

УДК 004

А.Барабаш, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МЕРЕЖ SAN НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ FIBRE CHANNEL GEN 6

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. Об'єктом дослідження є процес мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. Предметом дослідження є методи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Ріст попиту на встаткування мереж зберігання даних (SAN) стимулюється потребою в розгортанні високошвидкісних мереж зберігання, здатних обслуговувати системи зберігання даних (СЗД) на флеш-пам'яті й віртуальні середовища. Для цього розроблені Fibre Channel нового покоління.

Продажі мережного встаткування для мереж зберігання даних (SAN), включаючи комутатори Fibre Channel і адаптери HBA (Host Bus Adapter), продовжують рости.

Обсяг продажів конвергентних мережних адаптерів (Converged Network Adapter, CNA) збільшився за останній квартал на 13%. Виросли й поставки адаптерів iSCSI. На ринку комутаторів і адаптерів Fibre Channel лідирує Brocade (торік вона передала свою технологію серверних HBA компанії Qlogic), а в сегменті адаптерів CNA для ЦОД – Intel. На частку продукції Brocade доводиться близько 75% світового ринку FC по кількості поставлених портів і приблизно 50% по обсязі продажів у грошовому вираженні.

У найближчі три роки, за прогнозом IDC, ємність систем зберігання FC у світі буде становити приблизно 38% від загальної ємності СЗД різного типу, тоді як частка систем NAS – близько 30%, при цьому першим належать провідні місця в тестах на продуктивність СЗД. Як очікується, попит на продукти FC буде рости: по показнику ємності середні темпи росту поставок систем зберігання даних Fibre Channel складуть 36%. Що стосується поточного року, то, відповідно до розрахунків Infonetics, продажу мережного встаткування FC виростуть майже на 10%.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.
- Дослідження системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.
- Програмна реалізація системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel

Gen 6.

Об'єктом дослідження є процес мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Предметом дослідження є методи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Після ефектного підйому в 90-х роках продуктивності настільних комп'ютерів, робочих станцій і пристроїв зовнішньої пам'яті (а також переходу до розподілених клієнт-серверним архітектурам) дуже багато уваги стало приділятися надійним і високопродуктивним засобам обміну даними між комп'ютерами й пристроями зовнішньої пам'яті. В Fibre Channel (дуже надійна технологія з'єднань із пропускну здатністю, обчислювальною гігабітами в секунду) для забезпечення конкурентного обміну інформацією між робочими станціями, універсальними електронно-обчислювальними машинами, серверами, системами зберігання даних і інших периферійних пристроїв застосовуються стандартні мережні протоколи й протоколи зв'язку із пристроями масової пам'яті. Архітектура Fibre Channel підтримує безліч топологій, агрегатна пропускна здатність яких може досягати порядку Тбіт/с. У число пропонованих сьогодні на ринку готових до використання (off-the-shelf) виробів з підтримкою Fibre Channel входять комутатори, концентратори, підсистеми зберігання інформації, пристрою пам'яті й адаптери.

На більшість робочих станцій покладають наступні завдання:

- обмін даними із пристроями масової пам'яті;
- обмін даними з іншими робочими станціями й серверами по локальній мережі.

Для виконання цих завдань робочі станції обладнані спеціальними окремими портами.

В 80-х роках кілька компаній виступило із пропозицією розробити стандарт обміну інформацією, за допомогою якого й системи пам'яті, і вузли локальної мережі могли б передавати дані по тим самим волоконним (fibre) лініях (термін "волоконний" fibre використовується в цьому випадку як узагальнений термін для опису як оптоволоконного, так і мідного кабелю). В основу стандарту були покладені наступні вимоги:

- передача даних повинна здійснюватися зі швидкостями від 133 Мбіт/с до 4 Гбіт/с (залежно від обраної вартості);
- канали зв'язку повинні підтримувати передачу даних на відстані до 10 км;
- лінії зв'язку повинні мати компактні розміщення;
- смуга пропускання каналів зв'язку повинна залишатися високою незалежно від відстані передачі даних
- канали зв'язку повинні забезпечувати взаємне з'єднання більшої кількості пристроїв масової пам'яті, чим дозволяють існуючі багатоабонентські канали для підключення пристроїв пам'яті;
- мережі зв'язку повинні будуватися на базі стандартних компонентів;
- мережі зв'язку повинні допускати підбір співвідношення "ціна/продуктивність" для застосування їх у самому широкому діапазоні систем від невеликих настільних або убудованих до суперкомп'ютерів;
- канали зв'язку повинні забезпечувати передачу команд всіх уже існуючих і широко використовуваних протоколів, включаючи IP (Internet Protocol), SCSI, IPI, HiPPI-FP і аудіо/відео.

Специфікація, що вийшла в результаті, Fibre Channel (ANSI X3.230-1994) це опис технології міжз'єднань, що може використовуватися і як канал зв'язку із системами зберігання даних, і як мережна технологія:

- її мережні характеристики задовольняють вимогам по підключенню, відстаням передачі й мультиплексуванню протоколів;
- вона підтримує всі звичайні функції каналів зв'язку із системами пам'яті, забезпечуючи простоту, надійність, повторювану продуктивність і гарантовану доставку.

Таким чином, Fibre Channel може служити і як мережа зберігання даних (storage area network SAN), і як високошвидкісна локальна мережа (local area network LAN).

Мережі зберігання даних (SAN)

Мережі зберігання даних SAN (Storage Area Network) використовуються для підключення одного або декількох серверів до однієї або більше систем масової пам'яті. Кожна система масової пам'яті може являти собою:

- дисковий масив RAID;
- систему резервного копіювання на магнітну стрічку;
- бібліотеку магнітних стрічок;
- бібліотеку компакт-дисків (CD-ROM);
- довільний набір дисків JBOD (Just a Bunch Of Disks).

У серверах і робочих станціях Fibre Channel може використовуватися для поділу доступу до тому самому пристрою масової пам'яті. Старі SCSI-системи підключаються до мереж SAN за допомогою мостів Fibre Channel-SCSI.

Мережі

Технологія Fibre Channel розроблявся як засіб підтримки інформаційних додатків корпоративного рівня, тому розроблювачі приділяли особливу увагу підвищенню її продуктивності в порівнянні із традиційними локальними мережами типу Ethernet. Серед інших достоїнств Fibre Channel для корпоративних мереж можна назвати наступні:

- протокольний стік, що забезпечує доставку з підтвердженням (confirmed delivery);
- можливість обходу протокольного стека з метою підвищення продуктивності;
- повна підтримка звичайних функцій автоматичного визначення мережних адрес, включаючи підтримку ARP, RARP і інших протоколів з автовизначенням;
- підтримка двоточечних каналів, кільцевих каналів з поділом смуги пропускання й каналів, що комутуються, з масштабованою пропускну здатністю;
- виділення реальних каналів (або віртуальних каналів із дробовою смугою пропускання), що забезпечують гарантовану пропускну здатність для виконання таких відповідальних операцій, як резервне копіювання й ін.;
- можливість виділення як фізичних, так і віртуальних каналів;
- дуже швидкий час установлення з'єднань (вимірюване в мікросекундах) за допомогою апаратних протоколів Fibre Channel;
- послуги із установленням (при малих затримках) і без установлення з'єднання;
- автоматичне конфігурування мережного вузла незалежно від топології Fibre Channel;
- повна підтримка синхронізованих за часом додатків (типу передачі відео) за допомогою віртуальних каналів із дробовою пропускну здатністю;
- можливість вибору між масовою (high-bandwidth) і швидкісний (low-latency з малими затримками) передачами з використанням кадрів змінного розміру (0-2 Кбайт). Дуже малі затримки забезпечуються при передачі кадрів розміром менш 100 байт, а масові передачі пересиланням більших обсягів даних у кадрах максимального розміру.

Фізичний і сигнальний рівні

Fibre Channel являє собою архітектуру з п'ятьома незалежними рівнями, що визначають:

- фізичні лінії зв'язку й швидкості передачі;
- схему кодування;
- протокол кадрівання й керування потоками;
- загальний сервіс;
- інтерфейси із протоколами верхнього рівня.

Фізичний стандарт Fibre Channel

Повністю перший варіант фізичного стандарту Fibre Channel (FC-PH) був опублікований у січні 1993 року, другий варіант з'явився в жовтні 1993, а статус затверджений стандарт одержав у листопаді 1994 року. У ньому визначаються наступні три нижніх рівні:

- FC-0 (фізичні інтерфейси й середовище передачі);

- FC-1 (протокол передачі);
- FC-2 (протокол кадрівання й обміну сигналами)

Фізичні інтерфейси й середовище передачі: FC-0

Рівень FC-0 це самий нижній рівень, що визначає фізичне середовище передачі. Архітектура Fibre Channel може працювати з різними фізичними лініями й швидкостями передачі. Реалізований в Fibre Channel підхід забезпечує максимальну гнучкість, дозволяючи застосовувати вже існуючі кабельні системи (як і самі останні технології в цій області).

Наприклад, Fibre Channel допускає здійснювати введення в будинок одномодовим оптоволоконним кабелем, усередині будинку виконувати розведення багатомодовим оптоволоконним кабелем, а індивідуальні робітники станції підключати мідними проводами.

На коротких відстанях у системах Fibre Channel застосовуються твінаксіальні мідні з'єднання. При лінійній швидкості передачі в 1,0625 Гбод ефективна пропускна здатність становить 100 Мбайт/с. Звичайно мідні кабелі оснащуються стандартними розніманнями DB-9 або недавно розробленими з'єднувачами HSSDC.

Також випробувані й схвалені оптоволоконні лінії (з ефективною швидкістю передачі 2,125 і 4,25 Гбод). Оптоволоконні кабелі, як правило, оснащуються здвоєними розніманнями типу SC.

Устаткування для роботи в середовищі Fibre Channel може мати інтерфейс для підключення оптоволоконного або мідного кабелю або забезпечуватися універсальним (media independent) інтерфейсом. У стандарті визначаються три універсальних інтерфейси:

- GLM (Gigabaud Link Modules зв'язкові модулі для швидкостей передачі в трохи Гбод), до складу яких входять пристрій перетворення сигналів з паралельної форми в послідовну й назад (SERDES). Модулі GLM являють собою 20-розрядні інтерфейси з керуючими й схемами, що кодують, Fibre Channel і використовуються головним чином для конфігурування на підприємстві-виготовлювачі, хоча допускають також внесення змін на місці або модернізацію самими користувачами.

- GBIC (Gigabit Interface Converters конвертери для швидкостей передачі в декілька Гбіт) які забезпечували послідовний інтерфейс із пристроєм SERDES. Модулі GBIC можуть вставлятися й витягати із працюючих вузлів Fibre Channel. Ця функція досить корисна при обслуговуванні багатопортових пристроїв типу комутаторів і концентраторів, коли потрібна модифікація окремих портів без порушення роботи інших портів.

- MAI (Media Interface Adapter інтерфейсний адаптер лінії), використовуваний для підключення мідних кабелів з розніманнями DB-9 до багатомодовим оптоволоконним ліній. Напруга живлення оптоволоконних приймачепередатчиків подається в цьому випадку через окремі виводи рознімання DB-9.

Протокол передачі: FC-1

Відновлення синхросигналу, байтова синхронізація й кодування/декодування реалізовані в FC-1 за допомогою збалансованої по постійному струмі схеми кодування 8У/10У, що володіє чудовими характеристиками передачі. За цією схемою вісім біт даних (один байт) передаються як 10-розрядна група. Цей збалансований код (винахід IBM) дозволяє розробляти дешеві компоненти й забезпечує гарну швидкість передачі з більше простим відновленням синхросигналів. Поділ на байти й слова забезпечує спеціальний символ (називаний символом коми). У число інших достоїнств цього коду входять можливість виявлення помилок і простота логічної реалізації як кодує, так і декодувального пристрою.

Протокол кадрівання й обміну сигналами: FC-2

Надійність обміну даними цей наслідок застосування в Fibre Channel протоколу кадрівання й сигналізації FC-2. Протокол FC-2 визначає механізм транспортування даних, що не залежить від протоколу верхнього рівня. Протокол FC-2 це самоконфігуруючийся протокол, що підтримує з'єднання точка-точка, петлю з арбітражним доступом і комутируються среди, що.

Обмін даними по каналі Fibre Channel виконується між зв'язаними між собою портами. У кожному вузлі є спеціалізована мікросхема (ASIC) з убудованим пристроєм керування каналом Fibre Channel (Fibre Channel Link Control Facility), що здійснює як логічне, так і фізичне керування каналом і забезпечує логічний інтерфейс із іншою частиною системи.

Кожний порт має власний передавач і приймач і може виступати в ролі:

- ініціатора (originator);
- відповідача (responder);
- і ініціатора, і відповідача одночасно.

Кожному порту призначається унікальне ім'я, назване Ідентифікатором порту N_порт або NL_порт (N_Port або NL_Port). N_порт може бути портом такого вузла, як:

- сервер;
- робоча станція;
- периферійний пристрій.

Якщо N_порт включається в кільцеву топологію петлю (loop), то він стає NL_портом.

Порти обмінюються дуплексними потоками даних.

Крім структури кадрів, протокол FC-2 підтримує багатий набір функцій, у який входять:

- 32-розрядний CRC-код (циклічний контрольний код), що забезпечує виявлення помилок передачі й гарантує цілісність даних;
- спеціальні конструкції для підвищення ефективності мультиплексування операцій;
- механізм керування передачею потоків даних, що гарантує доставку інформації (для сервісу без організації з'єднання (connectionless) механізм керування міжбуферний і/або міжвузловий, для сервісу на основі з'єднань (connection-based) міжвузловий);
- набір базових функцій, використовуваних у різних протоколах верхнього рівня;
- убудовані протоколи для підтримки каналних операцій, керування конфігурацією Fibre Channel, відновлення помилок і одержання інформації про стан ліній зв'язку й портів;
- необов'язкові заголовки, які можуть використовуватися для маршрутизації даних у мережі;
- керуюча інформація в заголовку, що полегшує маршрутизацію на апаратному рівні;
- процеси сегментації й складання даних.

Групування даних

Для полегшення передачі даних (з верхніх рівнів) по мережі Fibre Channel у рівні FC-2 була визначена ієрархія груп даних, до складу якої входять:

- упорядковані набори (Ordered sets);
- кадри (Frames);
- пакети (Sequences);
- обміни (Exchanges).

Упорядковані набори

Упорядкований набір це група із чотирьох 10-розрядних інформаційних і керуючих символів. Останні призначені для виконання деяких каналних функцій нижнього рівня, таких як позначення границь кадрів і обмін сигналами між обома кінцями каналу. Сигнальний обмін забезпечує ініціалізацію каналу після включення живлення й виконання основних дій по відновленню каналу після збою.

Кадри

Кадр це найменший по розмірах неподільний пакет даних, що пересилається по мережі. Структура кадрів показана на мал. 2. Всі адреси вказуються в заголовку кадру. Кадри не видні протоколам верхнього рівня й містять наступні поля:

- 4-байтовий обмежник "початок кадру";
- 24-байтовий заголовок кадру (визначається протоколом FC-2);
- необов'язкове 64-байтне поле (визначається протоколом FC-2);

- поле змінної довжини, що містить дані більше високих протокольних рівнів;
- 4-байтний CRC-код (для виявлення помилок передачі);
- 4-байтний обмежник "кінець кадру".

Підтвердження передачі кадру (або групи кадрів) входить у функції механізму керування потоком передачі. Для повідомлення про недоставляння кадрів служать повідомлення "Зайнята" (Busy) і "Відмова" (Reject).

Пакети

В архітектурі Fibre Channel не накладається ніяких обмежень на обсяг переданих між додатками даних. У звичайних локальних мережах прикладне ПЗ повинне знати про максимально припустимий для пересилання розмір кадру (або пакета). В Fibre Channel розміри кадрів від прикладного ПЗ сховані.

Прикладний програміст для Fibre Channel працює з одиницями передачі даних, називаної пакетом (Sequence). Пакет сегментується й передається по лінії Fibre Channel у вигляді впорядкованого набору з одного або декількох кадрів.

Поділ пакета на кадри, розмір яких відповідає величині, заданої в процесі встановлення з'єднання між взаємодіючими портами або між портами й мережею Fibre Channel, входить у функції протоколу FC-2. Будь-який пакет, створений програмним забезпеченням верхнього рівня, може бути розбитий на кілька кадрів. У заголовку кадру є поле Sequence Identifier, у яке записується унікальний ідентифікатор пакета. У середині пакета кадри розрізняються полем Sequence Count, що зберігає порядковий номер кадру в пакеті.

Пакет також є мінімальною відновлюваною одиницею передачі. При виявленні помилок передачі протокол FC-2 визначає, при передачі якого пакета відбулася дана помилка й виконує повторну передачу цього пакета (і всіх наступних).

Обміни

Обмін це сукупність неконкуруючих пакетів (один або більше), що ставляться до однієї операції, що, приміром, може складатися з декількох передач, включаючи:

- команду зчитування певних даних;
- передачу даних;
- передачу статусу завершення операції.

Кожна передача (команда, дані, статус завершення) реалізується у вигляді окремого пакета. Однак всі разом вони формують обмін.

У кожний момент часу в рамках одного обміну може передаватися тільки один пакет, хоча в цілому по каналі зв'язку можуть передаватися кілька конкуруючих пакетів з різних обмінів. Це одна з форм мультимплексування, підтримувана в технології Fibre Channel. Кожний обмін унікальним образом ідентифікується кожним бере участь у її передачі N-портом.

Поле Originator Exchange ID (Ідентифікатор ініціатора посилки) заповнюється N-портом, що відправляє найперший пакет, а поле Responder Exchange ID (Ідентифікатор одержувача посилки) N-портом, що одержує найперший пакет (зміст поля залежить від типу реалізації). Ці ідентифікатори записуються в заголовки кадрів і використовуються N-портами для керування даним обміном.

Протоколи верхніх рівнів

У фізичному стандарті Fibre Channel визначений так званий транспортний сервіс (transport service), у завдання якого входить надійне й швидке пересилання даних і який має можливості масштабування, розрахованими практично на будь-які прикладні вимоги. Поверх рівнів фізичного стандарту визначені також наступні два протокольних рівні:

- Common Transport for Generic Services Єдина транспортна служба для Загального сервісу (FC-3);
- Upper Layer Protocol Mapping Відображення протоколів верхнього рівня (FC-4).

Ці рівні розширюють функціональні характеристики каналів Fibre Channel і забезпечують можливість взаємодії різних підсистем.

Загальний сервіс

Рівень FC-3 надає сервери, доступні всім N-портам. У цей час визначені наступні чотири сервери:

- сервер імен (Name Server);
- сервер альтернативних імен (Alias Server);
- служба керування (Management Services);
- сервер ключів (Key Server).

Сервер імен

Сервер імен підтримує каталог N_портів у межах однієї мережі Fiber Channel і базу даних з такими елементами, як ідентифікатори (ID), зовнішні імена й протоколи FC-4, підтримувані для кожного N_порту. Будь-який N_порт може в будь-який час звертатися до сервера імен для одержання списку інших підключених до мережі N_портів.

Сервер альтернативних імен

Сервер альтернативних імен використовується для присвоєння альтернативних імен багатоадресним групам (multicast groups) і групам захвата (hunt groups). В усі N_порти, яким було поставлено у відповідність альтернативне ім'я багатоадресної групи, посиляє груповий кадр (multicast frame). Група захвата це сукупність всіх N_портів, інтерфейси Fibre Channel яким об'єднані в одному вузлі. Цій безлічі N_портів сервер альтернативних імен призначає спеціальний ідентифікатор, у результаті чого всі кадри з даним ідентифікатором будуть направлятися в будь-який вільний (незайнятий) N_порт із цього набору. Подібний підхід дозволяє підвищити ефективність пересилання завдяки зниженню ймовірності того, що якийсь N_порт буде зайнятий.

Служби керування

Служби керування це засобу доступу до мережі Fibre Channel, її внутрішній топології й конфігураційним даним з боку керуючих додатків. Керуючі додатки можуть, наприклад, указувати, яким N_портам дозволено взаємодіяти один з одним. Інші служби дозволяють керуючим додаткам виявляти характер взаємозв'язків у мережі Fibre Channel. Для правильного конфігурування мережі Fibre Channel передбачена служба надання прав доступу.

Сервер ключів

Сервер ключів забезпечує стандартний метод розподілу ключів доступу й ключів шифрування. Звертання до сервера ключів, може знадобитися, наприклад, що управляє додатку для одержання необхідного ключа доступу, перед тим, як звернутися до служб керування.

Рівень відображення протоколів верхнього рівня (FC-4)

В Fibre Channel дані можуть одночасно передаватися по тому самому фізичному інтерфейсі із застосуванням різних протоколів. Як протоколи, відображуваних на рівні FC-4, були специфіковані (або запропоновані) наступні протоколи:

- SCSI (Small Computer System Interface);
- IP (Internet Protocol);
- HiPPI (High Performance Parallel Interface Framing Protocol);
- SBCCS (Single Byte Command Code Set Mapping) для реалізації ESCON і блокових мультимплексних інтерфейсів;
- Audio Video Fast File Transfer;
- протоколи реального часу для убудованих авіаційних електронних систем;
- VI (Virtual Interface).

У стандарті Fibre Channel допускається також використання фірмових протоколів.

Протоколи верхнього рівня відображаються за допомогою FC-4 на нижчі фізичний і сигнальний рівень FC-PH. Фізичний протокол і протокол обміну сигналами реалізовані на апаратному рівні, що забезпечує їхню високу продуктивність. Як правило, каналні протоколи будуються за принципом "команда/дані/статус", описаному вище. Кожна із цих інформаційних категорій має свої власні характеристики й вимагає окремої обробки. При

цьому всі три категорії обробляються тим самим апаратно реалізованим протоколом. Апаратна реалізація Fibre Channel усуває необхідність у додатковій комп'ютерній обробці введення/виводу, що істотно підвищує продуктивність серверів, робочих станцій і систем масової пам'яті.

Топології мереж Fibre Channel

Технологія Fibre Channel підтримує наступні три фізичні топології об'єднання вузлів:

- точка-точка;
- петля;
- комутуючі топології.

Петля

Петлі, з'єднані з корпоративною мережею за допомогою комутатора, називаються петлями загального користування (public loops). Автономна петля називається приватної (private loop). Звичайно для об'єднання вузлів у петлю використовуються концентратори (hubs).

Комутуючі топології

Основне завдання комутаторів приймати кадри від вузла-джерела й пересилати їхньому вузлу-приймачу. У кожного вузла є унікальна адреса Fibre Channel, використовуваний при маршрутизації кадрів. У комутаторах від вузлів ховається наступна інформація:

- тип мережної топології;
- маршрут передачі кадрів по комутується сети, Що, Fibre Channel;
- внутрішня структура мережі Fibre Channel, що може складатися з декількох з'єднаних один з одним комутаторів.

На частку кожного з вузлів залишається тільки підтримка з'єднання типу точка-точка між собою й відповідним комутатором. Передача вузлом інформації аналогічна набору телефонного номера в телефонній мережі: вузол просто вставляє ідентифікатор (ID) вузла-приймача в заголовок кадру, що передувє переданим даним, і посилає цей кадр комутатору. Якщо зазначений ID неправильний, то комутатор відкидає даний кадр. Якщо з якої-небудь причини комутатор не може обробити кадр, він відповідає сигналом "зайняте" (Busy), змушуючи вузол повторити спробу передачі.

На комутатор покладає відповідальність за маршрутизацію кадрів залежно від класу обслуговування, зазначеного вузлом-ініціатором. Після оцінки відстані між вузлами-кореспондентами він вибирає підходящий обраній якості обслуговування середовище й мережні компоненти.

Петлі й концентратори

Петля Fibre Channel може поєднувати до 127 портів. Гнучкість петлі забезпечується за рахунок застосування портових шунтів (port bypass). Ці шунтувальні схеми встановлюються або на об'єднувачій панелі дисководів, або в зовнішньому пристрої, називаному концентратором (hub).

Портові шунти вміють автоматично визначати наявність активного вузла й включати його в петлю. Якщо вузол відключений або несправний, вони так само автоматично виключають його з петлі. Всі ці операції виконуються без якого-небудь втручання оператора.

Класи обслуговування

Комутатори й вузли Fibre Channel можуть підтримувати п'ять різних класів обслуговування:

- Клас 1 Acknowledged Connection Service (виділені з'єднання з підтвердженням);
- Клас 2 Acknowledged Connectionless Service (передачі без організації з'єднання з підтвердженням);
- Клас 3 Unacknowledged Connectionless Service (передачі без організації з'єднання й без підтвердження);
- Клас 4 Fractional Bandwidth Connection-oriented Service (з'єднання із дробовою смугою пропускання);

– Клас 6 Unidirectional Connection Service (односпрямовані з'єднання);

Клас 1: Виділені з'єднання з підтвердженням

Клас 1 це справжні виділені з'єднання (за принципом комутації каналів), що надають повну смугу пропускання. Такі з'єднання в Fibre Channel устанавлюються (і розриваються) за кілька мікросекунд.

З'єднання класу 1 це наскрізний шлях між взаємодіючими вузлами через комутатор. Оскільки єдиними накладними витратами є час устанавлення й розриву з'єднання, те цей сервіс особливо ефективний при передачі великого обсягу інформації.

З'єднання класу 1 забезпечують гарантовану доставку даних за допомогою підтвердження прийому. У деяких завданнях (типу резервного копіювання й відновлення бази даних) гарантована доставка застосовується для надійного й швидкісного пересилання інформації без накладних витрат, властивих протокольному мережному стеку.

Однієї їхньої особливостей класу 1 є можливість Camp on, що дозволяє комутатору відслідковувати зайнятий порт і ставити його в чергу на встановлення наступного з'єднання. Як тільки даний порт звільняється, комутатор відразу ж устанавлює з ним з'єднання. Тим самим скорочуються строки встановлення з'єднання, оскільки в цьому випадку не потрібно передавати в ініціюючу передачу N_порт сигнал Зайнятий, що змушує його повторювати спробу встановлення з'єднання.

Ще одна особливість класу 1 пакетований зв'язок (Stacked Connect), що дозволяє N_порту-ініціаторові запитувати встановлення декількох з'єднань через комутатор. Ця можливість також скорочує накладні витрати на встановлення з'єднання й підвищує ефективність роботи комутатора.

Крім того, у класі 1 передбачена функція буферизації (buffered service), що дозволяє двом різношвидкісним портам обмінюватися даними по лінії Fibre Channel.

Серед варіантів з'єднань класу 1 є можливість Dedicated Simplex Service виділена односпрямована передача. Як правило, з'єднання класу 1 двонаправлені, однак у деяких випадках передача даних ведеться тільки в одному напрямку. У цьому випадку приймач і передавач вузла розв'язані між собою, внаслідок чого вузол може передавати дані другому вузлу й одночасно приймати їх від третього.

Клас 2: Передачі без устанавлення з'єднання з підтвердженням

Сервіс класу 2 являє собою незалежну маршрутизацію кожного кадру даних, що гарантує доставку шляхом підтвердження прийому. При цьому канал між двома взаємодіючими вузлами не виділяється. Комутатор мультиплексує потоки даних між N_портами й NL_портами без виділення каналу через комутатор.

Механізм керування потоками класу 2 усуває проблеми перевантаження, властиві багатьом мережам без комутації каналів, шляхом посилки N_порту-ініціаторові сигналу зайнятості у випадку, якщо порт-приймач не в змозі приймати повідомлення. При одержанні цього сигналу N_порт повторює спробу відправлення повідомлення.

Завдяки надзвичайно малим затримкам передачі кадрів, з'єднання класу 2 є ідеальним засобом пересилання різної бізнесу-інформації.

Клас 3: Передачі без устанавлення з'єднання й без підтвердження

Клас 3 аналогічний класу 2 за винятком того, що відправникові підтвердження про прийом не посилають.

Режим передачі без підтвердження прийому використовується в системах масової пам'яті, підключених до петель Fibre Channel. У петлі встановлюється логічне з'єднання точка-точка, по якому дані надійно пересилаються між накопичувачами.

Передачі класу 3 можуть також використовуватися протоколами, не пов'язаними із системами масової пам'яті, наприклад, IP або VI. Ці протоколи створюють власні логічні з'єднання точка-точка й підтверджують прийом власними засобами, опираючись лише на засоби надійної доставки даних Fibre Channel.

Клас 4: З'єднання із дробовою смугою пропускання

Клас 4 це орієнтований на з'єднання сервіс із дробовою смугою пропускання. Між кореспондентами встановлюється віртуальне з'єднання зі смугою пропускання, достатньої для надання послуг з передбачуваною якістю. Один вузол може встановлювати до 256 одночасних з'єднань класу 4.

З'єднання класу 4 це двонаправлене з'єднання, по одному віртуальному каналі в кожному напрямку, для кожного з яких може підтримуватися різний набір параметрів якості обслуговування. У число цих параметрів входять гарантована смуга пропускання й максимальна затримка передачі від одного кінця до іншого. Застережене при встановленні кожного віртуального каналу якість обслуговування підтримується спеціальною функцією комутатора (facilitator).

Передача кадрів по з'єднаннях класу 4 синхронізується комутатором, для того щоб не перевищити виділену для віртуального каналу смугу пропускання. Комутатор мультиплексує кадри різних віртуальних каналів між тими самими або різними парами вузлів. Сервіс класу 4 забезпечує впорядковану доставку кадрів.

Керування потоками класу 4 є наскрізним, з гарантованою доставкою. Сервіс класу 4 найкраще підходить для критичних за часом доставки додатків (типу передачі відеосигналів).

Клас 6: Односпрямовані з'єднання із груповою передачею й пріоритетами

Сервіс класу 6 аналогічний сервісу класу 1 за винятком того, що є односпрямованим. Додатково він забезпечує надійні групові (multicast) доставки й передачі по пріоритетах. Сервіс класу 6 ідеальний для широкомовних відеододатків і систем реального часу, пересилаючих дані великого обсягу.

Топології Fibre Channel

У технології Fibre Channel передбачене використання кожної з наступних топологій:

- топологія точка-точка з виділеною смугою пропускання;
- петля з поділом смуги пропускання;
- топологія, що комутирується, з масштабованою смугою пропускання.

Топологія точка-точка з виділеною смугою пропускання

Топологію точка-точка можна реалізувати двома способами. У першому випадку це просто два N -порти, з'єднані один з одним і які обмінюються інформацією. В іншому способі для організації з'єднань між парами вузлів з деякої їхньої безлічі використовується зовнішній комутатор ліній зв'язку.

У кожному разі обоє N -порту користуються всією смугою пропускання каналу. Обмін даними дуплексний. Таким чином, 1-гігабітна приймально-передавальна лінія надає виділену смугу пропускання в 2 Гбіт/с.

Петля з поділом смуги пропускання

Петля Fibre Channel це недороге рішення, що дозволяє декільком вузлам одночасно використовувати 1-гігабітну смугу пропускання. Вузли розділяють доступ до петлі, однак будь-якій парі вузлів після встановлення логічного двоточечного з'єднання доступна вся смуга пропускання в 1 Гбіт. У петлю може входити до 127 вузлів, але тільки один з них може бути портом комутатора. Звичайно петлі використовуються в мережах і призначені для заміни SCSI у дисководах наступного покоління.

Вузол петлі Fibre Channel запитує керування петлею шляхом видачі сигналу, називаного примітивом (primitive). Кожний вузол петлі (ще що не встановив з'єднання з яким-небудь іншим вузлом петлі) передає цей примітив (як і всі кадри даних) сусідньому вузлу. Якщо примітив вертається з адресою вузла-відправника, то цей вузол (який може бути й портом комутатора) одержує керування петлею.

Якщо право керування петлею одночасно запитують два (або більше) вузли (або вузол і порт комутатора), то керування передається вузлу з меншою адресою. Після того, як вузол або порт комутатора одержить керування, він може відкрити дуплексний двоточечний канал зв'язку з будь-яким іншим вузлом.

У кожний момент часу по петлі може обмінюватися даними тільки одна пара вузлів. Обраний може бути будь-який клас обслуговування. Однак у більшості випадків додатки користуються класом 3. При поверненні керування виникає чергова арбітражна ситуація. Всім портам гарантований рівноправний доступ до петлі.

Петля Fibre Channel є автоконфігуруємий і може працювати як з комутатором, так і без нього. Кожний вузол петлі (включаючи порт комутатора) може автоматично визначати конфігурацію петлі й коректно взаємодіяти з іншими вузлами петлі Fibre Channel без втручання оператора.

Автономна петля, не підключена до жодного комутатора, називається приватною петлею (private loop). Петля, підключена до комутатора Fibre Channel (через порт, називаний FL_Port), називається загальною петлею (public loop).

Концентратори

Петлі можуть складатися з вузлів, безпосередньо зв'язаних один з одним у кільце. Однак при такому підході відмова будь-якого вузла (і навіть простої його невключення) приведе до відмови всієї петлі. Ця проблема вирішується за допомогою концентратора (hub), у якому для визначення працездатності вузлів застосовуються спеціальні схеми обходу (або шунтування) портів (port-bypass circuits). Це пристрій або розмикає канал (тим самим вставляючи відповідний вузол у петлю), або замикає (крім вузла з петлі й гарантуючи працездатність петлі навіть у випадку повної несправності вузла). Крім того, концентратори дозволяють вставляти й видаляти вузли з контуру в процесі роботи.

У пристроях масової пам'яті на базі Fibre Channel уже є петля, реалізована на його панель^-панелі-кросі-панелі. Кожний вузол крос-панелі теж оснащений схемою обходу, аналогічної застосовуваній в концентраторах. У такий спосіб забезпечується "гаряча" заміна дисководів, підключених до петлі Fibre Channel.

Топологія, що комутується, з масштабованою смугою пропускання

Комутатори Fibre Channel дуже легко встановлювати й використовувати, оскільки протокол Fibre Channel забезпечує самоконфігуруємість і самоконтроль. При включенні вузла або комутатора Fibre Channel він спочатку визначає, що перебуває на іншому кінці сполучного кабелю, і потім вирішує, як із цим взаємодіяти.

Якщо з'єднані два вузли, то вони автоматично починають працювати в режимі точка-точка. Якщо вузол підключений до комутатора, то він спочатку реєструється в комутаторі й потім обмінюється конфігураційною інформацією. Якщо кабель з'єднує два комутатори, то вони в процесі обміну інформацією визначають тип конфігурації мережі й мережних адрес. Всі ці дії виконуються автоматично, без якого-небудь втручання з боку оператора.

У комутаторах є два наступні типи портів:

- F_порт/FL_порт (F_Port/FL_Port), за допомогою яких комутатор з'єднується з вузлами, і
- E_порт (E_Port), використовуваний для зв'язку з іншими комутаторами.

Якщо порт комутатора може виступати й у ролі F_порту, і в ролі E_порту, то він називається G_портом (G_Port) (універсальним портом). Багато комутаторів оснащені портами саме цього типу, що автоматично визначають у процесі ініціалізації, чи бути їм портами типу F_Port або E_Port.

Комутатори Fibre Channel, які можуть одночасно підтримувати комутуючі як, так і не комутуються канали, що, фактично являють собою два окремих пристрої в одному корпусі й дозволяють щонайкраще використовувати обидві технології комутації. Одночасна підтримка комутації каналів і комутації кадрів необов'язкова. Деякі типи комутаторів призначені тільки для комутації каналів, інші ж тільки для комутації кадрів.

У режимі комутації кадрів смуга пропускання виділяється динамічно залежно від типу ліній. Маршрутизація кадрів між портами комутатора здійснюється на базі алгоритму адаптивної комутації. Для керування потоками між комутатором і підключеними портами N_Port, NL_Port або E_Port на рівні ліній зв'язку комутатор повинен уміти буферизувати

кадри даних. Комутація кадрів в основному використовується в тих додатках, де необхідні короткі передачі з малими затримками.

У майбутньому E_ порти можна буде підключати й до глобальних мереж за допомогою пристроїв Inter Working Units (спільна розробка японських і американських компаній).

Ініціалізація

У процесі ініціалізації комутатори автоматично призначають адреси й здійснюють пошук каналів зв'язку один з одним. Вузли можна додавати й витягати із системи в процесі її експлуатації в будь-який момент. При додаванні нових вузлів останні самостійно реєструються в комутаторі й обмінюються з ним конфігураційними параметрами. У процесі реєстрації N_ порту привласнюється адреса відповідного порту комутатора. Адреси NL_ портів складаються зі старших 16 розрядів адреси FL_ порту комутатора, при цьому молодші 8 розрядів дозволяють адресувати до 126 вхідних у петлю портів.

Сервери Fibre Channel

Набір функцій, названих Загальним Сервісом (Generic Services), які розширюють можливості основних протоколів Fibre Channel, надаються серверами Fibre Channel. Ці сервери, як правило, застосовуються в що комутуються топологіях.

З'єднані один з одним комутатори утворюють зв'язну архітектуру (fabric) ґрати. Серверні функції можуть концентруватися в одному комутаторі ґрат або розподілятися по всіх комутаторах. Протоколом, що надає всі види послуг, є єдиний транспортний протокол Fibre Channel (FC-CT), прозорий для всіх типів і топологій ґрати.

Сервер реєстрації

Сервер реєстрації звичайно являє собою якусь логічну структуру усередині комутатора, відповідальну за прийом і обробку запитів реєстрації. У завдання сервера реєстрації входить також підтвердження (або призначення) адреси N_ порту для кожного вузла, що послав запит на реєстрацію. Після цього він може надати серверу імен всі реєстраційні параметри кожного з N_ портів.

Контролер комутатора або ґрати

Контролер комутатора або решітк виконує такі службові функції, як ініціалізація, конфігурування, маршрутизація, і додатково може включати сервіс, що сприяє більш ефективній роботі ґрат.

Сервер імен

Сервер імен забезпечує пошук вузлів ґрати й визначення їхніх параметрів і ідентифікаторів N_Port. Ім'я вузла це 8-байтова величина, що може бути як IEEE-адресою (унікальним на глобальному рівні), так і локальним ім'ям. У кожному разі воно є унікальним в адресному просторі конкретного комутатора.

Ідентифікатори N_Port призначаються в процесі реєстрації (наприклад, але не обов'язково, за допомогою сервера реєстрації). Після цього в будь-якому вузлі або N_ порту можна організувати табличну структуру зв'язків між собою й іншими N_ портами. Передбачене також перетворення імен для IP-адрес, протоколів верхнього рівня й класів обслуговування.

Сервер альтернативних імен

Якщо один сервер має кілька зв'язків із ґратами Fibre Channel, то всі вони можуть позначатися як якась група захвата (hunt group), що сервер альтернативних імен може привласнити групове альтернативне ім'я, або псевдонім (alias). Псевдоніми можуть також привласнюватися й багатоадресним (multicast) групам, що представляють собою групу N_ портів, кожний з яких приймає кадри, передані будь-яким іншою N-портом цієї групи. Кадр, відправлений N_ портом-джерелом, розмножується й передається всім іншим членам даної багатоадресної групи за допомогою сервісу класу 3. Сервер альтернативних імен виконує реєстрацію й скасування всіх псевдонімів. Один N_ порт може одночасно зареєструватися в декількох багатоадресних групах. Він може також зареєструвати список (list) N_ портів як члени багатоадресної групи. За маршрутизацію кадрів з обліком багатоадресних груп і

псевдонімів відповідальність несуть грати Fibre Channel. Fibre Channel цей надійний, високопродуктивний, зручний і недорогий комунікаційний засіб, призначений для систем інтенсивної обробки й обміну даними нового покоління. Вона дозволяє підняти продуктивність мереж масової пам'яті й серверів на якісно новий рівень. Високошвидкісні лінії зв'язку Fibre Channel коштують дешевше, ніж багато сьогоденних систем. На базі Fibre Channel можна будувати гетерогенні кластери накопичувачів, серверів і робочих станцій. Ця технологія має характеристики як комунікаційного каналу, так і мережі, що дає більше надійному, швидке, просте, ефективне й менш дороге рішення для створення інформаційних систем. Великі сховища й центри обробки інформації дозволяють краще управляти даними й здійснювати їхню доставку, що в результаті підвищує якість прийняття рішень. Масштабований комп'ютер і кластери масової пам'яті з можливостями швидкого доступу дозволять значно підвищити ефективність використання корпоративних ресурсів. Технологія Fibre Channel цей засіб не відставати від бурхливого розвитку систем масової пам'яті й використовувати їх з максимальною ефективністю.

Розробка структурної схеми

Проект стандарту шостого покоління FC Gen 6 на 32 Гбіт/с схвалений FCIA рік назад і вже не міняється, тобто досяг стабільного стану. Крім того, торік завершена робота над стандартом фізичного інтерфейсу нового покоління FC – FC-PI-6. Ратифікація FCIA фізичного інтерфейсу FC-PI-6 (Gen 6 Fibre Channel Physical Interface) стане важливою віхою на шляху до практичного впровадження FC 32 Гбіт/с і розробці відповідних комерційних продуктів. ANSI опублікувало стандарт FC Gen 6, після чого почалося розгортання рішень Fibre Channel нового покоління для побудови більше масштабованих, надійних і високошвидкісних мереж зберігання даних.

На підході стандарт Parallel FC 128 Гбіт/с, у якому пропускна здатність збільшена з 6400 до 25 600 Мбайт/с. Робота над ним повинна завершитися через рік після публікації FC Gen 6. Тоді ж на ринок будуть випущені відповідні продукти. Важливо, що при цьому зберігається повна зворотна сумісність із існуючим устаткуванням Fibre Channel.

В Parallel FC на 128 Гбіт/с використовуються чотири оптичних волокна для передачі даних у прямому напрямку й чотири – у зворотному. Які кабелі й з'єднувачі будуть потрібні для FC на 128 Гбіт/с? Як порти можуть використовуватися модулі QSFP28, CFP2, CFP4 або якісь майбутні чотирьохканальні інтерфейси, а для підключення встаткування – 12-волоконні кабелі із з'єднувачами MPO, активні волоконно-оптичні кабелі (АОС) довжиною до 50 м або кабелі прямого підключення (DAC) до 5 м.

Поряд з підтримкою більше високої швидкості передачі даних (32 Гбіт/с) стандарт FC Gen 6 має наступні особливості:

- Корекція помилок Forward Error Correction (FEC) підвищує надійність з'єднань завдяки автоматичному виявленню й усуненню бітових помилок, які можуть приводити до деградації продуктивності й збоєм.

- Убудовані засоби протоколу підвищують енергоефективність (Energy Efficient Fibre Channel), оскільки при неактивному з'єднанні оптичні трансивери переходять у пасивний режим (standby), причому щосекунди це може відбуватися багаторазово. У результаті, по оцінках SNIA, оптичний канал споживає на 40-60% менше електроенергії.

- Підтримка N-Port ID Virtualization (NPIV) спрощує розгортання серверної віртуалізації й масштабування фабрик SAN за рахунок усунення обмежень по числу комутаторів FC і доменів. Завдяки NPIV спрощуються розгортання й міграція віртуальних серверів, тому що керування глобальними іменами WWN (Worldwide Name) переноситься з рівня гіпервізора на рівень протоколу Fibre Channel.

- FC-SP-2 підвищує рівень захищеності Fibre Channel у відповідності зі специфікаціями National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-131A. У ньому застосовується протокол автентифікації й керування ключами DH-CHAP.

- Підтримка встаткуванням Inter-Switch Link (ISL) Trunking дозволяє агрегувати чотири канали Fibre Channel по 32 Гбіт/с в один канал 128 Гбіт/с між серверами й СЗД.

Такими каналами можуть бути чотири мідножилських кабелі або чотири довжини хвилі у волоконно-оптичному з'єднанні. Сьогодні це самий високошвидкісний спосіб обміну даними між серверами й системами зберігання.

- Забезпечується зворотна сумісність із устаткуванням FC на 8 і 16 Гбіт/с (Gen 4 і 5).

У середовищах з високим ступенем віртуалізації генерується значний трафік вводу-виводу. З переносом у віртуальне середовище баз даних Oracle, Microsoft SQL Server, SAP і інших відповідальних додатків детермінованість і надійність Fibre Channel стають незамінними якостями для високопродуктивних мереж зберігання, які повинні забезпечувати цілісність даних і їх стабільну, без втрат, передачу відповідно до SLA. Як очікується, нове покоління FC дозволить створювати більше продуктивні, надійні й масштабовані середовища зберігання даних, що відповідають вимогам нових архітектур ЦОД, масштабною віртуалізації й флеш-систем з рекордними показниками IOPS.

Fibre Channel дозволяє створювати гнучкі з погляду архітектури рішення. Плани по розвитку цієї технології вселяють в інвесторів упевненість у тім, що їхні вкладення надійно захищені. Високошвидкісні SAN здатні задовольнити зростаючі вимоги серверів і систем зберігання до продуктивності мереж. Іноді вендори вбудовують флеш-пам'ять безпосередньо в сервери, але це дороге й погано масштабоване рішення. FC Gen 6 дає можливість застосовувати традиційну архітектуру із загальним сховищем і ефективніше використовувати ресурси.

Як правильно побудувати мережа зберігання даних поза залежністю від того, яке покоління FC у ній використовується? В Brocade вважають, що SAN повинна відповідати наступним принципам:

- Резервування на фізичному рівні. Здвоєна «фабрика» забезпечує високу доступність SAN. Сервери й СЗД підключаються до двох комутаторів з підтримкою багатоканальної передачі (multipathing). Комутатори не з'єднуються між собою, що забезпечує ізоляцію відмов.

- Правильна топологія. Топологія «кожний з кожним» (Full Mesh) у випадку невеликих фабрик (4–5 комутаторів) дозволяє одержати максимальну продуктивність і доступність. У великих SAN для масштабованості використовується топологія «ядро-границя» (Core-Edge).

- Агрегування з'єднань (Trunking) забезпечує усунення вузьких місць у фабриці й балансування навантаження на апаратному рівні, що дозволяє уникнути багатьох проблем.

- Використання функцій Access Gateway. Цей спрощений режим роботи комутатора FC призначений для підключення великої кількості серверів з невисоким навантаженням. Він підвищує масштабованість і надійність SAN, полегшує керування й часто використовується в убудованих комутаторах FC у шасі модульних серверів. У режимі шлюзу комутатор SAN приймає дані від хост-систем і передає їх на вищестоящі комутатори, що реалізують високорівневі функції. Тим самим зменшується кількість доменів у фабриці (що позитивно позначається на швидкості її роботи й стабільності), а також число адмініструємих пристроїв. Крім того знімаються проблеми сумісності встаткування різних вендорів.

- Маршрутизація FC підвищує відказостійкість і полегшує керування й нарощування SAN. У територіально розподілених SAN рекомендується не «розтягувати» мережі зберігання між площадками, а використовувати маршрутизацію FC і задіяти на кожній з них пари ізольованих фабрик. У цьому випадку проблеми на одній площадці не будуть поширюватися на іншу.

Для комунікацій між площадками можна застосовувати безпосередньо протокол FC – «далекобійні» трансивери або рішення WDM. У цьому випадку буде підтримуватися синхронна реплікація даних між СЗД. При більших відстанях (до тисяч кілометрів) підійде протокол FCIP (фрейми FC інкапсулюються в IP). При цьому затримка Round Trip не повинна перевищувати 200 мс, а втрати пакетів можуть становити не більше 1%. Для таких комунікацій випускається спеціальне устаткування: маршрутизатор FCIP (FC over IP),

наприклад Brocade 7840 або 7800, модулі для DCX, Cisco MDS 9000 SAN Extension over IP Package. За допомогою FCIP (10 Гбіт/с) реалізуються асинхронна реплікація й резервне копіювання даних.

По даним Brocade, отриманим у ході тестування, при відстані більше 75 км краще використовувати не FC, а FCIP. Цей протокол дозволяє застосовувати й більше ефективні алгоритми стиску даних. FC на 10 Гбіт/с (версія FC Gen 5) забезпечує комунікації між площадками через WDM і дозволяє використовувати 10-гігабітні трансивери. Конвергентна інфраструктура, що поєднує SAN і LAN, стала ЦОД стандартом, чому буде сприяти серверна віртуалізація. Конвергентні середовища дозволяють заощадити гроші, спрощують керування, знижують потреби в охолодженні й електроенергії, підвищують гнучкість і при цьому забезпечують низькі затримки, детермінованість і можливості керування мережами, властиві FC.

Зі збільшенням швидкості Ethernet і вдосконалюванням протоколів для передачі даних СЗД, включаючи Data Center Bridging (DCB) і Converged Enhanced Ethernet (CEE), удалося зменшити затримки й знизити втрати пакетів при піковому трафіку. Ці вдосконалення в LAN дозволяють сполучати в одній мережі трафік додатків і трафік СЗД. Технологія FCoE забезпечує передачу даних FC по мережі Ethernet на 10 Гбіт/с і взаємодія з існуючими мережами FC SAN. У числі переваг – уніфікація мережної інфраструктури, більше просте адміністрування й зниження витрат.

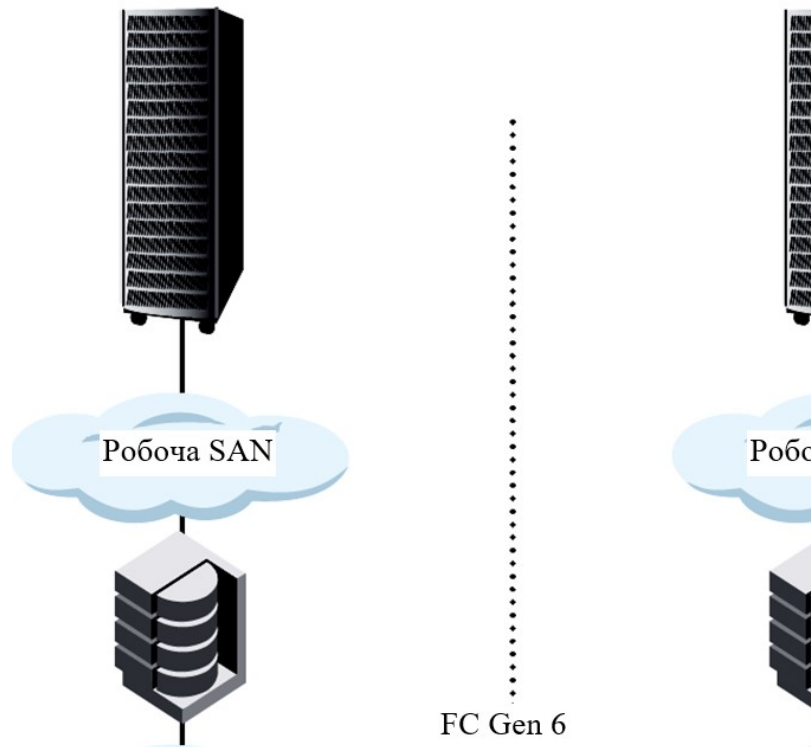


Рисунок 1. – Структурна схема системи

Fibre Channel over Ethernet (FCoE) забезпечує передачу трафіку Fibre Channel по локальній мережі Ethernet. Інкапсуляція фреймів FC у кадри Ethernet дозволяє сполучати блоковий трафік систем зберігання з іншим трафіком LAN. У результаті спрощується мережна інфраструктура ЦОД і знижуються витрати, оскільки не потрібно обслуговувати кілька мереж. Однак, як вважають деякі фахівці, незалежно від того, яка технологія використовується, фабрика повинна працювати у виділеній мережі зберігання й ні про яку конвергенцію з мережею передачі даних не може бути мови – ризики переважають вигоди у вартості рішення.

Інші експерти впевнені, що віртуальні сервери, що працюють як з ресурсами зберігання, так і з обчислювальними ресурсами, приведуть до відмови від традиційних

мереж зберігання. Адаптери HBA в SAN будуть замінюватися на мережні адаптери HCA (Host Channel Adapter) або CNA, що підтримують кілька протоколів в одному каналі. Фактично це дозволяє агрегувати канали передачі даних і різко підняти продуктивність.

Історично Ethernet випереджає Fibre Channel по засобах діагностики й аналізу проблем, однак продукти FC у виконанні Brocade пропонують ряд діагностичних інструментів і інших удосконалень, що усувають цей розрив. Деякі з них стали стандартними в поточній версії Fibre Channel, інші будуть доступні в наступній.

Що вибрати – FCoE або Fibre Channel? Однозначної відповіді немає. FC – перевірена технологія, але якщо критично вартість або Ethernet переважніше з погляду стандартизації, то FCoE заслуговує розгляду. Ще один варіант – використання обох технологій: FC для критично важливих даних і додатків, а Ethernet для інших. У великих організаціях рекомендується дотримуватися Fibre Channel. Поряд з вибором протоколу важлива архітектура – комутуюча фабрика забезпечує довільне з'єднання портів, низькі затримки, відказостійкість і балансування навантаження. Fibre Channel уже давно має такі характеристики, тепер їх мають і Ethernet-фабрики.

Для середовища Ethernet ключовим є відмова від Spanning Tree на користь протоколу TRILL або Shortest Path Bridging, інакше властивих комутуючій фабриці характеристик одержати не вдасться. Фабрика передбачає також взаємодію між ЦОД і може бути розподіленою – охоплювати кілька площадок. Трафік FCoE між серверами й СЗД проходить через комутатори, які повинні підтримувати DCB (як, наприклад, Brocade VDX 6730, Dell MXL 10/40Gb, Cisco Nexus 5020, HP StorageWorks 2408 FCoE Converged Network Switch) і мати порти 10Gb.

Якщо на сервері встановлені звичайні мережні карти (NIC), то інкапсуляція FC в Ethernet здійснюється програмно. При інтенсивному трафіку це негативно позначається на продуктивності NIC. Більше високу швидкість забезпечать конвергентні адаптери CNA з убудованою підтримкою інкапсуляції FCoE, наприклад QLogic 8200 і 8300, Cisco UCS M71 KR-Q, HP CN1000Q Dual Port Converged Network Adapter, Dell 1020 і ін.

Деякі нові дискові масиви мають порти FCoE. У їхньому числі – NetApp FAS3170, EMC CX 4-960 і VNX-F, Dell Compellent SC8000. Для відповідного підключення до серверів успадкованих дискових масивів використовують комутатори з підтримкою FCoE. У цьому випадку з комутаторами СЗД з'єднуються по FC. Ще один важливий момент – тип кабелів, що прокладаються між серверами, комутаторами й дисковими масивами. Для трафіку FCoE (10 Гбіт/с) звичайних кабелів Категорії 6 недостатньо. Для нормальної роботи буде потрібно більше висока категорія або волоконно-оптичні з'єднання. Для підключення серверів до комутаторів то іноді застосовують твінаксіальні кабелі.

Впроваджувати FCoE можна поетапно, у міру відновлення встаткування. Звичайно така міграція починається із заміни серверних мережних адаптерів на CNA. Адаптер CNA одночасно виконує функції FC HBA і Ethernet NIC. Комутатори Ethernet замінюють на продукти з підтримкою DCB або FCoE. Це дозволяє успадкованим серверам працювати як з локальною мережею, так і з директором Fibre Channel, а новим серверам, що підтримують FCoE, – з FC SAN.

У цей час три технології – FC, NAS і iSCSI – використовуються кожна у своїй властивій ніші. Для рішень NAS і iSCSI добре підходить технологія Ethernet Fabric. Хоча основне призначення комутаторів Ethernet Fabric – передача трафіку Ethernet, деякі моделі підтримують і трафік FCoE.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.
- Досліджена система мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання мереж SAN на основі стандарту Fibre Channel Gen 6. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
2. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
3. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
4. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings Volume 3156*, 2022, Pages 390-399.
5. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
6. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740*, 2020, Pages 102-114.
7. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
10. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 125-136.
11. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 366-379.
12. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2608*, 2020, Pages 633-645.
13. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019*. P.22-28.
14. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
16. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.
17. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588*, P. 90-106, 2019.

18. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
19. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.