

С. Л. Френкель, В. Н. Захаров (Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и Управление» РАН). **Задача оценки выполнения требований QoS к компьютерной сети: численные и логические подходы.**

В настоящее время при проектировании и эксплуатации телекоммуникационных и компьютерных сетей среди различных характеристик качества рассматривают так называемые Quality of Services (QoS) — обобщенная характеристика качества и производительности системы с точки зрения пользователя. К QoS могут относиться, например, время ответа, задержки при передаче пакетов, частота возникновения ошибок (или сбоев), пропускная способность и т.д. Поэтому обеспечение QoS является важным аспектом проектирования сетевых систем [1], а проектировщик нуждается в соответствующих моделях и инструментах.

Например, у пользователя некоторого сетевого ресурса может возникнуть потребность в оперативном выборе web-сервисов, и критерием выбора может быть выполнение соответствующих QoS [2]. Поиск независимых путей (Disjoint routing) [3, 4] или поиск кратчайшего пути, обеспечивающего QoS требования с минимальными затратами ресурсов (constrained shortest path problem (CSP)), часто используются для решения указанной проблемы. Эти задачи решаются либо с использованием целочисленного линейного программирования (Integer Linear Programming (ILP)), либо того или иного алгоритма поиска кратчайшего пути (алгоритмов Дейкстры [3]), причем обе эти задачи являются NP-полными. Полиномиальное время решения стараются обеспечить за счет использования «облегченного» (relaxing) требования к решению задачи ILP [4]. Это означает, что вместо задачи ILP решают задачу LP без требований к целочисленности решения. LP решается за полиномиальное время, а процедура округления нецелочисленного оптимального решения LP-задачи дает возможность получать приближенное оптимальное целочисленное решение. Однако не всегда получаемое решение является допустимым (feasible) [4].

Поэтому представляют интерес подходы к обеспечению QoS, основанные на верификации выполнения соответствующих функциональных и временных (производительность) свойств, и, соответственно, внесении изменений в проект систем, в случае их невыполнения («синтез через анализ»).

При этом возможно и полезно использование вероятностных характеристик выполнения требований, поскольку для многих важных практических задач характерна случайность времени вычислений. Например, возможны случайные потери сообщений при обмене сетевыми сервисами. Решение данной задачи может быть выполнено на основе техники вероятностной проверки моделей (probabilistic model checking) [5]. При этом требования к QoS формулируются как вероятности выполнения формальных свойств, описанных на языке Probabilistic Linear Temporal Logic (PLTL), или Probabilistic Computational Tree Logic (PCTL) [5].

В последнее время в качестве марковской модели проектируемой системы используют модель очередей, формальное описание требований к которой описывается

в терминах цепей Маркова с непрерывным временем (Continuous Time Markov Chain (СТМС)) [6]. СТМС позволяет отобразить скорости переходов, которые определяют производительность системы. Однако оценка указанных скоростей сопряжена с большими трудностями.

В предлагаемом докладе авторы показывают возможность использования в качестве математической модели цепи Маркова с дискретным временем (Discrete Time Markov Chains (DTMC)), на основе предложенного ранее CLNM (Combined Logical-Numerical Method) метода [7]. Суть этого метода состоит в независимом использовании формальной верификации для анализа потенциального нарушения условий QoS, и вычислении вероятностей ошибок в результате работы устройства вследствие этих нарушений.

Утверждение. *CLNM-матрица марковской системы может быть получена из матрицы условий 0-1 ILP за линейное время.*

Это утверждение указывает на целесообразность совместного использования обоих подходов при проектировании.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ №13-07-00579 и №15-07-05316.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun Q., Wang S., Zou H., Yang F. QSSA: A QoS-aware service selection approach. — *Internat. J. Web Grid Serv.*, 2011, v. 7, № 2, p. 147–169.
2. Ardagna D., Pernici B. Global and local QoS guarantee in Web service selection. — In: *Business Process Management Workshops. BPM 2005 International Workshops: BPI, BPD, ENEI, BPRM, WSCOBPM, BPS.* (Nancy, France, September 5, 2005.) Revised Selected Papers. Ed. by C. Bussler, A. Haller. Heidelberg etc.: Springer, 2006, p. 32–46. (Ser. Lect. Notes Comput. Sci. V. 3812.)
3. Wang Z., Crowcroft J. Quality-of-service routing for supporting multimedia applications. — *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1996, v. 14, is. 7, p. 1228–1234.
4. Zhanke Yu, Feng Ma, Jingxia Liu, Bingxin Hu, Zhaodong Zhang. An Efficient Approximate Algorithm for Disjoint QoS Routing. — *Math. Problems Engrg.*, Volume 2013, Article ID 489149. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/489149>.
5. Kwiatkowska M. Z. Quantitative verification: models, techniques and tools. — In: *Proceedings of the 6th joint meeting of the European Software Engineering Conference and the ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE'2007).* (Dubrovnik, Croatia, September 3-7, 2007.) Ed. by I. Crnkovic, A. Bertolino. N. Y.: ACM Press, 2007, p. 449–458.
6. G. Cicotti, L. Coppolino, S. DAntonio, L. Romano Big Data Analytics for QoS Prediction Through Probabilistic Model Checking. — arXiv:1405.0327v1, 2 May 2014.
7. Френкель С. Л., Захаров В. Н., Ушаков В. Г. Вероятностная верификация при проектировании вычислительных систем. — В сб.: *Инструменты и методы анализа программ (ТМРА-2014). Материалы Международной научно-практической конференции «Tools & Methods of Program Analysis».* (Кострома, 14–15 ноября 2014.) Под ред. М. В. Киселева и др. Кострома: Изд-во КГТУ, с. 148–155.