениям, а также разную интенсивность и профили их использования различными пользователями обуславливают отличие в измеряемых характеристиках производительности и надежности Cloud приложений для разных клиентов.

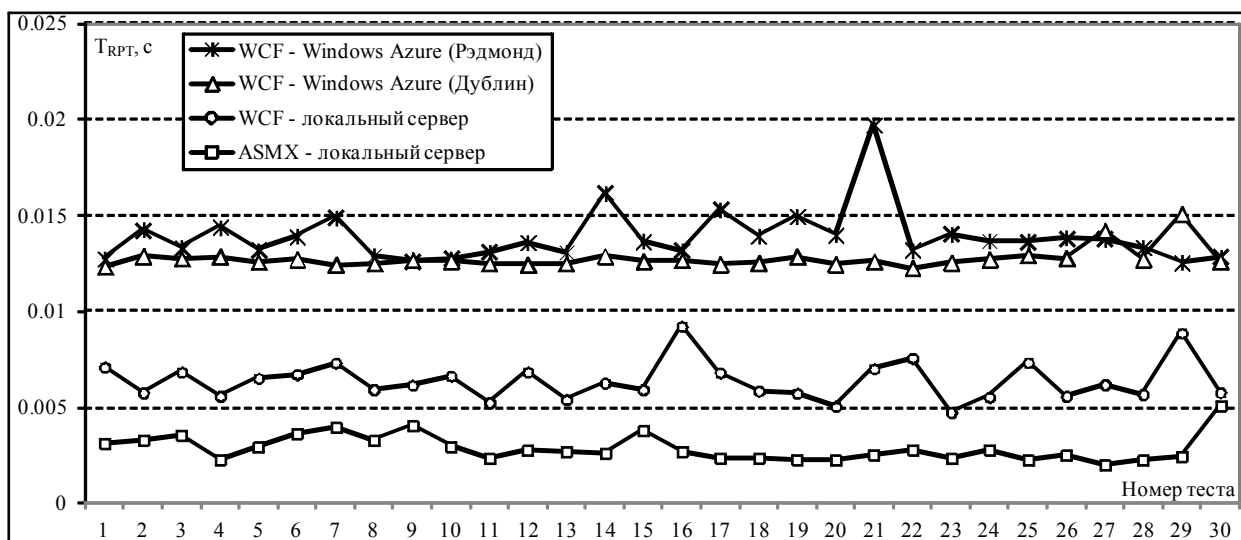
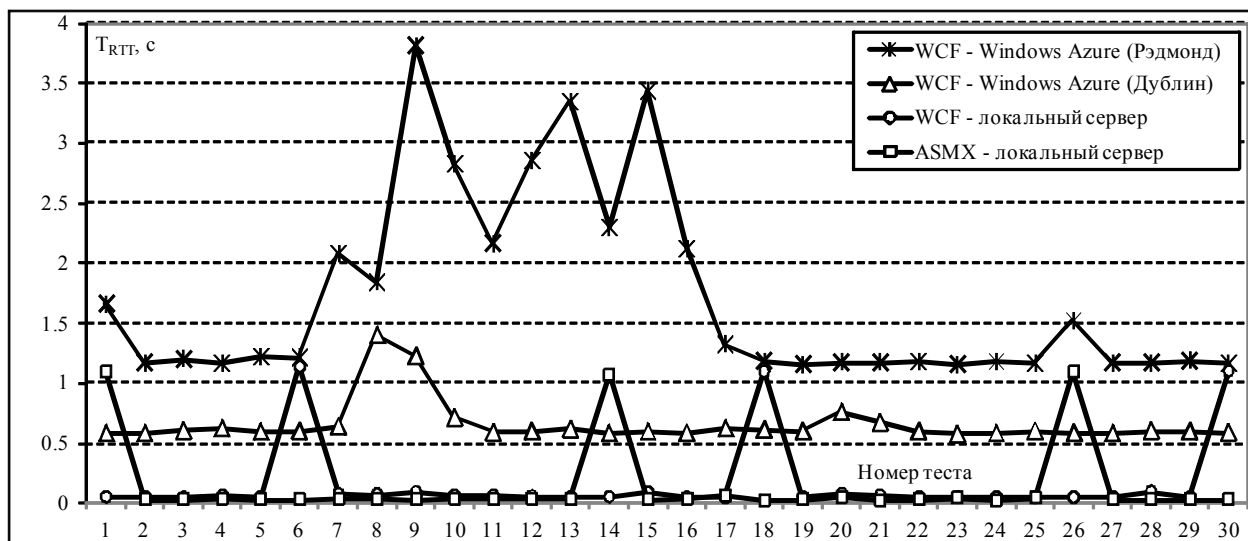


Рис. 2. Статистика изменения времени обслуживания запроса web сервисом T_{RPT}

Статистические данные оценки общего времени обслуживания T_{RT}

	WCF сервис в Cloud среде Windows Azure		Локальный сервер	
	Датацентр в г. Дублин, Великобритания	Датацентр в г. Рэдмонд, США	WCF сер- вис	ASMX сервис
Минимальное значение, с	0.5898	1.1697	0.0516	0.0265
Максимальное значение, с	1.4111	3.8216	1.1431	1.0968
Математическое ожидание, с	0.6689	1.7219	0.1712	0.1409
Стандартное отклонение, с	0.1838	0.7981	0.3212	0.3206
Коэффициент вариации, %	27.48	46.35	187.61	227.53

Рис. 3. Статистика изменения сетевой задержки T_{RT}

Выводы

Необходимость экспериментального исследования производительности web-сервисов и систем Cloud Computing обусловлена тем, что априорное прогнозирование быстродействия web-приложений, развернутых в Cloud-среде затруднено несмотря на то, что провайдеры Cloud-платформ приводят аппаратные характеристики предоставляемых виртуальных машин.

Различие в технологиях реализации современных web приложений, а также нестабильность характеристик среды взаимодействия Интернет оказывают существенное влияние на производительность web приложений и обуславливают значительную степень неопределенности при их практическом измерении.

В то же время, экспериментальные исследования, подобные изложенным в статье, представляются важными, поскольку предоставляют разработчикам и пользователям web приложений информацию для выбора между технологиями их реализации и способами развертывания, а также прогнозирования нефункциональных характеристик.

Список литературы

1. Antonopoulos N. *Cloud Computing: Principles, Systems and Applications* [Text] / N. Antonopoulos, L. Gillam. – L.: Springer, 2010. – 379 p.
2. *Service-Oriented Architecture*. [Электронный ресурс] // Microsoft Developer Network. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa480021.aspx>.
3. *CloudSleuth – Decoding the mysteries of the cloud* [Электронный ресурс] // Compuware. – Режим доступа: <https://cloudsleuth.net>.
4. *CloudHarmony – Transparency for the cloud* [Электронный ресурс] // Cloudharmony. – Режим доступа: <http://cloudharmony.com>.
5. Хабибуллин И.Ш. *Разработка Web-служб средствами Java* [Текст] / И.Ш. Хабибуллин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 400 с.
6. *Real Distribution of Response Time Instability in Service-Oriented Architecture* [Text] / A. Gorbenko, V. Kharchenko, S. Mamutov, et al. // Proc. 29th IEEE International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS'2010). – Delhi (India), 2010. – P. 92-99.
7. Jennings R. *Cloud Computing with the Windows Azure Platform* [Text] / R. Jennings. – Wrox, 2009. – 360 p.

Поступила в редколлегию 19.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет, Харьков.

**АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ WEB СЕРВІСІВ У СЕРЕДОВИЩІ
CLOUD COMPUTING**

А.В. Горбенко, О.М. Тарасюк, О.С. Лисенко

У статті представлено результати практичного вимірювання продуктивності Web сервісів .Net, розгорнутих у середовищі Cloud Computing – Microsoft Azure. При проведенні експериментів було використано методики вимірювань, що дозволяє відокремити характеристики самого web-сервісу від затримок, що вносяться середовищем комунікації Інтернет. Отримані результати свідчать про значну невизначеність характеристик web-сервісів, розгорнутих у Cloud-середовищі, доступ до яких відбувається з використанням глобальної мережі Інтернет. Показано, що технології розробки та розгортання web-сервісів значною мірою впливають на їхню продуктивність.

Ключові слова: Cloud Computing, web-сервіси, продуктивність.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF WEB SERVICES DEPLOYED
IN THE CLOUD COMPUTING ENVIRONMENT**

A.V. Gorbenko, O.M. Tarasyuk, A.S. Lysenko

In the paper we present results of practical performance measurement of the .Net web services deployed in Microsoft Azure Cloud Computing environment. In our experiments we used the measurement techniques allowing to distinguish between characteristics of a web service and delays induced by the Internet which is used as a communication media. Obtained results shows that web services deployed in Clouds and invoked over the Internet are characterized by significant uncertainty of a response time. It is shown, that the web service implementation frameworks and deployment options significantly affect its performance.

Key words: Cloud Computing, web-services, performance.