

0.1. Добринец И.М., Тетерина Е.А., Викулова Е.Р. Математическое моделирование управления микросервисной архитектурой с учетом случайных факторов

В данной работе исследуется задача управления архитектурой микросервисов с использованием стохастических дифференциальных уравнений (СДУ). Современные распределенные вычислительные системы обладают высокой сложностью и неопределенностью, что требует применения адекватных математических подходов для их анализа. Мы предлагаем использование СДУ для моделирования динамических процессов в таких системах, учитывая случайные воздействия и колебания нагрузки [2]. Предложенная модель описывается следующим образом:

$$dx(t) = f(x(t), u(t), t) dt + g(x(t), u(t), t) dW(t),$$

где $f(x, u, t)$ – детерминированная часть, а $g(x, u, t)$ – стохастическая часть; $W(t)$ – Винеровский процесс, представляющий белый шум [4].

Для описания микросервисной архитектуры функции f и g могут быть выбраны следующим образом:

$$f(x, u, t) = \begin{pmatrix} \lambda_1(t) - \mu_1(x_1, u_1) \\ \lambda_2(t) - \mu_2(x_2, u_2) \\ \vdots \\ \lambda_n(t) - \mu_n(x_n, u_n) \end{pmatrix},$$

где $\lambda_i(t)$ – интенсивность входящего потока запросов к i -му микросервису, $\mu_i(x_i, u_i)$ – интенсивность обслуживания запросов i -м микросервисом [3].

Функция цели J формулируется как:

$$J = \mathbb{E} \left[\int_0^T (c_1 \cdot E(W(x(t))) + c_2 \cdot R(u(t))) dt \right],$$

где $E(W(x))$ – ожидаемое время ожидания в очереди, $R(u)$ – затраты на ресурсы [2].

Ограничения задачи включают:

- ограничения на управление: $u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}$;
- ограничения на состояние: $x_{\min} \leq x(t) \leq x_{\max}$.

Методы решения задачи включают:

1. Методы численного решения СДУ:
 - Метод Эйлера-Маруямы, использующийся для аппроксимации траекторий СДУ [3].
 - Стохастическая версия метода Рунге-Кутты [1].
2. Оптимальные стратегии управления:
 - Принцип максимума Понтрягина для стохастических систем [6].
 - Методы стохастического программирования [5].

Проведенные эксперименты с тестовой системой показали, что среднее время отклика уменьшилось на

27%, а утилизация ресурсов повысилась на 18%. Эти результаты подтверждают эффективность предлагаемого подхода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-21-00296).

Список литературы

- [1] BURRAGE K., BURRAGE P.M., TIAN T. Numerical methods for strong solutions of stochastic differential equations: an overview // Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2004. V. 460. № 2041. P. 373–402.
- [2] FLEMING W.H., SONER H.M. Controlled Markov processes and viscosity solutions. Springer Science & Business Media, 2006.
- [3] KLOEDEN P.E., PLATEN E. Numerical solution of stochastic differential equations. Springer Science & Business Media, 1992.
- [4] OKSENDAL B. Stochastic differential equations: an introduction with applications. Springer Science & Business Media, 2003.
- [5] SHAPIRO A., DENTCHEVA D., RUSZCZYŃSKI A. Lectures on stochastic programming: modeling and theory. SIAM, 2009.
- [6] YONG J., ZHOU X.Y. Stochastic controls: Hamiltonian systems and HJB equations. Springer Science & Business Media, 1999.