

Введение

В настоящее время количество информационных систем, технологий и методик, связанных с передачей и обработкой больших массивов данных возрастает и модернизация устройств для поддержки сетей новых поколений связи приводит к значительному увеличению капитальных и эксплуатационных расходов. Переход и ввод в эксплуатацию сетей 5G и последующих поколений в России и в мире предполагают использование единой программно-конфигурируемой сетевой инфраструктуры сразу несколькими операторами связи. Во избежание дополнительных затрат единая сетевая инфраструктура предприятий строится в виде центров обработки данных (ЦОД). Однако для развертывания крупномасштабных систем с поддержкой эффективной производительности и отказоустойчивости целесообразно распределять информационные ресурсы между несколькими ЦОД. Распределенная плоская архитектура сетей ЦОД, построенная на основе базовых (опорных) сетей, позволяет значительно снизить задержки при обслуживании и передаче пользовательского трафика, обеспечить оптимизированную доставку сетевого контента без топологических ограничений и динамически переконфигурировать параметры сети в зависимости от текущих потребностей пользователей. На сегодняшний день такие задачи актуальны при формировании региональной сетевой инфраструктуры с учетом особенностей, действующих на территории региона провайдеров связи. Это дает возможность сократить общие затраты на создание высокоскоростных каналов связи, построить устойчивую сетевую структуру, к которой легко подключать новые сегменты с учетом специфики компании. Внедрение новых подходов к построению и проектированию сетевой архитектуры упрощает отображение сетевых функций и позволяет обслуживать те-

кующую инфраструктуру сети распределенных ЦОД несколькими провайдерами связи для предоставления различных сервисов.

Подходы к созданию инженерной инфраструктуры ЦОДов изменяются вслед за изменениями моделей предоставления ИТ-услуг, ростом вычислительной мощности стоек и возрастающими требованиями к энергоэффективности. Виртуализация сетевой инфраструктуры предприятия или ее части с помощью ЦОД позволяет гибко управлять топологией и функциями сети в режиме реального времени, а также избавиться от избыточных затрат на дорогостоящее оборудование и обслуживание сети. В связи с этим на рынке появилось большое разнообразие стандартизированных решений, позволяющих создавать эффективную сетевую инфраструктуру предприятия. Для обеспечения масштабируемости и отказоустойчивости сетевой инфраструктуры на практике чаще всего используют резервные узлы и каналы связи. Однако ЦОД могут обслуживаться несколькими различными сетевыми провайдерами. При распределении сетевой инфраструктуры между несколькими ЦОД важными показателями эффективности функционирования новой сетевой инфраструктуры также являются возможность расширения сети с учетом наращивания портовой емкости, а также отказоустойчивость узлов и линий связи. В связи с этим основное внимание уделяется эффективности применяемых процессов маршрутизации данных между ЦОД.

Для организации соединений между ЦОД используют сетевые оверлейные технологии виртуализации VXLAN (Virtual Extensible LAN) и OTV (Overlay Transport Virtualization), позволяющие получить новую логику работы сети ЦОД, используя в качестве основы стандартные протоколы стека TCP/IP. Однако в реальных случаях задача поиска оптимальных маршрутов в ЦОД осложняется наличием нескольких альтернативных вариантов реализации, что приводит к необходимости стыковки каналов в узлах сети и возникновению зависимости стоимости узла от подключаемых к нему каналов связи. Примером может служить задача оптимального построения базовой сети региона при наличии нескольких операторов связи с различными зонами покрытия абонентов. Решение задачи адаптивной маршрутизации в мультипровайдерных компьютерных сетях (МПКС) распределенных ЦОД является довольно сложной задачей. Из-за высокой

загрузки маршрутизаторов в ЦОД и частого обновления маршрутной информации обо всех изменениях в сети вычислительный процесс построения таблиц маршрутизации является очень трудоемким, так как необходимо проанализировать все возможные варианты решений с учетом числа подключенных провайдеров в ЦОД, а также типов пользовательского трафика.

Стоит отметить, что отечественные и зарубежные компьютерные сети ЦОД не используют в своей работе подходов реконfigurирования правил маршрутизации для прогнозирования возможного поведения в сети в случае динамического изменения параметров и структуры сети ЦОД. В то же время выбор маршрута, который учитывает динамику МПКС, позволяет обеспечить высокую скорость обработки и контроля данных, быструю реакцию на изменения параметров в сетевой топологии, снизить стоимость и эксплуатационные расходы по ее обслуживанию, а также выполнить поддержку заданного уровня качества сервиса для сетевых. Таким образом, на основании всего вышесказанного, можно сделать вывод об актуальности и важности задачи проектирования МПКС.

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с программами курсов «Компьютерные сети» и «Распределенные вычисления» для студентов, обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки бакалавриата 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

В учебном пособии в сжатой и доступной форме последовательно изложены теоретические и практические аспекты построения и проектирования мультипровайдерных компьютерных сетей (МПКС). Материал учебного пособия сопровождается большим числом иллюстративного материала и практических примеров, что позволяет студентам правильно проектировать структуры МПКС, выбирать необходимые алгоритмы маршрутизации, а также разрабатывать программные компоненты на их основе.

Учебное пособие состоит из четырех глав. Первая глава посвящена основным этапам развития мультипровайдерных компьютерных сетей, построенных в виде сети распределенных ЦОД. Рассмотрены основные понятия и определения, перспективы развития сетей ЦОД, а также известные сетевые технологии коммутации и маршрутизации данных в сетях ЦОД. Во

второй главе детально рассмотрены основные принципы конфигурирования маршрутов МПКС, а именно: модифицированный алгоритм Прима для построения базовой опорной мультипровайдерной сети, а также модифицированные алгоритмы Дейкстры и Йена для решения задачи адаптивной маршрутизации в МПКС. Третья глава посвящена разработке методов и алгоритмов реконфигурирования параметров и структур МПКС. Детально рассмотрены алгоритмы масштабирования и обеспечения отказоустойчивости структур МПКС, а также вопросы динамического перестроения таблиц маршрутизации при изменении параметров качества сервиса в МПКС. Вопросы разработки программной системы и программных компонентов построения и проектирования МПКС рассмотрены в четвертой главе. Детально рассмотрена архитектура визуальной программной системы DC Designer и основные принципы проектирования мультипровайдерных структур. Также в четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований алгоритмов реконфигурирования параметров и структур МПКС.

В результате изучения данного учебного пособия студенты усвоят основы построения и проектирования МПКС, основные принципы конфигурирования маршрутов базовой опорной МПКС, методы и алгоритмы динамического реконфигурирования параметров и структур МПКС, а также новые перспективные решения в области программного управления сетевым трафиком компьютерных сетей.

Данная книга может использоваться в качестве учебного пособия не только для указанного направления, но и в качестве справочного пособия для других направлений и специальностей, будет полезна специалистам в области компьютерных сетей, сетевым и системным администраторам.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам: проректору по научной работе Московского государственного технического университета связи и информатики, д-ру техн. наук, профессору Ю.Л. Леохину и начальнику отдела информационных технологий Оренбургского государственного университета, канд. техн. наук, доценту Ю.А. Ушакову.