

УДК 681.32.0+621.39

М. М. Климаш, д. т. н., доц.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методи збільшення ефективності оптичної інфокомунікаційної транспортної мережевої системи на практично всіх можливих рівнях мережевої взаємодії. Надані результати вдосконалення фізичного шару за рахунок розробки системи компенсації поляризаційно-модової дисперсії. Описано метод аналізу топології мережі для управління розвитком структури мережі за поточними та надійнішими критеріями.

Проблема ефективного розвитку мережі з'являється зі збільшенням інфокомунікаційних вимог. Існування великої кількості технічних (техніко-економічних) проблем розвитку, в тому числі і майбутніх, вказує шлях до всебічного аналізу транспортних телекомунікаційних систем.

Очевидно, що недосяжна для інших систем пропускна спроможність оптичних транспортних широкосмугових трактів забезпечує технічну здійсненність передачі даних зі швидкістю, більшою десятків гігабіт. Гнучкість мережі збільшується з використанням спеціального комутаційного устаткування, що сконфігуроване відповідно до потреб транспортної інфраструктури.

Припускаючи, що транспортні оптичні системи розвиваються у належному концептуальному напрямі, візьмемо до уваги відповідну конфігурацію фізичного шару, що проектуємо, так само як і топологічний, логічний потоково-смісний аналіз структури оптичної мережі.

Переваги часового розділення зменшуються зі зростанням дисперсії оптичних волокон. Ми можемо забезпечити компенсацію дисперсії використанням підібраних секцій волокон з негативною дисперсією, але це викликає відносно високі оптичні енергетичні втрати і не забезпечує компенсацію поляризаційно-модової дисперсії (ПМД). Між іншим, очевидно, що величина ПМД суттєво впливає на максимальні швидкості каналів передавання даних.

Щоб отримати зменшення ПМД, запропоновано [1] схему компенсації із зворотним зв'язком і керованим електрооптичним модулятором. Блок-схема згаданої системи показана на рис. 1.

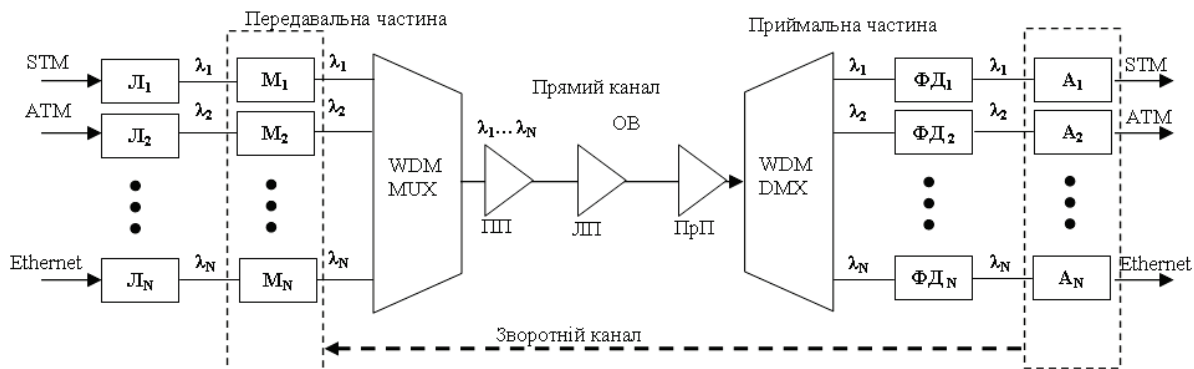


Рис. 1. Блок-схема системи для компенсації ПМД

Якщо представити розподіл диференційної групової затримки для систем передавання даних зі схемою компенсації PMD і без неї, то отримаємо таку картину (рис. 2).

З рис. 3 випливає, що ефективність компенсації для схеми (див. рис. 2) залежить від кількості вхідних оптичних сигналів системи передачі.

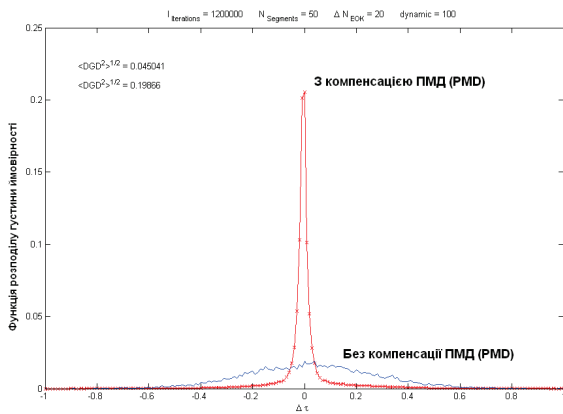


Рис. 2. Розподіл диференційної групової затримки для системи передачі даних з (без) компенсацією ПМД, динаміка змін дорівнює до 100

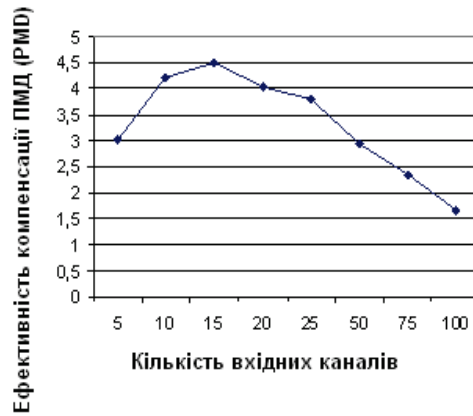


Рис. 3. Залежність ефективності компенсації від кількості вхідних сигналів

Слід зазначити, що ПМД може зменшуватись до 1,4...7 разів. Звичайно, використання систем компенсації ПМД може бути корисне для збільшення пропускної спроможності системи.

Загальні якісні показники функціонування оптичної системи — співвідношення сигнал/шум для приймального кінця може бути описане формулою

$$BER = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}}, \quad (1)$$

де Q -фактор — параметр системи, який визначається статистичними законами на приймальному кінці і пов'язаний із системою прийняття рішення відносно сигнального рівня в кожний момент часу.

Ця регулярність включає всі шумові втручання системи. У свою чергу, існує аналітична формула для визначення значення Q -фактора

$$Q = f(OSNR) = \frac{2 \frac{P_{so}}{P_{no}} (\Delta\nu_{och})^{-0,5}}{1 + \left(1 + 4 \frac{P_{so}}{P_{no}}\right)^{-0,5}} \quad (2)$$

Відповідно, Q -фактор в децибелах можна записати, як $20 \lg(f(OSNR))$ з виразу (2). [2]. Отже, потрібно розглядати комплекс параметрів системи DWDM, які впливають на значення P_{so} , P_{no} , $\Delta\nu_{och}$, що входять у співвідношення (2).

Запропоновано обчислювати загальний рівень шумових втручань

$$P_{CNI} = N(k_1(N)K_{NIOSS} + 2k_2K_{NIOIM} + Mk_3K_{NIOA} + k_4(N)K_{NIPD}) + K_{NIOF}(L_{\Sigma}, P_{OSS}), \quad (3)$$

де N — кількість частотних каналів; $k_1...k_4$ — коефіцієнти пропорційності; K_{NIOSS} — значення коефіцієнта шумових втручань для оптичних джерел випромінювання; K_{NIOIM} — коефіцієнт шумових втручань оптичного мультиплексора; K_{NIOA} — коефіцієнт шумо-завад для оптичного підсилювача; M — кількість підсилювачів; K_{NIPD} — коефіцієнт шумових втручань для фотодетекторів; K_{NIOF} — коефіцієнт шумових інтерференційних втручань для оптичних волокон.

Всі коефіцієнти потрібно приводити для абсолютних значень потужності.

Значення K_{NIOF} існує та обчислюється завдяки врахуванню трьох основних нелінійних явищ в єдиному коефіцієнті шумо-завад оптичного волокна

$$K_{NIOF} = K_{SRS} + K_{SBS} + K_{FWM}, \quad (4)$$

де K_{SRS} — вплив Раманівського розсіювання (SRS — Stimulated Raman Scattering); K_{SBS} — вплив розсіювання Брілюена (SBS — Stimulated Brillouin Scattering); K_{FWM} — вплив чотирихвильового

змішування.

Можна зробити висновок, що запропоновані вирази можуть описувати оптичну широкосмгову передачу і надають можливість оптимізувати конфігурації устаткування оптичної *DWDM*-системи. Практична реалізація даного підходу була втілена в створеному програмному інструменті: оптимізуються досягнуті максимальна швидкість передавання даних, канална потужність і комунікаційна відстань [3].

За матричним методом [4] та даними [5] проаналізовано міську мережу м. Львова та інші транспортні мережі, отримано такі картини апіорних топологічних структурних навантажених для варіантів:

а) схема топології транспортної мережі м. Львова з двома кільцями (рис. 4), тривимірна картина апіорної топологічної структурної навантаженості показана на рис. 5, проекція на координатну площину показана на рис. 6.

б) схема топології транспортної мережі м. Львова з трьома кільцями (рис. 7) має підвищену структурну надійність мережі (рис. 8). Відповідна проекція на координатну площину показана на рис. 9.

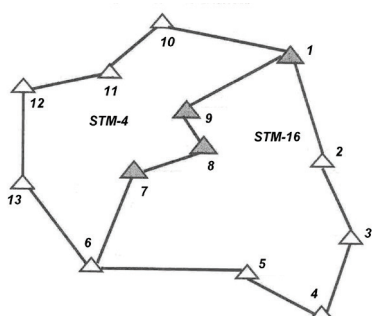


Рис. 4. Топологія мережі з двома кільцями

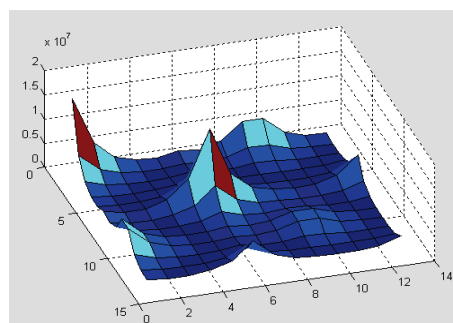


Рис. 5. Апіорна топологічна навантаженість для схеми рис. 4. (Тривимірна проекція значень поля топології графу)

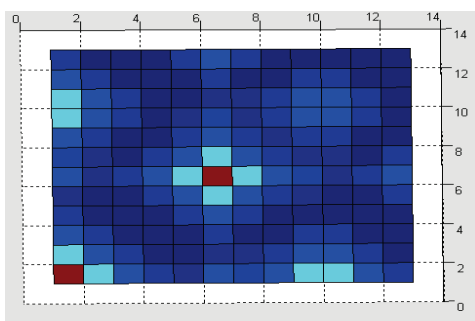


Рис. 6. Проекція рис. 5 на координатну площину

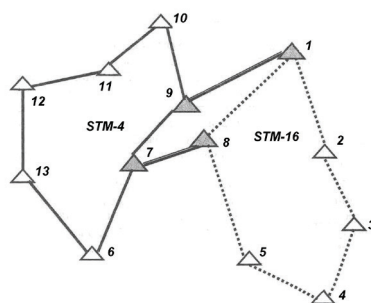


Рис. 7. Топологія мережі з трьома кільцями

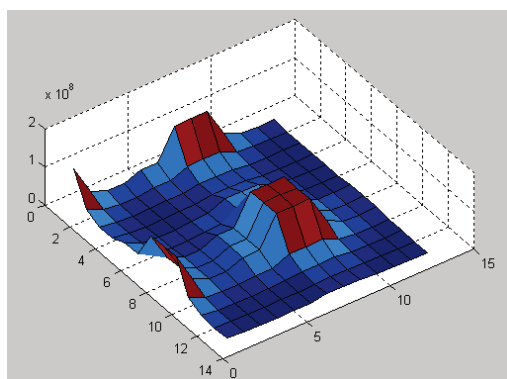


Рис. 8. Апіорна топологічна навантаженість для схеми рис. 7. (Тривимірна проекція значень поля топології графу)

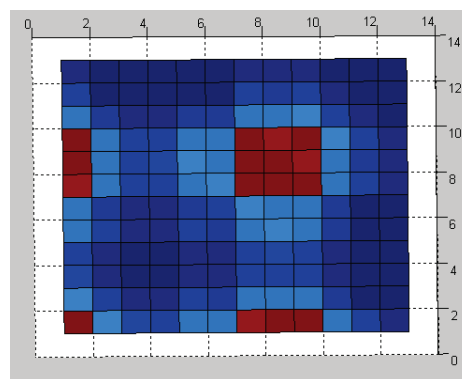


Рис. 9. Проекція рис. 8 на координатну площину

Підкреслюється критичність вузлів 8—9 (рис. 8, 9) і введені дві дублюючі ланки згідно картини

рис. 5 та технічних можливостей. Фактично, формувати дублюючі ланки є можливим, виходячи лише з фіксованої кількості економічно виправданих варіантів.

Якщо розрахувати загальну диференційну функцію [4] поверхні зображеної на рис. 8, то можна помітити, що вона є *більшою*, ніж для випадку поверхні зображеної на рис. 5, внаслідок наявності продубльованих критичних зв'язків. Зміна *диференційної функції* [4] поверхні вказує на зміну надійнісних показників обраної мережевої структури, дає змогу оцінити можливий виграш.

Отримані числові значення проаналізуємо відповідно до існуючих даних [5] Львівської транспортної мережі (табл. 1).

Таблиця 1

Дані про налагоджені E1-трактові зв'язки згідно схеми рис. 4

Номери вузлів	7	6	13	12	11	10	1	9	8	2	3	4	5
7		61	40	16	25	18	70	26	13	34	22	33	18
6	61		18	7	6	13	36		17	2		7	
13	40	18		2		7	18		13				
12	16	7	2				7	1	7	4			
11	25	6					15		7				
10	18	13	7				24		7			2	3
1	70	36	18	7	15	24		29	32	32	1	22	14
9	26			1			29		18	30	4	1	
8	13	17	13	7	7	7	32	18		11	7	8	11
2	34	2		4			32	30	11		1	10	4
3	22						1	4	7	1			
4	33	7				2	22	1	8	10			
5	18					3	14		11	4			

Згідно з результатами аналізу наявної схеми зв'язків (рис. 4) за допомогою системи MATLAB отримуємо такі значення апріорних топологічних структурних завантажених (табл. 2). Отримані значення, піднесені до квадрату — для забезпечення відповідності властивостей вузлів (в яких при комутації можливі вимоги до створення N^2 потоків при введенні N каналотворювальних трактів) властивостям статичного стану системи в момент повної структурної завантаженості — в більшій частині відповідають даним за налагодженими трактовими E1 зв'язками табл. 1 (з урахуванням позначень схеми рис. 4).

Таблиця 2

Значення апріорних топологічних завантажених, що розраховані за схемою рис. 4 (нормовані значення поля топології графа схеми рис.4)

80.6452	29.5264	10.9046	4.4604	3.4677	7.7735	5.6529	11.2099	29.5944	29.5264	10.9046	4.4604	3.4677
29.5264	10.8682	4.1064	1.8016	1.5491	3.4677	2.2752	4.1551	10.8365	10.7923	3.9841	1.6801	1.4743
10.9046	4.1064	1.7652	1.1951	1.8016	4.4604	1.9698	1.9018	4.0870	3.9841	1.5677	0.9981	1.6801
4.4604	1.8016	1.1951	1.7652	4.1064	10.9046	4.0870	1.9018	1.9698	1.6801	0.9981	1.5677	3.9841
3.4677	1.5491	1.8016	4.1064	10.8682	29.5264	10.8365	4.1551	2.2752	1.4743	1.6801	3.9841	10.7923
7.7735	3.4677	4.4604	10.9046	29.5264	80.6452	29.5944	11.2099	5.6529	3.4677	4.4604	10.9046	29.5264
5.6529	2.2752	1.9698	4.0870	10.8365	29.5944	10.9932	4.5173	3.1273	2.2752	1.9698	4.0870	10.8365
11.2099	4.1551	1.9018	1.9018	4.1551	11.2099	4.5173	2.9106	4.5173	4.1551	1.9018	1.9018	4.1551
29.5944	10.8365	4.0870	1.9698	2.2752	5.6529	3.1273	4.5173	10.9932	10.8365	4.0870	1.9698	2.2752
29.5264	10.7923	3.9841	1.6801	1.4743	3.4677	2.2752	4.1551	10.8365	10.8682	4.1064	1.8016	1.5491
10.9046	3.9841	1.5677	0.9981	1.6801	4.4604	1.9698	1.9018	4.0870	4.1064	1.7652	1.1951	1.8016
4.4604	1.6801	0.9981	1.5677	3.9841	10.9046	4.0870	1.9018	1.9698	1.8016	1.1951	1.7652	4.1064
3.4677	1.4743	1.6801	3.9841	10.7923	29.5264	10.8365	4.1551	2.2752	1.5491	1.8016	4.1064	10.8682

Висновки

Описано методи цілісного аналізу транспортної мережі. Вони побудовані у відповідності з ISO Open Systems Interconnection моделлю взаємодії відкритих систем.

Покращення на фізичному рівні є підґрунтям для логічного аналізу структури мережі — розробки топології та управління потоками.

DWDM тракт описано коефіцієнтом функціонування оптичного каналу *BER*. Це дозволяє взяти

до уваги всі можливі системні негативні фактори впливу.

Метод компенсації поляризаційно-модової дисперсії підвищує пропускну здатність високошвидкісної оптичної ланки у 1,7...7 разів, що дозволяє вирішити відповідні проблеми з пропускну здатністю оптичних транспортних систем.

Топологічний аналіз послідовно підіймає наше мислення з структури зв'язків фізичного рівня до структури потоків і пакетно-потоків маршрутизації. Зокрема, створено методи для топологічно-адаптованої маршрутизації. Весь математичний апарат топологічного аналізу (аналізу топологічних властивостей транспортних мережевих систем) сконцентрований у шести теоремах та двох лемах, але це дозволяє проводити прикладні дослідження в галузі маршрутизації, проблем якості сервісу, структурно-топологічної надійності мережевих структур.

Топологічний аналітичний підхід забезпечує діаметрально протилежний до прийнятого — низхідний підхід до формалізації, коли за глобальною сукупністю властивостей конфігурація і стани окремих елементів можуть бути отримані в результаті декомпозиції об'єкта дослідження.

Оптимізація надійності транспортних мереж зводиться до мінімізації міжвузлової ймовірності відмов у важливих областях мережевих структур. Це забезпечується дублюванням магістралей передавання інформації (збільшенням кількості обхідних шляхів коли це необхідно), або встановленням надійнішого обладнання.

Виграш за структурною надійністю розраховується згідно еквівалентних графів мережевих транспортних систем. Враховуючи значення поля топології графа, які пропорційні кількості доступних варіантів потоків, а також розмір графа, можемо оцінити та розрахувати виграші для кожного ребра графа з доволі високою точністю. В ході експериментальних розрахунків було отримано похибку близько 6 %, окрім того з інженерною точністю побудована матриця потоків типової міської транспортної мережі, у якості вхідних параметрів використано матрицю суміжності; розрахунки проводились за запропонованим матричним топологічним методом.

Матричний топологічний аналіз мережевих структур дозволяє оцінити стратегію розвитку мереж. Розглянуто прості та ефективні матричні методи для аналітичної оцінки, розрахунку та оптимізації мережевих структур за топологічними властивостями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Деклараційний патент України № U200611124 від 23.10.2006 р. Спосіб компенсації поляризаційно-модової дисперсії в системах передачі інформації зі спектральним ущільненням каналів / Климаш М. М., Олексін М. І., Черніхівський Є. М. Заявл. № 66-58-119/827 від 3.10.2006 р.
2. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. — Г.: Солон-пресс, 2004. — 272 с.: ил.
3. Климаш М. М., Олексін М. І., Демидов І. В. DWDM-технологія та якісний аналіз функціонування транспортних оптичних систем // Зв'язок. — 2006. — № 7. — С. 9—13.
4. Климаш М. М., Демидов І. В. Матричний метод оптимізації топологій мережевих структур // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. — Львів: Українська Академія Друкарства. — 2006. — № 16. — С. 131—140.
5. Климаш М. М., Геєц Л. С., Андрухів Т. В. Дослідження та оптимізація потоків міських транспортних мереж з резервуванням // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Вип. 577, — С. 87—91.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07
Рекомендована до друку 04.10.07

Климаш Михайло Миколайович — доцент кафедри «Телекомунікації».

Національний університет «Львівська політехніка»