

ПОДХОД К АДАПТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ СОСТОЯНИЕМ УЗЛОВ В СИСТЕМАХ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА VRRP

Сотников Н.О.¹

Научный руководитель – Руссу В.Ю.¹

¹ВКА имени А.Ф. Можайского

vka@mil.ru

Введение

Современные распределённые вычислительные системы требуют высокой доступности сетевых сервисов. Одним из наиболее распространённых механизмов обеспечения отказоустойчивости в сегменте шлюзов и маршрутизаторов является протокол Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP), стандартизованный в RFC 5798 [1]. Протокол обеспечивает автоматическое переключение виртуального IP-адреса (VIP) между несколькими узлами при отказе основного шлюза, тем самым минимизируя время недоступности сервиса [5].

Анализ существующих отечественных и зарубежных реализаций VRRP показывает, что в большинстве из них, включая программный комплекс keepalived [2], используется статическая модель выбора активного узла. Приоритет узла задаётся конфигурационно и может корректироваться лишь простыми механизмами отслеживания состояния интерфейсов или выполнением внешних проверочных скриптов. Такой подход решает задачу переключения при полном отказе оборудования, однако не учитывает деградацию его состояния [4]. Узел может формально оставаться «живым», но находиться под высокой вычислительной или сетевой нагрузкой, что приводит к снижению качества обслуживания без запуска механизма переключения.

Данное противоречие создаёт необходимость в разработке таких адаптивных подходов выбора узла, которые способны учитывать деградацию элементов инфраструктуры для обеспечения её отказоустойчивости и безопасности.

Основная часть

В рамках работы разработана адаптивная модель выбора активного узла, дополненная механизмами расширенной наблюдаемости (Observability) [3] в программной реализации VRRP.

Суть предлагаемого подхода заключается в переходе от бинарной «работоспособен/неработоспособен» к динамической модели оценки состояния узла. Вместо использования исключительно статического приоритета вводится модуль вычисления эффективного приоритета, зависящего от текущих эксплуатационных параметров и степени деградации узла [4]. К таким параметрам относятся загрузка центрального процессора, использование сетевого интерфейса, уровень потерь пакетов, задержка обмена служебными сообщениями и частота переходов состояний.

Механизм заключается в том, что сначала задаётся базовый приоритет узла, а затем он в случае необходимости меняется на основе оценки состояния. При ухудшении показателей эффективный приоритет снижается, что позволяет резервному узлу принять роль основного, предотвращая простой до полного отказа. Чтобы избежать частых изменений, используется механизм с задержкой переключения и минимальным порогом изменения приоритета.

В реализации предусмотрены механизмы расширенной наблюдаемости системы. В отличие от традиционного анализа состояния на основе журналов событий, осуществляется интеграция средств мониторинга и телеметрии (Prometheus и Grafana),

обеспечивающих получение актуальных параметров функционирования в реальном времени. Средство мониторинга предоставляет программный интерфейс для получения времени и истории переключений, текущего состояния и стабильности работы кластера при колебаниях нагрузки, значения эффективного приоритета и причин изменения роли узла, что соответствует современным принципам «Observability».

Выводы

Разработан алгоритм и его программная реализация для выбора активного узла в системах, основанных на протоколе VRRP, учитывающий параметры деградации состояния оборудования. Реализация алгоритма позволяет обеспечить переход от модели «переключение при отказе» к модели «переключение при деградации», что позволяет сократить период функционирования системы в состоянии пониженной производительности и повысить устойчивость сетевых сервисов.

Предлагаемое программное решение может быть применено в корпоративных сетях, ведомственных информационных системах, центрах обработки данных, а также в инфраструктурах виртуализации и контейнеризации [5]. Оно не требует модификации сетевой инфраструктуры, специализированного аппаратного обеспечения и может быть внедрено путём замены программной реализации VRRP на разработанную адаптивную версию, что дает возможность интегрировать его в существующие системы с минимальными организационными и техническими затратами.

Литература

1. Nadas S., Ed., et al. Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) Version 3 for IPv4 and IPv6. RFC 5798. – IETF, 2010.
2. Keepalived Development Team. Keepalived Project Documentation [Электронный ресурс].
3. Том Уилки. "Monitoring vs. Observability". – Статья на InfoQ (2020)
4. Борисов, Ю. В. Сетевые технологии и архитектуры компьютерных сетей – М.: Изд-во МГТУ, 2019.
5. Виноградов, А. В. Отказоустойчивые распределённые системы: теория и практика – СПб.: БХВ-Петербург, 2018.