

Механизм выборочного переключения на резерв в режиме ожидания для отказоустойчивых цепочек сервисных функций

Мустафин А. М.¹

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Богатырев В. А.¹

¹Университет ИТМО
armustafin@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы кандидатской диссертации «Адаптивная отказоустойчивость программно-конфигурируемых сетей при ограниченных средствах мониторинга».

Введение

Цифровые производственные контуры Industry 4.0 опираются на облачную инфраструктуру и цепочки сервисных функций (SFC), обеспечивающие последовательную обработку промышленного трафика. В условиях реальной эксплуатации ключевой проблемой становится компромисс между доступностью и затратами ресурсов: реактивное восстановление после отказов минимизирует предварительное резервирование, но повышает простой сервиса, тогда как полная защита резервом снижает простой ценой значительного расхода вычислительной емкости [1], [2].

Анализ существующих работ показывает, что при совместном функционировании критических и некритических сервисов, равномерная стратегия защиты часто оказывается неэффективной: уровень риска и цена нарушения SLA (Service Level Agreement) неоднородны для разных классов запросов [2], [3]. Это формирует научную задачу выбора избыточности по критичности и риску узлов размещения.

Основная часть

Предлагается механизм Selective Standby Failover (SSF), в котором переключение на резерв в режиме ожидания выполняется избирательно. Для критических цепочек резервирование задается параметром приоритизации, а для некритических цепочек резерв выделяется только на узлах с повышенным интегральным риском, учитывающим интенсивность отказов, среднее время восстановления и текущую загрузку. Такой подход позволяет направлять ограниченные ресурсы туда, где они дают максимальный эффект по снижению времени простоя и нарушений SLA.

Проверка выполнена в воспроизводимом имитационном контуре на топологии из 50 узлов для двух сценариев: статического и динамического (maintenance-изменения топологии). Проведено сравнение с базовыми политиками: полностью реактивным восстановлением, полной standby-защитой и абляциями по отдельным компонентам. Получено, что при базовой интенсивности отказов SSF снижает средний простой примерно на 29% относительно реактивного подхода и уменьшает накладные расходы резервирования примерно на 61% относительно полной защиты при сохранении более высокой доли принятых запросов.

Выводы

Результаты показывают, что выборочное резервное переключение в режиме ожидания является практически применимым механизмом для промышленных SFC-систем, где требуется одновременно поддерживать отказоустойчивость и приемлемую эффективность использования ресурсов. Практическая ценность метода состоит в интерпретируемых параметрах настройки, позволяющих адаптировать политику под целевые SLA предприятия.

Перспективы внедрения связаны с интеграцией механизма в контуры оркестрации edge, облачных платформ и расширением модели на коррелированные отказы и shared-risk группы. Подход может быть использован как основа для регламентов отказоустойчивого управления сервисными цепочками во локальной вычислительной сети предприятий [3], [4].

Литература

1. Liu Y., He Y., Li Y., Wang X., Zhang K., Ju M., Ma Z., Tian Q. Cost-Oriented and Delay-Constrained Anycasting for Service Function Chain Provisioning Leveraging Cloud-Edge Collaboration in Space-Air-Ground Integrated Networks // IEEE Internet of Things Journal. 2025. Vol. 12, no. 4. P. 4475–4487.
2. Chen Z., Li J., Yang F. SFC-HO: Fast Failover for Service Function Chaining via Hybrid Orchestration // Computer Networks. 2022. Vol. 214. Art. 109157.
3. Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Bogatyrev A. V. Recovery of Real-Time Clusters with the Division of Computing Resources into the Execution of Functional Queries and the Restoration of Data Generated Since the Last Backup // Lecture Notes in Computer Science. 2024. Vol. 14123. P. 236–250.
4. Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Bogatyrev A. V. Assessment of the readiness of a computer system for timely servicing of requests when combined with information recovery of memory after failures // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2023. Vol. 23, no. 3. P. 608–617. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-608-617.