
УДК 004.75.05

А.В. Горбенко

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

МОДЕЛЬ БАЙЕСОВСКОЙ ОЦЕНКИ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ WEB-СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ

В статье рассмотрена проблема неопределенности нефункциональных характеристик Web-сервисов и сервис-ориентированных систем. Для её решения предложено использовать байесовский подход к оценке. Этот подход базируется на использовании функции априорного распределения случайной величины, которая затем корректируется с учетом результатов фактических наблюдений. В статье предложена модель байесовской оценки гарантоспособности web-сервисов на основе результатов экспериментального измерения. Предложенная модель может быть также использована для оценки оперативности обслуживания Web-сервисов.

Ключевые слова: Web-сервисы, гарантоспособность, неопределенность, байесовская оценка.

Введение

Распределенные информационно-вычислительные системы, построенные на принципах сервис-ориентированной архитектуры [1] с использованием современных Cloud- и Web-технологий [2, 3] находят широкое применение при создании популярных Интернет-сервисов (поисковых систем, социальных сетей, и др.), а также популярны в среде исследователей при обработке результатов научных экспериментов и компьютерном моделировании.

Однако, существенным недостатком таких систем, препятствующим их использования в областях критического и бизнес-критического применения,

является отсутствие гарантии качества предоставляемых услуг, сложность достоверной оценки и обеспечения требуемой надежности и производительности [4]. Указанные проблемы во многом обусловлены неопределенностью нефункциональных характеристик компонентов этих систем, т.е. Web-сервисов.

Неопределенность [5] характеристики гарантоспособности и оперативности Web-компонентов не только затрудняет прогнозирование характеристик сервис-ориентированных систем, построенных на основе их интеграции, но и делает невозможным оптимальное применение существующих методов и средств повышения надежности.

Фактически единственным доступным методом

оценки надежных характеристик компонентов является их экспериментальное измерение [6, 7]. Однако, как было практически установлено, статистическое значение вероятности отказа в обслуживании одного и того же сервиса может существенно различаться для разных клиентов, независимо использующих этот сервис, а также изменяться при изменении условий использования.

Эта неопределенность может быть описана в виде функции плотности распределения вероятности отказа в обслуживании, времени обслуживания и других свойств Web-сервисов, характеризующей априорные знания или ожидания разработчиков и пользователей таких систем [8, 9].

Функции плотности распределения в количественном виде представляет допущения относительно того, что некоторые значения показателей гарантоспособности и оперативности являются более вероятными по сравнению с другими.

Байесовский подход [10] позволяет скорректировать первоначальную функцию плотности распределения оцениваемой характеристики на основе статистической информации, накапливаемой в процессе использования Web-сервиса.

Например, статистическая информация о том, что в процессе эксплуатации некоторого сервиса или сервис-ориентированной системы было направлено n запросов и наблюдалось r отказов (r также может быть равно нулю), предоставляет новые знания, на основе которых может быть скорректирована (уменьшена) первоначальная (априорная) неопределенность относительно значения вероятности отказа в обслуживании. Такая особенность определяет актуальность применения байесовского подхода в задачах оценки характеристик сервис-ориентированных систем.

Целью статьи является разработка модели байесовской оценки гарантоспособности web-сервисов на основе результатов экспериментального измерения.

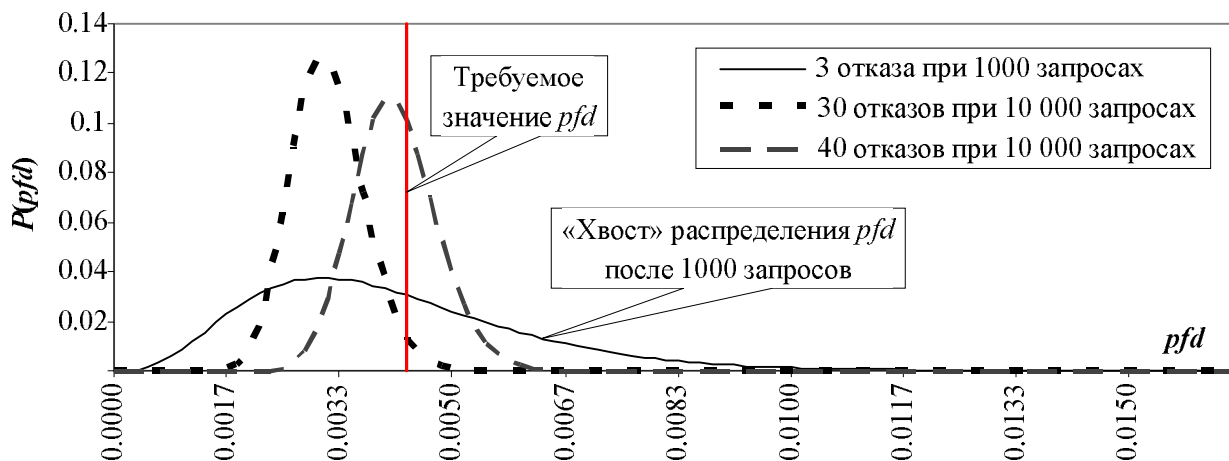


Рис. 1. Эффект снижения неопределенности вероятности отказа в обслуживании pfd с учетом апостериорного наблюдения при использовании Байесовского подхода

1. Байесовский подход к оценке надежности

Байесовский подход может быть использован для снижения неопределенности вероятности отказа в обслуживании, как одного из показателей, характеризующих гарантоспособность Web-сервисов.

Для этого обозначим априорную функцию плотности распределения вероятности отказа в обслуживании (probability of failure in demand, pfd) как $f_p(\bullet)$, а апостериорную функцию распределения вероятности отказа в обслуживании после выполнения n запросов и наблюдения r отказов — $f_p(\bullet | r, n)$.

Апостериорная функция распределения вероятности отказа в обслуживании при использовании Байесовского может быть определена как

$$f_p(x | r, n) \propto L(n, r | x) \cdot f_p(x), \quad (1)$$

где $L(n, r | x)$ — вероятность возникновения r отказов при n запросах при вероятности отказа в обслуживании x , функция плотности распределения которой в случае независимых запросов может быть описана, например, с использованием биномиального распределения:

$$L(n, r | x) = \binom{n}{r} x^r (1-x)^{n-r}.$$

Выражение (1) является общей формой Байесовской формулы и может быть использовано при различных вероятностях и априорных распределений. Байесовский подход позволяет повысить достоверную вероятность (познизить неопределенность оценки) того, что реальное значение вероятности отказа в обслуживании будет больше/меньше установленного порогового значения (см. рис. 1), а также оценить вероятность безотказного обслуживания следующих N запросов:

$$pfd_N = \int_0^1 (1 - pfd)^N \cdot f_p(x) dx.$$

2. Байесовская модель оценки надежности Web-сервисов

В качестве априорной функции плотности распределения вероятности отказа в обслуживании Web-сервисов $f_p(\bullet)$ целесообразным является использование Бета-распределением $Beta(\alpha, \beta)$, с параметрами α и β , определенным на участке от нуля до максимально-возможного значения вероятности отказа.

Выбор Бета-распределения обусловлен тем, что оно относится к семейству сопряженных функций, т.е. апостериорная функция плотности распределения также является Бета-распределением:

$$Beta(\alpha, \beta) \xrightarrow{r, n} Beta(\alpha + r, \beta + n - r), \quad (2)$$

где α и β – исходные параметры Бета-распределения; n – общее количество событий; r – количество благоприятных (неблагоприятных) событий.

При использовании Байесовского подхода для оценки надежности Web-сервисов и сервисориентированных систем параметр n может быть интерпретирован как количество запросов, выполненных к Web-сервису, а r – количество отказов в обслуживании.

Например, использование априорного Бета-распределения $Beta(\alpha=10, \beta=10)$, определенного на участке от 0 до 0,0005 дает априорное математическое ожидание вероятности отказа в обслуживании $pdf^{av} = M[X] = \alpha/(\alpha+\beta) \cdot 0,0005 = 0,25 \times 10^{-3}$.

При заданных условиях в случае использования доверительной вероятности 0.9, априорная вероятность отказа в обслуживании составит $P_{90\%} \leq 0,321 \times 10^{-3}$, а при доверительной вероятности 0.99 – $P_{99\%} \leq 0,373 \times 10^{-3}$.

Например, если в случае выполнения 1000 запросов к Web-сервису на один из них был получен отказ в обслуживании, то апостериорная функция плотности распределения вероятности отказа в обслуживании, в соответствии с (2), может быть определена с помощью Бета-распределения с параметрами $\alpha=10+1$ и $\beta=10+1000-1$, т.е.

$$Beta(\alpha=11, \beta=1009).$$

Однако, как показывают результаты расчетов, при использовании Байесовского подхода к оценке надежности Web-сервисы, выражение (2) должно быть скорректировано с учетом того факта, что проявление дефекта является достаточно редким событием. С этой целью предлагается ввести нормировочный коэффициент для вычисления параметра β апостериорной функции плотности распределения вероятности с учетом априорного математического ожидания вероятности отказа в обслуживании, вычисляемого как $\alpha/(\alpha+\beta)$.

В результате модель апостериорной функции примет вид:

$$Beta(\alpha, \beta) \xrightarrow{r, n} Beta\left(\alpha + r, \beta + \frac{\alpha \cdot (n - r)}{\alpha + \beta} \cdot pdf_{max}\right), \quad (3)$$

где pdf_{max} – правая граница диапазона изменения вероятности отказа в обслуживании.

Таким образом, апостериорная функция плотности распределения вероятности отказа в обслуживании после проявления одного отказа при выполнении 1000 запросов к Web-сервису примет вид: $Beta(\alpha=11, \beta=12,4998)$.

Использование предложенной модели апостериорной Байесовской оценки с помощью априорного Бета-распределения проиллюстрировано на примере детализации априорной вероятности отказа в обслуживании некоторого Web-сервиса, описываемой распределением $Beta(\alpha=10, \beta=10)$ на интервале $[0 \dots 0,0005]$. Результаты применения Байесовского подхода для снижения неопределенности априорной оценки при различных статистических результатах эксплуатации Web-сервиса, определяемых общим количеством запросов и количеством отказов, представлены в табл. 1.

Как следует из анализа данных, если в качестве априорной функции плотности распределения вероятности отказа в обслуживании используется Бета-распределение с параметрами $\alpha=10, \beta=10$, обеспечивающими достаточно низкую неопределенность априорной оценки, то Байесовская оценка вероятности отказа в обслуживании незначительно ухудшется по сравнению со статистической оценкой. В то же время, если используются параметры Бета-распределения, равные единице, что соответствует допущению о равновероятности значений вероятности отказа в обслуживании в диапазоне $[0 \dots 0,0005]$, то Байесовская оценка при использовании 99% процента фактически совпадает со статистической оценкой гарантоспособности Web-сервиса.

Результаты аналитического моделирования гарантоспособности Web-сервисов с использованием модели (3), представленные в табл. 1, согласуются с результатами, полученными при использовании численных методов [11].

3. Выбор априорного закона распределения

Выбор априорного закона распределения вероятности отказа в обслуживании Web-сервиса, а также определение параметров распределения выполняется на основе агрегации результатов обслуживания всех или некоторых потребителей предоставляемой Web-услуги аналогично выбору адекватной функции распределения времени обслуживания, процедура которого определена в [8, 9].

Таблица 1

Результаты применения Байесовского подхода для снижения неопределенности оценки вероятности отказа в обслуживании Web-сервисов

Количество запросов к Web-сервису	Количество отказов	Статистическая вероятность отказа в обслуживании	Параметры Бета-распределения		Математическое ожидание $M[X]$ Байесовской вероятности отказа в обслуживании	Процентили (доверительная вероятность)					
			α	β		10%	50%	75%	90%	95%	99%
Априорная оценка	-	-	10	10	0.000250	0.000179	0.000250	0.000288	0.000321	0.000340	0.000373
10000	0	0	10	12.5000	0.000222	0.000156	0.000221	0.000257	0.000289	0.000308	0.000342
10000	1	0.0001	11	12.4998	0.000234	0.000169	0.000234	0.000269	0.000300	0.000318	0.000350
10000	2	0.0002	12	12.4995	0.000245	0.000181	0.000245	0.000279	0.000309	0.000327	0.000358
10000	3	0.0003	13	12.4993	0.000255	0.000192	0.000255	0.000289	0.000318	0.000335	0.000365
10000	4	0.0004	14	12.4990	0.000264	0.000202	0.000265	0.000297	0.000326	0.000342	0.000371
10000	5	0.0005	15	12.4988	0.000273	0.000212	0.000273	0.000305	0.000333	0.000349	0.000376
Априорная оценка	-	-	1	1	0.000250	0.000050	0.000250	0.000375	0.000450	0.000475	0.000495
10000	0	0	1	3.5	0.000111	0.000015	0.000090	0.000164	0.000241	0.000288	0.000366
10000	1	0.0001	2	3.49975	0.000182	0.000063	0.000173	0.000248	0.000314	0.000351	0.000409
10000	2	0.0002	3	3.49950	0.000231	0.000111	0.000229	0.000297	0.000354	0.000384	0.000430
10000	3	0.0003	4	3.49925	0.000267	0.000152	0.000268	0.000330	0.000379	0.000405	0.000443
10000	4	0.0004	5	3.49900	0.000294	0.000186	0.000298	0.000354	0.000397	0.000419	0.000452
10000	5	0.0005	6	3.49875	0.000316	0.000214	0.000321	0.000371	0.000410	0.000430	0.000459

Результаты, представленные в этих работах, свидетельствуют о том, что наилучшая аппроксимация результатов практического измерения времени обслуживания достигается при использовании законов распределения гамма, бета и Вейбула.

Стандартное бета-распределение сосредоточено на отрезке от 0 до 1, что актуально в задачах оценки надежности. Кроме того, применяя линейные преобразования, бета-величину можно преобразовать так, что она будет принимать значения на любом интервале. Таким образом, бета-распределение целесообразно использовать в задачах байесовского анализа как гарантоспособности, так и оперативности обслуживания Web-сервисов и сервис-ориентированных систем.

При этом правая граница диапазона изменения вероятности отказа в обслуживании или времени обслуживания устанавливается по максимальному значению измеренной статистической вероятности отказа или же максимальному зафиксированному значению времени обслуживания.

Заключение

Неопределенность нефункциональных характеристик Web-сервисов является одной из основных причин сложности оценки и обеспечения гарантоспособности сервис-ориентированных систем, которые строятся на основе интеграции Web-сервисов посредством глобальной сети Интернет.

Неопределенность проявляется в отсутствии достоверных априорных оценок безотказности, го-

товности, времени обслуживания и других свойств, характеризующих гарантоспособность, а также их нестабильности. Однажды измеренные, значения этих свойств имеют тенденцию к быстрой потере актуальности. Кроме того, значения нефункциональных характеристик Web-сервисов, измеренные одним клиентом, оказываются недостоверными для других клиентов. Снижение неопределенности характеристик Web-сервисов и сервис-ориентированных систем видится на основе:

- накопления и агрегации результатов экспериментального измерения характеристик гарантоспособности и оперативности Web-компонентов в процессе их эксплуатации различными потребителями Web-услуг для формирования априорной кооперативной оценки этих характеристик;

- уточнения априорной оценки характеристик Web-компонентов на основе их субъективного апостериорного измерения в процессе эксплуатации сервис-ориентированной системы и уточнение посредством использования Байесовского подхода;

- селектирования характеристик гарантоспособности и оперативности коммуникационной среды взаимодействия от характеристик непосредственно Web-компонентов при их измерении потребителями Web-услуг.

Предложенная модель оценки позволяет снизить неопределенность нефункциональных характеристик Web-сервисов за счет применения Байесовского подхода к уточнению априорных показателей гарантоспособности (заданных в виде априорной

функции плотности распределения значений показателей) на основе их апостериорного экспериментального оценивания.

Априорная оценка нефункциональных характеристик Web-сервиса может быть получена на основе агрегации результатов их измерения со стороны большинства пользователей этого сервиса.

Затем, эта оценка уточняется индивидуально для каждого клиента, использующего Web-сервис, в соответствии с предложенными аналитическими выражениями.

Переход от точечных оценок гарантоспособности и оперативности Web-сервисов к вероятностным, на основе выявления и использования вероятностных законов распределения безотказности и времени обслуживания, делает возможным достоверное оценивание этих характеристик. Такое оценивание подразумевает предоставление доказательных аргументов, гарантий, определяющих степень доверия к результату обслуживания. В качестве таких аргументов могут быть использованы достоверная вероятность и/или процентиля достоверного интервала изменения характеристик гарантоспособности и оперативности.

Список литературы

1. *Service-Oriented Architecture*. [Электронный ресурс] // Microsoft Developer Network. – Режим доступа к ресурсу: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa480021.aspx>.
2. Antonopoulos N. *Cloud Computing: Principles, Systems and Applications* [Текст] / N. Antonopoulos, L. Gillam. – L.: Springer, 2010. – 379 p.
3. Seybold P.A. *Web Services Guide for Customer-Centric Executives* [Текст] / P.A. Seybold. – Boston: Patricia Seybold Group, 2002. – 42 p.
4. Харченко В.С. *Гарантоздатні системи з негарантоздатних компонент: принципи побудови, контролю та управління* [Текст] / В.С. Харченко, А.В. Горбенко //

Опτικο-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1(11). – С. 115-121.

5. *The Threat of Uncertainty in Service-Oriented Architecture* [Текст] / A. Gorbenko, V. Kharchenko, O. Tarasyuk et al.] // RISE/EFTS Joint International Workshop on Software Engineering for Resilient Systems – SERENE'2008: conference proceedings. – Newcastle upon Tyne (UK), 2008. – P. 49-54.

6. Gorbenko A.V. *Instability analysis of delays contributing to Web Service response time* [Текст] / A.V. Gorbenko // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 6 (47). – С. 63-67.

7. *Benchmarking Dependability of a System Biology Application* [Текст] / Y. Chen, A. Gorbenko, A. Romanovsky, et al. // 14th IEEE Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems – ICECCS'2009: conference proceedings. – Potsdam (Germany), 2009. – P. 146-153.

8. Gorbenko A.V. *Determination of distribution laws of delays contributing to Web-services response time* [Текст] / A.V. Gorbenko // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 7 (48). – С. 44-48.

9. *Real Distribution of Response Time Instability in Service-Oriented Architecture* [Текст] / A. Gorbenko, V. Kharchenko, S. Mamutov, et al. // 29th IEEE International Symposium on Reliable Distributed Systems. – SRDS'2010: conference proceedings. – Delhi (India), 2010. – P. 92-99.

10. Box G.E.P. *Bayesian Inference in Statistical Analysis* [Text] / G.E.P. Box, G.C. Tiao. – Addison-Wesley Inc., 1973. – 588 p.

11. Littlewood B. *Assessment of the Reliability of Fault-Tolerant Software: a Bayesian Approach* [Текст] / B. Littlewood, P. Popov, L. Strigini // *Computer Safety, Reliability and Security* / Eds.: F. Koornneef, M. van der Meulen. – Lectures Notes in Computer Science (LNCS). Vol. 1943. – 2000. – P. 294-308.

Поступила в редколлегию 1.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Харьков.

МОДЕЛЬ БАЙЄСІВСЬКОЇ ОЦІНКИ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ WEB-СЕРВІСІВ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ

А.В. Горбенко

У статті розглянута проблема невизначеності нефункціональних характеристик Web-сервісів і сервіс-орієнтованих систем. Для її вирішення запропоновано використовувати байєсівський підхід до оцінки. Цей підхід базується на використанні функції априорного розподілу випадкової величини, яка у подальшому коректується у відповідності до результатів фактичних спостережень. У статті запропонована модель байєсівської оцінки гарантоздатності web-сервісів на основі результатів експериментального вимірювання. Запропонована модель також може бути використана для оцінки оперативності обслуговування Web-сервісів.

Ключові слова: Web-сервіси, гарантоздатність, невизначеність, байєсівська оцінка.

BAYESIAN MODEL OF WEB-SERVICES DEPENDABILITY ASSESSMENT BASED ON EXPERIMENTAL MEASUREMENT

A.V. Gorbenko

In the paper we discuss a problem of non-functional characteristics uncertainty of web-services and service-oriented systems. To solve this problem a Bayesian inference is proposed to be used. Bayesian approach is based on using a priory distribution function of a random variable which is can be detailed on the base of actual observation. In the paper we propose Bayesian model of web services dependability assessment based on experimental measurement. This model can be also used to estimate web-services performance.

Keywords: Web-services, dependability, uncertainty, Bayesian inference.