

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КІБЕРБЕЗПЕКИ, КОМП'ЮТЕРНОЇ
ТА ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

_____ Жуков І.А.
(підпис)

«_____» _____ 202_ р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 123 «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

Тема: «Архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів»

Виконавець: студентка групи КС-231М Мазенко Дарина Володимирівна

Керівник: д.т.н., професор кафедри КСМ Печурін Микола Капітонович

Нормоконтролер: _____
(підпис)

Малярчук Василь Олександрович
(ПІБ)

Засвідчую, що у дипломній роботі немає
запозичень праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ Мазенко Д.В.
(підпис)

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Жуков І.А.
(підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 202_ р.

**ЗАВДАННЯ
на виконання дипломної роботи**

Мазенко Дарини Володимирівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломної роботи: *Архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів*

затверджена наказом ректора від « 25 » вересня 2020 року №1793/ст.

2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 р. по 30.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: *архітектури розподілених комп'ютерних мереж університетських кампусів.*

4. Зміст пояснювальної записки: *1. Системний аналіз архітектур розподілених комп'ютерних мереж університетських кампусів.*

2. Вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку.

3. Експериментальне дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентація Microsoft Office PowerPoint

6. Календарний план-графік

№ з/п.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Узгодження технічного завдання	05.10.20 – 07.10.20	
2.	Підбір та вивчення науково-технічної літератури за темою дипломної роботи	08.10.20 – 15.10.20	
3.	Системний аналіз архітектур розподілених комп'ютерних мереж університетських кампусів	16.10.20 – 02.11.20	
4.	Вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів	03.11.20 – 19.11.20	
5.	Експериментальне дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів	20.11.20 – 04.12.20	
6.	Оформлення текстового та графічного матеріалу дипломної роботи	05.12.20 – 07.12.20	
7.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	08.12.20 – 10.12.20	
8.	Захист дипломного проекту	22.12.20	

7. Дата видачі завдання: «05» жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи _____
(підпис керівника)

Печурін Микола Капітонович
(ПІБ)

Завдання прийняла до виконання _____
(підпис випускника)

Мазенко Дарина Володимирівна
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів»: 93 сторінки, 27 рисунків, 8 таблиць, 18 використаних джерел.

КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА, КАМПУС, ОПТОВОЛОКНО.

Мета дипломної роботи – дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку (на прикладі об'єданого студмістечка з півсотнею гуртожитків типу НАУ і КПІ).

Завдання дипломної роботи – проведення системного аналізу архітектур розподілених комп'ютерних мереж університетських кампусів. Здійснення вибору інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку. Проведення дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів та розробка схем комп'ютерної мережі гіпотетичного об'єданого кампусу НАУ та КПІ.

Об'єкт дослідження – розподілені комп'ютерні мережі великих кампусів.

Методи дослідження – були використані методи системного аналізу, аналізу не функціональних вимог до архітектури.

Технічні та програмні засоби – середовище проектування комп'ютерних мереж *NagVis*.

Результати проекту рекомендується використовувати для об'єднання двох розподілених мереж.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єктів розроблення – розроблений проект може бути розширений для обміну трафіком на резервному каналі передачі даних.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ КАМПУСІВ	11
1.1. Базові поняття мережевих технологій.....	11
1.2. Аналіз архітектури мережі кампусів	22
1.3. Аналіз проблеми розрахунку архітектурних рішень розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів	36
Висновки за розділом.....	45
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАМПУСІВ ВЕЛИКИХ УНІВЕРСИТЕТІВ НА БАЗІ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ	46
2.1. Системний аналіз існуючих засобів визначення ефективних архітектур розподілених комп'ютерних мереж.....	46
2.2. Вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів	63
Висновки за розділом.....	74
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАМПУСІВ.....	75
3.1. Розробка схем структурних алгоритмів за умов одно- та двозв'язної топології апаратного комплексу мережі.....	75
3.2. Реалізація алгоритмів синтезу апаратного комплексу мережі з представленням відповідних структурних схем.....	84

Висновки за розділом.....	90
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

<i>LAN</i>	–	<i>Local Area Network</i>
<i>MAN</i>	–	<i>Metropolitan area network</i>
<i>VLAN</i>	–	<i>Virtual Local Area Network</i>
<i>WAN</i>	–	<i>Wide Area Network</i>
ВОЛЗ	–	волоконно-оптичні лінії зв'язку
ЛМ	–	Локальні мережі
ПЗП	–	Постійне запам'ятовуючий пристрій
ПК	–	Персональний комп'ютер
САПР	–	Системи автоматизованого проектування
СКМ	–	Система кабельних мереж

ВСТУП

Актуальність теми. У дипломній роботі розглядається тема «Архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів». Актуальність даного проекту полягає в тому, що дане рішення є засобом для організації ефективного функціонування одного університету з іншим на великій відстані. Дана локальна мережа проектується з метою спільного використання загальних ресурсів, таких як локальні диски, мережевий принтер, Інтернет.

Кампусна мережа – це велика багатосегментна локальна мережа на території до декількох кілометрів в діаметрі, яка об'єднує локальні мережі близько розташованих будівель. Кампусні види мереж набули широкого поширення в США. Кампусні мережі переважно розвинені в коледжах і університетах. Найчастіше вони об'єднують різноманітні будівлі, в тому числі адміністративні будівлі, навчальні корпуси, бібліотеки, гуртожитки, гімназії та інші споруди.

Своєчасне отримання інформації для її подальшої обробки є одним із найбільш важливих факторів, що впливають на ефективність управління в будь-яких організаціях та підприємствах. Передача інформації може вироблятися різними способами – за допомогою телефонних переговорів, пересилки письмових, факсових повідомлень. В даний час для забезпечення життєдіяльності більших організацій пов'язана необхідність пересилання дуже великих об'єктів інформації та вищих попередніх методів, які не дозволяють ефективно переглядати дану задачу.

Крім того, вказані форми передають інформацію, що не потрібна для її подальшої обробки із застосуванням обчислювальної техніки. Найбільш важко організованими з обчислювальних мереж є корпоративні мережі, що представляють собою сукупність усіх локальних мереж організацій, що входять в єдину мережу. Швидкість доставки та обробки інформації, напряду залежить від якості роботи корпоративної мережі, суттєво впливає на здатність підприємства виконувати поставлені перед ним завдання.

Окремим випадком корпоративних мереж є кампусні мережі, тобто обчислювальні мережі, що об'єднують усі обчислювальні пристрої в одній будівлі

або декількох близьких будівлях. На даний момент комп'ютерні мережі - один із найпоширеніших класів обчислювальних мереж, комп'ютерна мережа є практично в будь-якій організації. Корпоративна мережа великого підприємства може об'єднати кілька комп'ютерних мереж, що знаходяться в різних містах або країнах. Кампусні мережі володіють певними особливостями, пропонуючи відповідні вимоги щодо проектування. До таких особливостей відносяться:

- відносно невелика площа, і, як наслідок, використання для передачі даних високошвидкісних технологій локальних мереж;
- використання у якості основного комунікаційного обладнання не маршрутизаторів та концентраторів, а комутаторів різної потужності;
- використання структурованих кабельних систем;
- гетерогенність мереж (одна комп'ютерна мережа може існувати з підмереж, побудованих на базі різних мережевих технологій).

Поява нових інформаційно-комунікаційних послуг, перенесення традиційних послуг на платформу *IP*, зростання кількості споживачів цих послуг спричинили розвиток технологій, в яких на першому місці стоїть питання якості надання послуг та забезпечення їх доставки до кінцевих користувачів. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах необхідності забезпечення високої продуктивності мережевої інфраструктури та ефективного використання мережевих ресурсів для передавання об'ємів трафіку, що постійно зростають. Зазначені тенденції призводять до підвищення вимог щодо управління трафіком в телекомунікаційних системах.

Для задоволення цих вимог в системах передавання даних впроваджуються методи та механізми управління трафіком, які тою чи іншою мірою враховують особливості різних видів послуг. Зростання об'ємів трафіку та вимог до гарантування якості його передавання спричиняє підвищення вимог до інформаційних мереж, що в сукупності утворюють основу проблематики високоякісної передачі інформації з урахуванням пікових навантажень та максимально можливим використанням наявних мережевих ресурсів.

Мета і завдання дипломної роботи. Головною метою дипломної роботи є дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів

великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку (на прикладі об'єднаного студмістечка з півсотнею гуртожитків типу НАУ і КПІ).

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- аналіз архітектури мережі кампусів;
- аналіз проблеми розрахунку архітектурних рішень розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів;
- вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку;
- експериментальне дослідження способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів;
- розробка схеми підключення до мережі двох об'єктів.

Об'єкт дослідження – розподілені комп'ютерні мережі великих кампусів.

Практична значимість дипломної роботи полягає в реалізації на практиці роботи з проектування мережі, а також заходів по налаштуванню доступу до загальних ресурсів даної мережі, таким як спільне використання дискових ресурсів, підключення мережевого принтера та мережевого диска, оновлення програмного забезпечення для зручності користування та захисту локальної мережі. Теоретична значущість полягає в аналізі існуючих технологій і застосуванні однієї з них для реалізації на практиці.

В результаті виконання дипломної роботи повинна бути створена схема підключення до мережі двох об'єктів.

Результати дипломної роботи рекомендується використовувати для об'єднання двох розподілених мереж.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ КАМПУСІВ

1.1. Базові поняття мережевих технологій

Комп'ютерна мережа – це поєднання декількох комп'ютерів для спільного вирішення інформаційних та обчислювальних проблем. Основним поняттям мережевих технологій є мережевий ресурс, який можна розуміти як апаратні та програмні компоненти, які беруть участь у процесі спільного використання – у процесі мережевої взаємодії. Доступ до мережевих ресурсів забезпечують мережеві служби .

До основних понять мережевих технологій належать такі поняття, як сервер, клієнт, канал зв'язку, протокол та багато інших. Однак концепція мережевого ресурсу та мережевої послуги є основними, оскільки необхідність організації роботи на основі спільного використання комп'ютерних ресурсів, що означає створення мережевих ресурсів та відповідних мережевих послуг, є основною причиною створення самих комп'ютерних мереж.

Існує п'ять типів мережевих послуг [1]: файлова, друку, повідомлення, бази даних, програми.

Файлова служба реалізує централізоване зберігання та спільний доступ до файлів. Це одна з найважливіших мережевих служб, вона передбачає наявність певного мережевого сховища файлів (локальний мережевий файловий сервер).

Служба друку забезпечує централізоване використання принтерів та інших друкарських пристроїв. Ця послуга приймає завдання друку, керує чергою завдань та організовує взаємодію користувачів із мережевими принтерами.

Технологія мережевого друку дуже зручна в самих різних комп'ютерних мережах, оскільки дає змогу зменшити кількість необхідних принтерів, як результат, це дозволяє зменшити витрати або використовувати краще обладнання.

Послуга обміну повідомленнями дозволяє організувати обмін інформацією між користувачами комп'ютерної мережі. Як повідомлення в цьому випадку слід розглядати як текстові повідомлення (електронна пошта, повідомлення мережевих месенджерів, різні засоби текстового колективного спілкування тощо), так і медіа-повідомлення різних систем голосового та відеозв'язку.

Служба баз даних призначена для організації централізованого зберігання, пошуку, обробки та захисту даних з різних інформаційних систем. На відміну від простого зберігання та спільного використання файлів, служба баз даних надає та контролює, включає створення, модифікацію, видалення даних, забезпечення їх цілісності та захисту.

Служба програм надає спосіб запуску програми на комп'ютері користувача не з локального джерела, а з комп'ютерної мережі. Такі програми можуть використовувати серверні ресурси для зберігання та обчислення даних. Перевагою використання мережевих додатків є можливість їх використання з будь-якої точки підключення до комп'ютерної мережі без необхідності встановлення програми на комп'ютер, можливість співпраці з декількома користувачами, «прозорі» оновлення програмного забезпечення, можливість використання комерційного програмного забезпечення за передплатою.

Залежно від тих чи інших особливостей побудови, мережі можуть різнитися за видами, топологією, фізичної середовища передачі, моделям мережевого взаємодії та ін.

Так, в залежності від територіального розташування виділяють види комп'ютерних мереж - глобальні, міські, локальні і персональні мережі. Глобальні мережі (*WAN, Wide area network*) - це мережі, які охоплюють великі географічні регіони (міста, країни, континенти).

Вони характеризуються великою протяжністю каналів зв'язку, великою кількістю вузлів, використанням різнорідних середовищ передачі, порівняно високою вартістю і низькою швидкістю передачі даних, наявністю досить складних засобів для забезпечення працездатності мережі в умовах низької якості каналів зв'язку. Найчастіше глобальні мережі є об'єднанням комп'ютерних мереж меншого масштабу, що належать різним споживачам і постачальникам послуг.

Найяскравішим представником глобальних комп'ютерних мереж є Інтернет. Фізичну основу з'єднання вузлів глобальної мережі складають, як правило, оптоволоконні і супутникові канали зв'язку.

Міські мережі (*MAN*) об'єднують різні вузли в рамках міста чи регіону. Як приклади міських мереж можна назвати мережі великих провайдерів, що надають послуги доступу до Інтернету, цифрового телебачення і телефонії для найрізноманітніших споживачів якогось міста або регіону. Якщо порівнювати з глобальними, то міські мережі мають менший розмір, більш високу швидкість і низьку вартість передачі даних. Як правило, телекомунікаційна інфраструктура міських мереж (Кабельна система, сполучна обладнання) належать одному власнику - постачальника послуг. Такі мережі забезпечують якісний доступ до Інтернету і міським цифрових ресурсів, а також з'єднання територіально розділених локальних мереж різних організацій. На фізичному рівні міські мережі ґрунтуються, як правило, на оптоволоконних лініях зв'язку і системах бездротового пакетної передачі даних, таких як *3G*, *LTE*, *WiMAX*.

Локальні мережі (*LAN*) - зазвичай розуміється, що це мережі, які об'єднують комп'ютери і різні мережеві пристрої в рамках одного будинку або групи поруч розташованих будинків. Відмінною особливістю даних мереж є низька питома вартість і висока швидкість передачі інформації. В силу зазначених причин в локальних мережах є великий запас пропускної здатності, що дозволяє використовувати прості рішення планування мережевого трафіку і завантаження вузлів.

Локальні мережі зазвичай також мають єдину систему управління, а всі її компоненти, такі як комп'ютери, мережеве обладнання, кабельні системи, належать одному власнику (Людині або організації), для обслуговування потреб якого локальні мережі і створюються. Загальновизнаним стандартом побудови локальних мереж є технології *Ethernet* (локальні мережі на основі витвої пари і оптоволоконна) і *Wi-Fi* (бездротова передача).

Персональні мережі (*PAN*, *Personal area network*) - це мережі, які об'єднують персональні електронні пристрої користувача, такі як ноутбуки, смартфони, телефони, звукові гарнітури та ін. Відмінною особливістю таких мереж є

невеликий радіус дії, низька швидкість передачі, мала кількість вузлів, простота підключення і настройки пристроїв. Персональні мережі, як правило, створюються на основі бездротових технологій. Найпопулярнішим стандартом персональних мереж став стандарт *Bluetooth*. Корпоративна мережа - це мережа деякої організації, яка створюється для забезпечення роботи корпоративних інформаційних систем. Корпоративні мережі зазвичай мають сувору систему адміністрування, правила доступу до мережі, використання корпоративних інформаційних ресурсів. При цьому технологічно корпоративна мережа може включати в себе безліч територіально відокремлених локальних мереж, об'єднаних між собою при допомозі міської або глобальної мережі.

Мережеві топології. Мережева топологія - це спосіб з'єднання комп'ютерів в мережу. Виділяють три базових мережевих топологій: шина, кільце, зірка. Шина - це топологія (рис.1.1), згідно з якою всі комп'ютери під'єднуються до деякого загального кабелю (шині, магістралі) шина є однією з найстаріших топологій, гідності якої полягають в простоті і невисокій вартості мережі, а недоліки - в наявності проблем спільного доступу до єдиної розділяється середовищі і низької надійності.

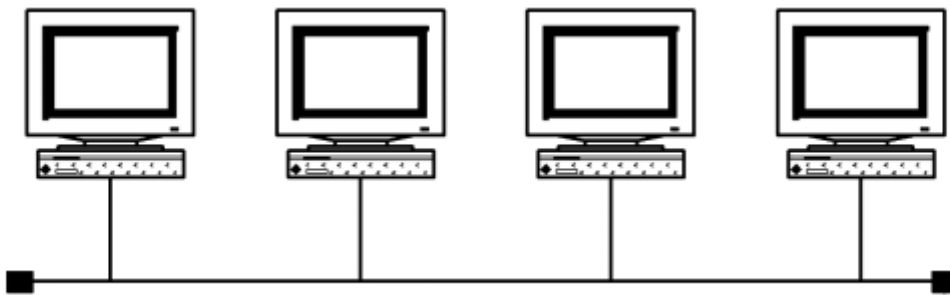


Рис.1.1. Топологія шина

Кільце - це топологія, при якій кожен комп'ютер з'єднаний з двома іншими: від одного він тільки отримує інформацію, а іншому тільки передає (рис. 1.2). Перевагами кільцевої топології є простота і невисока вартість, відсутність проблем доступу до середи, а основним недоліком - невисока надійність (поломка будь-якого комп'ютера призводить до виходу з ладу всієї мережі).

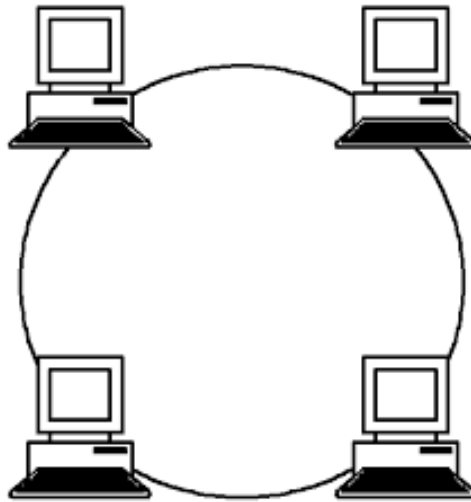


Рис.1.2. Топологія кільце

Модифікацією топології «кільце» є топологія «подвійне кільце» (рис. 1.3), яка передбачає наявність двох ліній зв'язку - основний і резервної. У разі виходу з ладу будь-якого вузла комп'ютерної мережі або будь-якого кабельного сегмента основна лінія зв'язку об'єднується з резервної, в результаті чого мережа продовжує функціонувати.

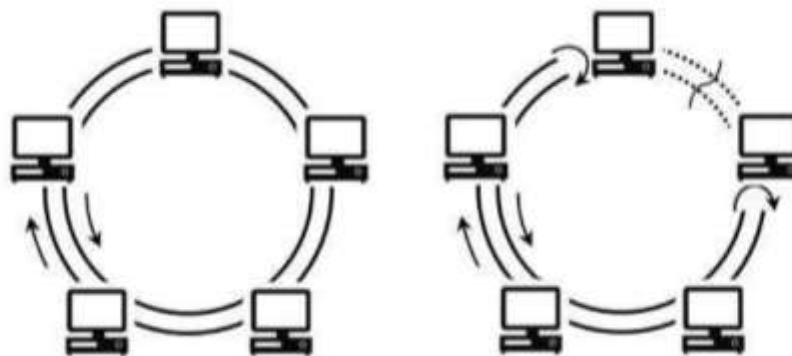


Рис.1.3. Топологія двійне кільце

Мережі на основі подвійного кільця виявляються більш надійними, ніж мережі, побудовані відповідно до топології «зірка». Мережі з топологією «зірка» також відрізняються високою надійністю, але поломка центрального вузла (концентратора, комутатора або ін.) все ж може привести до виходу з ладу всій мережі. Топологія «зірка», на відміну від попередніх, передбачає наявність додаткового зв'язу пристрої (концентратора, комутатора або ін.), до якого приєднані всі комп'ютери (рис. 1.4). Мережі на основі «зоряної» топології відрізняються високою отказоустойчивістю і продуктивністю. завдяки

можливості централізованого управління можна забезпечити розмежування доступу і високий рівень безпеки. Ці мережі легко розширюються за рахунок незалежності підключення для користувача пристроїв і можливості з'єднання декількох зв'язують пристроїв. Як недоліки можна вказати більш високу вартість

Придбання додаткового обладнання, висока витрата кабелю, а також вразливість мережі в частині виходу з ладу зв'язує пристрої.

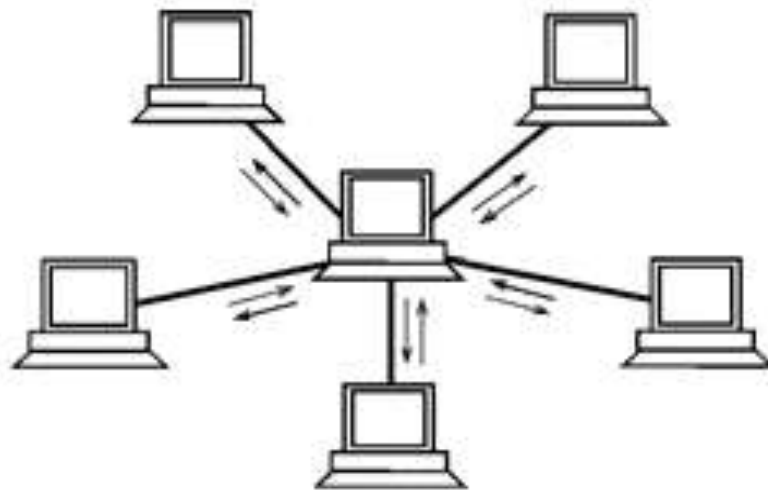


Рис.1.4. Топологія зірка

Існує також пов'язана топологія, яка передбачає, що кожен вузол комп'ютерної мережі підключений до всіх інших. Перевагами такої мережі є висока надійність, швидкість і безпеку передачі даних між вузлами, а недоліком - висока складність реалізації, яка експоненціально збільшується з ростом кількості вузлів.

Класифікація за середовищі передачі. За фізичної середовища передачі комп'ютерні мережі можна розділити на кабельні та бездротові. Кабельні мережі, як випливає з назви, використовують в якості середовища передачі кабель, що з'єднує відповідно до обраної топологією комп'ютери і інші вузли комп'ютерної мережі. Як правило, використовується кабель з мідними жилами для передачі електричних сигналів або кабель на основі оптоволокна. Залежно від виду і покоління мережі, протяжності ліній зв'язку, місця прокладки і ін. можуть вибиратися кабелі досить різноманітних характеристик. Як правило, в локальних мережах використовується кабель «вита пара».

Якщо цим кабелем треба з'єднати мережі сусідніх будівель, то його слід використовувати в екранованому варіанті. При побудові протяжних локальних мереж, в міських, а також в глобальних мережах буде використовуватися оптоволоконний кабель, який забезпечує високу якість і швидкість передачі даних на великі відстані, а також слабо схильний до впливу ззовні. Слід також зазначити, що комп'ютерні мережі можуть створюватися і на основі телефонної інфраструктури, використовувати ту ж кабельну систему, що і стаціонарний телефонний зв'язок. В даний час таке рішення не забезпечує існуючих потреб швидкості і якості передачі інформації, проте за часів становлення глобальних мереж саме телефонна інфраструктура дозволила швидко створити мережі, які об'єднують міста, країни і континенти, а також забезпечити підключення до цих мереж кінцевих користувачів. Бездротові мережі використовують в якості середовища передачі радіоэфір або інші рішення, які не потребують використання кабельної проводки. Бездротові технології використовуються для всіх видів комп'ютерних мереж. Так, в глобальних мережах використовується супутникова передача, на міському рівні – бездротові мережі стільникових операторів (*3G, LTE, WiMAX* і ін.), в локальних мережах широко застосовується технологія *Wi-Fi*, а в персональних - *Bluetooth*. Треба враховувати, що радіоэфір - це не єдина можливість побудови бездротових мереж. Своє застосування знайшли мережі і на основі інфрачервоного випромінювання. Це різні рішення, що дозволяють з'єднати фрагменти локальних мереж поруч розташованих будинків (там, де в силу тих чи інших причин неможливо використовувати кабель або радіоэфір), а також технологія з'єднання мобільних пристроїв користувача через інфрачервоний порт.

Класифікація за моделями мережевої взаємодії. По моделях мережевої взаємодії можна виділити мережі, які побудовані відповідно до моделі: централізованої обробки інформації, «Клієнт-сервер», розподіленої обробки інформації, спільної обробки інформації, «клієнт-мережа». У мережах, побудованих відповідно до моделі централізованої обробки інформації, передбачається наявність деякого центрального комп'ютера, всі ресурси якого (пристрої, додатки, дані) пропонуються для спільного використання

користувачами комп'ютерної мережі (рис 1.5). Такий центральний комп'ютер часто називається мейнфреймів (*Mainframe*) або хостом (*host*), а користувачі мережі підключаються до цього комп'ютера за допомогою локальних пристроїв - терміналів. Термінал зазвичай включає в себе комунікаційне обладнання, пристрої введення і виведення інформації.

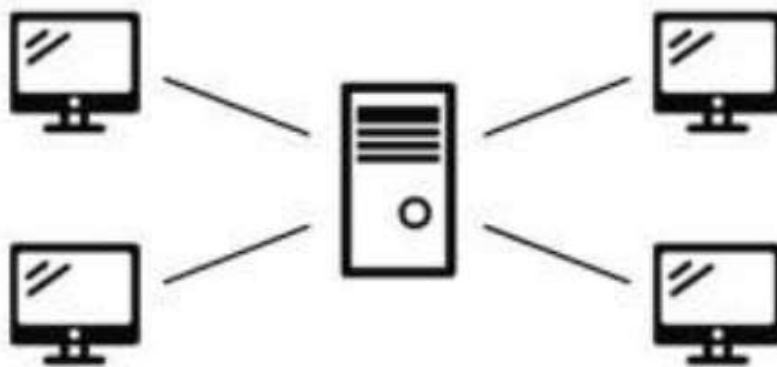


Рис. 1.5. Модель централізованої обробки інформації

З огляду на простоту виконання терміналу, дані пристрої також часто називаються тонкими клієнтами (*thin client*). Термінал (тонкий клієнт) не зобов'язаний мати процесор, пристрій і інші компоненти, властиві повноцінному комп'ютеру. Відсутність або максимальне спрощення таких компонент призводить до зниження вартості і спрощення обслуговування призначеного для користувача устаткування, що в даний час часто служить причиною створення мереж на основі моделі централізованої обробки інформації.

Строго кажучи, комп'ютерні мережі на основі централізованої обробки інформації можна вважати повноцінними мережами, так як термінали НЕ дозволяють обробляти інформацію, їх використання лише забезпечує доступ користувача до ресурсів центрального комп'ютера. Таку мережу фактично можна розуміти, як багато користувачів комп'ютер, який дозволяє здійснювати одночасну роботу декількох користувачів з різних робочих місць. Разом з тим подібна організація роботи дозволяє вирішувати багато завдань спільного використання інформаційних ресурсів, які покладаються на технології комп'ютерних мереж.

Термінальний доступ (модель «термінал - хост») історично був першим способом організації мережевої роботи. В даний час ця технологія використовується, як правило, для віддаленого адміністрування комп'ютерів (Віддалений доступ до консолі, доступ до віддаленого робочого столу), для роботи з віддаленими програмами, а також для створення інформаційних систем, де критичним параметром є низька вартість, простота обслуговування і висока надійність клієнтських пристроїв (системи масового обслуговування та ін.).

Модель «клієнт-сервер», на відміну від попередньої моделі мережевого взаємодії, вже передбачає обробку інформації на клієнтському пристрої (рис. 1.6). Загальну структуру моделі мережевої взаємодії «Клієнт-сервер» можна змалювати таку картину:

1) в мережі є клієнтські комп'ютери (робочі станції користувачів) і як мінімум один комп'ютер, який виконує роль сервера (сервер – це комп'ютер, який частину своїх ресурсів надає в загальний доступ);

2) при виконанні своїх завдань клієнти звертаються до сервера для отримання інформації (звертаються до файлів, баз даних, різних додатків для виконання обчислень і ін.);

3) сервер надає необхідну інформацію клієнту, де після отримання цієї інформації проводиться подальша її обробка відповідно до розв'язуваної завданням.

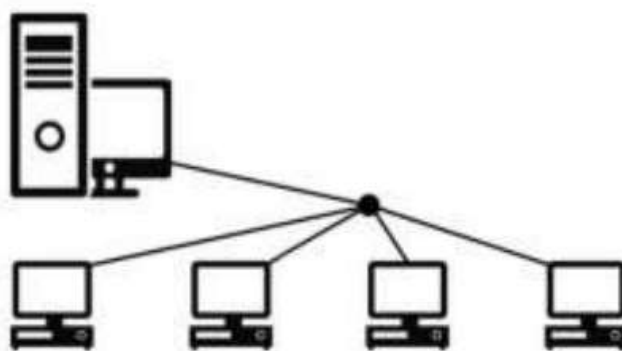


Рис. 1.6. Модель «клієнт-сервер»

Говорячи про моделі мережевої взаємодії «клієнт-сервер», слід розуміти, що існує також таке поняття, як архітектура мережевих додатків «клієнт-сервер», що

вносить певну плутанину в термінологію. Поняття архітектури «клієнт-сервер» пов'язане з поділом мережевого додатку на дві частини - серверну і клієнтську. Клієнтська частина додатку звертається із запитом до серверної частини, на сервері виробляються обчислення (пошук необхідної інформації в базі даних або ін.), отримані результати відправляються клієнтській частині, де здійснюється подальша обробка.

Клієнт-серверна архітектура протиставляється файл-серверній архітектурі мережевих додатків, яка передбачає, що на сервері здійснюється лише зберігання даних мережевого додатку, але не їх обробка. Однак якщо говорити про клієнт-сервері як моделі мережевої взаємодії, то файл-серверна архітектура мережевих додатків теж відноситься до моделі «клієнт-сервер». Зауважимо також, що в якості сервера може виступати як окремий комп'ютер (виділений сервер), так і робоча станція користувача, частина ресурсів якій надається в загальний доступ. У другому випадку говорять про взаємодію «рівний з рівним» (*peer-to-peer*), а комп'ютерні мережі, де реалізована лише ця модель, називають одноранговими.

Крім цього, в ряді випадків сервер теж може виступати в ролі клієнта, запитуючи деякі ресурси в іншого сервера. Такий спосіб взаємодії дозволяє реалізувати багаторівневу архітектуру мережевих додатків. Вельми часто в комп'ютерних мережах одночасно реалізуються всі зазначені вище моделі - є виділений сервер (мережеве сховище даних), робочі станції, які частину своїх ресурсів надають до загального доступу, а також робочі станції, які можуть виступати лише в ролі клієнта комп'ютерної мережі. Модель розподіленої обробки інформації (*distributed computing*) є розвитком моделі «клієнт-сервер» і передбачає, що в комп'ютерній мережі є кілька серверів, кожен з яких оптимізований для вирішення «свого» завдання - зберігання інформації, управління базою даних, здійснення обчислень, організація доступу в Інтернет і подібна модель дозволяє вирішувати завдання, що вимагають великого обсягу обчислювальних ресурсів, а також забезпечує більш гнучкий підхід до планування, розробки та адміністрування комп'ютерної мережі за рахунок можливої «спеціалізації» окремих серверів, що в підсумку дозволяє створювати надійні і високопродуктивні мережі. Модель розподіленої обробки інформації

широко використовується в комп'ютерних мережах, що забезпечують функціонування різних корпоративних інформаційних систем.

Ще одна модель, що передбачає використання багатьох серверів, називається моделлю спільної обробки інформації (*collaborative computing, cooperative processing*). У цій моделі, однак, на відміну від попередньої, передбачається, що окремі сервери використовуються для вирішення однакових завдань - спільне завдання комп'ютерної мережі «розподіляється» по окремим серверам, що покращує продуктивність і підвищує відмовостійкість (тому що вихід з ладу будь-якого з серверів не призводить до відмови всій комп'ютерній мережі, а лише трохи знижує продуктивність), а також дозволяє гнучко управляти наявними потужностями, додаючи або прибираючи необхідну кількість серверів.

Класичним прикладом обчислювальних систем, побудованих на основі моделі спільної обробки інформації, є кластер і ґрід. Кластер – це група комп'ютерів, об'єднаних високошвидкісними каналами зв'язку, представляє з точки зору користувача єдиний уніфікований комп'ютерний ресурс. Як правило, кластери створюються організаціями для отримання обчислювальних систем високої продуктивності (порівнянної з продуктивність суперкомп'ютерів). Ґрід-система, на відміну від кластера, знімає вимогу швидкісного зв'язку серверів. Як і кластер, ґрід-система складається з безлічі серверів, проте вони не зобов'язані об'єднуватися між собою високошвидкісними каналами зв'язку. Це в свою чергу, означає, що окремі вузли ґрід-системи можуть розташовуватися на значній відстані один від одного, належати різним власникам. Вузли ґрід-системи отримують завдання на обчислення від центрального вузла, потім цього самому вузла відправляють і отримані результати (передбачається, що обчислення проводяться без обміну інформацією з іншими вузлами).

Така особливість ґрід-систем дозволяє організувати обчислення на основі добровільної участі простих користувачів Інтернету, які виявили бажання взяти участь в деякому проекті ґрід-обчислень (добровільний ґрід). Користувачі (учасники добровільного ґрида) встановлюють на свій комп'ютер спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє виконувати обчислення в той момент, коли комп'ютер простоює. Як правило, проекти добровільних ґрід-обчислень націлені

на рішення ресурсномістких наукових завдань: виконання трудомістких математичних обчислень, аналіз фізичних експериментів, розробка і вивчення властивостей нових лікарських препаратів, прогнозування стихійних лих і навіть пошук позаземних цивілізацій. Ще одна модель мережевих взаємодій, що одержала широке поширення в сучасних комп'ютерних мережах, називається моделлю «Клієнт-мережа» (*client-network*) . Ця модель лежить в основі ідеї хмарних обчислень, на основі якої реалізовано дуже багато сервісів Інтернету, що дозволяють користувачам вести розробку і публікацію власної інформації.

Модель «клієнт-мережа» передбачає, що користувачі отримують доступ до певним сервісів, а не до конкретних серверів. Спеціальні служби мережі визначають, на якому саме сервері буде виконуватися запит користувача. При цьому користувачеві байдуже, де саме зберігаються дані і здійснюються обчислення - важливо, що користувач може звернутися до потрібного сервісу і отримати послугу. Модель «клієнт-мережа» значно спрощує роботу як користувача, так і власника мережевого сервісу. Користувачам не потрібно знати зайвих технічних подробиць для доступу до мережевих ресурсів (наприклад, точних імен серверів, нових адрес, які могли змінитися внаслідок розширення мережі та ін.). Власники можуть довільно змінювати структуру своїх мережевих сервісів, нарощувати продуктивність, міняти обладнання і ін., що не зупиняючи надання послуги і не побоюючись втратити своїх користувачів внаслідок зміни будь-яких технічних характеристик.

1.2. Аналіз архітектури мережі кампусів

Аудиторія. Архітектурні рішення призначені для мережевих планувальників, інженерів та менеджерів для корпоративних клієнтів, які будують або мають намір побудувати широкомасштабну мережу містечка та потребують розуміння загальних вимог до проектування.

Цілі. Аналіз представляє огляд архітектури мережі кампусу та включає описи різних міркувань щодо проектування, топологій, технологій, керівних

принципів проектування конфігурації та інших міркувань, що стосуються проектування високодоступної тканини комутації з повним спектром послуг.

За останні 50 років підприємства досягли підвищення рівня продуктивності та конкурентних переваг завдяки використанню комунікаційних та обчислювальних технологій. За останні 20 років мережа корпоративного містечка перетворилась на ключовий елемент у цій бізнес-обчислювальній та комунікаційній інфраструктурі. Взаємозв'язана еволюція бізнесу та комунікаційних технологій не сповільнюється, і навколишнє середовище в даний час переживає ще один етап цієї еволюції. Нова людська мережа, як її називають ЗМІ, ілюструє значні зміни у сприйнятті та вимогах та вимогах до мережі кампусу. Людська мережа є спільною, інтерактивною та зосередженою на спілкуванні кінцевого користувача в режимі реального часу, ким би він не був працівником, клієнтом, партнером чи ким-небудь. Взаємодія з користувачем у мережі стала вирішальним фактором, що визначає успіх чи провал технологічних систем у приватному чи професійному житті.

Веб 2.0, додатки для спільної роботи, зіткнення тощо - все це відображає набір змін у бізнесі та технологіях, які змінюють вимоги наших мережевих систем. Посилення прагнення до мобільності, прагнення до підвищеної безпеки та необхідність точної ідентифікації та сегментування користувачів, пристроїв та мереж зумовлені змінами у партнерстві та роботі з іншими організаціями. Перелік вимог та викликів, які має вирішити сучасне покоління мереж кампусів, дуже різноманітний і включає наступне:

Глобальна доступність підприємств. Уніфіковані комунікації, фінансові, медичні та інші критичні системи є основними вимогами щодо наявності п'яти дев'яток та покращеного часу конвергенції, необхідного для інтерактивних додатків у режимі реального часу. Міграція до меншої кількості централізованих сховищ даних збільшує потребу в доступності мережі для всіх бізнес-процесів.

Зростає використання співпраці та використання додатків для спілкування в режимі реального часу. Користувацький досвід стає головним пріоритетом для систем ділового спілкування. У міру збільшення кількості розгортань уніфікованих комунікацій час безвідмовної роботи стає ще більш критичним.

Постійна еволюція загроз безпеці. Загрози безпеці продовжують зростати в кількості та складності. Розподілене та динамічне середовище програм обходить традиційні точки обмеження безпеки.

Необхідність адаптації до змін без модернізації навантажувача. ІТ-покупки стикаються з більш тривалим часом експлуатації, і вони повинні мати можливість адаптуватися до майбутніх, а також до сучасних вимог бізнесу. Зменшується час та ресурси для впровадження нових бізнес-додатків. Нові мережеві протоколи та функції починають з'являтися (*Microsoft* впроваджує *IPv6* у корпоративну мережу).

Очікування та вимоги в будь-якому місці; в будь-який час доступ до мережі зростає. Потреба у доступі партнерів та гостей збільшується у міру розвитку ділового партнерства. Збільшене використання портативних пристроїв (ноутбуків та КПК) зумовлює попит на повнофункціональні та безпечні послуги мобільності. Зростає потреба підтримувати різні типи пристроїв у різних місцях.

Програми наступного покоління обумовлюють більш високі вимоги до потужності. Вбудовані мультимедійні матеріали в документи. Інтерактивне відео високої чіткості.

Мережі стають все більш складними. Інтеграція самостійно може затримати розгортання мережі та збільшити загальні витрати. Зменшення ризиків для бізнесу вимагає затверджених системних конструкцій. Прийняття передових технологій (голосові, сегментаційні, безпекові, бездротові) запроваджують специфічні вимоги та зміни до базового комутаційного дизайну та можливостей.

Під корпоративним містечком зазвичай розуміють ту частину обчислювальної інфраструктури, яка забезпечує доступ до мережевих послуг зв'язку та ресурсів для кінцевих користувачів та пристроїв, розподілених в одному географічному розташуванні. Він може охоплювати один поверх, будинок або навіть велику групу будівель, розкинутих на розширеній географічній області. Деякі мережі матимуть єдиний кампус, який також виступає як ядро або магістраль мережі та забезпечує взаємозв'язок між іншими частинами загальної мережі. Ядро кампуса часто може взаємопов'язати доступ до кампусу, центр обробки даних та частини мережі WAN. На найбільших підприємствах може бути

кілька сайтів кампусу, розподілених по всьому світу, кожен з яких забезпечує як доступ кінцевого користувача, так і локальний магістральний зв'язок. З технічної точки зору або з точки зору мережевої інженерії, концепція кампусу також розуміється як високошвидкісна комутаційна мережа *Layer-2* і *Layer-3 Ethernet*, що перебуває за межами центру обробки даних. Незважаючи на те, що всі ці визначення чи концепції того, що таке мережа кампуса, досі є дійсними, вони більше не повністю описують набір можливостей та послуг, що складають мережу кампусу сьогодні.

Мережа університетського містечка, як визначено для цілей керівництв з проектування підприємств, складається з інтегрованих елементів, що складаються з набору послуг, що використовуються групою користувачів, і пристроїв кінцевих станцій, які мають однакову високошвидкісну комутаційну тканину зв'язку. Сюди входять послуги пакетного транспорту (як дротового, так і бездротового зв'язку), ідентифікація та контроль трафіку (безпека та оптимізація додатків), моніторинг та управління трафіком, а також загальне управління та забезпечення систем. Ці основні функції реалізовані таким чином, що забезпечують та безпосередньо підтримують послуги вищого рівня, що надаються ІТ-організацією для використання спільнотою кінцевих користувачів. Ці функції включають:

- постійні послуги з високою доступністю;
- служби доступу та мобільності;
- послуги з оптимізації та захисту програм;
- послуги віртуалізації;
- служби безпеки;
- експлуатаційні та управлінські послуги.

У наступних розділах обговорюється огляд кожної з цих служб та опис того, як вони взаємодіють у мережі кампуса.

Перш ніж ми детальніше розглянемо шість служб, корисно зрозуміти основні критерії проектування та принципи проектування, що формують архітектуру корпоративного містечка. Дизайн можна розглядати з багатьох аспектів, починаючи від фізичної електропроводки, просуваючись вгору по проектуванню топології кампуса, і врешті-решт, звертаючись до реалізації послуг

кампусу. Порядок або спосіб, у якому всі ці речі пов'язані між собою, щоб утворити цілісне ціле, визначається використанням базового набору принципів проектування, які при правильному застосуванні забезпечують міцну основу та основу, в якій послуги верхнього рівня можуть бути ефективно розгорнуті.

Принципи архітектури та дизайну кампусу. Будь-яка успішна архітектура чи система базується на основі надійної теорії та принципів проектування. Проектування мережі кампуса не відрізняється від проектування будь-якої великої, складної системи - наприклад, програмного забезпечення або навіть чогось такого складного, як космічний човник. Використання керівного набору фундаментальних інженерних принципів служить для того, щоб дизайн університетського містечка забезпечував баланс доступності, безпеки, гнучкості та керованості, необхідний для задоволення поточних та майбутніх ділових та технологічних потреб. Інша частина цього огляду університетського містечка та супутніх документів забезпечить загальний набір інженерних та архітектурних принципів:

- ієрархія;
- модульність;
- стійкість;
- гнучкість;

Це не незалежні принципи. Успішне проектування та впровадження корпоративної мережі кампусів вимагає розуміння того, як кожен із них застосовується до загального проекту та як кожен принцип відповідає контексту інших.

Ієрархія. Вирішальним фактором для успішного впровадження будь-якого проектування мережі кампусу є дотримання чітких структурованих технічних вказівок. Структурована система базується на двох взаємодоповнюючих принципах: ієрархії та модульності. Будь-яка велика складна система повинна бути побудована з використанням набору модулізованих компонентів, які можуть бути зібрані ієрархічно та структуровано. Поділ будь-якого завдання чи системи на компоненти забезпечує низку негайних переваг. Кожен із компонентів або модулів може бути спроектований з певною незалежністю від загальної

конструкції, і всі модулі можуть працювати як напівнезалежні елементи, що забезпечують загальну вищу доступність системи, а також для більш простого управління та операцій. Комп'ютерні програмісти впродовж багатьох років використовують цей принцип ієрархічності та модульності. У перші дні розробки програмного забезпечення програмісти будували системи коду спагетті. Ці ранні програми були високо оптимізовані та дуже ефективні. Оскільки програм ставало більше, і їх доводилося модифікувати або змінювати, розробники програмного забезпечення дуже швидко дізналися, що відсутність ізоляції між різними частинами програми або системи означає, що будь-які незначні зміни не можуть бути зроблені, не впливаючи на всю систему. Ранні комп'ютерні мережі на базі локальної мережі часто розроблялись за подібним підходом. Всі вони починалися з простих високооптимізованих зв'язків між невеликою кількістю ПК, принтерів та серверів. Коли ці локальні мережі зростали та стали взаємопов'язаними - утворюючи перше покоління мереж кампуса - для мережевих інженерів стали очевидними ті самі проблеми, з якими стикаються розробники програмного забезпечення. Проблеми в одній області мережі дуже часто зачіпали всю мережу. Прості додавання та переміщення змін в одній області повинні були бути ретельно сплановані, інакше вони можуть вплинути на інші частини мережі. Подібним чином, несправність в одній частині кампусу нерідко впливала на всю мережу кампусу.

У світі розробки програмного забезпечення подібного роду проблеми зростання систем та складності призводять до розвитку структурованого дизайну програмування з використанням модулізованих або підпрограмних систем. Кожна окрема функція або програмний модуль була написана таким чином, що її можна було змінити, не змінюючи всю програму одночасно. Проектування мереж кампусів дотримувалося того самого основного інженерного підходу, що і інженери-програмісти.

Розглядаючи, як структуровані правила проектування слід застосовувати до студентського містечка, корисно розглянути проблему з двох точок зору.

По-перше, яка загальна ієрархічна структура університетського містечка та які особливості та функції мають бути реалізовані на кожному рівні ієрархії.

По-друге, які ключові модулі або будівельні блоки і як вони співвідносяться між собою та працюють у загальній ієрархії. Починаючи з основ, кампус традиційно визначається як трирівнева ієрархічна модель, що включає ядро, розподіл та рівні доступу, як показано на рис. 1.7 [2].

Важливо зазначити, що, незважаючи на те, що рівні мають певні ролі в проектуванні, не існує абсолютних правил фізичного побудови мережі кампуса. Хоча це правда, що багато кампусних мереж будуються з використанням трьох фізичних рівнів комутаторів, це не є суворою вимогою.

У меншому кампусі мережа може мати два рівні комутаторів, в яких ядро та елементи розподілу поєднані в одному фізичному комутаторі, згорнутому розподілі та ядрі.

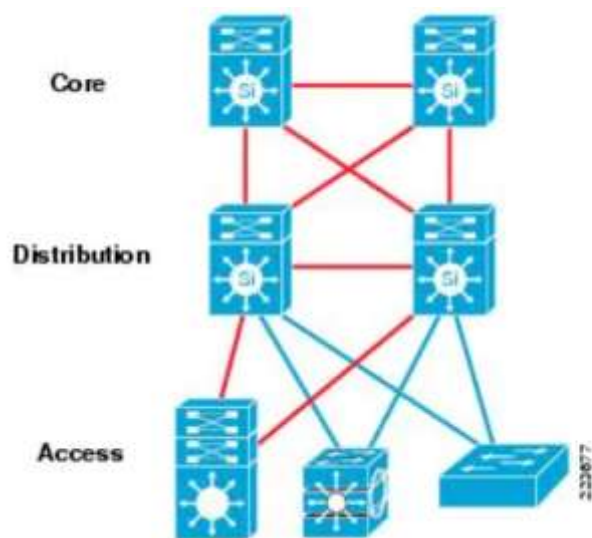


Рис. 1.7. Трирівнева ієрархічна модель

З іншого боку, мережа може мати чотири або більше фізичних рівнів комутаторів, оскільки масштаб, електромонтажна установка та / або фізична географія мережі можуть вимагати розширення ядра.

Важливим моментом є це - хоча ієрархія мережі часто визначає фізичну топологію комутаторів, вони не зовсім однакові. Ключовим принципом ієрархічного проекту є те, що кожен елемент в ієрархії має певний набір функцій та послуг, які він пропонує, і певну роль у кожному з дизайнів.

Доступ. Рівень доступу - це перший рівень або край кампуса. Це місце, де кінцеві пристрої (ПК, принтери, камери тощо) приєднуються до дротової частини мережі кампуса.

Це також місце, де підключені пристрої, що розширюють мережу ще на один рівень - *IP*-телефони та бездротові точки доступу (*AP*) є основними двома ключовими прикладами пристроїв, які розширюють можливість зв'язку ще на один рівень від фактичного комутатора доступу до кампусу.

Широке розмаїття можливих типів пристроїв, які можна підключити, а також різні послуги та необхідні механізми динамічної конфігурації роблять рівень доступу однією з найбільш багатофункціональних частин мережі кампуса. У таблиці 1.1 наведено приклади типів послуг та можливостей, які потрібно визначити та підтримувати на рівні доступу до мережі.

Таблиця 1.1

Типи послуг для визначення на рівні доступу до мережі

Вимоги до обслуговування	Особливості обслуговування
Служби виявлення та конфігурації	<i>802.1AF, CDP, LLDP, LLDP-MED</i>
Служби безпеки	<i>IBNS (802.1X), (CISF): port security, DHCP snooping, DAI, IPSG</i>
Мережева ідентифікація та доступ	<i>802.1X, MAB, Web-Auth</i>
Послуги з розпізнавання заявок	Маркування <i>QoS</i> , контроль, чергування, глибока перевірка пакетів <i>NBAR</i> тощо.
Інтелектуальні служби управління мережею	<i>PVST +, Rapid PVST +, EIGRP, OSPF, DTP, PAgP / LACP, UDLD, FlexLink, Portfast, UplinkFast, BackboneFast, LoopGuard, BPDUGuard, Port Security, RootGuard</i>
Послуги з фізичної інфраструктури	<i>Живлення через Ethernet</i>

Поширення. Рівень розподілу в дизайні університетського містечка відіграє унікальну роль у тому, що він виступає в ролі межі послуг та контролю між доступом та ядром. І доступ, і ядро є, по суті, спеціально виділеними рівнями спеціального призначення. Рівень доступу призначений для задоволення функцій підключення кінцевих пристроїв, а основний рівень - забезпечення безперервного зв'язку по всій мережі кампусу. З іншого боку, розподільчий рівень має кілька

цілей. Це точка агрегації для всіх комутаторів доступу і діє як невід'ємний член блоку розподілу доступу, що забезпечує підключення та послуги політики для потоків трафіку в блоці розподілу доступу. Він також є елементом в ядрі мережі і бере участь у проекті основних маршрутів. Його третя роль полягає в забезпеченні точки агрегації, контролю політики та ізоляції між пунктом розподілу між кампусом та рештою мережі. Повертаючись до аналогії програмного забезпечення, рівень розподілу визначає введення та виведення даних між підпрограмою (блоком розподілу) та основною лінією (ядром) програми. Він визначає межу узагальнення протоколів площини керування мережею (*EIGRP, OSPF, Spanning Tree*) і служить кордоном політики між пристроями та потоками даних у блоці розподілу доступу та решті мережі. Надаючи всі ці функції, рівень розподілу бере участь як у блоці розподілу доступу, так і в ядрі.

Основний кампус є основою, яка склеює всі елементи архітектури кампусу. Це та частина мережі, яка забезпечує зв'язок між кінцевими пристроями, обчислювальною технікою та службами зберігання даних, розташованих у центрі обробки даних, - та іншими областями та службами всередині мережі. Він служить агрегатором для всіх інших блоків університетського містечка і пов'язує кампус з рештою мережі. Одне питання, на яке слід відповісти при розробці дизайну університетського містечка, таке: чи потрібен окремий основний шар? У тих середовищах, де містечко міститься в межах однієї будівлі - або кількох сусідніх будівель з відповідною кількістю волокна - можна зруйнувати ядро в два розподільних вимикача, як показано на рис. 1.8 [2].

Важливо врахувати, що в будь-якому дизайні університетського містечка, навіть у тих, які фізично можуть бути побудовані із згорнутим розподільним ядром, головна мета ядра полягає у забезпеченні ізоляції несправностей та магістрального підключення. Виділення розподілу та ядра у два окремі модулі створює чітке розмежування для контролю змін між діями, що впливають на кінцеві станції (ноутбуки, телефони та принтери) та тими, що впливають на центр обробки даних, глобальну мережу або інші частини мережі.

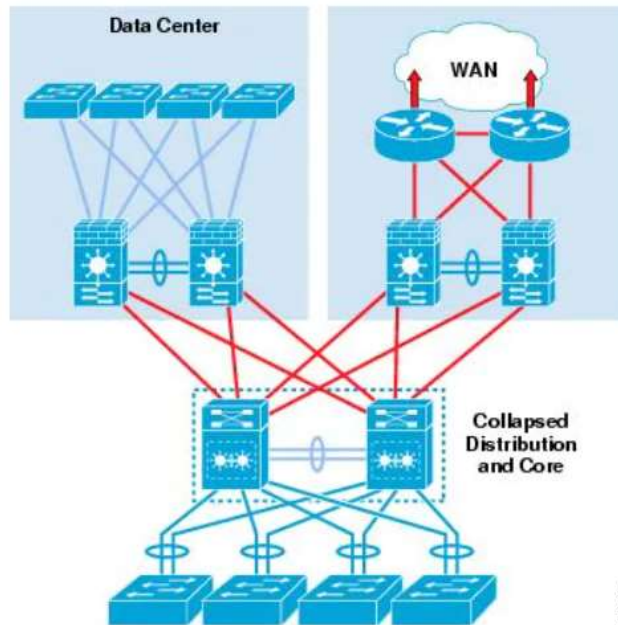


Рис. 1.8. Ядро перемикача

Основний рівень також забезпечує гнучкість для адаптації дизайну кампусу до фізичних кабельних та географічних проблем. Наприклад, у багатоповерховому проєкті кампусу, як показано на рис. 1.9 [2], наявність окремого основного шару дозволяє розробляти дизайнерські рішення для кабельних або інших зовнішніх обмежень без шкоди для дизайну окремих розподільчих блоків. За необхідності окремий основний рівень може використовувати іншу транспортну технологію, протоколи маршрутизації або комутаційне обладнання, ніж решта містечка, забезпечуючи при необхідності більш гнучкі варіанти дизайну.

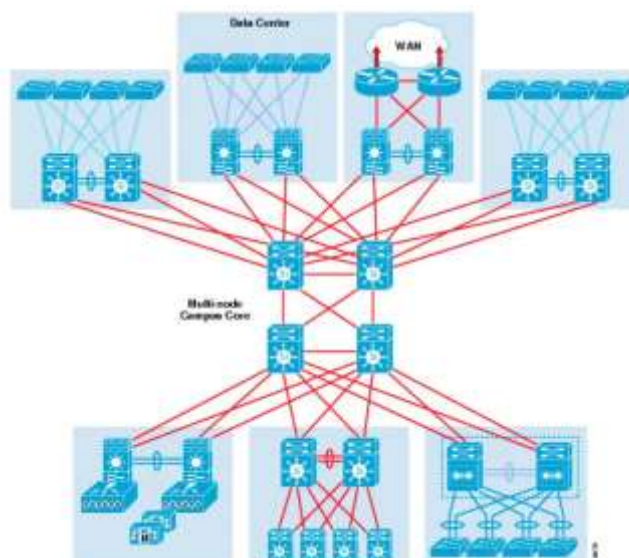


Рис. 1.9. Багатомісний кампус

Впровадження окремого ядра для мережі кампусу також забезпечує ще одну конкретну перевагу в міру зростання мережі: Окреме ядро надає можливість масштабувати розмір мережі кампуса структурованим чином, що мінімізує загальну складність. Це також є найбільш економічно вигідним рішенням.

Із збільшенням розміру мережі та збільшенням кількості взаємозв'язків, необхідних для зв'язування кампусу, додавання основного шару значно зменшує загальну складність проектування.

Наявність виділеного основного рівня дозволяє кампусу забезпечити це зростання без шкоди для розподільчих блоків, центру обробки даних та решти мережі. Це особливо важливо, оскільки розмір кампуса зростає або за кількістю розподільювальних блоків, і за географічним районом, і за складністю. У більшому, складнішому кампусі ядро забезпечує пропускну здатність та можливість масштабування для кампусу в цілому.

Питання про необхідність окремого фізичного ядра залежить від багатьох факторів. Важлива здатність чіткого ядра, що дозволяє кампусу вирішувати завдання фізичного проектування. Однак слід пам'ятати, що ключовою метою наявності окремого ядра кампусу є забезпечення масштабованості та мінімізація ризику (та спрощення) переїздів, додавання та змін у кампусі. Загалом, мережа, яка вимагає рутинних змін конфігурації основних пристроїв, ще не має належного ступеня модульної модуляції проектування. Оскільки мережа збільшується в розмірах або складності, а зміни починають зачіпати основні пристрої, вона часто вказує на причини проекту для фізичного розділення основних і розподільчих функцій на різні фізичні пристрої.

Модульність. Другий із двох принципів структурованого дизайну - це модульність. Модулі системи - це будівельні блоки, які збираються у більшому кампусі. Перевага модульного підходу значною мірою зумовлена ізоляцією, яку він може забезпечити. Збої, що відбуваються в модулі, можна ізолювати від решти мережі, забезпечуючи як простіше виявлення проблем, так і вищу загальну доступність системи.

Зміни в мережі, оновлення або впровадження нових послуг можуть здійснюватися контрольовано та поетапно, що забезпечує більшу гнучкість у

обслуговуванні та експлуатації мережі кампуса. Коли певний модуль більше не має достатньої ємності або йому бракує нової функції або послуги, його можна оновити або замінити іншим модулем, який виконує ту ж структурну роль у загальній ієрархічній конструкції.

Мережева архітектура кампусу заснована на використанні двох основних блоків або модулів, які з'єднані між собою через ядро мережі:

- блок доступу-розподілу;
- блок послуг.

Блок доступу-розподілу. Блок розподілу доступу (також званий блоком розподілу) є, мабуть, найбільш звичним елементом архітектури кампусу. Це основна складова дизайну кампуса. Правильне проектування розподільного блоку проходить довгий шлях до забезпечення успіху та стабільності загальної архітектури. Блок доступу-розподілу складається з двох із трьох ієрархічних рівнів у багат шаровій архітектурі кампусу: рівні доступу та розподілу. Хоча кожен з цих шарів має певні вимоги до обслуговування та функцій, саме вибір дизайну площини управління топологією мережі - такий як маршрутизація та протоколи обширного дерева - є головним у визначенні того, як блок розподілу склеюється і вписується в загальну архітектуру. В даний час існує три основні варіанти проектування для налаштування блоку розподілу доступу та відповідної площини управління:

- багаторівневність;
- маршрутний доступ;
- віртуальний комутатор.

Хоча всі три ці конструкції використовують однакову базову фізичну топологію та кабельну установку, існують відмінності в тому, де існують межі, як реалізовано надмірність мережевої топології та як працює балансування навантаження - разом із рядом інших ключових відмінностей між кожним із варіантів дизайну. Нижче подається короткий опис кожного варіанту проектування.

Багаторівневний блок розподілу доступу. Багаторівнева модель розподілу доступу є традиційною конструкцією блоку розподілу доступу в університеті. Усі

перемикачі доступу налаштовані для запуску в режимі переадресації рівня 2, а перемикачі розподілу налаштовані для запуску переадресації рівня 2 і рівня 3. Магістралі на основі *VLAN* використовуються для розширення підмереж від комутаторів розподілу до рівня доступу. Протокол шлюзу за замовчуванням, такий як *HSRP* або *GLBP*, запускається на комутаторах рівня розподілу разом із протоколом маршрутизації, щоб забезпечити маршрутизацію до ядра кампуса. Одна версія верстатного дерева і використання функцій зміцнення скелетного дерева (таких як *Loopguard*, *Rootguard* та *BPDUGuard*) конфігуровані на портах доступу та посиленнях перемикачів.

Багаторівнева конструкція має дві основні варіації, які в першу чергу відрізняються лише способом визначення *VLAN*. У петельному дизайні *VLAN* один-до-багатьох налаштований охоплювати комутатори безлічі доступу. Як результат, кожна з цих охоплених *VLAN* має дерево охоплення або петельну топологію рівня 2. Інша альтернатива - дизайн *V* або без циклу - відповідає сучасним рекомендаціям щодо багаторівневого дизайну та визначає унікальні *VLAN* для кожного комутатора доступу. Видалення циклів у топології забезпечує ряд переваг - включаючи балансування навантаження висхідної лінії зв'язку за допомогою пристрою *GLBP*, зменшену залежність від дерев, що охоплюють, для відновлення мережі, зниження ризику ширококомовних штормів та можливість уникнути одноадресне затоплення (та подібні проблеми проектування, пов'язані з несиметричними топологіями шару-2 та шару-3).

Блок розподіленого маршрутизованого доступу. Як альтернативна конфігурація до традиційної багаторівневої моделі розподільного блоку використовується та, в якій перемикач доступу виконує роль повного вузла маршрутизації рівня 3 (забезпечує як комутацію рівня 2, так і рівня 3), а також доступ до магістралей висхідної лінії зв'язку рівня 2. замінюються маршрутизованими посиленнями рівня 3. Ця альтернативна конфігурація, в якій демаркація рівня 2/3 переміщується від розподільного комутатора до комутатора доступу, представляється суттєвою зміною дизайну, але насправді є просто продовженням найкращої практики багаторівневого дизайну.

Віртуальний комутатор не обмежується розподілом в університеті. Віртуальний комутатор може бути використаний у будь-якому місці проектування кампусу, де бажано замінити поточну площину управління та апаратне резервування спрощеною топологією, запропонованою використанням віртуального комутатора. Віртуальний комутатор спрощує топологію мережі, зменшуючи кількість пристроїв, як це видно з дерева охоплення або протоколу маршрутизації. Там, де існували два або більше вузлів з кількома незалежними посланнями, що з'єднують топологію, віртуальний комутатор може замінити частини мережі одним логічним вузлом з меншою кількістю послань. Можливий екстремальний випадок, коли наскрізна топологія рівня 2 переноситься із повністю надлишкової охоплюючої деревоподібної топології на наскрізну віртуальну комутаційну мережу. Тут топологія кардинально спрощена, і тепер усі послання активно переадресовуються без певних деревних циклів.

Хоча використання віртуального комутатора для спрощення топології кампуса може допомогти вирішити багато проблем проектування, загальний дизайн повинен відповідати принципам ієрархічного проектування. Відповідне використання рівня узагальнення рівня 2 та рівня 3, меж безпеки та *QoS* застосовується до середовища віртуального комутатора. Більшість середовищ кампусу отримують найбільші переваги віртуального комутатора на рівні розподілу. Докладніше про дизайн віртуального комутаційного блоку розподілу див. У майбутньому дизайні блоку розподілу віртуального комутатора.

Блок послуг. Блок послуг є відносно новим елементом дизайну кампусу. Оскільки планувальники мереж кампусу починають розглядати питання переходу до середовищ подвійного стеку *IPv4 / IPv6*, переходять до середовищ *WLAN* на базі контролерів та продовжують інтегрувати більш складні служби уніфікованих комунікацій, перед нами постає низка реальних проблем.

Дуже важливо буде плавно інтегрувати ці послуги в університетському містечку, забезпечуючи при цьому належний ступінь управління операційними змінами та усунення несправностей, а також продовжуючи підтримувати гнучку та масштабовану конструкцію.

Як приклад, служби IPv6 можуть бути розгорнуті за допомогою проміжного накладання ISATAP, що дозволяє пристроям IPv6 здійснювати тунель над частинами кампусу, які ще не ввімкнули вбудований IPv6. Такий проміжний підхід дозволяє швидше впроваджувати нові послуги, не вимагаючи гарячого відключення по всій мережі.

Приклади функцій, які рекомендується розміщувати в блоці служб, включають:

- централізовані бездротові контролери *lwapp*;
- завершення тунелю *ipv6 isatap*;
- місцевий інтернет-край;
- уніфіковані комунікаційні послуги (*cisco unified communications manager*, шлюзи, *mtp* тощо);
- шлюзи політики.

1.3. Аналіз проблеми розрахунку архітектурних рішень розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів

На сьогоднішній день помічається збільшення і ріст телекомунікаційних засобів і систем, запуск нових технологій, перехід від телекомунікаційних мереж до глобальної інформаційної інфраструктури, від телекомунікаційних до інфокомунікаційних послуг.

Втілення в життя цієї роботи неможливе без проведення належних змін в технологіях і архітектурі транспортної телекомунікаційної мережі, яка потребує змін нових мереж підтримки транспортної телекомунікаційної мережі. До мереж підтримки належать мережі синхронізації, мережі керування і мережі сигналізації.

Необхідні умови до транспортної мережі визначаються, забезпеченням можливості передачі різнорідного трафіку з використанням технології пакетної передачі інформації, тобто сучасна транспортна мережа повинна забезпечувати економічно ефективну агрегацію будьякого клієнтського трафіку і його надійну, високоякісну передачу каналами зв'язку [4].

Разом з низкою безперечних переваг (ефективного використання смуги пропускання і порівняно низькій вартості), пакетні мережі характеризуються складною топологічною структурою, що у свою чергу, викликає посилювання вимог до мереж підтримки, і, зокрема, до мереж тактової синхронізації.

Вимоги до надійності мережі тактової синхронізації залежать від вимог до транспортної мережі.

Надійність мережі тактової синхронізації має бути, як мінімум, не гірше, ніж надійність самої транспортної мережі. Мережа тактової синхронізації може бути представлена як сукупність фрагментів різної топології. Це дозволяє отримати чіткі аналітичні вирази, що характеризують алгоритм функціонування досліджуваного фрагмента, його надійність і відмовостійкість. Провівши аналіз топології існуючих діючих мереж синхронізації, можна зробити висновок про те, що основними топологічними фрагментами, на які може бути розбита будь-яка мережа, є кільцева, деревовидна і трикутна топології.

Інакше кажучи, поєднання в тому або іншому вигляді запропонованих фрагментів дає повне уявлення про топологію мережі тактової синхронізації в цілому.

Вирішення завдання щодо підвищення якості функціонування мережі тактової синхронізації потребує дослідження залежностей надійності функціонування мережі від обраної топології мережі, використовуваного алгоритму роботи мережного елемента, інтенсивностей потоків відмов і відновлень.

Для вирішення поставленого завдання розглянемо типові за структурою топологічні фрагменти мереж, на яких функціонують мережі тактової синхронізації.

Основними типами топологічних структур, які використовуються в мережах тактової синхронізації є деревовидна і кільце, які і будуть взяті за типові для дослідження. Як перспективна топологія, яка може бути використана, пропонується фрагмент з трикутною топологічною структурою (рис.1.10) [4].

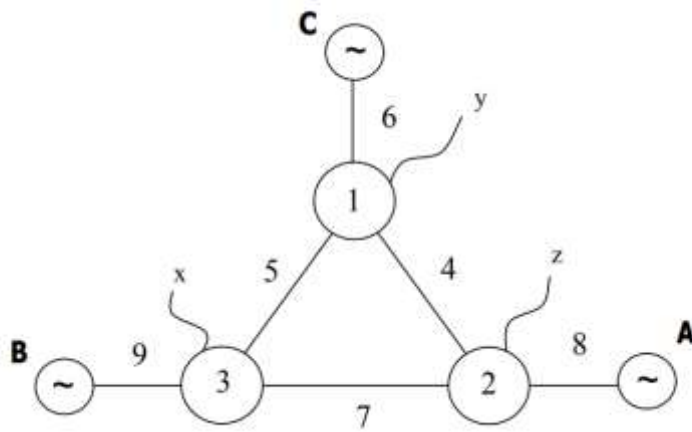


Рис.1.10. Представлення трикутної топологічної структури у вигляді графа

В якості критерію застосування типу топології приймемо працездатність даного фрагмента. Сформулюємо визначення працездатності фрагмента. Фрагмент мережі тактової синхронізації, який складається з мережних вузлів і ліній зв'язку вважається працездатним, якщо він здатний функціонувати із задалегідь заданою якістю сигналу синхронізації протягом певного проміжку часу.

Нехай фрагмент мережі має кінцеву кількість дискретних станів, а відмови і відновлення в даному фрагменті відбуваються у випадкові моменти часу. Таким чином, функціонування довільного фрагменту мережі тактової синхронізації може бути представлено випадковим процесом з кінцевим числом дискретних станів, і безперервним часом.

Передбачимо, що всі потоки, що переводять досліджуваний фрагмент з одного стану в інше – пуассоновські і незалежні, внаслідок чого випадковий процес переходів з одного стану в інший під дією потоків відмов і відновлень, є марковським процесом з дискретними станами і безперервним часом. З врахуванням цих припущень можна представити узагальнений алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології у вигляді послідовності етапів [4].

Етап 1. Досліджуваний фрагмент представляється у вигляді графа, в якому вершини графа відповідають мережним елементам, а ребра графа є з'єднаннями між мережними елементами.

Етап 2. Визначається повна група несумісних подій, що враховує всі можливі стани довільного фрагмента мережі.

Етап 3. Визначаються функції інтенсивностей потоків відмов і потоків відновлень, які переводять досліджуваний фрагмент з одного можливого стану в інший.

Етап 4. Використовуючи групу несумісних подій, будується розмічений граф станів фрагмента мережі.

Етап 5. На основі розміченого графа складається система диференціальних рівнянь, використовуючи таке мнемонічне правило: похідна імовірності будь-якого стану дорівнює сумі всіх потоків імовірностей, що переводять систему в цей стан, мінус сума всіх потоків імовірностей, що виводять систему з цього стану, а саме [4]

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n p_j(t) \cdot \mu_{ji}(t) - p_i \cdot \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$.

Етап 6. Визначається значення імовірності перебування мережі в одному з можливих станів шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Етап 7. Визначаються умови, що призводить до втрати працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації з врахуванням таких параметрів і критеріїв, що визначають поняття "працездатність":

- алгоритм функціонування вузла синхронізації;
- спосіб встановлення пріоритетів вхідним інтерфейсам (портам) синхронізації;
- встановлення рівнів якості (*quality level*) сигналів синхронізації;
- топологія фрагмента мережі.

Наприклад, для трикутного фрагмента ця умова виражається формулою [4]

$$\begin{aligned} \bar{M}_{Tp} = & M_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} M_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} M_{Tp3} + M_{Tp1} M_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + M_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} M_{Tp3} + \\ & + \bar{M}_{Tp1} M_{Tp2} M_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} \end{aligned}$$

Етап 8. Розбиття всіх несумісних подій на дві групи. Перша група подій включає ті події, які не здійснюють істотного впливу на якість функціонування мережі.

Етап 9. Визначення ймовірності знаходження фрагмента мережі тактової синхронізації в працездатному або непрацездатному стані з врахуванням розподілу станів за групами [4]

$$P(M_{Tp}) = \sum_k p_k + \sum_m p_m ,$$

де k – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній працездатності фрагмента;

m – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній непрацездатності фрагмента;

$n = k+m$ – кількість незалежних станів розміченого графа системи.

Дослідження функціонування фрагментів мережі тактової синхронізації трикутної, деревовидної та кільцевої топологічної структури за запропонованим методом дозволяє провести порівняльний аналіз досліджуваних фрагментів на базі отриманих для кожного фрагмента співвідношень, що визначають імовірності знаходження кожного фрагментів в працездатному стані.

Так, імовірність виходу з ладу трикутного фрагмента мережі тактової синхронізації, виражена через інтенсивність відмов i відновлень визначається таким чином [4]

$$P(M_{Tp}) = \sum_{i=1}^{22} p_i + \sum_{i=24}^{29} p_i + \sum_{i=31}^{36} p_i + \sum_{i=38}^{40} p_i + p_{42} ,$$

де p – імовірність перебування фрагмента в i -му стані, що отримана шляхом вирішення системи диференційних рівнянь.

Введемо визначення структурної надійності мережі тактової синхронізації. Під структурною надійністю мережі тактової синхронізації розуміється об'єктивна властивість мережі забезпечувати зв'язність між вузлами мережі з якістю сигналу синхронізації не гірше заданого [4].

Структурна надійність мережі тактової синхронізації в загальному вигляді є функціоналом, залежним від інтенсивності потоку відмов, інтенсивності потоку відновлень, від топології і від алгоритму функціонування вузла мережі тактової синхронізації. Таким чином, структурна надійність може бути представлена в наступному вигляді [4]

$$P = f[\lambda_i(t), \mu_i(t), R_j(t), F_k]$$

де $\lambda(t)$ – функція інтенсивності потоку відмов, що впливає на i -й елемент фрагмента мережі;

$\mu(t)$ - інтенсивність потоку відмов, що впливає на i -й елемент фрагмента мережі;

$R(t)$ – топологія досліджуваного фрагмента;

F - тип використовуваного алгоритму.

Розглянемо залежність зміни структурній надійності фрагментів мережі тактової синхронізації від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента при дотриманні наступних умов:

- 1) інтенсивність потоку відновлень є величина постійна і рівна 1;
- 2) вузли тактової синхронізації функціонують за ідеальним алгоритмом, тобто відсутній вплив алгоритму на структурну надійність.

Встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02. Використовуючи узагальнений алгоритм, приведений вище, визначимо, структурна надійність якого з аналізованих фрагментів є вищою.

Результати розрахунків залежності структурної надійності фрагмента мережі тактової синхронізації від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента приведені на рис. 1.11.

Розглянемо приклад використання узагальнюючого алгоритму для вибору оптимальної топології фрагмента мережі тактової синхронізації в деяких реальних ситуаціях, відповідних типовим умовам функціонування мереж тактової синхронізації.

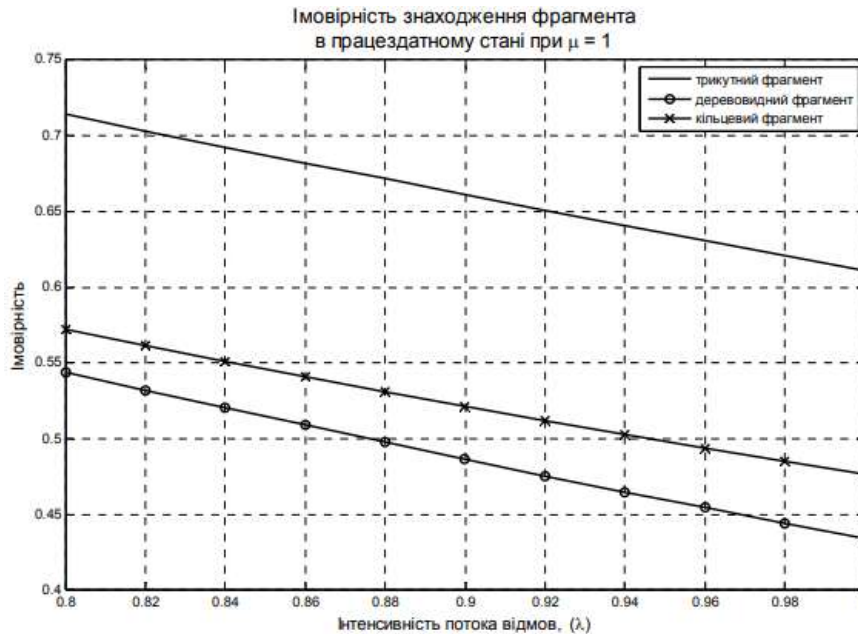


Рис.1.11. Залежності структурної надійності фрагмента мережі тактової синхронізації від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента

Наприклад:

Випадок 1. Одне з ребер тих, що йдуть від джерела має підвищену відмовостійкість.

Дана ситуація зустрічається в багатьох випадках в мережах тактової синхронізації. Нехай інтенсивність потоку відмов, що доводиться на даний елемент $\lambda = 0,8$, а інтенсивність потоку відновлень $\mu = 1,0$.

Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0. Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології.

Результати розрахунку наведено у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на рис. 1.12.

Випадок 2. Два ребра від джерел сигналу мають підвищену відмовостійкість.

Дана ситуація зустрічається в мережах тактової синхронізації при використанні двох територіально рознесених джерел сигналу синхронізації.

Виберемо як ребра з підвищеною відмовостійкістю елементи з номерами 6 і 8. Нехай інтенсивність потоку відмов, що доводиться на дані елементи складає, $\lambda = 0,8$, а інтенсивність потоку відновлень $\mu = 1,0$.

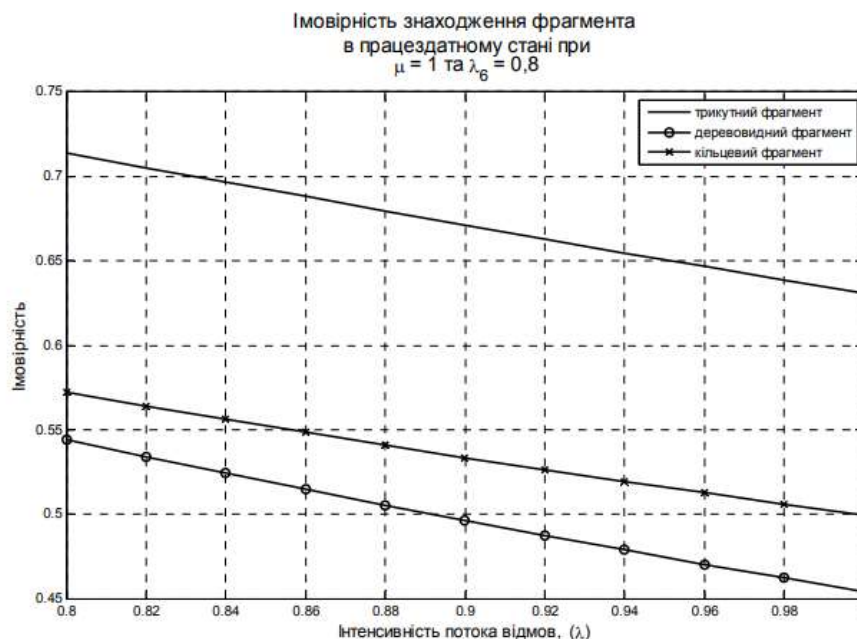


Рис.1.12. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо одне з ребер має підвищену відмовостійкість

Випадок 2. Два ребра від джерел сигналу мають підвищену відмовостійкість.

Дана ситуація зустрічається в мережах тактової синхронізації при використанні двох територіально рознесених джерел сигналу синхронізації. Виберемо як ребра з підвищеною відмовостійкістю елементи з номерами 6 і 8. Нехай інтенсивність потоку відмов, що доводиться на дані елементи складає, $\lambda = 0,8$, а інтенсивність потоку відновлень $\mu = 1,0$.

Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0.

Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології. Результати розрахунку приведені у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на рис. 1.13.

Випадок 3. Всі ребра від джерел мають незначне перевищення у відмовостійкості. Дана ситуація зустрічається, наприклад, при побудові багатокільцевих схем, або при відносному віддаленні деревовидного фрагмента від джерела, або коли існує необхідність синхронізувати мережу від приймачів сигналу *GPS* в умовах, коли не існує гарантії високої надійності каналу зв'язку із-за спотворень сигналу, передаваного з супутника.

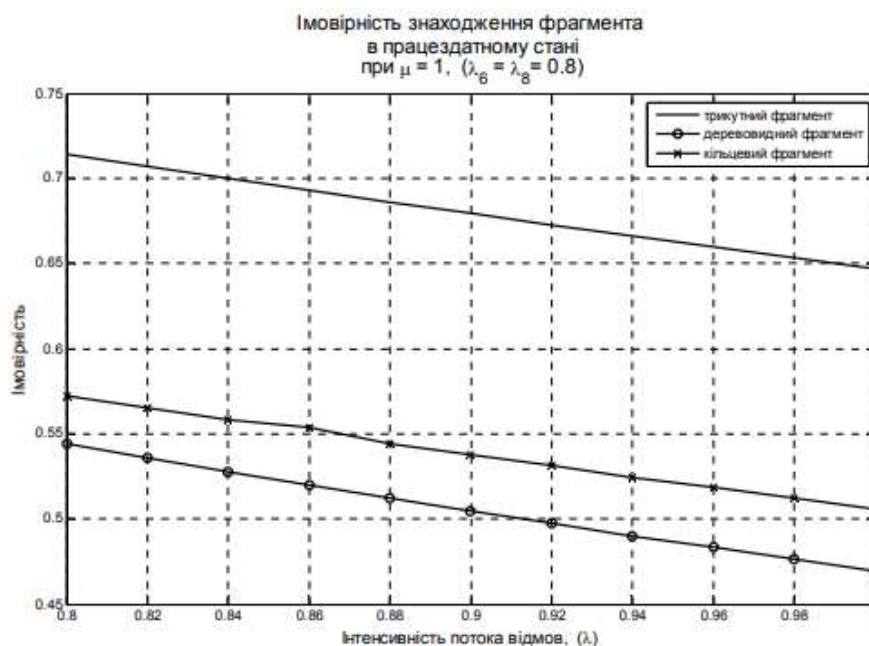


Рис.1.13. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо два ребра мають підвищену відмовостійкість

Виберемо тоді для елементів $\lambda \lambda = 1,1$, а для $\mu = 1,0$. Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 1,001 з кроком зміни рівним 0,2, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0.

Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології. Результати розрахунку приведені у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на рис. 1.14.

Таким чином видно, що у всіх випадках фрагмент з трикутною структурою має вищу відмовостійкість, проте в випадку 2 використання трикутного фрагмента недоцільне у зв'язку з тим, що виграш за відмовостійкістю незначний.

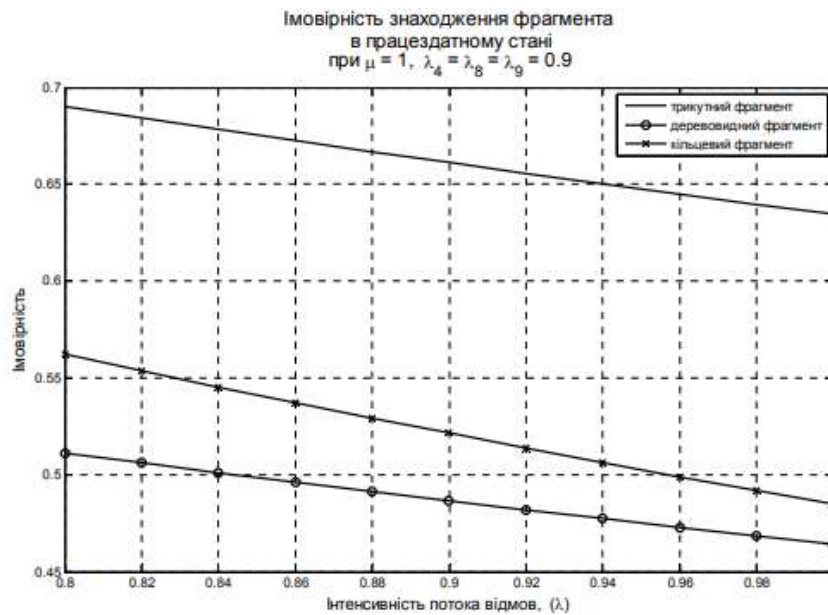


Рис.1.14. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо всі ребра від джерел мають незначне перевищення у відмовостійкості.

Висновки за розділом

У даному розділі:

- розібрано базові поняття мережевих технологій;
- розглянуто питання визначення надійності типових топологічних фрагментів мережі тактової синхронізації;
 - розроблено узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень;
 - проаналізовано архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАМПУСІВ ВЕЛИКИХ УНІВЕРСИТЕТІВ НА БАЗІ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

2.1. Системний аналіз існуючих засобів визначення ефективних архітектур розподілених комп'ютерних мереж

Оцінка варіантів архітектури ЛОМ виробляється з системних позицій за основними критеріями:

- швидкодія;
- надійність;
- вартість.

Конфігурація з використанням кабелю «вита пара».

Вита пара - вид кабелю зв'язку, являє собою одну або кілька пар ізольованих провідників, скручених між собою, покритих пластиковою оболонкою.

Звивання провідників проводиться з метою підвищення ступеня зв'язку між собою провідників однієї пари і подальшого зменшення електромагнітних перешкод від зовнішніх джерел, а також взаємних наведень при передачі диференціальних сигналів.

Для зниження зв'язку окремих пар кабелю в кабелях *UTP* категорії 5 і вище дрони пари звиваються з різним кроком. Вита пара - один з компонентів сучасних структурованих кабельних систем. Використовується в телекомунікаціях і в комп'ютерних мережах як фізичне середовище передачі сигналу в багатьох технологіях, таких як *Ethernet*, *Arcnet* і *Token ring*.

Залежно від наявності захисту - електрично заземленої мідної сітки або алюмінієвої фольги навколо скручених пар, визначають різновиди даної технології:

- неекранована кручена пара (англ. *UTP - Unshielded twisted pair*) - без захисного екрану;
- фольгована вита пара (англ. *FTP - Foiled twisted pair*), також відома як *F / UTP*) - присутній один загальний зовнішній екран у вигляді фольги;
- екранована кручена пара (англ. *STP - Shielded twisted pair*) - присутній захист у вигляді екрану для кожної пари і загальний зовнішній екран у вигляді сітки;
- фольгована екранована кручена пара (англ. *S / FTP - Screened Foiled twisted pair*) - зовнішній екран з мідної обплетення і кожна пара в фольгованій оплетке;
- незахищена екранування кручена пара (*SF / UTP* - або з англ. *Screened Foiled Unshielded twisted pair*) Відмінність від інших типів кручених пар полягає в наявності подвійного зовнішнього екрана, зробленого з мідної обплетення, а також фольги.

Екранування забезпечує кращий захист від електромагнітних наведень як зовнішніх, так і внутрішніх і т.д. Екран по всій довжині з'єднаний з неізолюваним дренажним проводом, який об'єднує екран в разі поділу на секції при зайвому вигині або розтягуванні кабелю [8].

Залежно від структури провідників - кабель застосовується одно- і багатожильний. У першому випадку кожен провід складається з однієї мідної жили і називається жила-моноліт, а в другому - з декількох і називається жила-пучок.

Існує декілька категорій кабелю вита пара, які нумеруються від *CAT1* до *CAT7* і визначають ефективний частотний діапазон. Кабель вищої категорії зазвичай містить більше пар дротів і кожна пара має більше витків на одиницю довжини. Категорії неекранованої кручених пари описуються в стандарті *EIA / TIA 568* (Американський стандарт проводки в комерційних будівлях) і в міжнародному стандарті *ISO 11801*, а також прийняті *ГОСТ Р 53246-2008* (переклад американського *ANSI / TIA / EIA-568B*) і *ГОСТ Р 53245- 2008* (переклад одного з посібників виробника).

— CAT1 (смуга частот 0,1 МГц) - телефонний кабель, всього одна пара (в Росії застосовується кабель і взагалі без скруток - «локшина» - у неї характеристики не гірше, але більше вплив перешкод). У США використовувався раніше, тільки в «скрученому» вигляді. Використовується тільки для передачі голосу або даних за допомогою модему.

— CAT2 (смуга частот 1 МГц) - старий тип кабелю, 2 пари провідників, підтримував передачу даних на швидкостях до 4 Мбіт / с, використовувався в мережах *Token ring* і *Arcnet*. Зараз іноді зустрічається в телефонних мережах.

— CAT3 (смуга частот 16 МГц) - 4-парний кабель, використовується при побудові телефонних і локальних мереж *10BASE-T* і *token ring*, підтримує швидкість передачі даних до 10 Мбіт / с або 100 Мбіт / с за технологією *100BASE-T4* на відстані не далі 100 метрів. На відміну від попередніх двох, відповідає вимогам стандарту *IEEE 802.3*.

— CAT4 (смуга частот 20 МГц) - кабель складається з 4 скручених пар, використовувався в мережах *token ring*, *10BASE-T*, *100BASE-T4*, швидкість передачі даних не перевищує 16 Мбіт / с по одній парі, зараз не використовується.

— CAT5 (смуга частот 100 МГц) - 4-парний кабель, використовувався при побудові локальних мереж *100BASE-TX* і для прокладки телефонних ліній, підтримує швидкість передачі даних до 100 Мбіт / с при використанні 2 пар.

— CAT5e (смуга частот 125 МГц) - 4-парний кабель, вдосконалена категорія 5. Швидкість передач даних до 100 Мбіт / с при використанні 2 пар і до 1000 Мбіт / с при використанні 4 пар. Кабель категорії 5e є найпоширенішим і використовується для побудови комп'ютерних мереж. Іноді зустрічається двухпарная кабель категорії 5e. Кабель забезпечує швидкість передач даних до 100 Мбіт / с. Переваги даного кабелю в нижчій собівартості і меншою товщиною.

— CAT6 (смуга частот 250 МГц) - застосовується в мережах *Fast Ethernet* і *Gigabit Ethernet*, складається з 4 пар провідників і здатний передавати дані на швидкості до 1000 Мбіт / с і до 10 гігабіт на відстань до 50 м. Долучення в стандарт в червні 2002 року.

— CAT6a (смуга частот 500 МГц) - застосовується в мережах *Ethernet*, складається з 4 пар провідників і здатний передавати дані на швидкості до 10 Гбіт

/ с і планується використовувати його для додатків, що працюють на швидкості до 40 Гбіт / с. Доданий в стандарт в лютому 2008 року.

— *CAT7* (смуга частот 600-700 МГц) - специфікація на даний тип кабелю затверджена тільки міжнародним стандартом *ISO 11801*, швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с. Кабель цієї категорії має загальний екран і екрани навколо кожної пари. Сьома категорія, строго кажучи, не *UTP*, а *S / FTP (Screened Fully Shielded Twisted Pair)*.

— *CAT7a* (смуга частот 1000 МГц) - розроблена для передачі даних на швидкостях до 40 Гбіт / с.

Найбільш придатними є *STP CAT 5e* і 6.

Для того, щоб розібратися чи підходить нам даний спосіб об'єднання двох ЛВС звернемося до різновидів технології передачі даних *Ethernet*. Залежно від швидкості передачі даних і передавального середовища існує декілька варіантів технології.

Більшість *Ethernet*-карт і інших пристроїв має підтримку декількох швидкостей передачі даних, використовуючи автовизначення швидкості і дуплексності, для досягнення найкращого з'єднання між двома пристроями. Якщо автовизначення не спрацьовує, швидкість підстроюється під партнера, і включається режим полудуплексної передачі. Наприклад, наявність в пристрої порту *Ethernet 10/100* говорить про те, що через нього можна працювати за технологіями *10BASE-T* і *100BASE-TX*, а порт *Ethernet 10/100/1000* - підтримує стандарти *10BASE-T*, *100BASE-TX* і *1000BASE-T*.

Оскільки у наявних роутерів швидкість портів *Ethernet 10/100/1000* Мбіт / с, то вони підтримують стандарти:

— *100BASE-T* - загальний термін для позначення стандартів, які використовують в якості середовища передачі даних виту пару. Довжина сегмента до 100 метрів. Включає в себе стандарти *100BASE-TX*, *100BASE-T4* і *100BASE-T2*.

— *100BASE-TX*, *IEEE 802.3u* - розвиток стандарту *10BASE-T* для використання в мережах топології «зірка». Задіяна кручена пара категорії 5, фактично використовуються тільки дві неекрановані пари провідників, підтримується дуплексна передача даних, відстань до 100 м.

— 1000BASE-T, IEEE 802.3ab - стандарт, який використовує виту пару категорій 5e. У передачі даних беруть участь 4 пари. Швидкість передачі даних - 250 Мбіт / с по одній парі. Використовується метод кодування PAM5, частота основної гармоніки 62,5 МГц. Відстань до 100 метрів.

Коаксіальний кабель, також відомий як коаксіал (від англ. *Coaxial*), - електричний кабель, що складається з розташованих співвісно центрального провідника і екрану і службовець для передачі високочастотних сигналів.

Коаксіальний кабель складається з:

— оболонки (служить для ізоляції та захисту від зовнішніх впливів) з светостабілізованого (тобто стійкого до ультрафіолетового випромінювання сонця) поліетилену, полівінілхлориду, повиву фторопластової стрічки чи іншого ізоляційного матеріалу;

— зовнішнього провідника (екрану) у вигляді обплетення, фольги, покритої шаром алюмінію плівки і їх комбінацій, а також гофрованої трубки, повиву металевих стрічок та ін. З міді, мідного або алюмінієвого сплаву;

— ізоляції, виконаної у вигляді суцільного (поліетилен, спінений поліетилен, суцільний фторопласт, фторопластова стрічка і т.п.) або полувоздушная (кордельно-трубчастий повів, шайби і ін.) Діелектричного заповнення, що забезпечує сталість взаємного розташування (співвісність) внутрішнього і зовнішнього провідників;

— внутрішнього провідника у вигляді одиночного прямолінійного (як на малюнку) або звитого в спіраль дроту, багатожильного проводу, трубки, які виконуються з міді, мідного сплаву, алюмінієвого сплаву, обміднення стали, обміднення алюмінію, посрібленою міді і т.п [9].

Завдяки збігу центрів обох провідників, а також певного співвідношення між діаметром центральної жили і екрану, всередині кабелю в радіальному напрямку утворюється режим стоячої хвилі, що дозволяє знизити втрати електромагнітної енергії на випромінювання майже до нуля. У той же час екран забезпечує захист від зовнішніх електромагнітних перешкод.

Основне призначення коаксіального кабелю - передача сигналу в різних областях техніки:

- системи зв'язку;
- мовні мережі;
- комп'ютерні мережі;
- антенно-фідерні системи;
- АСУ та інші виробничі та науково-дослідні технічні системи;
- системи сигналізації і автоматики;
- системи об'єктивного контролю і відеоспостереження;
- канали зв'язку різних радіоелектронних пристроїв мобільних об'єктів (суден, літальних апаратів і ін.);
- військова техніка та інші області спеціального застосування.

Головний недолік коаксіального кабелю - обмежена пропускна здатність - в локальних мережах «стелю» 10 Мбіт / с досягнутий в технології *Ethernet 10Base2* і *10Base5*:

- *10BASE2, IEEE 802.3a* (званий «Тонкий *Ethernet*») - використовується кабель *RG-58*, з максимальною довжиною сегмента 185 метрів, комп'ютери приєднувалися один до іншого, для підключення кабелю до мережевої карти потрібен *T*-коннектор, а на кабелі має бути *BNC* -коннектор. Потрібна наявність термінаторів на кожному кінці. Багато років цей стандарт був основним для технології *Ethernet*.

- *10BASE5, IEEE 802.3* (званий також «Товстий *Ethernet*») - первісна розробка технології зі швидкістю передачі даних 10 Мбіт / с. Слідуючи ранньому стандарту *IEEE* використовує коаксіальний кабель з хвильовим опором 50 Ом (*RG-8*), з максимальною довжиною сегмента 500 метрів.

Швидкість передачі даних повинна бути не менше 10 Мб / с, а пропускна здатність коаксіального кабелю максимум становить 10 Мб / с. Тому цей спосіб об'єднання двох ЛВС нам не підходить.

Оптичне волокно - нитка з оптично прозорого матеріалу (скло, пластик), яка використовується для перенесення світла усередині себе за допомогою повного внутрішнього відображення.

Оптоволоконний кабель має суттєві переваги над іншими. Мале загасання світлового сигналу у волокні.

Низький рівень шумів в волоконнооптичних кабелі дозволяє збільшити смугу пропускання, шляхом передачі з використанням різної модуляції сигналів без захисту і контролювати правильність прийнятої інформації тільки в кінцевих терміналах. Це спрощує алгоритми обробки і ще більше збільшує реальну швидкість передачі. Захищеність від електромагнітних завад. Мала вага і об'єм.

Високий рівень безпеки від несанкціонованого доступу. Гальванічна розв'язка елементів мережі. Пожежна безпека.

Зменшення вимог до лінійнокабельним спорудам. Волоконно-оптичні кабелі звільняють переповнені кабельні трубопроводи. Економічність волоконнооптичної кабелю. Тривалий термін експлуатації. Однак оптоволоконний кабель має і деякі недоліки.

Найголовніший з них - висока складність монтажу. Для установки роз'ємів застосовують зварювання або склеювання за допомогою спеціального гелю, що має такий же коефіцієнт заломлення світла, що і скловолокно. У будь-якому випадку для цього потрібна висока кваліфікація персоналу і спеціальні інструменти. Тому найчастіше оптоволоконний кабель продається у вигляді заздалегідь нарізаних шматків різної довжини, на обох кінцях яких уже встановлені роз'єми потрібного типу.

Оптоволоконні кабелі чутливі також до механічних впливів (удари, ультразвук) - так званий мікрофонний ефект. Для його зменшення використовують м'які звукопоглинальні оболонки.

У майбутньому цей тип кабелю, ймовірно, витіснить електричні кабелі всіх типів або, у всякому разі, сильно потіснить їх. Запаси міді на планеті виснажуються, а сировини для виробництва скла більш ніж достатньо.

Для об'єднання двох мереж підходить більшість різновидів технології передачі даних *Ethernet*, що використовують оптоволоконні кабелі, крім тих, які передають інформацію на короткі відстані (до 25 метрів).

Найбільш підходящими є стандарти:

— 10BASE-F, IEEE 802.3j - Основний термін для позначення сімейства 10 Мбіт / с *ethernet*-стандартів, які використовують оптичний кабель на відстані

до 2 кілометрів: *10BASE-FL*, *10BASE-FB* і *10BASE-FP*. З перерахованого тільки *10BASE-FL* набув широкого поширення.

— *100BASE-SX* - стандарт, який використовує багатомодове волокно. Максимальна довжина сегмента 400 метрів в напівдуплекса (для гарантованого виявлення колізій) або 2 кілометри в повному дуплексі.

— *100BASE-FX* - стандарт, який використовує одномодове волокно. Максимальна довжина обмежена тільки величиною затухання в оптичному кабелі і потужністю передавачів, за різними матеріалами від 2х до 10 кілометрів.

— *1000BASE-SX*, *IEEE 802.3z* - стандарт, який використовує багатомодове волокно. Дальність проходження сигналу без повторювача до 550 метрів.

— *1000BASE-LX*, *IEEE 802.3z* - стандарт, який використовує одномодове волокно. Дальність проходження сигналу без повторювача залежить тільки від типу використовуваних приймачів і, як правило, становить від 5 [3] до 50 кілометрів.

— *1000BASE-LH (Long Haul)* - стандарт, який використовує одномодове волокно. Дальність проходження сигналу без повторювача до 100 кілометрів.

Лінію зв'язку з використанням оптоволоконна допустимо застосувати для реалізації даного проекту.

Вибір оптоволоконного кабелю. Останнім часом стало очевидно, що волоконна оптика поступово замінює мідний провід у якості відповідного засобу передачі сигналів зв'язку.

Вони охоплюють більшу відстань між місцевими телефонними системами, а також є опорою для багатьох мережевих систем. До інших користувачів системи відносяться служби кабельного телебачення, університетські містечка, офісні будівлі, промислові підприємства та електроенергетичні компанії.

Волоконно-оптична система схожа на систему з мідних провідників, яка замінює волоконну оптику.

Різниця полягає в тому, що волоконна оптика використовує світлові імпульси для передачі інформації по волоконному каналу замість використання електронних імпульсів для передачі інформації по мідній лінії. Розгляд

компонентів у волоконно-оптичній цепі дають найкраще розуміння того, як система працює разом з провідними системами.

На одному кінці знаходиться передатчик. Це місце виникнення інформації, що поступає по волоконно-оптичній лінії зв'язку. Передатчик приймає закодовану інформацію про електронні імпульси, що надходять по мідному проводу. Потім він обробляє та перетворює цю інформацію в еквівалентно закодовані світлові імпульси.

Для генерації світлових імпульсів можна використовувати світловипромінюючий діод (*LED*) або інжекційний лазерний діод (*ILD*). За допомогою лінзи світлових імпульсів направляються в оптоволоконне середовище, де вони проходять по кабелю (рис.2.1-2.2) [13]. Світло (ближній інфрачервоний) загалом складає 850 нм для більш коротких відстаней і 1300 нм для більш довгих відстаней по багатомодовому волокну, 1300 нм для одномодових волокон і 1500 нм для більш довгих відстаней [18].

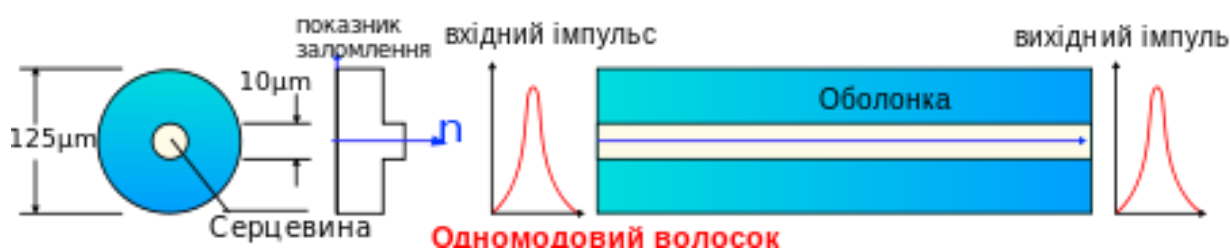


Рис. 2.1. Розповсюдження світлових променів через одномодові оптичні світловоди

Світлові імпульси легко переміщуються за оптоволоконною лінією завдяки принципам, відомим як повне внутрішнє відбиття. Цей принцип повного внутрішнього відбиття говорить, що, коли кут падіння перевищує критичне значення, світло не може вийти із скла; замість цього він відображається назад всередину.

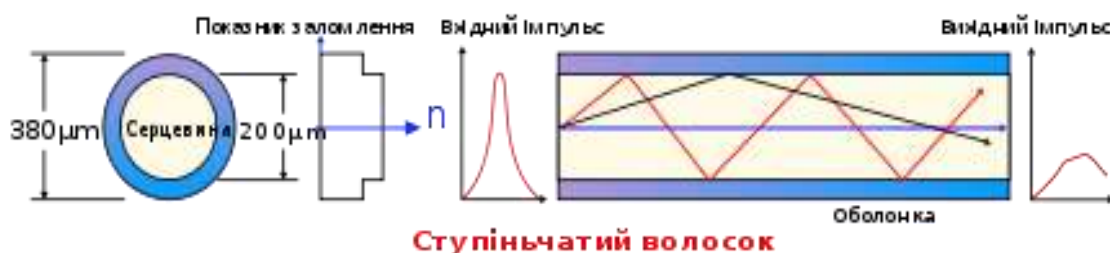


Рис. 2.2. Розповсюдження світлових променів через багатомодові оптичні світловоди

Коли цей принцип застосовується до конструкцій волоконно-оптичної нитки, можна передавати інформацію за волоконною лінією у вигляді світлових імпульсів. Серцевина повинна бути дуже прозорим і чистим матеріалом для світла або, у більшості випадків, ближнього інфрачервоного світла (850 нм, 1300 нм і 1500 нм). Серцевина може бути пластиковою (застосовується для дуже коротких відстаней), але більшість із них зроблені з скла. Скляні оптичні волокна майже завжди виробляються з чистого кремнезему, а також деякі інші матеріали, такі як фторцирконат, фторалюмінатні та халькогенідні скла, що використовуються для довговоленових інфрачервоних додатків.

Зазвичай використовуються три типи оптоволоконних кабелів: одномодовий, багатомодовий і пластиковий оптоволоконний (*POF*).

Прозорі скляні або пластикові волокна, які дозволяють направляти світло від одного кінця до іншого з мінімальними втратами.

Волоконно-оптичний кабель діє як «світловод», спрямовуючи світло, що надходить з одного кінця кабелю, на інший кінець. Джерелом світла може бути світлодіод (*LED*) або лазер.

Джерело світла вмикається і вимикається, а світлочутливий приймач на іншому кінці кабелю перетворює імпульси назад в цифрові і нулі вихідного сигналу.

Навіть лазерне світло, що проходить через оптоволоконний кабель, втрачає силу, в першу чергу через розсіювання і розсіювання світла всередині самого кабелю. Чим швидше коливається лазер, тим вище ризик розсіювання. У деяких додатках для поновлення сигналу можуть знадобитися світлові підсилювачі, звані повторювачами.

Хоча сам оптоволоконний кабель з часом став дешевше - еквівалентна довжина мідного кабелю коштує дешевше, але не по ємності. Роз'єми для оптоволоконних кабелів та обладнання, необхідне для їх установки, як і раніше дорожче, ніж їх мідні аналоги.

Одномодовий кабель - це одиночна опора (в більшості додатків використовується 2 волокна) зі скловолокна діаметром від 8,3 до 10 мікрон, що має один режим передачі. Одномодове волокно з відносно вузьким діаметром,

через яке буде поширюватися тільки одна мода, зазвичай 1310 або 1550 нм. Має більш широку смугу пропускання, ніж багатомодове волокно, але вимагає джерела світла з вузькою спектральною шириною [18].

Одномодове волокно використовується в багатьох додатках, де дані передаються на декількох частотах (*WDM*-мультиплексування з поділом хвиль), тому потрібно тільки один кабель (одномодовий на одному єдиному волокні).

Одномодове волокно забезпечує більш високу швидкість передачі і відстань до 50 разів більше, ніж багатомодове, але воно також коштує дорожче. У одномодового волокна серцевина набагато менша, ніж у багатомодового. Невелика серцевина і одиночна світлова хвиля практично виключають будь-які спотворення, які можуть виникнути в результаті накладення світлових імпульсів, забезпечуючи найменшу загасання сигналу і найвищі швидкості передачі серед всіх типів волоконних кабелів.

Одномодовое оптичне волокно - це оптичне волокно, в якому тільки мода нижнього порядку може поширюватися на довжині хвилі, як правило, від 1300 до 1320 нм.

Багатомодовий кабель має трохи більший діаметр, зазвичай діаметр світлового компонента становить від 50 до 100 мікрон (в США найбільш поширений розмір 62,5 мкм). У більшості додатків, в яких використовується багатомодове волокно, використовуються 2 волокна (*WDM* зазвичай не використовується в багатомодового волокна).

POF - це новий кабель на пластиковій основі, який передбачає такі ж характеристики, як і скляний кабель, на дуже коротких відстанях, але при більш низькій вартості.

Багатомодове волокно забезпечує широку смугу пропускання на високих швидкостях (від 10 до 100 Мбіт / с - гігабіт від 275 м до 2 км) на середніх відстанях. Світлові хвилі розсіюються по численним шляхах або модам, коли вони проходять через серцевину кабелю, зазвичай 850 або 1300 нм.

Типові діаметри серцевини багатомодового волокна становлять 50, 62,5 і 100 мікрометрів. Однак при довгих кабельних трасах (більше 914,4 метра) множинні світлові шляхи можуть викликати спотворення сигналу на приймаючій

стороні, що призведе до нечіткої та неповної передачі даних, тому розробники тепер закликають використовувати одномодове волокно в нових програмах, що використовують гігабітний порт. і далі [13].

Локальні мережі (*LAN*) - це колективна група комп'ютерів або комп'ютерних систем, пов'язаних один з одним, що дозволяє використовувати загальне програмне забезпечення або бази даних. Коледжі, університети, офісні будівлі і промислові підприємства, і це лише деякі з них, використовують оптичне волокно в своїх системах *LAN*. Оптичні волокна, як вже зазначалося вище, можуть бути одномодовими і багатомодовими. Діаметр серцевини одномодових волокон становить від 7 до 10 мікрон. Завдяки малому діаметру досягається передача по волокну лише однієї моди електромагнітного випромінювання, за рахунок чого виключається вплив дисперсійних спотворень.

Існує три основних типи одномодових волокон:

1. Одномодове ступеневе волокно з незміщеною дисперсією (англ. *SMF - Step Index Single Mode Fiber*), визначається рекомендацією *ITU-T G.652* і застосовується в більшості оптичних систем зв'язку.
2. Одномодове волокно зі зміщеною дисперсією (англ. *DSF - Dispersion Shifted Single Mode Fiber*), визначається рекомендацією *ITU-T G.653*. У волокнах *DSF* за допомогою домішок область нульової дисперсії зміщена в третє вікно прозорості, в якому спостерігається мінімальне загасання.
3. Одномодове волокно з ненульовою зміщеною дисперсією (англ. *NZDSF - Non-Zero Dispersion Shifted Single Mode Fiber*), визначається рекомендацією *ITU-T G.655*.

Багатомодові волокна відрізняються від одномодових діаметром серцевини, який становить 50 мікрон в європейському стандарті і 62,5 мікрон в північноамериканському і японському стандартах.

Через великий діаметру серцевини по багатомодовому волокну поширюється кілька мод випромінювання - кожна під своїм кутом, через що імпульс світла відчуває дисперсійні спотворення і з прямокутного перетворюється в дзвоноподібні.

Оптоволоконний кабель має великі відмінності від крученої пари, виходячи з області застосування і місця монтажу. Виділяють основні види кабелів на основі оптичного волокна:

- для внутрішнього монтажу;
- установки в кабельні канали, без броні.;
- установки в кабельні канали, броньований;
- укладання в ґрунт;
- підвісна, що не має троса;
- підвісна, з тросом;
- для підводного монтажу.

Багатомодові волокна поділяються на ступінчасті і градієнтні. У східчастих волокнах показник заломлення від оболонки до серцевини змінюється стрибкоподібно.

Набільшій популярності волоконно-оптичні кабелі знайшли своє застосування у наступних галузях.

1. Інтернет

Оптоволоконні кабелі передають великі обсяги даних з дуже високою швидкістю. Тому ця технологія широко використовується в інтернет-кабелях. У порівнянні з традиційними мідними проводами оптоволоконні кабелі менш громіздкі, легші, гнучкіші і несуть більше даних.

2. Комп'ютерна мережа

Мережеве з'єднання між комп'ютерами в одній будівлі або між сусідніми структурами стає простіше і швидше з використанням оптоволоконних кабелів. Користувачі можуть побачити помітне скорочення часу, необхідного для передачі файлів і інформації по мережі.

3. Хірургія і стоматологія

Волоконно-оптичні кабелі широко використовуються в медицині і дослідженнях. Оптичний зв'язок - важлива частина ненав'язливих хірургічних методів, широко відомих як ендоскопія. У таких випадках використовується невелике яскраве світло, щоб освітити операційну зону всередині тіла, що

дозволяє зменшити кількість і розмір розрізів. Волоконна оптика також використовується в мікроскопії і біомедичних дослідженнях.

4. Автоматизована індустрія

Волоконно-оптичні кабелі грають важливу роль в освітленні і забезпеченні безпеки сучасних автомобілів. Вони широко використовуються в освітленні як всередині, так і зовні автомобілів. Завдяки своїй здатності економити простір і забезпечувати чудове освітлення, волоконна оптика з кожним днем використовується в більшій кількості автомобілів.

Крім того, оптоволоконні кабелі можуть передавати сигнали між різними частинами транспортного засобу з блискавичною швидкістю. Це робить їх безцінними при використанні додатків безпеки, таких як антипробуксовочна система і подушки безпеки.

5. Телефон

Дзвонити на телефони всередині країни або за її межами ще ніколи не було так просто. Використовуючи оптоволоконний зв'язок, можна швидше підключатися і вести розмову без затримок по обидва боки.

6. Освітлення і прикраси

Використання волоконної оптики в області декоративного освітлення також зросла з роками. Волоконно-оптичні кабелі забезпечують просте, економічне і привабливе рішення для проектів освітлення. В результаті вони широко використовуються в освітлювальних прикрасах і освітлених ялинках.

7. Механічні перевірки

Волоконно-оптичні кабелі широко використовуються при обстеженні важкодоступних місць. Деякі з таких додатків - це інспекція на місці для інженерів, а також перевірка труб для сантехніків.

8. Кабельне телебачення

Використання оптоволоконних кабелів для передачі сигналів по кабелю за останні роки стрімко зросла. Ці кабелі ідеально підходять для передачі сигналів для телевізорів високої чіткості, оскільки вони мають велику смугу пропускання і швидкість. Крім того, оптоволоконні кабелі дешевше в порівнянні з тим же кількістю мідних проводів.

9. Військове і космічне застосування

Завдяки високому рівню безпеки даних, необхідного в військових і аерокосмічних додатках, волоконно-оптичні кабелі є ідеальним рішенням для передачі даних в цих областях.

У таблиці 2.1 наведено порівняльну характеристику трьох типів оптоволоконних кабелів, а саме одномодульної конструкції, багатомодульної конструкції та з щільним буфером. Для прокладки під землею обраний кабель *Hyperline HF0AB12B5 (FO-ST-OUT-XX-YY-PE)*. Для прокладки кабелю по повітрю - *Hyperline HF0DF18B5 (FO-D-IN / OUT-9-12-HFFR)*, з щільним буфером.

Таблиця 2.1

Порівняння оптоволоконних кабелів

	Кабель волоконно-оптичний, Одномодульні конструкції, <i>PE</i>	Кабель волоконно-оптичний, багатомодульна конструкція, <i>HFFR</i>	Кабель волоконно-оптичний, з щільним буфером, <i>HFFR</i>
	1	2	3
Специфікація	Відповідає стандартам <i>ISO-9001, EIA / TIA455, IEC-60794, 60754, IEC 60794-1-F5 i EIA / TIA FOTP 82B</i> . Оптичні характеристики відповідають стандарту <i>ISO / IEC 11801</i> . Відповідає стандарту пожежної безпеки <i>IEC 60332-1</i> .	Відповідає стандартам <i>ISO-9001, EIA / TIA455, IEC-60794</i> . Оптичні характеристики відповідають стандарту <i>ISO / IEC 11801</i> . Відповідає стандарту пожежної безпеки <i>IEC 60332-1</i> .	Відповідає стандартам <i>EIA-TIA 455 i IEC-60332, 60754, 60794</i> . Оптичні характеристики відповідають стандарту <i>ISO / IEC 11801</i> . Відповідає стандарту пожежної безпеки <i>IEC 60332-1</i> .

	1	2	3
Опис	Волоконно-оптичний кабель Одномодульні конструкції (<i>single loose tube</i>), 2-24 волокна, броньований сталевую стрічкою, вологостійкий. Використовується для локальних мереж, загального застосування, зовнішньої прокладки. Застосовується в рамках підсистеми зовнішніх магістралей.	Волоконно-оптичний кабель багатомодульною конструкції (<i>multi loose tube</i>), 2-96 волокон. Повністю діелектричний кабель для локальних мереж, загального застосування, для внутрішньої / зовнішньої прокладки. Застосування в рамках підсистеми зовнішніх і внутрішніх магістралей, включаючи прокладку в стояках.	Волоконно-оптичний кабель з щільним буфером (<i>tight buffer</i>), 2-72 волокна. Може використовуватися як в закритих приміщеннях, так і на вулиці. Може прокладатися в кабельні канали. Підтримує передачу даних на короткі і середні відстані. Підходить для безпосередньої оконцовки.
	Підходить для прокладки в ґрунт.	Організація розведення всередині і між будівлями.	
Діаметр	125 ± 1μм	125 ± 1μм	125 ± 1μм
Діаметр по захисному покриттю	242 ± 7μм	242 ± 7μм	242 ± 7μм

	1	2	3
Зовнішній діаметр кабелю	11,9 мм	8,8 / 10,9 / 13,9 мм	4,9 мм
Зусилля стягування покриття волокна	1.3-8.9 Н	1.3-8.9 Н	1.3-8.9 Н
Некругість покриття волокна	не більше 1%	не більше 1%	не більше 1%
Мінімальний радіус вигину	238 мм (експлуатація - 238 мм)	145 мм (експлуатація - 97 мм)	98 мм (експлуатація - 49 мм)
Розтяжне зусилля (монтаж)	2 700 Н	1 500 Н	900 Н
Розтяжне зусилля (експлуатація)	1 600 Н	900 Н	540 Н
Роздавлююче зусилля	800 Н / см	440 Н / см	220 Н / см
Вигиностійкість	300 циклів	300 циклів	300 циклів
Температура прокладки	- 20 ° С до + 70 ° С	- 20 ° С до + 70 ° С	- 20 ° С до + 70 ° С
Робоча температура	-40 ° С до + 75 ° С	-40 ° С до + 75 ° С	-40 ° С до + 75 ° С
Вага 1 км кабелю	150 кг	115 кг	25 кг

Способи прокладки оптоволоконного кабелю. Прокладка оптичних кабелів в ґрунт. Перед прокладкою ОК проводяться дослідження траси з метою вибору оптимальної конструкції прокладається ОК і технології прокладки. Враховується також наявність наявних підземних споруд і наземних перешкод (шосейні і залізні дороги, річки, перетину з лініями електропередачі та ін.), Визначаються місця розміщення необслуговуваних регенераційних пунктів, пунктів доступу до ОК, оптичних муфт і т.д.

Основним, найбільш економічним методом прокладки ОК безпосередньо в ґрунт, що забезпечує найбільш високий ступінь механізації та швидкість прокладки, є прокладка кабелеукладачем. Для ОК з металевими бронепокровами необхідне дотримання заходів по захисту ОК від грозових пошкоджень і від впливів електрифікованих залізниць і ліній електропередачі на ділянках зближень з цими об'єктами. На особливо небезпечних з точки зору електромагнітних впливів ділянках траси передбачається прокладка діелектричних [11].

2.2. Вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку

Розглянемо варіанти реалізації архітектури апаратного забезпечення за допомогою відомих алгоритмічних задач комбінаторної оптимізації для пошуку найбільш оптимального маршруту з'єднання кампусів університетів оптоволоконними лініями зв'язку.

Для визначення однозв'язної топології скористаємося моделлю задачі побудови найкоротшого дерева. Для визначення двозв'язної топології оберемо модель задачі комівояжера. Розглянемо детальніше кожен з них.

Дерево мінімального остовного дерева (МОД) або дерево, що охоплює мінімальну вагу, — це підмножина ребер з'єданого, зваженого по краях неорієнтованого графіка, який з'єднує всі вершини разом, без будь-яких циклів і з мінімально можливою загальною вагою ребра. Тобто це остовне дерево, суму крайніх ваг якого мінімальна. Більш загально, будь-який неорієнтований граф з

зваженими ребрами (не обов'язково пов'язаний) має мінімальний остовий ліс, який є об'єднанням мінімальних остовних дерев для його з'єднуючих компонентів [14].

Існує досить багато випадків використання мінімальних остовних дерев. Одним із прикладів може бути будь-яка компанія, якій необхідно прокласти кабель. Якщо необхідно прокласти кабель тільки уздовж певних шляхів (наприклад, доріг), тоді буде граф, що містить точки (наприклад, будинки), з'єднані цими шляхами. Деякі з шляхів можуть бути більш дорогими, тому що вони довші або вимагають більш глибокого прокладки кабелю; ці шляхи будуть представлені ребрами з великою вагою. Валюта є прийнятною одиницею виміру ваги ребра — довжина ребер не зобов'язана підкорятися звичайним правилам геометрії, таким як нерівність трикутника. Остов тому що цей граф буде підмножиною тих шляхів, які не мають циклів, але все ж з'єднують кожен будинок; можливо кілька остовних дерев. Мінімальне остовне дерево буде одним з найнижчою загальною вартістю, що становить найменш витратний шлях для прокладки кабелю.

Розглянемо детальніше властивості задачі побудови найкоротшого дерева [14].

1. Можлива кратність.

Якщо у графі є n вершин, то кожне остовне дерево має $n - 1$ ребро. Може бути декілька мінімально остовних дерев однакової ваги; зокрема, якщо всі ваги ребер даного графу однакові, то кожне остовне дерево цього графу, є мінімальним.

2. Унікальність.

Якщо кожне ребро має різну вагу, тоді буде лише одне, унікальне мінімальне остовне дерево. Це правильно у багатьох реалістичних ситуаціях, наприклад, у прикладі наведеному вище, де навряд чи будь-які два шляхи мають абсолютно однакову вартість.

Припустимо протилежне, що існує два різних остовних дерева A і B .

Оскільки A і B відрізняються, незважаючи на те, що містять однакові вузли, існує принаймні одне ребро, яке належить одному, але не іншому. Нехай серед

таких ребер e_1 - той, що має найменшу вагу; цей вибір є унікальним, оскільки всі ваги ребер різняться. Не втрачаючи загальності, припустимо, що e_1 знаходиться в A .

Оскільки B є мінімальним остовним деревом, $\{e_1\} \cup B$ повинен містити цикл C з e_1 .

Як дерево, A не містить циклів, тому C повинен мати ребро e_2 , яке не знаходиться в A .

Оскільки e_1 було обрано як унікальне ребро найменшої ваги серед тих, що належать саме одному з A і B , вага e_2 повинна бути більшою, ніж вага e_1 .

Оскільки e_1 та e_2 є частиною циклу C , заміна e_2 на e_1 у B дає, відповідно, дає дерево з меншою вагою.

Це суперечить припущенню, що B є мінімальним остовним деревом.

Більш загально, якщо ваги ребер не всі різняться, тоді унікальним є лише набір ваг у мінімальних остовних деревах; теж саме для всіх мінімальних охоплюючих дерев.

3. Підграф мінімальної вартості.

Якщо ваги додатні, то мінімальне остовне дерево насправді є підграфом з мінімальною вагою, що з'єднує всі вершини, оскільки підграфи, що містять цикли, обов'язково мають більшу загальну вагу.

4. Властивість циклу.

Для будь-якого циклу C на графі, якщо вага ребра e з C більша, ніж окремі ваги всіх інших ребер C , тоді це ребро не може належати до мінімального остовного дерева.

5. Властивість вирізання.

Для будь-якого зрізу C графу, якщо вага ребра e у розрізі C суворо менша за ваги всіх інших ребер набору розрізів C , тоді це ребро належить усім мінімальним остовним деревам графу.

6. Перевага мінімальних витрат.

Якщо ребро e з мінімальною вартістю графу є унікальною, то це ребро включається до будь-якого мінімального остовного дерева.

7. Стиснення.

Якщо T — дерево ребер МОД, то ми можемо скоротити T в єдину вершину, зберігаючи інваріант, згідно з яким мінімальне остовне дерево зведеного графа плюс T дає МОД для графу до стиснення.

Існують різні алгоритми для знаходження мінімального остовного дерева. Деякі найбільш відомі з них перераховані нижче:

- алгоритм Прима;
- алгоритм Краскала;
- алгоритм Борувки;
- алгоритм зворотного видалення (отримання мінімального остовного дерева з зв'язкового реберно зваженого графа).

Перший алгоритм пошуку мінімального розширювального дерева був розроблений чеським вченим Отакаром Борувкою в 1926 році. Його метою було ефективне електричне покриття Моравії. Алгоритм працює в послідовності етапів. На кожному етапі, який називається кроком Борувки, він визначає ліс F , що складається з ребра мінімальної ваги, інцидентне кожній вершині у графі G , а потім формує граф $G_1 = G \setminus F$ як вхідні дані для наступного кроку. Тут $G \setminus F$ позначає граф, отриманий з G , скорочуючи ребра у F (за властивістю вирізання, ці ребра належать до МОД). Кожен крок Борувки займає лінійний час. Оскільки кількість вершин зменшується щонайменше наполовину на кожному кроці, алгоритм Борувки займає час $O(m \log n)$ [14].

Другим алгоритмом є алгоритм Прима, який був винайдений Войтехом Ярником в 1930 р. І знову відкритий Примом в 1957 р. В основному він збільшує мінімальне остовне дерево (T) по одному ребру. Спочатку T містить довільну вершину. На кожному кроці T збільшується з ребром з найменшою вагою (x, y) , таким чином, що x знаходиться в T , а y ще не в T . За властивістю вирізання усі ребра, додані до T , знаходяться в МОД. Його час виконання — $O(m \log n)$ або $O(m + n \log n)$, залежно від використовуваних структур даних.

Третім алгоритмом, який зазвичай використовується, є алгоритм Крускала, який також займає час $O(m \log n)$.

Четвертий алгоритм, не такий часто використовуваний, - це алгоритм зворотного видалення, який є зворотом алгоритму Крускала. Його час виконання - $O(m \log n (\log \log n)^3)$.

Всі чотири алгоритми працюють у поліноміальний час, проблема пошуку таких дерев полягає в FP , а пов'язані з цим проблеми рішення, такі як визначення того, чи знаходиться певне ребро в мінімальному остовному дереві, або визначення, чи мінімальна загальна вага перевищує певне значення у певному класі складності.

Задача комівояжера або TSP задає наступне запитання: "Враховуючи перелік міст та відстань між кожною парою міст, який найкоротший можливий маршрут відвідуючи кожне місто рівно один раз і повернутися до початкового міста? " Це важка проблема комбінаторної оптимізації, важлива для теоретичної інформатики та досліджень операцій [16].

Задача комівояжера і проблема маршруту транспортного засобу - це узагальнення TSP .

У теорії обчислювальної складності версія TSP для прийняття рішень (де при заданій довжині L завдання полягає в тому, щоб вирішити, чи має граф обхід не більше L) належить до класу NP -повних задач. Таким чином, можливо, що найгірший час роботи будь-якого алгоритму для TSP збільшується суперполіномічно (але не більше ніж експоненціально) із збільшенням кількості міст.

Вперше проблема була сформульована в 1930 році і є однією з найбільш інтенсивно вивчених задач оптимізації. Він використовується як еталон для багатьох методів оптимізації. Незважаючи на те, що проблема обчислювальна, відомо багато евристичних і точних алгоритмів, так що деякі випадки з десятками тисяч міст можуть бути повністю вирішені, і навіть проблеми з мільйонами міст можуть бути апроксимовані в межах невеликої частки 1%. [16]

TSP може бути змодельований як неорієнтований зважений граф, таким чином, що міста є вершинами графу, шляхи —ребрами графіка, а відстань шляху - вагою ребра. Це проблема мінімізації, яка починається і закінчується у зазначеній вершині після того, як відвідали кожну вершину рівно один раз. Часто модель є

повним графом (тобто кожна пара вершин з'єднана ребром). Якщо між двома містами не існує шляху, додавання довільно довгого краю завершить граф, не впливаючи на оптимальний маршрут.

У симетричному *TSP* відстань між двома містами однакова в кожному протилежному напрямку, утворюючи ненаправлений граф. Ця симетрія вдвічі зменшує кількість можливих рішень. В асиметричному *TSP* шляхи можуть не існувати в обох напрямках, або відстані можуть бути різними, утворюючи спрямований графік. Приклади того, як ця симетрія може зруйнуватися, - дорожньо-транспортні зіткнення, односторонні вулиці та ціна авіаквитків у містах з різною платою за виліт та прибуття.

Традиційні напрямки атаки для *NP*- важких проблем такі [16]:

- розробка точних алгоритмів, які працюють досить швидко лише для невеликих розмірів задач;
- розробка "неоптимальних" або евристичних алгоритмів, тобто алгоритмів, які забезпечують апроксимовані рішення за розумний час;
- пошук особливих випадків для проблеми ("підзадачі"), для яких можливі або краща, або точна евристика.

Найбільш прямим рішенням було б спробувати всі перестановки (упорядковані комбінації) і подивитися, яка з них найдешевша. Тривалість цього підходу лежить в межах поліноміального коефіцієнта $O(n!)$, факторіал кількості міст, тому це рішення стає непрактичним навіть лише для 20 міст.

Методи розв'язання задачі комівояжера досить різноманітні і розрізняються застосуванням інструментарієм, точністю знаходять рішення і складністю необхідних обчислень. Ось лише деякі з них [18]:

- повний перебір (метод «грубої сили», англ. «*Brute Force*») - полягає в послідовному розгляді всіх можливих маршрутів і виборі з них оптимального. Метод найпростіший і точний, але неефективний і при великій кількості міст його застосування стає скрутним через значних витрат часу і ресурсів на перебір величезної кількості варіантів вирішення завдання. Для прискорення і підвищення ефективності повного перебору використовуються різні прийоми: метод гілок і меж, паралельні обчислення, райдужні таблиці;

— випадковий перебір - в цьому випадку обчислюються не всі можливі варіанти маршруту, а лише деякі вибрані у випадковому порядку (наприклад, за допомогою генератора випадкових чисел). З розглянутих варіантів потім вибирається найкращий. Звичайно, найімовірніше отримане рішення не буде оптимальним (втім, воно не буде і найгіршим), але зате даний метод вимагає менших витрат часу і обчислювальних ресурсів, а тому в деяких випадках його застосування виправдано;

— динамічне програмування - ключова ідея полягає в обчисленні та запам'ятовуванні пройденого шляху від вихідного міста до всіх інших, подальшому збільшенні до нього відстаней від поточних міст до решти, і так далі. У порівнянні з повним перебором цей метод дозволяє істотно скоротити обсяг обчислень;

— жадібні алгоритми (англ. «*Greedy*») - засновані на знаходженні локально оптимальних рішень на кожному етапі обчислень і допущенні, що знайдене таким чином підсумкове рішення буде глобально оптимальним. Тобто на кожній ітерації вибирається найкращий ділянку шляху, який включається в підсумковий маршрут. Метод простий, але його великий недолік в тому, що може виникнути ситуація, коли виявиться, що початкова і кінцева точки маршруту рознесені далеко один від одного і їх доведеться з'єднувати довгим відрізком шляху, що значно знизить ефективність рішення. До жадібних алгоритмів відносяться: метод найближчого сусіда (англ. «*Nearest Neighbour*»), модифікований метод найближчого сусіда (англ. «*Double Ended Nearest Neighbour*»), метод найдешевшого включення і т. д .;

— метод імітації відпалу - один з численних методів Монте-Карло;

— метод еластичною мережі - кожен з можливих маршрутів розглядається як відображення кола на площину;

— мурашиний алгоритм - евристичний метод, заснований на моделюванні поведінки мурах, що шукають шляхи від своєї колонії до джерел їжі. Першу версію такого алгоритму запропонував доктор наук Марко Доріго в 1992 році. Цей метод дозволяє відносно швидко знайти гарне, але не обов'язково оптимальне рішення;

— генетичний алгоритм - ще один евристичний метод, що полягає у випадковому доборі та комбінуванні вихідних параметрів з використанням механізмів імітують природний відбір в процесі еволюції (успадкування, мутації, кроссинговер). Незважаючи на досить широкі можливості застосування (і не тільки в логістиці), цей метод часто стає об'єктом критики;

— метод гілок і меж - один з методів дискретної оптимізації, який є розвитком методу повного перебору, але відрізняється від нього відсівом в процесі обчислення підмножин неефективних рішень. Вперше був запропонований в 1960 році англійським професором Алісою Ленд і австралійським математиком Елісон Дойг.

Одним із ранніх застосувань динамічного програмування є алгоритм Гельда – Карпа, який вирішує проблему в часі $O(n^2 2^n)$. Ця межа також була досягнута за допомогою виключенням-включенням у спробі, що передуює підходу динамічного програмування.

Поліпшення цих часових рамок здається важким. Наприклад, не встановлено, чи існує точний алгоритм для *TSP*, який працює в часі $O(1.9999^n)$.

Інші підходи включають:

— різні алгоритми розгалуження та прив'язки, які можуть бути використані для обробки *TSP*, що містять 40–60 міст;

— алгоритми прогресивного вдосконалення, які використовують методи, що нагадують лінійне програмування. добре працює до 200 міст;

— реалізація генерування гілок та обмежень та специфічних проблем; це метод вибору для вирішення великих екземплярів. цей підхід зберігає поточний рекорд, вирішуючи екземпляр із 85 900 міст.

Були розроблені різні евристичні та апроксимаційні алгоритми, які швидко дають хороші рішення. Сюди входить алгоритм мультифрагменту. Сучасні методи можуть за розумний час знайти рішення надзвичайно великих проблем (мільйонів міст), які з великою ймовірністю лише 2-3% від оптимального рішення.

Визнано кілька категорій евристики.

Алгоритм найближчого сусіда (NN) (жадібний алгоритм) дозволяє комівояжеру вибрати найближче невідвідане місто як наступний крок. Цей алгоритм швидко дає ефективно короткий шлях. Для N міст, випадково розподілених на площині, алгоритм в середньому дає шлях на 25% довший за найкоротший можливий шлях. Однак існує багато спеціально організованих міських розподілів, які роблять алгоритм NN найгіршим шляхом. Це справедливо як для асиметричних, так і для симетричних TSP . Показано, що алгоритм NN має коефіцієнт апроксимації $\Theta(\log |V|)$ для випадків, що задовольняють нерівність трикутника. Варіант алгоритму NN , який називається оператором найближчого фрагмента, який з'єднує групу (фрагмент) найближчих невідвіданих міст, може знайти коротші маршрути з послідовними ітераціями. Оператор NF може також застосовуватися на початковому рішенні, отриманому за алгоритмом NN , для подальшого вдосконалення в елітарній моделі, де приймаються лише кращі рішення [16].

Бітонічна подорож набору точок - це монотонний багатокутник мінімального периметра, вершинами якого є точки; його можна ефективно обчислити за допомогою динамічного програмування.

Інша конструктивна евристика, *Match Twice and Stitch (MTS)*, виконує два послідовних співставлення, де друге співставлення виконується після видалення всіх країв першого співставлення, щоб отримати набір циклів. Потім цикли зшиваються, щоб зробити фінальний шлях.

Алгоритм Христофідеса та Сердюкова дотримується подібного плану, але поєднує мінімальне остовне дерево з рішенням іншої задачі, ідеальним збігом мінімальної ваги. Це дає TSP , який щонайменше в 1,5 рази перевищує оптимальний. Це був один із перших алгоритмів апроксимації, який частково відповідав за повернення уваги до алгоритмів апроксимації як практичного підходу до нерозв'язних задач. По суті, термін "алгоритм" зазвичай не поширювався на апроксимаційні алгоритми лише пізніше; алгоритм Христофідеса спочатку називався евристичним Христофідесом [16].

Цей алгоритм дивиться на речі по-різному, використовуючи результат теорії графів, який допомагає покращити $LB TSP$, що виник внаслідок подвоєння

вартості мінімального охоплюючого дерева. Враховуючи ейлерівський граф, ми можемо знайти ейлерівський шлях за $O(n)$ часу. Отже, якби ми мали ейлерівський граф з містами з TSP як вершинами, то ми легко бачимо, що ми могли б використовувати такий метод для пошуку ейлерівського шляху, щоб знайти рішення TSP . За допомогою трикутної нерівності ми знаємо, що шлях TSP може бути не довшим, ніж шлях $Eulerian$, і як такий ми маємо LB для TSP . Такий спосіб описаний нижче.

1. Знайти мінімальне остовне дерево для проблеми.
2. Створити дублікати для кожного ребра, щоб створити ейлерівський граф.
3. Знайти Ейлерів шлях для цього графу.
4. Перетворити на TSP : якщо місто відвідували двічі, створіть в шляху ярлик від міста до іншого, що йде після цього.

Для поліпшення нижньої межі необхідний кращий спосіб створення ейлерового графа. За трикутної нерівності, найкращий ейлерівський граф повинен мати таку ж вартість, як і найкращий метод комівояжера, отже, знайти оптимальні ейлерівські графи є принаймні настільки ж важким, як TSP . Одним із способів цього є встановлення відповідності мінімальної ваги за допомогою алгоритмів $O(n^3)$.

Створення графіку в ейлерівський графік починається з мінімального остовного дерева. Тоді всі вершини непарного порядку повинні бути зроблені парними. Тому потрібно додати відповідність для вершин непарного градуса, що збільшує порядок кожної вершини непарного градуса на одиницю. Це залишає нам граф, де кожна вершина має парний порядок, що є, таким чином, Ейлеровим. Адаптація вищевказаного методу дає алгоритм Христофідеса та Сердюкова.

1. Знайти мінімальне остовне дерево для проблеми.
2. Створити відповідність для задачі з множиною міст непарного порядку.
3. Знайти Ейлерів шляї для цього графу.
4. Перетворити на TSP за допомогою ярликів.

Оптимізація колонії мурашок, мурав'їний алгоритм (ACO) - одна з найпопулярніших метаевристик, що застосовується для комбінаторної оптимізації, в якій оптимальне рішення шукається в дискретному просторі

пошуку. Прикладом відомої комбінаторної оптимізації є проблема *TSP*, де простір пошуку рішень-кандидатів зростає більш ніж в геометричній прогресії із збільшенням розміру проблеми, що робить вичерпний пошук оптимального рішення неможливим [17].

Алгоритм *ACO* базується на обчислювальній парадигмі, натхненній справжніми колоніями мурашок та способу їх функціонування. Основною ідеєю було використання декількох конструктивних обчислювальних агентів (що імітують реальних мурах). Поведінка мурахи регулюється метою виживання колонії, а не орієнтацією на виживання особин. Поведінкою, яка послужила натхненням для *ACO*, є поведінка мурашок на видобуток їжі, зокрема, те, як мурахи можуть знаходити найкоротші шляхи між джерелами їжі та своїм гніздом. Шукаючи їжу, мурахи спочатку досліджують територію навколо свого гнізда випадковим чином. Під час руху мурахи залишають на землі хімічний феромоновий слід. Мурахи відчують запах феромону.

Вибираючи свій шлях, вони, як правило, обирають шляхи, позначені сильними концентраціями феромонів. Як тільки мураха знаходить джерело їжі, він оцінює кількість та якість їжі і несе частину назад у гніздо. Під час зворотного шляху кількість феромону, який мураха залишає на землі, може залежати від кількості та якості їжі. Феромонові стежки направлятимуть інших мурах до джерела їжі.

Шлях мурахи базується на ймовірнісному рівнянні. Якщо мураха ще не закінчила рух, тобто не відвідала всі вузли мережі, для визначення наступного ребра шляху використовується рівняння

$$P = \frac{\tau(r,u)^{\alpha} \cdot \eta(r,u)^{\beta}}{\sum_k \tau(r,u)^{\alpha} \cdot \eta(r,u)^{\beta}}$$

де $\tau(r,u)$ – інтенсивність ферменту на грані між вузлами r й u ,

$\eta(r,u)$ – функція, що представляє вимір зворотної відстані для грані,

α – вага ферменту,

β – коефіцієнт евристики.

Довжина пройденого шляху дорівнює сумі всіх ребер, по яких пройшла мураха. Кількість ферменту, який був залишений на кожному ребрі графу дорівнює

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{L^k(t)}$$

де Q – константа.

Щоб поступово видалити ребра, які включаються у гірші шляхи в мережі, до всіх ребер застосовується процедура випаровування ферменту (*Pheromone evaporation*)

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}^k(t) \cdot (1 - \rho)$$

Висновки за розділом

У даному розділі:

- представлено архітектурні рішення для прокладки оптоволоконна на великій відстані двох розподілених комп'ютерних мереж;
- проведено порівняння найкращих існуючих рішень, наведено 3 приклади оптоволоконних кабелів;
- здійснено вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку, а саме для визначення однозв'язних топологій обрано модель задачі побудови найкоротшого дерева, а для двозв'язних – модель задачі комівояжера і, власне, розглянуто методи для їх реалізації.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАМПУСІВ

3.1. Розробка схем структурних алгоритмів за умов одно та двозв'язної топології апаратного комплексу мережі

Алгоритм побудови мінімального остовного дерева мережі наступний:

1. Обираємо довільний вузол мережі x_i , $C_1 = \{ x_i \}$, $|C_1| = X \setminus \{ x_i \}$.
2. Обираємо з решти вузлів вузол x_j , найближчий до множини вузлів C_1 , $C_2 = \{ x_i, x_j \}$, $|C_2| = X \setminus \{ x_i, x_j \}$.
3. Обираємо з множини C_2 вузол, найближчий до вузлів множини C_1 , включаємо його в множини C_1 і виключаємо з множини C_2 .

За кінцеве число кроків будуть оброблені всі вузли мережі та побудовано мінімальне остовне дерево. $C_n = X$, $C_n = f$.

Потрібно спроектувати найбільш економічну оптоволоконну мережу. Структура мережі, що планується і відстань між корпусами кампусів задамо графом (рис. 3.1). Виконаємо побудову мінімального остовного дерева для даної мережі.

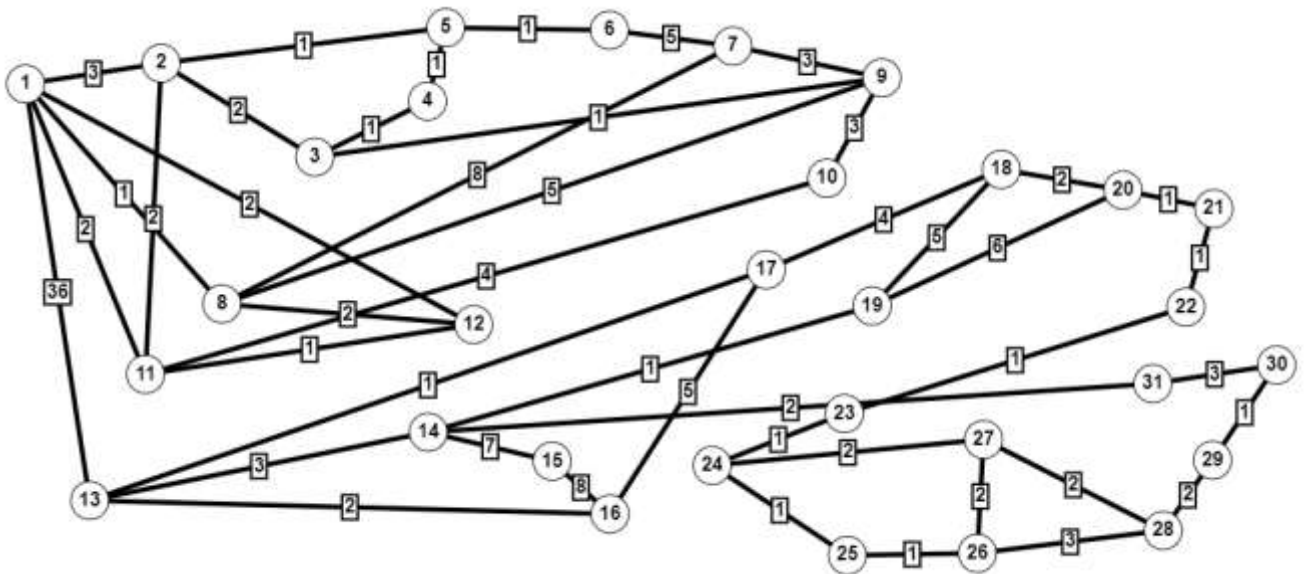


Рис. 3.1. Структура з'єднань мережі у вигляді графа

Основну роботу алгоритму виконує програма з наступним шаблоном класу:

```

template < class Graph, class Edge >
class MST
    {const Graph &G;
    vector<Edge *> a, b, mst;
    UF uf;
public:
    MST (const Graph &G): G (G), uf (G.V()), mst (G.V() +1)
        {a = edges < Graph, Edge > (G);
        int N, k = 1;
        for (int E = a. size (); E! = 0; E = N)
            {int h, i, j;
            b. assign (G.V(), 0);
                for (h = 0, N = 0; h < E; h++)
                    {Edge *e = a [h];
                    i = uf. find (e->v ()), j = uf. find (e->w ());
                    if (i == j) continue;
                    if (! b[i] || e->wt () < b[i]->wt ()) b[i] = e;
                    if (! b[j] || e->wt () < b[j]->wt ()) b[j] = e;
                    a[N++] = e;
                }
                for (h = 0; h < G.V(); h++)
                    if (b [h])
                        if (! uf. find (i = b[h]->v (), j = b[h]->w ()))
                            {uf. unite (i, j); mst [k++] = b [h];}
                    }
            };

```

Зберігання ребер відбувається у вигляді масиву векторів, а вершин як звичайний масив. Функція *find* пов'язує індекси з *MST* (мінімальне остовне дерево) -піддеревами, у міру їх побудови. На кожному етапі перевіряються всі ребра, які залишилися і ті, які з'єднують окремі піддерева, зберігаються до наступного етапу. Масив містить ще ребра, які не встигли відкинути і не включили в *MST*-піддерева. Індекс *N* використовується для зберігання ребер, відкладених до наступного етапу (в кінці кожного етапу $E = N$). Індекс *h* використовується для доступу до наступного ребра, що перевіряється ($Edge * e = a [h]$). Зберігання найближчих сусідів кожної компоненти зберігається в масиві *b* з *find* номерами компонентів в якості індексів. В кінці кожного етапу кожен компонент з'єднується з найближчим сусіднім, а ребра найближчій сусідній вершини додаються в дерево *MST* .

Після проходження алгоритму отримаємо результат мінімального остовного дерева (рис. 3.2).

У результаті довжина оптоволоконного кабелю для реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів НАУ та КПІ за допомогою однозв'язної топології – моделі задачі побудови найкоротшого дерева складає 8700 м.

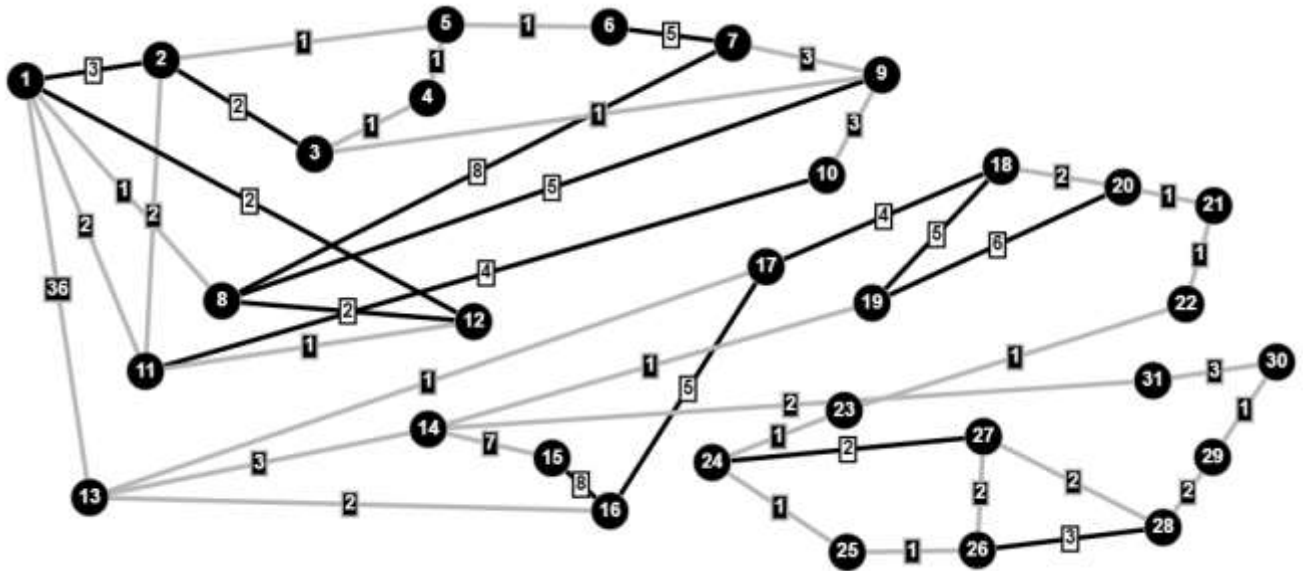


Рис. 3.2. Мінімальне остовне дерево для мережі

Для створення схеми структурного алгоритму двозв'язної топології апаратного комплексу мережі скористаємося моделлю задачі комівояжера, а саме алгоритмом Літла.

Наведемо алгоритм Літла для знаходження мінімального контуру для графа з n вершинами. Граф представляють у вигляді матриці його дуг. Якщо між вершинами X_i і X_j немає дуги, то ставиться символ « ∞ ».

Алгоритм Літла для вирішення завдання комівояжера можна сформулювати у вигляді наступних правил:

1. Знаходимо в кожному рядку матриці $C = \|c_{ij}\|$ мінімальний елемент $U_i = \min_j c_{ij}$ і віднімаємо його з усіх елементів відповідного рядка. Отримаємо матрицю, наведену по рядках, з елементами

$$c'_{ij} = c_{ij} - \min_j c_{ij}$$

2. Якщо в матриці C' , наведеної по рядках, виявляться стовпці, що не містять нуля, то приводимо її за стовпцями. Для цього в кожному стовпці матриці

вибираємо мінімальний елемент, і віднімаємо його з усіх елементів відповідного стовпця. отримаємо матрицю

$$C'' = \left\| c_{ij} - \min_j c_{ij} - \min_i c'_{ij} \right\|$$

кожен рядок і стовпець, якій містить хоча б один нуль. Така матриця називається наведеної по рядках і стовпцях.

3. Підсумовуємо елементи і, отримаємо константу приведення

$$\gamma = \sum_{i=1}^n U_i + \sum_{j=1}^n V_j,$$

яка буде нижньою межею безлічі всіх допустимих контурів, тобто

$$\gamma = \varphi(\Omega^0) \leq z(X)$$

4. Знаходимо ступені нулів для наведеної по рядках і стовпцях матриці. Для цього нулі в сволюка замінюємо на знак « ∞ » і знаходимо суму мінімальних елементів рядка і стовпця, відповідних цьому нулю. Записуємо її в правому верхньому кутку клітки

$$\theta_{ij} = \min_{j' \neq j} c_{ij'} + \min_{i' \neq i} c_{i'j}$$

5. Вибираємо дугу, для якої ступінь нульового елемента досягає максимального значення

$$\theta_{i_0 j_0} = \max_{c_{ij}''=0} \theta_{ij}$$

6. Розбиваємо множину всіх гамільтонових контурів на два підмножини. Підмножина гамільтонових контурів містить дугу. Для отримання матриці контурів, що включають дугу, викреслюємо в матриці рядок і стовпець. Щоб не допустити утворення негамільтонова контуру, замінимо симетричний елемент на знак « ∞ ».

7. Наводимо матрицю гамільтонових контурів. Нехай h - константа її приведення. Тоді нижня межа безлічі визначиться так

$$\varphi(\Omega_{i_0 j_0}^1) = \gamma + h_{i_0 j_0}^1$$

8. Знаходимо множину гамільтонових контурів, що не включають дугу. Виняток дуги досягається заміною елемента в матриці на ∞ .

9. Робимо приведення матриці гамільтонових контурів. Нехай γ - константа її приведення. Нижня межа множини визначиться так

$$\varphi(\Omega_{i_0 j_0}^1) = \gamma + h_{i_0 j_0}^1$$

10. Порівнюємо нижні межі підмножини контурів. Якщо

$$\varphi(\Omega_{i_0 j_0}^1) < \varphi(\Omega_{i_0 j_0}^1),$$

то подальшому розгалуження в першу чергу підлягає безліч. Якщо ж, то розбиття підлягає множина. Процес розбиття множин на підмножини супроводжується побудовою дерева розгалужень.

11. Якщо в результаті розгалужень отримуємо матрицю, то визначаємо отриманий розгалуженням гамільтонов контур і його довжину.

12. Порівнюємо довжину гамільтонова контуру з нижніми межами обірваних гілок. Якщо довжина контуру не перевищує їх нижніх меж, то задача вирішена. В іншому випадку розвиваємо гілки підмножин з нижньою межею, меншою отриманого контуру, до тих пір, поки не отримаємо маршрут з меншою довжиною або не переконаємося, що такого не існує.

Дана матриця відстаней, представлена в таблиці 3.1. Необхідно за допомогою алгоритму Літтла вирішити задачу комівояжера.

Таблиця 3.1

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	∞	7	16	21	2	17
2	13	∞	21	15	43	23
3	25	3	∞	31	17	9
4	13	10	27	∞	33	12
5	9	2	19	14	∞	51
6	42	17	5	9	23	∞

1) Справа до таблиці приєднуємо стовпець U_i , в якому записуємо мінімальні елементи відповідних рядків. Віднімаємо елементи U_i з відповідних елементів рядка матриці (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	U_i
1	∞	7	16	21	2	17	2
2	13	∞	21	15	43	23	13
3	25	3	∞	31	17	9	3
4	13	10	27	∞	33	12	10
5	9	2	19	14	∞	51	2
6	42	17	5	9	23	∞	5

2) Внизу отриманої матриці приєднуємо рядок V_j , в якій записуємо мінімальні елементи стовпців. Віднімаємо елементи V_j з відповідних стовпців матриці.

3) В результаті обчислень отримуємо матрицю, наведену по рядках і стовпцях (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6
1	∞	5	14	17	0^{19}	13
2	0^3	∞	8	0^2	30	8
3	22	0^4	∞	26	14	4
4	3	0^0	17	∞	23	0^4
5	7	0^7	17	10	∞	47
6	37	12	0^8	2	18	∞

4) Знаходимо константу приведення

$$\gamma = \sum_{i=1}^6 U_i + \sum_{j=1}^6 V_j = 35 + 4 = 39$$

Таким чином, нижньою межею безлічі всіх гамільтонових контурів буде число

$$\gamma = 39 = \varphi(\Omega^0) \leq z(X)$$

5) Знаходимо ступені нулів повністю приведеної матриці. Для цього як би замінюємо в ній все нулі на знак « ∞ » і встановлюємо суму мінімальних елементів відповідного рядка і стовпця. Ступені нулів записані в правих верхніх кутах клітин, для яких $c=0$.

6) Визначаємо максимальну ступінь нуля. Вона дорівнює 19 і відповідає клітині (1; 5). Таким чином, претендентом на включення в гамільтонів контур є дуга (1; 5).

7) Розбиваємо множину всіх гамільтонових контурів на дві (табл. 3.4). Матрицю з дугою (1; 5) отримуємо шляхом викреслення рядка 1 і стовпці 5. Щоб не допускати утворення негамільтонова контуру, замінюємо елемент (5; 1) на знак « ∞ ».

Таблиця 3.4

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	6
2	0	∞	8	0	8
3	22	0	∞	26	4
4	3	0	17	∞	0
5	∞	0	17	10	47
6	37	12	0	2	∞

8) Матрицю гамільтонових контурів отримаємо з таблиці 3,4 шляхом заміни елемента (1; 5) на знак « ∞ » (табл. 3.5).

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	
1	∞	5	14	17	∞	13	5
2	0	∞	8	0	30	8	
3	22	0	∞	26	14	4	
4	3	0	17	∞	23	0	
5	7	0	17	10	∞	47	
6	37	12	0	2	18	∞	
					14		

9) Робимо додаткове приведення матриці контурів. Нижня межа безлічі дорівнює

$$\varphi(\Omega_{15}^1) = 39$$

10) Знаходимо константу приведення для безлічі контурів

$$\Omega_{15}^1, h_{15}^1 = 5 + 14 = 19$$

Отже, нижня межа безлічі дорівнює

$$\varphi(\Omega_{15}^1) = 39 + 19 = 58$$

11) Порівнюємо нижні межі підмножин. Так як

$$\varphi(\Omega_{15}^1) = 39 < \varphi(\Omega_{15}^1) = 58$$

то подальшому розгалуження піддаємо цю множину.

На рис.3.3 представлено розгалуження по дузі (1; 5).

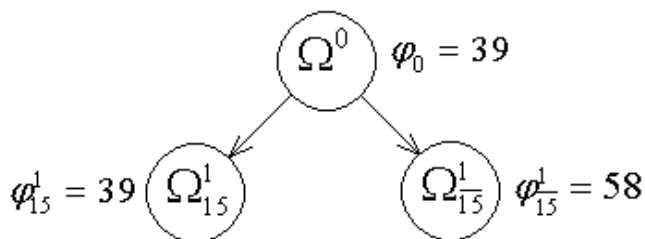


Рис. 3.3. Розгалуження по дузі (1; 5)

Переходимо до розгалуження підмножини. Його наведена матриця представлена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Матриця відстаней

$i \backslash j$	1	2	3	4	6
2	0^3	∞	8	0^2	8
3	22	0^4	∞	26	4
4	3	0^0	17	∞	0^4
5	∞	0^{10}	17	10	47
6	37	12	0^{10}	2	∞

12) Дізнаємося ступеня нулів матриці. Претендентами на включення в контур будуть кілька дуг (5; 2) і (6; 3). Для подальших розрахунків виберемо дугу (6; 3). Розбиваємо безліч на дві підмножини. Щоб не допустити утворення негамільтонова контуру, замінюємо елемент (3; 6) на знак « ∞ »

Відповідно

$$\varphi(\Omega_{63}^2) = 39, \quad \varphi(\Omega_{63}^2) = 39 + 10 = 49$$

Переходимо до розгалуження підмножини. Визначаємо ступеня нулів. Претендентом на включення в гамільтонів контур є дуга (5; 4). Розбиваємо множину на дві підмножини. Знаходимо нижні межі

$$\varphi(\Omega_{54}^4) = 49, \quad \varphi(\Omega_{54}^4) = 49 + 37 = 86$$

Визначимо отриманий контур. До нього увійшли дуги $\{(1,5)(6,3)(3,2)(5,4)(2,1)(4,6)\}$.

Довжина контуру дорівнює

$$c_{15} + c_{54} + c_{46} + c_{63} + c_{32} + c_{21} = 15 + 14 + 22 + 9 + 10 + 19 = 89$$

У результаті довжина оптоволоконного кабелю для реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів НАУ та КПІ за допомогою двозв'язної топології – моделі задачі комівояжера складає 8900 м.

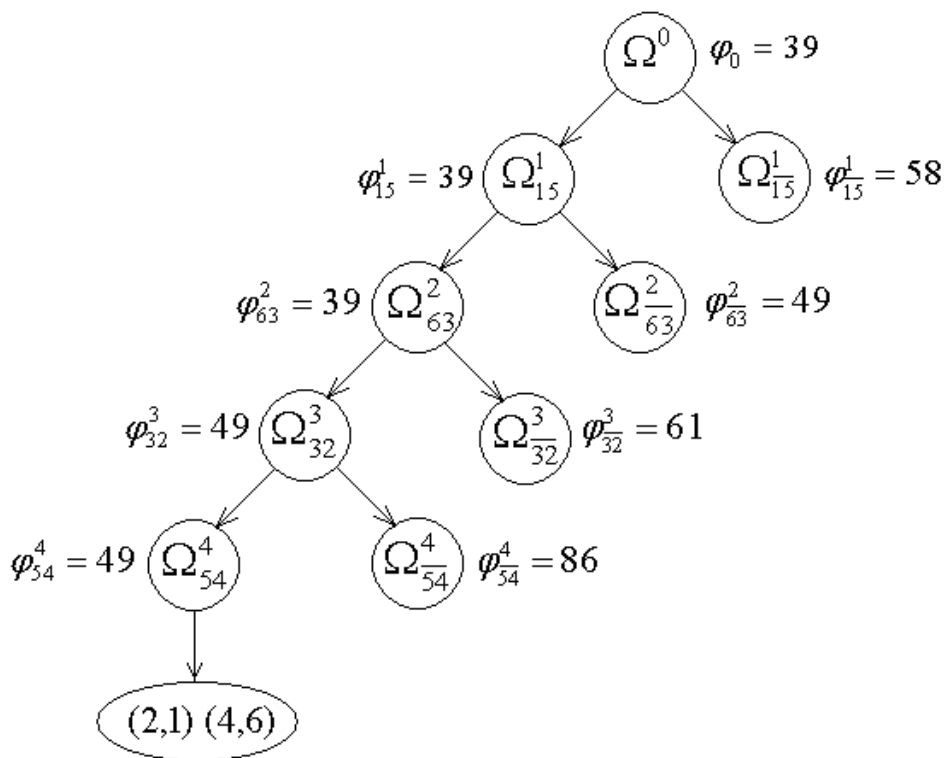


Рис. 3.4. Представлення результату у виді графу

3.2. Реалізація алгоритмів синтезу апаратного комплексу мережі з представленням відповідних структурних схем

Всі схеми підключення побудовані за допомогою сервісу *NagVis*. *NagVis* - це доповнення візуалізації для системи управління мережею *Nagios*.

NagVis може бути використаний для візуалізації даних *Nagios* для відтворення інформаційно-технологічних процесів, наприклад система пошти чи мережева інфраструктура.

Сервіс *NagVis*, використовуючи дані, що надходять із серверної частини, оновлює об'єкти, розміщені на картах, через певні проміжки часу для того, щоб відобразити поточний стан. Ці карти надають можливість розмістити об'єкти для відображення їх у різних схемах:

- фізичній (наприклад, усі хости в стійці / кімнаті / відділі);
- логічній (наприклад, усі сервери додатків);
- географічній (наприклад, усі хости в країні);

— бізнес-процеси (наприклад, усі хости/служби, які беруть участь у процесі) [12].

У цілому, *NagVis* є інструментом для надання інформації, яка збирається системою управління мережею *Nagios* і передається за допомогою серверних додатків.

Бекенд отримує інформацію з процесу *Nagios* або з бази даних (*NDOUtils / IDOUtils, merlin*).

Всі об'єкти з *Nagios*, наприклад хости, служби, групи хостів, групи служб, можна розміщувати на так званих картах.

Кожну з яких можна налаштувати за допомогою власного файлу конфігурації. Також файли конфігурації можна редагувати безпосередньо використовуючи будь-який текстовий редактор або механізм веб-конфігурації. Крім того, є змога додати на карти деякі спеціальні об'єкти *NagVis*. Ці об'єкти - це фігури, текстові поля та довідкові об'єкти для інших карт.

Кожен з об'єктів на картах можна налаштувати відповідно до потреб. Наприклад, є посилання на інтерфейс *Nagios* на кожному об'єкті, який представляє об'єкт *Nagios*. Ви можете легко налаштувати ці посилання.

Також є меню, яке ввімкнено за замовчуванням та відображає детальну інформацію про кожний об'єкт. Його можна легко змінити, змінивши для них шаблони.

За замовчуванням стан об'єктів відображається за допомогою піктограм на карті. Можна змінити ці піктограми, додавши набори іконок із домашньої сторінки *NagVis* або створивши власну. Стан об'єктів також може відображатися у вигляді ліній або у вигляді гаджетів [12].

Окрім звичайних карт, існують автокарти. Об'єкти розміщуються автоматично, починаючи з зазначеного вами кореневого хоста. Залежно від значення директиви "*filter_by_state*" він покаже всі об'єкти або тільки ті, які знаходяться в стані, відмінному від ОК (включаючи шлях від кореневого об'єкта).

Щоб мати змогу використовувати автоматичні карти, необхідно визначити батьківські директиви у хост-об'єктах *Nagios*.

Розробимо схеми підключення до мережі Інтернет між двома об'єктами та створення локальної мережі.

В наступному варіанті підключення до Інтернету будемо використовувати через два окремих провайдери.

Використовуючи локальну мережу двох об'єктів буде створено резервний канал Інтернет від одного із об'єктів на випадок аварійного відключення Інтернету зі сторони одного з провайдерів які надають послуги Інтернету (рис.3.5).

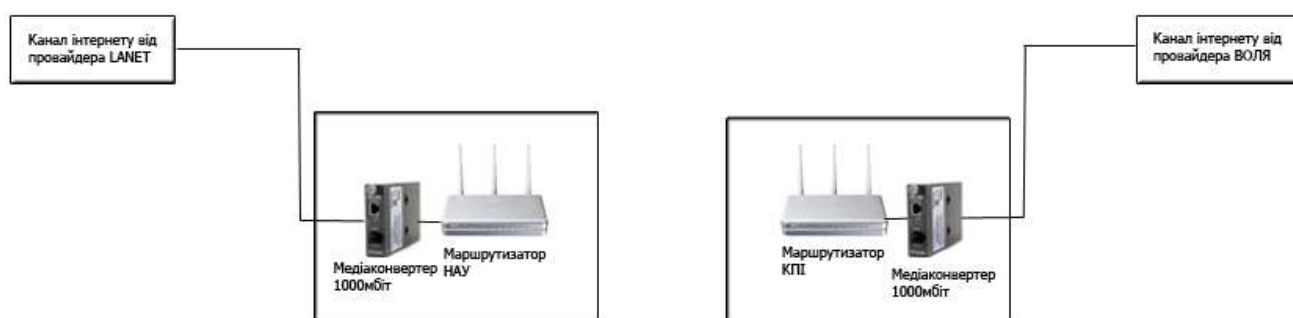


Рис. 3.5. Тип підключення об'єктів до мережі інтернет через окремі Інтернет-провайдери

Комутація підключення до оптоволокна здійснюється через медіаконвертер, який переконвертовує сигнал з оптичного інтерфейсу підключення в мідний інтерфейс підключення через коннектор.

Далі створюємо окремі канали передачі даних на нашому маршрутизаторі для впровадження локальної мережі між об'єктами та створення резервного каналу для доступу в інтернет на випадок аварійної ситуації на одному з каналів.

При створенні каналів ми задіємо технологію віртуальних локальних мереж – *VLAN*, для створення під-мереж в основній мережі (рис. 3.3). *VLAN* необхідні для створення логічної топології мережі, яка не буде залежати від фізичної топології.

Номери *VLAN*-мереж, які будуть використані в мережі:

- *VLAN* 2040 – резервний канал доступу в інтернет;
- *VLAN* 2041 – корпоративний канал локальної мережі для працівників;
- *VLAN* 2042 – гостьовий канал для окремих користувачів та студентів університету.

В мережі також існує гостьова підмережа (*VLAN 2042*), яка задіяна в гуртожитках через підключені до неї коммутатори гостьової мережі та використовується для студентів, маршрутизація данної мережі відбувається через основний маршрутизатор 1-го корпусу та має можливість управління, обмежень по швидкості трафіку, обмеження доступу до певних інтернет ресурсів.

Після впровадження *VLAN*-каналів з'явиться можливість підключати користувачів до мережі через мережеві коммутатори які будуть встановлені та підключені до певної мережі (рис. 3.6).

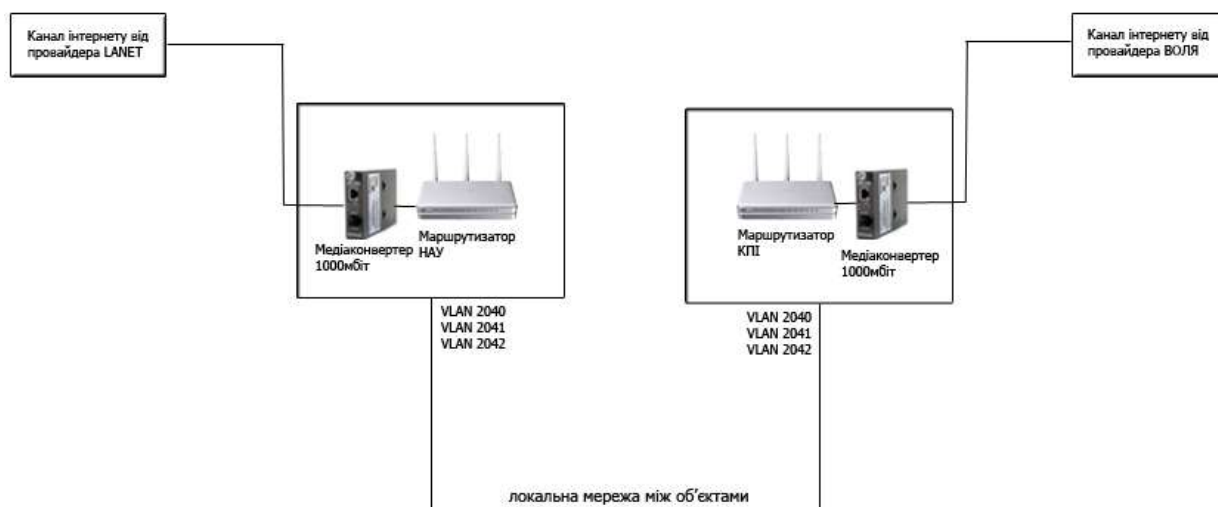


Рис. 3.6. Локальна мережа між об'єктами з резервним каналом доступу до мережі

Інтернет

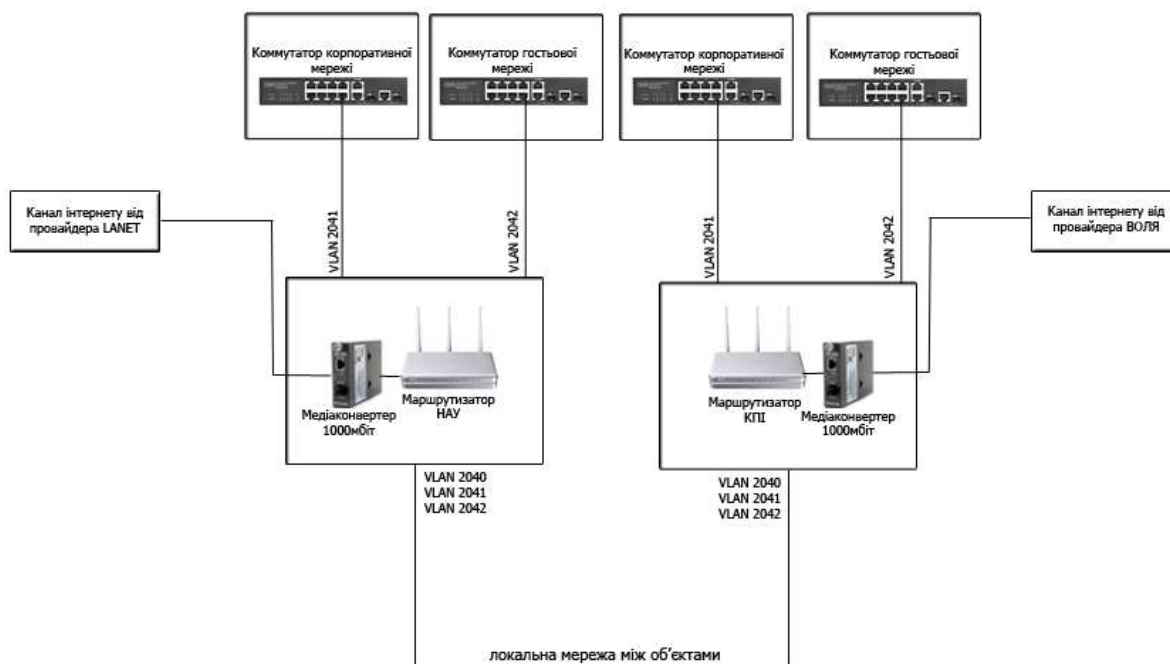


Рис 3.7. Підключення коммутаторів до мережі *VLAN 2041* та *VLAN 2042*

Після цього створимо детальну схему включення та прокладення мережі між об'єктами (рис. 3.8-3.9).

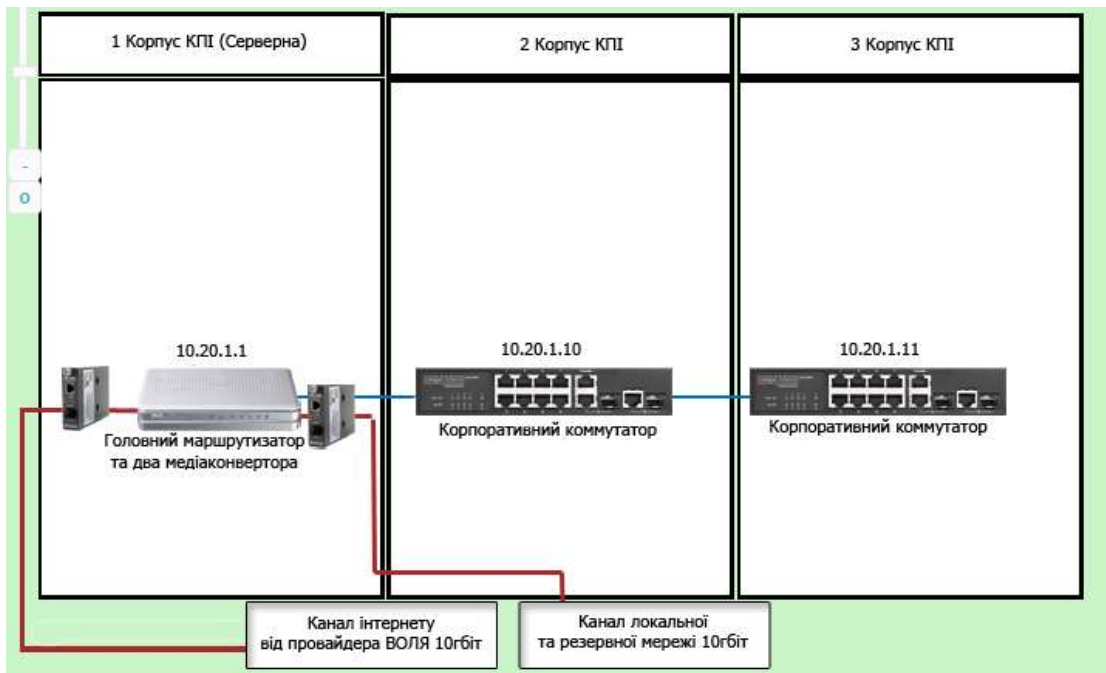


Рис. 3.8. Схема включення КПІ між маршрутизатором, коммутаторами в інших корпусах та локальною мережею з НАУ

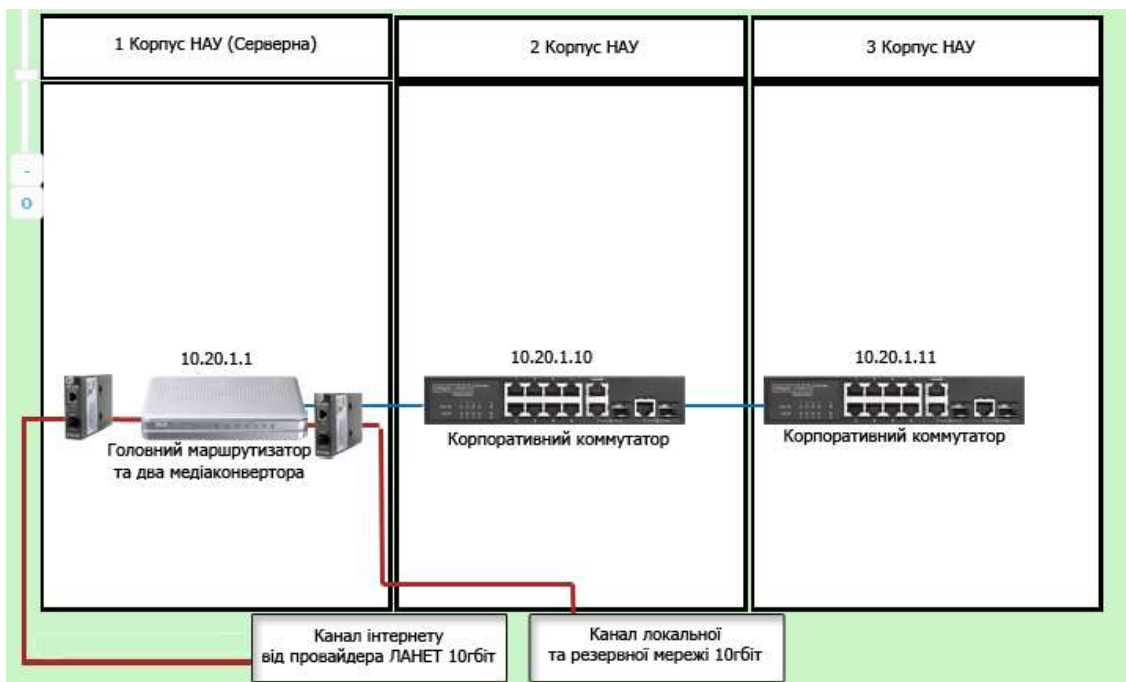


Рис. 3.9. Схема включення НАУ між маршрутизатором, коммутаторами в інших корпусах та локальною мережею з КПІ

Карта проведення оптоволокна для з'єднання об'єктів мережі гіпотетичного об'єднаного кампусу НАУ та КПІ методом побудови найкоротшого дерева приведена на рис. 3.10.

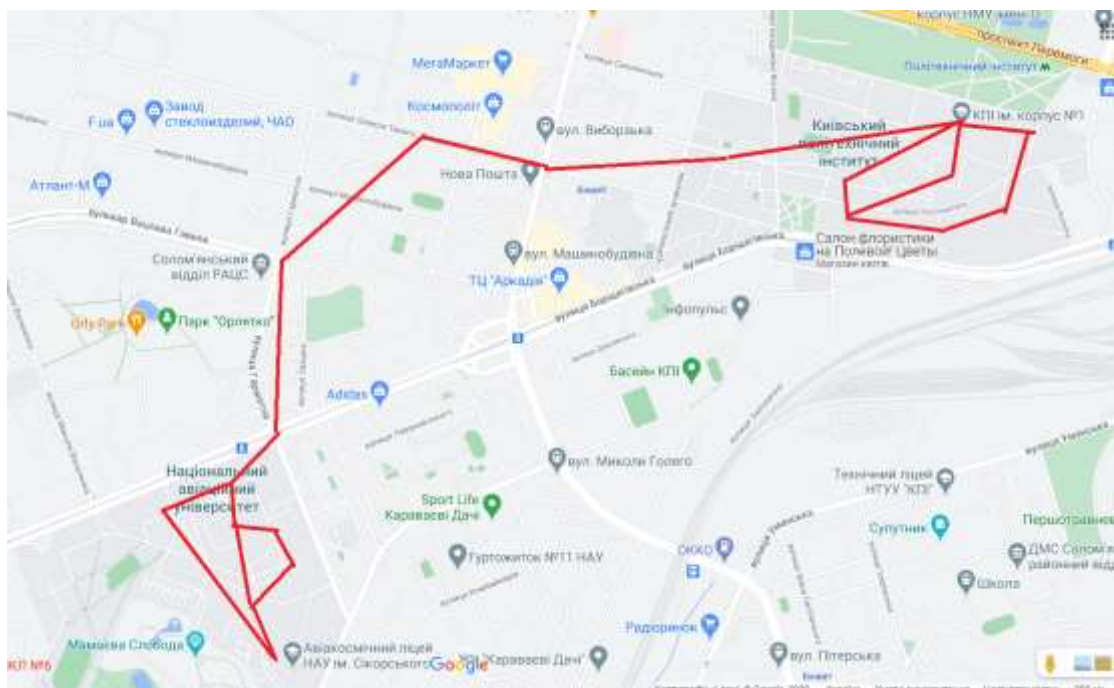


Рис. 3.10. Схема включення оптоволокна між об'єктами

Карта проведення оптоволокна для з'єднання об'єктів мережі гіпотетичного об'єднаного кампусу НАУ та КПІ методом задачі комьюаяжера приведена на рис. 3.11.

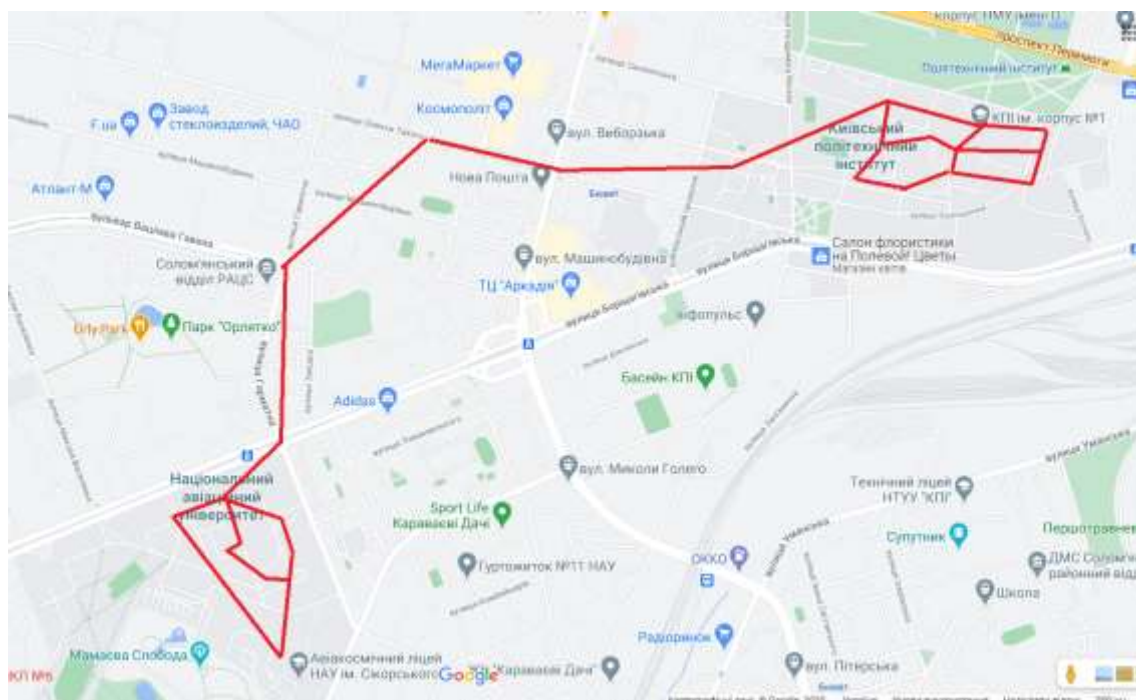


Рис. 3.11. Схема включення оптоволокна між об'єктами

Трудомісткість (або складність) в алгоритмі розв'язання задачі називається функція, яка має у відповідність кожному натуральному числу n час роботи $f(n)$ алгоритму в гіршому випадку на входах довжини n цього завдання. Інакше кажучи, $f(n)$ - максимальний час роботи алгоритму за всіма входами довжини n . У випадку алгоритму побудови мінімального остовного дерева трудомісткість дорівнює 14. У випадку задачі комівояжера – 17.

Порівнюючи ефективності вище розглянутих алгоритмів проаналізуємо графі та бачимо, що модель задачі побудови найкоротшого дерева є дещо доцільнішою та ресурсоефективною у порівнянні з моделлю задачі комівояжера.

Висновки за розділом

У даному розділі:

- проведено експериментальне дослідження вибраних в розділі 2 способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку;
- розроблено схеми структурних алгоритмів за умов одно- та двозв'язної топології апаратного комплексу мережі, використовуючи модель задачі побудови найкоротшого дерева та модель задачі комівояжера відповідно;
- проведено реалізацію вибраних алгоритмів синтезу апаратного комплексу мережі з представленням відповідних схем топологій комп'ютерної мережі гіпотетичного об'єднаного кампусу НАУ та КПІ, а також результатів порівняння трудомісткості відповідних алгоритмів.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено схеми топологій комп'ютерної мережі гіпотетичного об'єднаного кампусу НАУ та КПІ.

В рамках першого розділу розібрано базові поняття мережевих технологій. Розглянуто питання визначення надійності типових топологічних фрагментів мережі тактової синхронізації. Також проаналізовано архітектурні рішення розподілених комп'ютерних мереж великих кампусів.

У другому розділі роботи представлено архітектурні рішення для прокладки оптоволокна на великій відстані двох розподілених комп'ютерних мереж. Проведено порівняння найкращих існуючих рішень, наведено 3 приклади оптоволоконних кабелів. Також здійснено вибір інструментарію визначення способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку, а саме для визначення однозв'язних топологій обрано модель задачі побудови найкоротшого дерева, а для двозв'язних – модель задачі комівояжера і, власне, розглянуто методи для їх реалізації.

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження вибраних в розділі 2 способів реалізації архітектури апаратного забезпечення кампусів великих університетів на базі оптоволоконних ліній зв'язку. Розроблено схеми структурних алгоритмів за умов одно- та двозв'язної топології апаратного комплексу мережі, використовуючи модель задачі побудови найкоротшого дерева та модель задачі комівояжера відповідно.

Проведено реалізацію вибраних алгоритмів синтезу апаратного комплексу мережі з представленням відповідних схем топологій комп'ютерної мережі гіпотетичного об'єднаного кампусу НАУ та КПІ, а також результатів порівняння трудомісткості відповідних алгоритмів.

У загальному і цілому, можна сказати що організація розподілених мереж стала нововведенням для зв'язку між двома університетами.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базові поняття мережевих технологій [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: *mobiz.com.ua*; Режим доступу: <https://mobiz.com.ua/bazovi-poniattia-merezhevykh-tekhnologij.html>, вільний.
2. *Cisco Networking Academy Program CCNA* / за ред. С.Н. Тригуба – Москва: Издательский дом «Вильямс», 2005.
3. Хилл Б. Полный справочник Cisco. / Брайан Хилл: Пер. С англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 773 с.
4. Лісковський І. О. Узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології / І. О. Лісковський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – № 3. – С. 41-47.
5. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения Учебное пособие для вузов. 5-е изд. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – М : КноРус, 2013. – 441 с.
6. Беркман Л.Н., Лісковський І.О. Підвищення надійності функціонування мережі тактової синхронізації / Л.Н. Беркман, І.О. Лісковський // Збірник тез доповідей / Науково-технічний симпозиум "Нові технології в телекомунікаціях". – К.: ДУІКТ, – 2011. – С.72 – 75.
7. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. / Борис Филин. – М.: Радио и связь, 1988. – 204 с
8. Лісковський І.О. Внесення програмованої затримки в алгоритм обробки повідомлення про статус синхронізації / І.О. Лісковський // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка: зб. наукових праць. – Київ, 2008. – Вип. 11. – С. 46-50.
9. Сергеев А.П. Офисные локальные сети. Самоучитель. / Александр Сергеев. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 320 с.
10. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов 5-е изд. / В.Г.Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2016. – 992 с.

11. Беспроводная система передачи *Ethernet* трафика *carrier* класса [Интернет-ресурс] / Web-сайт: <http://manuals-help.ru>; Режим доступа: <https://manuals-help.ru/manuals/qttech/qttech-qwb-6100/m57316/>, вільний.
12. Основы *Nagvis* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: <http://docs.nagvis.org>; Режим доступа: http://docs.nagvis.org/1.9/en_US/index.html, вільний.
13. Основы волоконно-оптического кабелю [Интернет-ресурс] / Web-сайт: [http:// arcelect.com](http://arcelect.com); Режим доступа: [http:// www.arcelect.com/fibercable.htm](http://www.arcelect.com/fibercable.htm), вільний.
14. *Minimum spanning tree* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: <http://en.wikipedia.org>; Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Minimum_spanning_tree, вільний.
15. Капітонова Ю.В. Основы дискретної математики / Кривий С.Л., Летичевський О.А., Луцький Г.М., Печурін М.К.— К.: Наукова думка, 2002. — 567 с.
16. *Travelling salesman problem* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: <http://en.wikipedia.org>; Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem , вільний.
17. *Optimization Techniques for Solving Travelling Salesman Problem* [Интернет-ресурс] / Web-сайт: www.researchgate.net; Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/318558048_Optimization_Techniques_for_Solving_Travelling_Salesman_Problem.
18. Галяутдинов Р.Р. Задача коммивояжера - метод ветвей и границ [Интернет-ресурс] / Web-сайт: <http://galyautdinov.ru>; Режим доступа: <http://galyautdinov.ru/post/zadacha-kommivoyazhera>.