

**МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ
НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ FIBRE CHANNEL**

Д.О. Сивочка

sivochka1998@mail.ru

SPIN-код: 5958-3753

М.А. Ларин

mall2010@mail.ru

SPIN-код: 8025-9521

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведена теоретическая справка об основах сетей хранения данных (storage area network, SAN) и о транспортном протоколе передачи данных Fibre Channel. Приведен сравнительный анализ существующих вариантов построения SAN на основе технологии Fibre Channel (англ. волоконный канал). Авторами предложен собственный метод, основанный на практической реализации, который является наиболее рациональным решением. На сегодняшний день SAN стремительно распространяется среди малого и среднего бизнеса в связи с развитием протокола Fibre Channel и уменьшением стоимости комплектующих, необходимых для построения SAN. Также данный тип построения вычислительного комплекса легко масштабируем. Оба этих факта подчеркивают актуальность обзора сети хранения данных. Показано, что при проектировании SAN в корпоративных организациях на базе основных топологий такие методы используют лишь частично.

Ключевые слова

Сеть хранения данных (SAN), транспортный протокол передачи данных Fibre Channel, топология, отказоустойчивость, сервер, система хранения данных, SAN-коммутатор

Поступила в редакцию 09.09.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. В настоящее время в организациях наблюдается взрывной рост объемов информации, нуждающейся в эффективном хранении, защите, оптимизации и контроле, т. е. в эффективном управлении данными (информацией). Перед менеджерами дата-центров стоит сложная задача обеспечения низкокостратного и высокопродуктивного управления данными. В статье предложен вариант построения сети хранения данных (SAN), повышающий отказоустойчивость и снижающий затраты на ввод системы.

Под эффективным управлением информацией подразумевается следующее [1, 2].

Своевременная передача информации бизнес-пользователям: информация должна быть доступна бизнес-пользователям именно в тот момент, когда она им необходима. Лавинообразный рост объемов данных постоянной доступности, быстрое распространение новых серверов и приложений, распространение критически важных данных внутри предприятий и требование доступности

данных 24 часа в сутки 7 дней в неделю — вот лишь часть задач, которые необходимо решить с целью обеспечения доступности информации в режиме реального времени.

Интеграция информационной инфраструктуры с бизнес-процессами. Инфраструктура хранения данных должна быть интегрирована с различными бизнес-процессами без угроз для безопасности и целостности.

Гибкая и отказоустойчивая архитектура хранилищ. Инфраструктура хранилищ должна обеспечить гибкость и отказоустойчивость с адаптацией под меняющиеся требования. Хранилища должны иметь возможности масштабирования без снижения производительности приложений, и в то же время общая стоимость управления информацией не должна быть слишком высокой.

Ключевым элементом статьи является сеть хранения данных, архитектура которой описана далее.

Материалы и методы решения задач. Систему хранения прямого подключения — Direct-attached storage (DAS) — часто называют разрозненной средой хранения данных [1, 3]. Хосты «владеют» хранилищем, и на этих изолированных устройствах хранения трудно реализовать управление информацией и совместный доступ к ресурсам. Попытки организовать эти разрозненные данные привели к появлению сетей хранения данных (storage area network, SAN). SAN представляет собой высокоскоростную выделенную сеть серверов и совместно используемых устройств хранения данных. SAN обеспечивает объединение устройств хранения данных и упрощает централизованное управление ими. Она вполне адекватно отвечает требованиям, предъявляемым к хранению данных, предоставляя наиболее экономически выгодный вариант масштабирования, а также обеспечивает эффективное обслуживание и защиту данных. Виртуализованная SAN и виртуализация хранилищ данных на уровне блоков повышают степень использования хранилищ и улучшают совместную работу рассредоточенных ресурсов хранения данных. Реализация виртуализации в SAN приводит к повышению производительности, увеличению коэффициента использования ресурсов и открывает новые возможности по управлению ими.

Обычно SAN развертываются с использованием технологий Fibre Channel (FC) SAN и IP SAN. В Fibre Channel SAN для передачи данных, команд и информации о состоянии между серверами (или хостами) и устройствами хранения используется протокол Fibre Channel. В IP SAN для обмена данными используются протоколы на базе IP.

Основная конструкция инфраструктуры сетей хранения данных FC SAN формируется на базе архитектуры Fibre Channel. Fibre Channel представляет собой высокоскоростную сетевую технологию на основе оптоволоконных кабелей с высокой пропускной способностью и медных кабелей, предназначенных для последовательной передачи данных. Технология FC была создана в ответ на требования к повышению скорости передачи данных между серверами и системами хранения данных.

Важной особенностью сетевой технологии FC являются более высокие скорости передачи данных. Первоначальная реализация этой технологии обеспечивала пропускную способность 200 Мбит/с (соответствует побитной скорости передачи данных 1 Гбит/с), что было выше скоростей, обеспечиваемых интерфейсом Ultra SCSI (20 Мбит/с), который широко использовался в средах систем хранения данных прямого подключения [3]. По сравнению с интерфейсом Ultra-SCSI FC представляет собой существенный скачок в развитии технологии сетей хранения данных. Архитектура FC легко масштабируется, теоретически одна оптоволоконная сеть может обеспечить работу около 15 млн устройств.

FC SAN представляет собой сеть серверов и совместно используемых устройств хранения данных. Серверы и хранилища в SAN являются окончательными точками или устройствами (так называемыми узлами). Дисковые массивы (системы хранения данных) — хранилища (targets). Серверы — потребители дисковых ресурсов (initiators). Инфраструктура FC SAN состоит из портов узлов, кабелей, разъемов и соединительных устройств (например, FC-коммутаторов или концентраторов), в нее также включаются программы управления сетью [4].

Далее подробнее рассмотрим важные элементы сети хранения данных. В состав сети входят в том числе порты узлов, кабели и разъемы, соединительные устройства, программы управления сетями хранения данных.

Порты узлов. В оптоволоконной сети такие окончательные устройства, как хосты, массивы хранения данных и библиотеки на магнитных лентах, называют узлами. Каждый узел является источником или пунктом назначения информации. Каждому узлу требуется один или более портов для обеспечения физического интерфейса для обмена данными с другими узлами. Эти порты являются неотъемлемыми компонентами адаптеров хоста, таких как адаптер главной шины, и контроллеров или адаптеров внешнего интерфейса устройства хранения данных. В FC-среде порт работает в полнодуплексном режиме передачи данных.

Кабели и разъемы. Сети хранения данных реализуются на базе оптоволоконных кабелей. Медный кабель можно использовать на малых расстояниях для подключений, относящихся к внутреннему интерфейсу, поскольку он обеспечивает приемлемое соотношение «сигнал — шум» на расстояниях до 30 м. Оптоволоконный кабель передает данные в виде световых сигналов.

Как правило, многомодовые кабели используют в дата-центрах для прокладки линий связи на небольшие расстояния, в то время как одномодовые кабели применяют для линий связи на больших расстояниях.

Соединительные устройства. К соединительным устройствам, используемым в сетях FC SAN, можно отнести концентраторы, простые коммутаторы и коммутаторы класса Director [5, 6].

Концентраторы применяют в качестве устройств связи в управляемой петле (FC-AL). Концентраторы физически соединяют узлы в логическую топологию «петля» или физическую топологию «звезда». Все узлы используют общую полосу пропускания, поскольку данные передаются через все точки подключения.

В настоящее время из-за доступности дешевых и высокопроизводительных коммутаторов концентраторы в сетях FC SAN не используются.

Коммутаторы по сравнению с концентраторами представляют собой более интеллектуальные устройства и направляют данные непосредственно от одного физического порта к другому. Поэтому узлы не используют общую полосу пропускания. Вместо этого каждый узел имеет свой выделенный канал связи.

Коммутаторы класса Director являются устройствами высшего класса, имеющими большее количество портов и более высокую отказоустойчивость. Коммутаторы бывают с фиксированным количеством портов или с модульной конструкцией. В модульных коммутаторах количество портов увеличивается путем установки в свободные слоты дополнительных карт портов. Коммутаторы класса Director всегда имеют модульную архитектуру, и количество портов в них увеличивается благодаря вставке в корпус коммутатора дополнительных линейных карт, или блейдов. Для обеспечения высокой доступности в коммутаторах высшего класса имеется избыточное число компонентов. Как у обычных коммутаторов, так и у коммутаторов класса Director для связи с серверами управления SAN имеются порты управления (последовательные или типа Ethernet) [6].

Карта портов, или блейд, имеет несколько портов для подключения узлов и других FC-коммутаторов. Обычно в каждый слот порта устанавливается трансивер оптоволоконного канала (Fibre Channel transceiver). Трансиверы внутри карты портов подключены к специализированной интегральной схеме, которую еще называют ASIC (application-specific integrated circuit) портов.

Программы управления сетями хранения данных. Программы управления SAN берут под свой контроль интерфейсы между хостами, соединительными устройствами и массивами хранения данных. Они дают возможность выполнить обзор SAN-среды и позволяют управлять различными ресурсами с одной центральной консоли [7].

Программы позволяют выполнять ключевые функции управления, включая отображение устройств хранения, коммутаторов и серверов, мониторинг и выдачу оповещений об обнаруженных устройствах, а также зонирование.

Сеть может быть построена на основе различных топологий. Основные из них описаны ниже.

Основные топологии.

1. «Точка-точка». Самая простая FC-конфигурация — «точка-точка» — представляет собой два устройства, непосредственно подключенных друг к другу. Эта конфигурация обеспечивает выделенное соединение для передачи данных между узлами. Но она обладает ограниченными возможностями подключения, поскольку одновременно взаимодействовать друг с другом могут только два устройства. Более того, эта конфигурация не может наращиваться для включения большего числа узлов. Конфигурация «точка-точка» используется в стандартных системах хранения прямого подключения [6, 9, 10].

2. *Топология Single-Switch*. Вариант топологии с одним коммутатором (single-switch) можно использовать в случае, если известно максимальное количество портов сети, и эти требования можно удовлетворить фиксированным числом портов. Компании малого и среднего размера часто начинают с топологии single-switch, так как их дата-центры зачастую сосредоточены в одном помещении и число серверов статично.

3. *Кольцо*. Кольцевая топология (ring fabric) представляет собой несколько коммутаторов Fibre Channel, которые образуют кольцо. Кольцо — это схема логического подключения устройств, при котором данные передаются по логически замкнутому контуру. В кольце с разделением доступа протокол описывает порядок, в котором узел получает разрешение на передачу данных. Конфигурация аналогична физической звезде и логическому кольцу, используемым в локальных сетях на базе технологии Token Ring. Кроме того, как и в сетях Token Ring, данные перемещаются по кольцу в одном направлении. Но, в отличие от Token Ring, устройство может запросить право на передачу данных, а не ждать получения пустого маркера от коммутатора [6].

4. *Топология Core-Edge*. Топология типа core-edge проще всего управляется (проще нее только single-switch), но имеет возможности предсказуемо масштабироваться добавлением edge-коммутаторов. Единственный core-коммутатор обеспечивает связь для всех таргет-портов, а другой уровень коммутаторов, имеющих название edge-коммутаторы, обеспечивает соединение с серверами. Наиболее важным является то, что такое структурное размещение серверов и систем хранения обеспечивает стабильный и предсказуемый уровень сетевого сервиса, хотя задержки в ней и будут превышать таковые для топологии single-switch. Edge-коммутаторы могут быть недорогими коммутаторами с фиксированной конфигурацией и, располагаясь как конечный элемент коммутирующей структуры SAN, могут значительно снизить стоимость и сложность кабельного подключения серверов [6].

Важную роль в построении сети хранения данных играют фабрики. Фабрика SAN — это область сети, которая содержит маршрутизаторы и коммутаторы. SAN настроена на несколько зон. Устройство, использующее SAN, может обмениваться данными только с устройствами, включенными в те же зоны, в которых оно находится. Высоконадежные SAN обязательно включают две (а иногда и более) фабрики, поскольку фабрика сама по себе — единая точка отказа. Фабрики могут иметь идентичную топологию или различаться. Например, одна фабрика может состоять из четырех коммутаторов, а другая — из одного, и к ней могут быть подключены только высококритичные узлы.

Основным протоколом реализации сети хранения данных является Fibre Channel. В общем контексте Fibre Channel — это набор стандартов, разработанных в Национальном институте стандартизации США. Интерфейс Fibre Channel предоставляет высокопроизводительное последовательное подключение между хостом и единицами хранения, а также между самими единицами хранения. Стандарт позволяет обеспечить высокоскоростную передачу данных в сетях с разными топологиями, например, «точка-точка» и кольцо. Более того, Fibre

Channel предоставляет все эти возможности вместе с проверкой ошибок [11–13]. В Fibre Channel существует несколько типов портов, основные типы и их характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Типы портов FC

Тип порта	Устройство, поддерживающее порт	Описание	Типы портов, которые можно подключать к этому порту
F	Коммутатор связанной архитектуры	Может работать только в рамках сети на базе связанной архитектуры. Никогда не является источником или точкой назначения данных. Работает как посредник для обеспечения связи между устройствами	N
E	Коммутатор связанной архитектуры	Порт расширения, который используется для подключения коммутаторов связанной архитектуры друг к другу. Никогда не является источником или точкой назначения данных. Играет роль посредника	E
N	Адаптер шины или устройство хранения	Не поддерживает работу в кольце. Всегда представляет собой источник или точку назначения данных. Реализован в сетях «точка-точка» или в сетях на базе связанной архитектуры	F или N
G	Адаптер шины или устройство хранения	Может выступать в роли портов E или F	E или N

Далее описаны способы практической реализации концепции сетей хранения данных. Сначала указана классическая конфигурация с одним коммутатором, обозначенная как минимальная. Затем рассмотрена максимально отказоустойчивая сеть, максимальная. Им в противовес описана рациональная конфигурация оборудования, рекомендуемая из соображений «цена-отказоустойчивость».

Минимальная конфигурация. При проектировании SAN существует необходимый минимум для работы системы. Безусловно, данная конфигурация будет наиболее дешевой, но при этом наиболее незащищенной от отказа любого вида оборудования. Представим систему покомпонентно.

Серверы. Конфигурация содержит два сервера, тогда в случае отказа одного из узлов второй возьмет на себя роль по обработке данных «за двоих», но в таком случае каждый сервер обязан иметь запас производительности, равный собственной. Считаем важным работу с двумя серверами, так как в случае отказа единственной вычислительной точки сервисы компании будут приостановлены на неопределенный срок, данные же могут быть безвозвратно испорчены [7]. Каждый сервер имеет один адаптер HBA (host bus adapter) с двумя FC-портами по 16 Гбит/с.

Системы хранения данных (СХД). Конфигурация содержит традиционное дисковое хранилище, имеющее достаточное количество полезного пространства. При данной компоновке будет рационально выбрать более быстрые SAS-диски для уменьшения влияния медленной работы дисков с данными на общую оперативность системы. Также следует установить дополнительную дисковую полку для хранения файлов, резервных копий и данных, не требующих оперативно доступа к себе. СХД имеет один адаптер НВА с четырьмя FC-портами по 16 Гбит/с.

SAN-коммутатор. Необходимо создать одну фабрику. В фабрику необходимо включить один коммутатор на 12 FC-портов по 16 Гбит/с. При предоставленных выше условиях необходимо минимум 3 порта, но более рационально выбрать 12-портовое решение с запасом на будущие расширения. При этом можно сэкономить и приобрести лицензии на 6 портов и только в случае расширения докупить недостающие порты [8, 14, 15].

Среда передачи данных. Необходимо 6 SFP модулей, поддерживающих FC 16 Гбит/с и 6 оптоволоконных многомодовых кабелей, либо воспользоваться DAC-кабелями (direct-attached cable), если расстояние между всеми узлами сети не более 5 м (рис. 1).

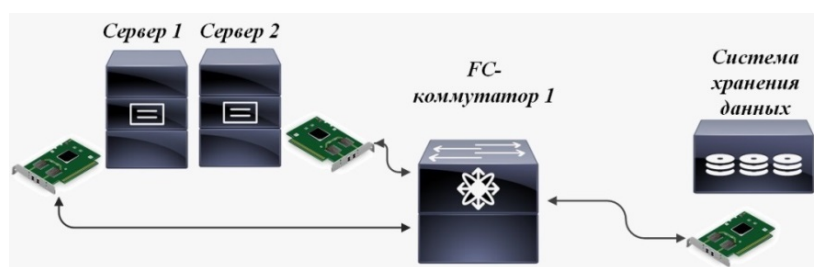


Рис. 1. Минимальная конфигурация SAN

Максимальная конфигурация. При проектировании SAN необходимо обеспечить максимальную отказоустойчивость, неважно, каких расходов это потребует. Наиболее полная сеть хранения с использованием двух фабрик представлена ниже. Отметим, что возможна конфигурация как сетей с большим количеством фабрик, так и других топологий, например, core-edge, но объективно такие системы будут в разы дороже, чем данная. Представим эту систему покомпонентно.

Серверы. Конфигурация содержит не менее трех серверов, тогда в случае отказа одного из узлов другие возьмут на себя роль по обработке данных «за троих», но в таком случае каждый сервер обязан иметь запас производительности, равный 33 % собственной. Данный вариант оптимален, поскольку добавление большего количества вычислительных хостов не даст прироста, сравнимого с приростом от перехода с двух серверов к трем. Например, 4-й сервер добавит 8 %, 5-й — 5 %. Однако увеличивать количество инициаторов можно до момента, когда закончатся порты на коммутаторах. Каждый сервер имеет два НВА с двумя FC-портами по 16 Гбит/с для обеспечения отказоустойчивости самих НВА.

Системы хранения данных. Для быстроты взаимодействия необходимо выбрать хранилище All-flash. Таким образом будет многократно увеличено число операций ввода-вывода в секунду, что увеличит быстродействие системы, поскольку диски не будут ограничены своей производительностью, которая ниже пропускной способности сетевого соединения. Также необходимо установить несколько полок расширения для носителей. При этом стоит предусмотреть отдельное «медленное» хранилище, состоящее только из жестких дисков SAS для хранения файлов, резервных копий и данных, не требующие оперативно доступа к себе. Каждая СХД имеет два НВА с четырьмя FC-портами по 16 Гбит/с для обеспечения отказоустойчивости самих НВА.

SAN-коммутатор. Необходимо создать две автономные фабрики. В каждую фабрику необходимо установить по два коммутатора на 24 FC-порта по 16 Гбит/с. При предоставленных выше условиях необходимо минимум 14 портов, но более рационально выбрать 24-портовые решения с запасом на будущие расширения. При этом необходимо приобрести лицензии на 24 порта.

Среда передачи данных. Необходимо 56 SFP-модулей, поддерживающих FC 16 Гбит/с, и 56 оптоволоконных многомодовых кабелей, либо стоит воспользоваться DAC-кабелями (direct-attached cable), если расстояние между всеми узлами сети не превышает 5 м (рис. 2).

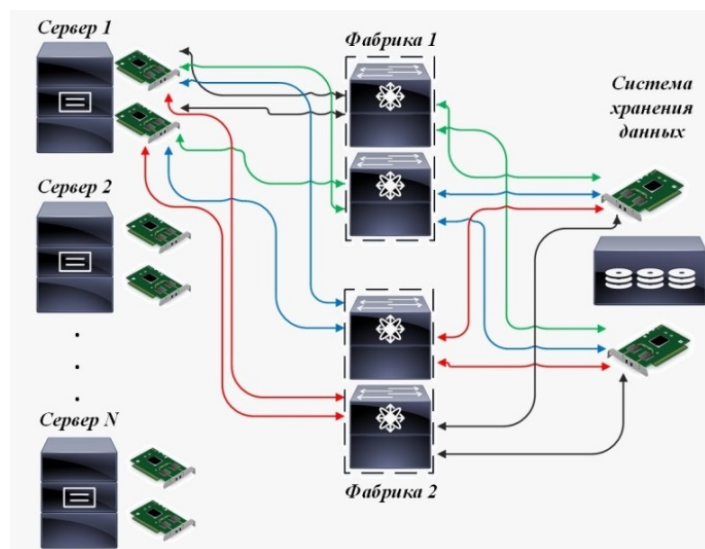


Рис. 2. Максимальная конфигурация SAN

Рекомендуемая конфигурация. При проектировании SAN необходимо всегда учитывать главный фактор — отказоустойчивость, но будет некорректно заикливаясь только на одном параметре системы. Так, стоимость, мощностные и сетевые нагрузки тоже являются не менее важными характеристиками. Наиболее актуальная и рациональная схема описана ниже. Рассмотрим систему покомпонентно. Данная конфигурация не упоминается в открытых источниках,

однако использовалась авторами в существующем проекте интегратора для реализации проекта, связанного с сетями хранения данных.

Серверы. Конфигурация содержит не менее двух серверов, тогда в случае отказа одного из узлов второй возьмет на себя роль по обработке данных «за двоих», но в таком случае каждый сервер обязан иметь запас производительности равный собственной. Данный вариант возможен, но уже добавление одного сервера даст 17%-ный прирост производительности, поскольку запас в таком случае ограничивается лишь третью производительности хоста. Каждый сервер имеет один НВА с двумя FC-портами по 16 Гбит/с.

Системы хранения данных. Для быстроты взаимодействия необходимо выбрать All-flash-хранилище. С точки зрения стоимости разница между All-flash и Hybrid не превысит 10...15 % за условно одинаковый объем полезного пространства. В рассматриваемом случае число операций ввода-вывода в секунду многократно возрастет, что увеличит быстродействие системы, поскольку диски не будут ограничены своей производительностью, которая ниже пропускной способности сетевого соединения. При этом стоит установить отдельное «медленное» хранилище, состоящее только из жестких дисков для хранения файлов, резервных копий и данных, не требующих оперативно доступа к себе. Каждая СХД имеет один НВА с четырьмя FC-портами по 16 Гбит/с.

SAN-коммутатор. Необходимо создать две автономные фабрики. В каждую фабрику необходимо установить по одному коммутатору на 24 FC-порта по 16 Гбит/с. При предоставленных выше условиях необходимо минимум 7 портов, но более рационально выбрать 24-портовые решения с запасом на будущие расширения. При этом можно сэкономить и приобрести лицензии на 12 портов, и только в случае расширения докупить недостающие порты.

Среда передачи данных. Необходимо 28 SFP-модулей, поддерживающих FC 16 Гбит/с, и 28 оптоволоконных многомодовых кабелей, либо можно воспользоваться кабелями direct-attached cable (DAC), если расстояние между всеми узлами сети не превышает 5 м (рис. 3).

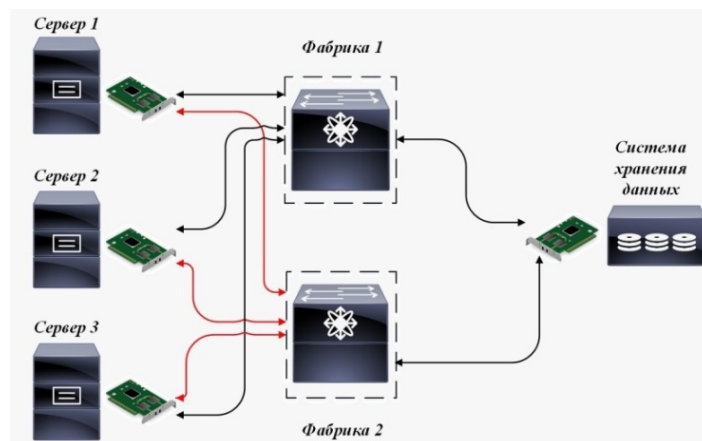


Рис. 3. Рекомендуемая конфигурация SAN

Количественные результаты рассмотренных вариантов построения сетей хранения данных приведены в виде сравнительной табл. 2, в которой фигурирует количество элементов сети. С помощью данной таблицы намного проще проанализировать сборки и выявить различия и преимущества одной конфигурации над другой.

Таблица 2

Сравнительный анализ методов

Признак сравнения	Минимальная (min)	Рекомендуемая (avg)	Максимальная (max)
Количество серверов, шт.	1-2	2-3	3-6
Количество НВА, шт.	1	1	2
Количество СХД, шт.	1	2	2
Наличие полок расширения	Да	Нет	Да
Тип основной СХД	Традиционная	All-flash	All-flash
Количество фабрик, шт.	1	2	2
Количество коммутаторов в фабрике	1	1	2
Количество лицензированных портов, шт.	6	24	96
Количество SFP-модулей, шт.	6	28	56

Из табл. 2 видно, что стоимость и отказоустойчивость удовлетворяет следующим соотношениям.

Стоимость P : $P(\min) < P(\text{avg}) \ll P(\max)$;

Отказоустойчивость R : $R(\max) > R(\text{avg}) \gg R(\min)$.

Следовательно, рекомендуемая конфигурация хотя и дороже минимальной, но значительно дешевле максимальной конфигурации, при этом отказоустойчивость рекомендуемой конфигурации намного выше, чем в минимальной, и лишь незначительно уступает максимальной.

При незначительных увеличениях затрат (около 20 %) получаем существенно повышается отказоустойчивость сети — главный критерий качества сетей хранения данных.

Выводы. На сегодняшний день обеспечение низкозатратного и высокопродуктивного управления данными необходимо для большинства корпоративных организаций. Перед менеджерами дата-центров стоит сложная задача обеспечения низкозатратного и высокопродуктивного управления данными. После проведенного анализа существующих вариантов схем был предложен подход построения SAN, повышающий отказоустойчивость и снижающий затраты на ввод системы. Однако данная схема реализации не является универсальной: каждый отдельный проект SAN уникален и требует индивидуального подхода к проектированию архитектуры.

Литература

- [1] Диванни М., Чан Д. Наилучшие практики построения FC SAN. Field Centers for Innovation, NetApp, 2012.
- [2] Hussain T.H., Marimuthu P.N., Habib S.J. Exploration of storage architectures for enterprise network. *Comput. J.*, 2018, vol. 61, no. 2, pp. 233–247. DOI: 10.1093/comjnl/bxx054 URL: <https://academic.oup.com/comjnl/article-abstract/61/2/233/3861970>
- [3] Уайли Дж. От хранения данных к управлению информацией. СПб., Питер, 2016.
- [4] Ono T., Konishi Y., Tanimoto T., et al. A flexible direct attached storage for a data intensive application. *IEICE T. Inf. Syst.*, 2015, no. 12, pp. 2168–2177. DOI: 10.1587/transinf.2015PAP0029 URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E98.D/12/E98.D_2015PAP0029/_article
- [5] Connor D. Seanodes pitching direct-attached storage virtualization. *networkworld.com: веб-сайт*. URL: <https://www.networkworld.com/article/2287058/seanodes-pitching-direct-attached-storage-virtualization.html> (дата обращения: 15.05.2019).
- [6] Tate J., Beck P., Ibarra H.H., et al. Introduction to storage area networks. IBM, 2017.
- [7] Bari M.F., Boutaba R., Esreves R., et al. Data center network virtualization: a survey. *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 909–928. DOI: 10.1109/SURV.2012.090512.00043 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6308765>
- [8] Kramer G. Autocorrelation function for dispersion-free fiber channels with distributed amplification. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2018, vol. 64, no. 7, pp. 5131–5155. DOI: 10.1109/TIT.2018.2791592 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8253528>
- [9] Telikepalli R., Drwiega T., Yan J. Storage area network extension solutions and their performance assessment. *IEEE Commun. Mag.*, 2004, vol. 42, no. 4, pp. 56–63. DOI: 10.1109/MCOM.2004.1284930 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1284930>
- [10] Uruena M., Munoz A., Hernandez J.A. Buffer design under bursty traffic with applications in FCoE storage area networks. *IEEE Commun. Lett.*, 2013, vol. 17, no. 2, pp. 413–416. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.122012.122313 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6400357>
- [11] Xing L., Tannous M., Vokkarane V.M., et al. Reliability modeling of mesh storage area networks for internet of things. *IEEE Internet Things J.*, 2017, vol. 4, no. 6, pp. 2047–2057. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2749375 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8026027>
- [12] Beer M.I., Hassan M.F. Adaptive security architecture for protecting RESTful web services in enterprise computing environment. *SOCA*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 111–122. DOI: 10.1007/s11761-017-0221-1 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11761-017-0221-1>
- [13] Li D., Cai Zh., Deng L., et al. IoT complex communication architecture for smart cities based on soft computing models. *Soft Comput.*, 2019, vol. 23, no. 8, pp. 2799–2812. DOI: 10.1007/s00500-019-03827-5 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-019-03827-5>
- [14] Mavromoustakis C.X., Batalla J.M., Mastorakis G., et al. Socially oriented edge computing for energy awareness in IoT architectures. *IEEE Commun. Mag.*, 2018, vol. 56, no. 7, pp. 139–145. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700600 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8419194>
- [15] Sharma P.K., Rathore S., Jeong Y.S., et al. SoftEdgeNet: SDN based energy-efficient distributed network architecture for edge computing. *IEEE Commun. Mag.*, 2018, vol. 56, no. 12, pp. 104–111. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700822 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8469810>

Сивочка Дарья Олеговна — студентка кафедры «Информационные системы и телекоммуникации», МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ларин Михаил Андреевич — студент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации», МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Недашковский Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Сивочка Д.О., Ларин М.А. Методы проектирования сети хранения данных на базе архитектуры Fibre Channel. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 9(38). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-530>

FIBER CHANNEL ARCHITECTURE-BASED STORAGE AREA NETWORK DESIGN METHODS

D.O. Sivochka

sivochka1998@mail.ru

SPIN-code: 5958-3753

M.A. Larin

mall2010@mail.ru

SPIN-code: 8025-9521

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The theoretical information on the basics of storage area networks (SAN) and the Fiber Channel transport protocol is provided. A comparative analysis of the existing options for building SAN based on Fiber Channel technology is given. The authors have proposed their own method based on practical implementation, which is the most rational solution. Nowadays, SAN is rapidly overspreading among small and medium-sized enterprises due to the development of the Fiber Channel protocol and the reduction in the cost of components necessary for building a SAN. Also, this type of building of a computing system is easily scalable. Both of these facts underline the topicality of the storage area network review. It is shown that when designing SAN in corporate enterprises based on the main topologies, such methods are used only partially

Keywords

Storage area network (SAN), Fiber Channel data transfer protocol, topology, fault tolerance, server, data storage system, SAN Switch

Received 09.09.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Devanny M., Chan D. Nailuchshie praktiki postroeniya FC SAN [Best practice for creating FC SAN]. Field Centers for Innovation, NetApp, 2012 (in Russ.).
- [2] Hussain T.H., Marimuthu P.N., Habib S.J. Exploration of storage architectures for enterprise network. *Comput. J.*, 2018, vol. 61, no. 2, pp. 233–247. DOI: 10.1093/comjnl/bxx054 URL: <https://academic.oup.com/comjnl/article-abstract/61/2/233/3861970>
- [3] EMC., ed. Information storage and management. Storing, managing, and protecting digital information in classic. Wiley, 2012. (Russ. ed.: Ot khranenie dannykh k upravleniyu informatsiyey. Sankt-Petersburg, Piter Publ., 2016.)
- [4] Ono T., Konishi Y., Tanimoto T., et al. A flexible direct attached storage for a data intensive application. *IEICE T. Inf. Syst.*, 2015, no. 12, pp. 2168–2177. DOI: 10.1587/transinf.2015PAP0029 URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E98.D/12/E98.D_2015PAP0029/_article
- [5] Connor D. Seanodes pitching direct-attached storage virtualization. *networkworld.com: website*. URL: <https://www.networkworld.com/article/2287058/seanodes-pitching-direct-attached-storage-virtualization.html> (accessed: 15.05.2019).
- [6] Tate J., Beck P., Ibarra H.H., et al. Introduction to storage area networks. IBM, 2017.
- [7] Bari M.F., Boutaba R., Esreves R., et al. Data center network virtualization: a survey. *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 909–928. DOI: 10.1109/SURV.2012.090512.00043 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6308765>

-
- [8] Kramer G. Autocorrelation function for dispersion-free fiber channels with distributed amplification. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2018, vol. 64, no. 7, pp. 5131–5155. DOI: 10.1109/TIT.2018.2791592 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8253528>
- [9] Telikepalli R., Drwiega T., Yan J. Storage area network extension solutions and their performance assessment. *IEEE Commun. Mag.*, 2004, vol. 42, no. 4, pp. 56–63. DOI: 10.1109/MCOM.2004.1284930 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1284930>
- [10] Uruena M., Munoz A., Hernandez J.A. Buffer design under bursty traffic with applications in FCoE storage area networks. *IEEE Commun. Lett.*, 2013, vol. 17, no. 2, pp. 413–416. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.122012.122313 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6400357>
- [11] Xing L., Tannous M., Vokkarane V.M., et al. Reliability modeling of mesh storage area networks for internet of things. *IEEE Internet Things J.*, 2017, vol. 4, no. 6, pp. 2047–2057. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2749375 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8026027>
- [12] Beer M.I., Hassan M.F. Adaptive security architecture for protecting RESTful web services in enterprise computing environment. *SOCA*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 111–122. DOI: 10.1007/s11761-017-0221-1 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11761-017-0221-1>
- [13] Li D., Cai Zh., Deng L., et al. IoT complex communication architecture for smart cities based on soft computing models. *Soft Comput.*, 2019, vol. 23, no. 8, pp. 2799–2812. DOI: 10.1007/s00500-019-03827-5 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-019-03827-5>
- [14] Mavromoustakis C.X., Batalla J.M., Mastorakis G., et al. Socially oriented edge computing for energy awareness in IoT architectures. *IEEE Commun. Mag.*, 2018, vol. 56, no. 7, pp. 139–145. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700600 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8419194>
- [15] Sharma P.K., Rathore S., Jeong Y.S., et al. SoftEdgeNet: SDN based energy-efficient distributed network architecture for edge computing. *IEEE Commun. Mag.*, 2018, vol. 56, no. 12, pp. 104–111. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700822 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8469810>

Sivochka D.O. — Student, Department of Information Systems and Telecommunications, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Larin M.A. — Student, Department of Information Systems and Telecommunications, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific adviser — Nedashkovsky V.M., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Information Systems and Telecommunications, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Sivochka D.O., Larin M.A. Fiber Channel architecture-based storage area network design methods. *Politekhnicheskiiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 9(38). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-530.html> (in Russ.).