

УДК 519.688

О.А. СЕРКОВ<sup>1</sup>, В.С. ХАРЧЕНКО<sup>2</sup>, Г.І. ЧУРЮМОВ<sup>3</sup><sup>1</sup>Національний технічний університет «ХПІ», Україна<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», Україна<sup>3</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

*Проведено аналіз існуючих методів побудови телекомунікаційних мереж. При побудові мережі запропоновано використовувати елементи інтелектуальності. Зокрема, автоматично визначати топологію мережі і прогнозувати зміни її стану, адаптувати до зовнішніх впливів характеристики мережі; здійснювати поточне керування рівнем потужності сигналу випромінювання; виконувати динамічну зміну конфігурації мережі із урахуванням якості та зайнятості каналів.*

**Ключові слова:** зміна конфігурації мережі, якість та зайнятість каналу, прогнозування стану каналу, адаптація, регулювання потужності випромінювання.

### Вступ

Швидкі темпи розвитку інфокомунікаційних технологій передбачають необхідність суттєвого збільшення кількості мереж та їх ефективного використання. Одним із ймовірних шляхів підвищення рівня ефективного використання телекомунікаційних мереж є динамічна зміна її конфігурації. Причому, керування мережею, зміну її топології та програмно-апаратних засобів окремих її частин слід здійснювати із найменшим втручанням людини за рахунок впровадження механізмів авто-конфігурації та авто-оптимізації, які широко використовують в самоорганізуючих мережах (SON – Self Organizing Network).

При цьому слід зазначити, що механізм динамічного управління сучасним станом мережі досить складний і може бути використаний тільки в інтелектуальних мережах. Суттєвими ознаками таких мереж є здатність знаходити та аналізувати інформацію про поточний стан мережі, прогнозувати технічні зміни у каналі зв'язку та оптимальним чином адаптуватися до зовнішніх змін середовища. Таким чином, сама мережа повинна виконувати аналіз каналу зв'язку, здійснювати оцінку каналної інформації та прогнозувати стан каналу зв'язку, на ґрунті якого обирати оптимальний маршрут між користувачами для одержання максимальної сукупної швидкості передачі інформації у телекомунікаційній мережі.

**Аналіз літератури. Постановка задачі.** Сучасне широке запровадження волоконно-оптичних ліній зв'язку вимагає основну увагу приділити поліпшенню таких технічних характеристик мереж, як швидкість та надійність передачі інформації. При

цьому основною умовою нормального функціонування мережі є рівень перевищення інформаційного сигналу над завадами, які існують у мережі.

У волоконно-оптичному тракту загасання інформаційного сигналу характеризують коефіцієнтом загасання [1-4]. Загасання може бути як плавним, так і стрибкоподібним. Воно залежить від впливу оточуючого середовища, де знаходиться кабель, зокрема перепади температури і механічні навантаження, та природного старіння волокна. Крім того, на рівень деградації оптичного каналу зв'язку суттєво впливають наявність іонізуючого випромінювання, наприклад, ядерний вибух чи джерела жорсткого рентгенівського випромінювання, які викликають помутніння оптичного волокна. Однак особливістю впливу іонізуючого випромінювання є здатність мережі поновлювати свої властивості через деякий час після його завершення.

Основним шляхом для підтримання рівня нормального функціонування оптоволоконної мережі за умов її плавної деградації є поточне керування потужністю джерел випромінювання. Кінцеве обладнання мережі має, як звичай, запас потужності джерел випромінювання.

Та коли втрати оптичної потужності переданого сигналу досягають певної межі, канал стає непрацездатним.

Канал також стає непрацездатним і за умов стрибкоподібного загасання, яке може бути викликано обривом чи людським фактором. Таким чином, для підвищення рівня надійності передачі інформації у волоконно-оптичних мережах слід здійснювати поточну адаптацію рівня потужності джерел випромінювання кінцевих пристроїв на ґрунті поточного

контролю мережі та складеного прогнозу її поведінки.

Існуючі способи контролю мережі з традиційними волоконно-оптичними лініями зв'язку [5 – 7] ґрунтуються на формуванні на кожному вузлі мережі зонд-сигналів із адресами суміжних вузлів, їх розсилки та одержанні через деякий час віддзеркалених зонд-сигналів. За рівнем одержаних сигналів та часом їх приходу здійснюють загальний прогноз та визначають топологію мережі на прогнозований проміжок часу. З урахуванням проведеного аналізу часу приходу та рівня віддзеркаленого сигналу у кожному з вузлів мережі здійснюють оновлення записаних даних про якість зв'язку, перерахунок маршрутної таблиці і відправку перерахованого зонд-сигналу далі по тракту та у зворотному напрямку до вузла мережі, з якого його було надіслано. Таким чином, застосування окремих елементів самоорганізуючих інтелектуальних телекомунікаційних мереж у реальних технічних рішеннях дозволяє підвищити швидкість та надійність роботи усієї мережі.

**Метою статті** є розробка пропозицій щодо принципів побудови інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

### Основна частина

Одним із шляхів вирішення задачі підвищення швидкості та надійності передачі інформації у телекомунікаційній мережі є оптимізація маршруту передачі. При цьому кожен з приймально-передавальних пристроїв вузла мережі визначає одне або більше "маршрутних дерев" (labeled routing trees) найкоротшого шляху зв'язку з іншими приймально-передавальними пристроями із подальшим надсиланням іншим вузлам мережі побудовані "маршрутні дерева". Останні записують одержану інформацію та формують спільне "маршрутне дерево" найкоротшого шляху обміну інформацією.

Це забезпечує передачу інформації іншим приймально-передавальним пристроям вузлів мережі за найкоротшим шляхом із певною швидкістю. Але при цьому не враховують ступінь завантаженості каналів зв'язку, через що реальна швидкість передачі інформації між приймально-передавальними пристроями може бути помітно знижена.

Слід також зазначити, що в телекомунікаційних мережах між будь-якою парою вузлів мережі часто існує інший приймально-передавальний пристрій вузла, здатний обмінюватися з кожним із них інформацією з більш високою швидкістю, що дозволяє підвищити швидкість передачі інформації усього тракту.

Оптимізують маршрут шляхом посилки переданих даних за сегментами маршруту оптимальної

якості. Оптимальні сегменти маршруту визначають на основі порівняння відповідних даних у таблиці якості зв'язку між абонентами.

Припустимо, що до складу мережі включено множину приймально-передавальних пристроїв, здатних здійснювати зв'язок безпосередньо один з одним. Спочатку визначають топологію та якість зв'язку між усіма суміжними вузлами мережі шляхом посилання прямого і приймання зворотного зонд-сигналу та обчислюють коефіцієнт загасання сигналу у кожному з каналів.

Цикл опитування каналів обирають на декілька порядків більшим, ніж час, що витрачено на повернення зворотного зонд-сигналу.

Прогнозування стану каналу здійснюють на ґрунті порівняння двох відліків характеристик кожного тракту – попереднього та наступного. Факт підвищення деградації параметрів оптоволоконна свідчить про можливий вихід тракту з ладу. Та коли різниця прогнозування попередніх та наступних значень коефіцієнта загасання перевищує поріг у 13% від максимального значення коефіцієнта загасання у даному каналі, підвищують потужність оптичного передавального пристрою цього каналу мережі.

У випадку, коли вичерпано можливості збільшення рівня оптичної потужності, а значення коефіцієнта загасання у даному каналі перевищує 95% від максимального значення коефіцієнта загасання у даному каналі, такий тракт стає неприцездатним і вимикається з мережі. У подальшому здійснюють запис у вигляді таблиці даних про якість зв'язку між усіма парами приймально-передавальних пристроїв даної мережі.

Причому якість каналу зв'язку оцінюють коефіцієнтом затухання каналу чи швидкістю передачі в каналі.

Приклад такого запису наведено на рис. 1. Він є двовимірним масивом, який містить інформацію про якість зв'язку між усіма парами приймально-передавальних пристроїв.

У подальшому визначають коефіцієнт незайнятості кожного каналу мережі та здійснюють запис у кожного з приймально-передавальних пристроїв мережі отриманих даних про коефіцієнт незайнятості кожного каналу мережі у вигляді таблиці, яка також являє собою двовимірний масив коефіцієнтів незайнятості каналів між кожною парою вузлів мережі (рис. 2).

На основі записаних поточних значень даних про якість зв'язку та незайнятість каналів створюють узагальнену таблицю (рис. 3) добутку пар коефіцієнтів, за максимальним значенням яких здійснюють пошук оптимального маршруту, що забезпечує максимально можливу швидкість передачі інформації.

Приймально-передавальні пристрої	1	2	3		N-1	N
1		1 Мбіт/с	—		—	48 Мбіт/с
2	1 Мбіт/с		2 Мбіт/с		24 Мбіт/с	54 Мбіт/с
3	—	2 Мбіт/с			18 Мбіт/с	36 Мбіт/с
N-1	—	24 Мбіт/с	18 Мбіт/с			6 Мбіт/с
N	48 Мбіт/с	54 Мбіт/с	36 Мбіт/с		6 Мбіт/с	

Рис. 1. Таблиця якості каналів зв'язку мережі

Приймально-передавальні пристрої	1	2	3		N-1	N
1		0,9	—		—	0,5
2	0,9		0,6		0,7	0,1
3	—	0,6			0,8	0,2
N-1	—	0,7	0,8			0,4
N	0,5	0,1	0,2		0,4	

Рис. 2. Таблиця незайнятості каналів зв'язку мережі

Швидкість передачі інформації від одного з приймально-передавальних пристроїв мережі іншому оптимізують шляхом посилки переданих даних за сегментами оптимального маршруту від одного приймально-передавального пристрою мережі до іншого.

Оптимальний маршрут передачі створюють у реальному масштабі часу, використовуючи послідовність пристроїв-посередників для ретрансляції інформації адресатові. При цьому пристрій-посередник обирають таким чином, щоб він знаходився на оптимальному маршруті між пристроєм-відправником і адресатом, а відбір здійснюють на підставі

записаних даних про якість зв'язку та про незайнятість каналів між усіма парами приймально-передавальних пристроїв безпроводної мережі.

Приймально-передавальні пристрої	1	2	3		N-1	N
1		1 Мбіт/с × 0,9	—		—	48 Мбіт/с × 0,5
2	1 Мбіт/с × 0,9		2 Мбіт/с × 0,6		24 Мбіт/с × 0,7	54 Мбіт/с × 0,1
3	—	2 Мбіт/с × 0,6			18 Мбіт/с × 0,8	36 Мбіт/с × 0,2
N-1	—	24 Мбіт/с × 0,7	18 Мбіт/с × 0,8			6 Мбіт/с × 0,4
N	48 Мбіт/с × 0,5	54 Мбіт/с × 0,1	36 Мбіт/с × 0,2		6 Мбіт/с × 0,4	

Рис. 3. Узагальнена таблиця

Дані про якість зв'язку та про незайнятість каналів у мережі періодично оновлюють. Оновлення даних про якість зв'язку та про незайнятість здійснюють шляхом періодичного повторення циклу пошуку оптимального маршруту. Дані, які визначені у попередньому циклі, замінюють на дані, отримані у поточному циклі, та використовують як поточні значення.

Таким чином, використання елементів інтелектуальних пристроїв у телекомунікаційній мережі, дозволяє істотно збільшити швидкість передачі інформації, задіяти найбільш можливу кількість наявних каналів зв'язку і оптимально розподілити навантаження по мережі.

Наприклад, за наявністю завад, якість зв'язку між приймально-передавальними пристроями 1 і 2 така, що обмін інформацією між ними може здійснюватися тільки зі швидкістю 1 Мбіт/с, а між приймально-передавальними пристроями 2 і 3 – не більш, ніж 2 Мбіт/с. У таких мережах дані передають пакетами.

Так, пристрій 2 перед відправленням пакета 3, перевіряє по відповідній таблиці якість зв'язку з адресатом. За наявністю завад канал допускає передачу пакетів із швидкістю 2 Мбіт/с. Тому по таблиці якості зв'язку (рис. 1) пристрій 2 знаходить посередника – приймально-передавальний пристрій N, здатного передати пакет даних пристрою 3 із більш високою швидкістю:

- від пристрою 2 до пристрою N – 54 Мбіт/с;
- від пристрою N до пристрою 3 – 36 Мбіт/с.

По таблиці коефіцієнтів незайнятості каналів (рис. 2) для знайденого маршруту коефіцієнти незайнятості становлять:

від пристрою 2 до пристрою N – 0,1;

від пристрою N до пристрою 3 – 0,2.

Таким чином реальна швидкість передачі інформації для даного маршруту становить:

від пристрою 2 до пристрою N –  $54 \times 0,1 = 5,4$  Мбіт/с,

від пристрою N до пристрою 3 –  $36 \times 0,2 = 7,2$  Мбіт/с.

За даними узагальненої таблиці (рис. 3) пристрій 2 знаходить іншого посередника – пристрій N-1, який здатний передати пакет даних пристрою 3 із номінальними швидкостями:

від пристрою 2 до пристрою N-1 – 24 Мбіт/с,

від пристрою N-1 до пристрою 3 – 18 Мбіт/с.

Для знайденого маршруту коефіцієнти незайнятості становлять:

від пристрою 2 до пристрою N-1 – 0,7,

від пристрою N-1 до пристрою 3 – 0,8.

Реальна швидкість передачі інформації для даного маршруту становить:

від пристрою 2 до пристрою N-1 –  $24 \times 0,7 = 16,8$  Мбіт/с;

від пристрою N-1 до пристрою 3 –  $18 \times 0,8 = 14,4$  Мбіт/с.

Маршрут через пристрій-посередник N-1 забезпечує максимально можливу швидкість передачі інформації між пристроєм 2 і пристроєм 3, тому його визначають оптимальним. У цьому випадку пристрій 2 доповнює пакет даних службовою інформацією про адресат і відправляє пакет через пристрій N-1 пристрою 3.

В іншому випадку, наприклад під час передачі інформації від пристрою 1 пристрою N, якість зв'язку, за даними таблиці, складає 48 Мбіт/с, а коефіцієнт незайнятості маршруту становить 0,5. Тому пристрій 1 передає пакет даних пристрою N безпосередньо, не залучаючи посередника.

## Висновок

За результатами аналізу існуючих методів побудови телекомунікаційних мереж обґрунтовано найбільш придатні шляхи їх практичної реалізації.

Так при проектуванні мереж запропоновано використовувати елементи інтелектуальності. Зокрема, активно впроваджувати методи автоматизованого динамічного визначення топології мережі та поточне прогнозування її стану.

При цьому рекомендовано адаптацію до дії зовнішніх деструктивних впливів здійснювати шляхом поточного регулювання рівня потужності випромінювання оптичного сигналу та динамічної зміни конфігурації мережі з урахуванням якості та зайнятості каналів зв'язку.

## Література

1. Теория прогнозирования и принятия решений / под. ред. Саркисяна С.А. – М.: Воениздат. – 1975. – 116 с.
2. Мурадян А.Г. Оптические кабели многоканальных линий связи / А.Г. Мурадян, И.С. Гольдфарб, В.П. Иноземцев. – М.: Радио и связь. – 1987. – 150 с.
3. Карасюк Б.А. Оптические системы связи и световодные датчики / Б.А. Карасюк, Г.И. Корнеев. – М.: Радио и связь. – 1985. – 146 с.
4. Верник С.М. Оптические кабели связи / С.М. Верник, В.Я. Гитин, В.С. Иванов. – М.: Радио и связь. – 1988. – 220 с.
5. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений / И.А. Мизин и др. – М.: Связь. – 1972. – 282 с.
6. Пат. 2003110314 Российская Федерация, МПК 7 H04L 12/46. Способ и система для обмена информацией между сетями связи / Никлассон Свен. Патент.
7. Пат. 2300838 Российская Федерация, МПК 7 H04B 3/46. Способ контроля волоконно-оптической сети обмена информацией. / И.В. Сеницын, Л.Н. Демидов.

Надійшла до редакції 19.01.2010

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. І.В. Яковенко, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія», Харків.

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ***А.А. Серков, В.С. Харченко, Г.И. Чурюмов*

Проведен анализ существующих методов построения телекоммуникационных сетей. При построении сети предложено использовать элементы интеллектуальности. В частности, автоматически определять топологию сети и прогнозировать изменения её состояния, адаптировать к внешним воздействиям характеристики сети; осуществлять текущее регулирование уровня мощности излучаемого сигнала; проводить динамическое изменение конфигурации сети с учетом качества и занятости каналов.

**Ключевые слова:** изменение конфигурации сети, качество и занятость канала, прогнозирование состояния канала, адаптация, регулирование мощности излучения.

**PRINCIPLES OF THE BUILDING  
OF THE INTELLECTUAL FIBER-OPTIC NETWORK***A.A. Serkov, V.S. Kharchenko, G.I. Churyumov*

The existing methods of the telecommunication networks building are analysed. At building of the network it is offered to use the elements of intellectual systems, in particular, automatically to define the topology of network and to forecast change of its condition to adapt network to external influence, to realize the current regulation of a powers of the radiated signal, and to conduct dynamic reconfiguration of network taking into account quality and employment of the channels.

**Keywords:** reconfiguration of network, quality and employment of the channel, forecasting of the condition, adaptation, regulation of powers.

**Серков Александр Анатольевич** – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы информации» Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: saa@kpi.kharkov.ua.

**Харченко Вячеслав Сергеевич** – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы и сети» Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: V.Kharchenko@khai.edu.

**Чурюмов Геннадий Иванович** – доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: g.churyumov@ieee.org.