

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

© Красько О.В., 2013

O.V. Krasko

Lviv Polytechnic National University

EVALUATION OF NETWORK PARAMETERS AT THE STAGE OF OPTICAL TRANSPORT SYSTEM DESIGNING

© Krasko O.V., 2013

Since the primary network is nothing more than a set of channels, behavior and standards do not go beyond the network layer protocols, which includes a description of channels and methods of switching. Emerging of new solutions for access network FTTx and wideband mobile access network brings on a rapid growing of packet traffic, transmitted over transport network.

For successful interaction between different access networks, the channels of the backbone network should be standardized according to the PDH and SDH hierarchy. Initially, the development of transport networks assumed that there are only primary channels data. The backbone network considered as a set of channels. Further separation of network traffic segments and segments greatly enhanced the access network scalability. Solutions for transport networks and access networks have become less formal and less standardized, compared with the solutions for the primary and secondary networks.

The main problem that arises when transmitting packet traffic over SDH network is inconsistency throughputs of Gigabit Ethernet networks with a capacity of payload that can be transported by STM. This mismatch significantly reduces the efficiency of channel resources while packet traffic is transmitted. One of the possible mechanisms of solving this problem is to use virtual concatenation (VCAT) in conjunction with general framing procedure (GFP) and link capacity adjustment scheme (LCAS).

The concatenation principle leads to combining of multiple virtual containers. As a result, their combined capacity is used as a block for transmission of data, which size exceeds the size of a single container. There are two types of concatenation – contiguous and virtual. Concatenation of both types forms a path of bandwidth that is n times greater than the rate of a single container C_{VC} , but with different principles of transmission between two nodes. The set of containers that deliver IP-traffic between two nodes A and B is called contiguous concatenation (CCG) or virtual concatenation (VCG) group. The disadvantage of contiguous concatenation is that permissible speed transmission is strictly defined by standard SDH hierarchy. The virtual concatenation utilizes channel resources more flexibly by non-hierarchical speeds.

The paper presents a hybrid mechanism for virtual concatenation (H-VCAT), which allows increasing channel utilization by 10 % compared with virtual concatenation and by 50–70 % in comparison with contiguous concatenation. The evaluation of network parameters at the stage of optical transport system designing is provided. The optimum set of containers for transferring traffic from FTTx access networks with 99.7 % channel utilization was proposed.

Key words: NG SDH, VCAT, H-VCAT, GFP, LCAS, channel utilization.

Запропоновано механізм гібридної віртуальної конкатенації, який дозволяє підвищити ефективність використання каналу на 10 % порівняно зі звичайною віртуальною конкатенацією та на 50–70 % порівняно із суміжною конкатенацією. Оцінено параметри мережі на етапі проектування транспортної системи. Визначено оптимальні набори конкатенованих контейнерів для передавання трафіку від мереж доступу FTTx з швидкостями 1 Гбіт/с та 10 Гбіт/с.

Ключові слова: NG SDH, VCAT, H-VCAT, GFP, LCAS, ефективність використання каналу.

Вступ

У останні п'ять років на арену системних концепцій вийшов новий принцип конвергенції або взаємопроникнення технологій. Спрощено цей принцип можна пояснити тим, що в сучасних мережах NGN повинна бути передбачена взаємність технологій за принципом “все через все”, тобто однаково можливі рішення ATMoIP і IPoATM тощо. Поки повною мірою здійснити принцип конвергенції не вдається, оскільки сучасні технології виявилися дуже різними для того, щоб їх взаємопроникнення було простим і безболісним. На практиці має місце свого роду анізотропія, тобто IPoATM представляється доцільною технологією, а ATMoIP не має ніякого системного сенсу.

Проте для майбутнього розвитку будь-якої сучасної технології телекомунікацій враховувати принцип конвергенції є дуже важливим. Стосовно технології SDH цей принцип у сучасному трактуванні можна позначити тезою “все через SDH” або деталізувати його докладніше: сучасна концепція NGSDH повинна бути адаптована до всіх існуючих і перспективних протоколів і профілів трафіку всіх сучасних технологій NGN [1]. Отже, мало вимагати від нової технології SDH максимальної адаптації до проблеми передавання пакетного трафіку, вона повинна забезпечувати передавання всіх можливих типів трафіку, як наявних, так і перспективних.

Поява концепції NGN спричинила, крім загальної зміни пріоритетів і великої різноманітності рішень, протоколів тощо, ще і зміну самих принципів побудови системи електрозв'язку. Якщо раніше “в класиці” система зв'язку розділялася на первинну і вторинну мережі, які використовували її канали, то оскільки в мережах NGN основний пріоритет належить не до комутації каналів, а до комутації пакетів, сама структура системи електрозв'язку повинна була зазнати змін.

Щоб вторинні мережі успішно взаємодіяли одна з одною, канали первинної мережі повинні бути стандартизовані, і з цього факту робився висновок про фіксований і стандартний внесок ієрархій PDH і SDH, так що в первинній мережі існують тільки канали цих ієрархій, і ніяких інших бути не може. Оскільки первинна мережа є не більше ніж сукупністю каналів, її поведінка і стандарти не виходять за межі протоколів мережевого рівня, тобто містять опис каналів і методи їх перемикання. Одним з перспективних напрямків, який розвивається сьогодні в мережах доступу, є сімейство технологій FTTx (Fiber To The “x”), яке об'єднує різноманітні види архітектур [2]. Основне завдання технології – забезпечувати доставку пакетів різноманітних послуг та сервісів. Для прикладу можна назвати популярний набір, що отримав назву (Triple Play) – доступ до мережі Інтернет, телефонія, телебачення і доставка потокового відео. Стрімке зростання попиту на ці види послуг дозволяє вже нині говорити про незмінність тенденції, відповідно до якої обсяги впровадження мереж FTTx зростатимуть протягом багатьох років.

Принципи мультиплексування інформаційних потоків у системах SDH

Для успішної взаємодії один з одним канали первинної мережі повинні бути стандартизовані, відповідно до ієрархій PDH і SDH. На початковому етапі розвитку транспортних мереж припускалось, що в первинній мережі існують лише канали даних ієрархій. Первинна мережа розглядалась як сукупність каналів, а її стандарти не виходили за межі протоколів мережевого рівня, тобто містили опис каналів і методи їх перемикання.

Подальше розділення мережі на транспортні сегменти і сегменти доступу значно розширили можливості масштабованості мережі. Рішення в галузі транспортних мереж і мереж доступу стали менш формалізованими і менш стандартизованими, порівняно із рішеннями для первинної і вторин-

ної мереж. З'явився характерний для NGN плюралізм технологій: будь-яку технологію, що забезпечує передавання трафіку або надання послуг, можна вважати транспортною. Аналогічно будь-яку технологію, що забезпечує доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі, можна вважати абонентською або технологією доступу. Сама ж система зв'язку нового покоління стає доволі різноманітною і складно структурованою (рис. 1). У ній можна виділити сегменти транспортної мережі і сегменти доступу, але часто навіть складно провести чітку межу між ними.

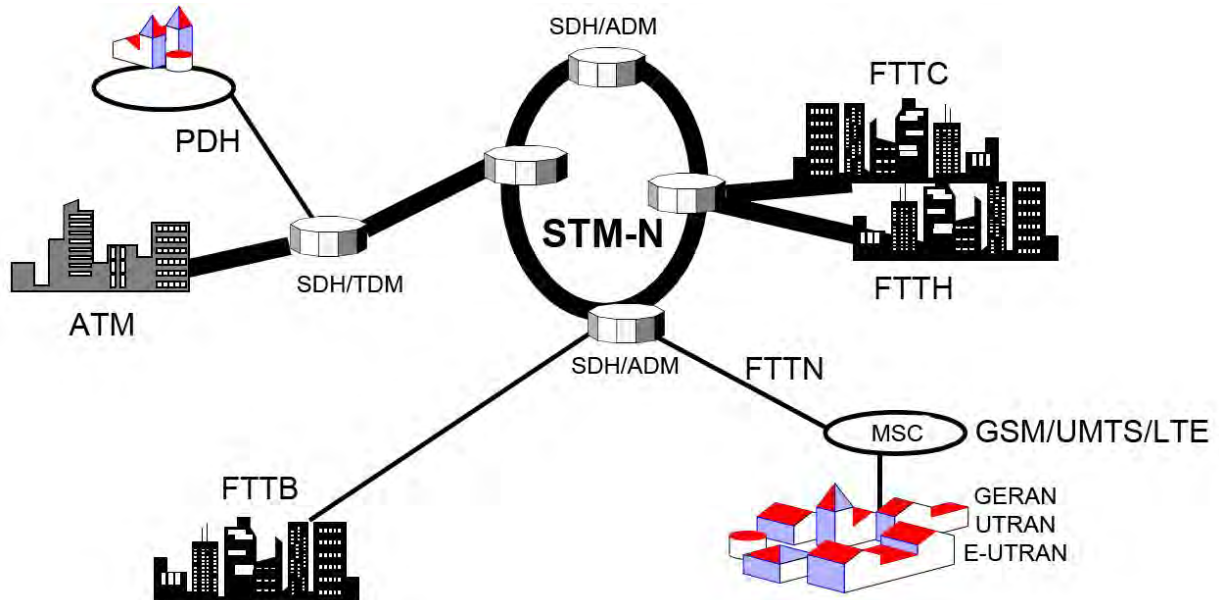


Рис. 1. Архітектура сучасної мережі NGN

Як показано на рис. 1, транспортна мережа забезпечує взаємозв'язок між різноманітними технологіями доступу. Потрібно відзначити, що транспортна мережа об'єднує пакетний IP-трафік з мереж FTTx та ATM із каналами ТМЗК в один синхронний транспортний модуль. Відповідно важливим завданням є розроблення ефективних механізмів передавання пакетного трафіку через потоки синхронної цифрової ієрархії.

У системах SDH об'єднання потоків відбувається згідно з затвердженою ІТУ-Т структурою мультиплексування. Компонентний сигнал, що надходить на цю структуру, вводиться в контейнер і далі за допомогою операцій розміщення, мультиплексування і вирівнювання перетворюється в агрегатний модуль STM.

Структура мультиплексування SDH дозволяє:

- об'єднувати сигнали всіх наявних ієрархій PDH, комірки ATM, а також інші сигнали і кадри;
- здійснювати введення/виведення компонентних потоків на рівні трактів без процедури покрокового мультиплексування на будь-якій проміжній станції;
- формувати STM-N без проміжного мультиплексування в STM-1.

Основною проблемою, яка виникає під час передавання пакетного трафіку через мережі SDH, є неузгодженість швидкостей передавання мереж Gigabit Ethernet (1 Гбіт/с), 10 Gigabit Ethernet (10 Гбіт/с), 40 Gigabit Ethernet (40 Гбіт/с) та 100 Gigabit Ethernet (100 Гбіт/с) з ємністю корисного навантаження, яке може транспортуватись потоками SDH ієрархії: STM-4 (524 Мбіт/с), STM-16 (2.1 Гбіт/с), STM-64 (8.4 Гбіт/с), STM-256 (33.6 Гбіт/с). Ця неузгодженість істотно погіршує ефективність використання каналних ресурсів під час передавання пакетного трафіку. Одним з можливих механізмів вирішення цієї проблеми є використання віртуальної конкатенації (VCAT) в поєднанні з механізмами формування кадрів (GFP) та контролю навантаження (LCAS).

Механізми конкатенації транспортних контейнерів у системах NG SDH

Під конкатенацією розуміють процедуру об'єднання декількох віртуальних контейнерів, у результаті якої їх сукупна ємність може бути використана як один контейнер, в якому забезпечується цілісність послідовності біт. Існує два види конкатенацій – суміжна і віртуальна. Конкатенація обох видів утворює тракт з пропускною здатністю, в n разів більшою, ніж швидкість одиночного контейнера C_{VC} , але розрізняються способом передавання між двома вузлами. Сукупність контейнерів, які передають IP-трафік між двома вузлами A і B , називається суміжно-конкатенованою (CCG) або віртуально-конкатенованою (VCG) групою [3]. Інформаційна ємність суміжно-конкатенованої групи визначається за такою формулою:

$$r_{CCG} = \sum_n r_n^{\{VCx\}}, n \in [1, 4, 16, 64, 256], [\text{біт}], \quad (1)$$

де $r_n^{\{VCx\}}$ – інформаційна ємність контейнера VCx , біт.

Відповідно швидкість передавання корисної інформації при суміжній конкатенації становить

$$C_{CCG} = f \cdot \sum_n r_n^{\{VCx\}}, n \in [1, 4, 16, 64, 256], \left[\frac{\text{біт}}{c} \right], \quad (2)$$

де f – частота повторення кадрів STM-n (згідно з теоремою Котельникова $f=8 \text{ кГц}$).

Недоліком суміжної конкатенації є те, що допустима швидкість передавання строго визначена в стандарті SDH ієрархії. Тобто для передавання корисного навантаження в X біт/с, необхідно використовувати найближчий за ієрархією потік, швидкість якого більша від заданого навантаження. На відміну від суміжної конкатенації віртуальна конкатенація дозволяє гнучкіше використовувати каналні ресурси, за рахунок неієрархічних швидкостей передавання. Швидкість передавання корисної інформації при віртуальній конкатенації можна вибирати кратною до розміру віртуального контейнера відповідного рівня. Порівняння схем суміжної та віртуальної конкатенації зображено на рис. 2.

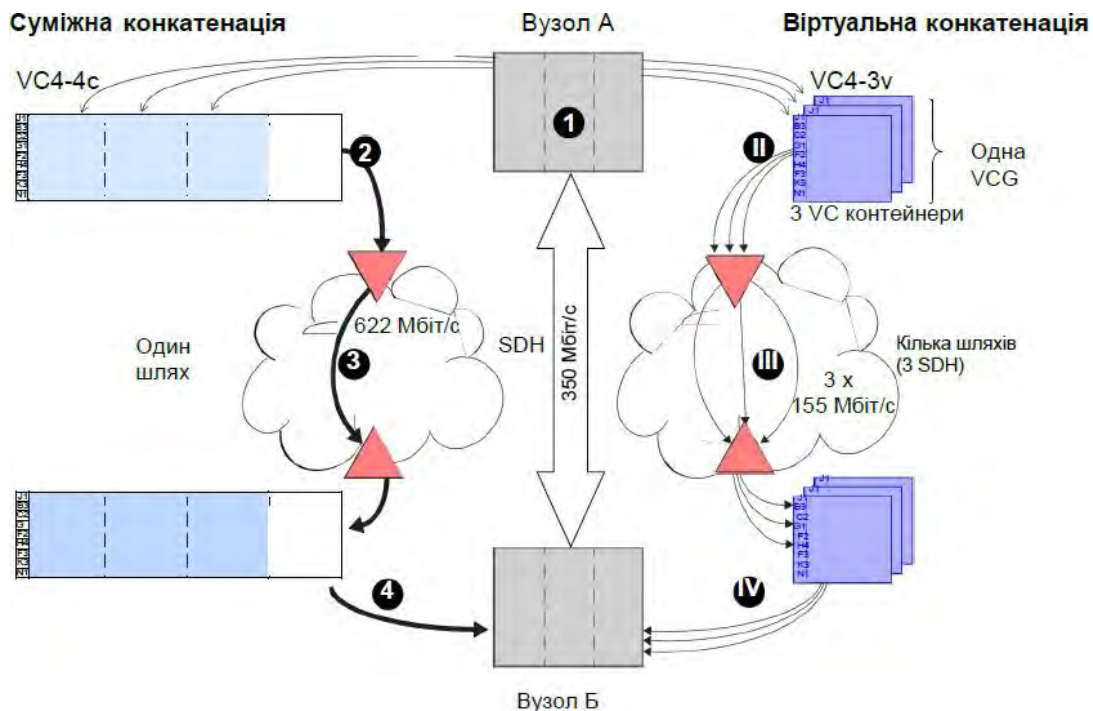


Рис. 2. Порівняння механізмів суміжної та віртуальної конкатенації транспортних контейнерів

На рис. 2 зображений сценарій передавання корисного пакетного навантаження між вузлами A та B , з швидкістю 350 Мбіт/с, при двох варіантах конкатенації. При суміжній конкатенації корисне навантаження від вузла A – 1, передається чотирма віртуальними контейнерами $VC-4$ – 2 ,

по одному маршруту, потоком STM-4 – 3, до вузла Б – 4. Сумарна швидкість передавання становить 622 Мбіт/с, з них корисне навантаження контейнерів VC-4 – 524 Мбіт/с, а реальне інформаційне навантаження між вузлами А та Б – 350 Мбіт/с. При віртуальній конкатенації корисне навантаження від вузла А – 1 передається трьома віртуальними контейнерами VC-4 – II по трьох незалежних маршрутах, потоками STM-4 – III до вузла Б – IV. Сумарна швидкість передавання становить 3x155 Мбіт/с, з них корисне навантаження контейнерів VC-4 – 390 Мбіт/с. Очевидно, що ефективність використання каналного ресурсу при віртуальній конкатенації значно вища. Інформаційна ємність віртуально-конкатенованої групи визначається за формулою

$$r_{VCG} = \sum_n r_n^{\{VCx\}}, n \in N, [\text{біт}]. \quad (3)$$

Відповідно швидкість передавання корисної інформації при віртуальній конкатенації становить

$$C_{VCG} = f \cdot \sum_n r_n^{\{VCx\}}, n \in N, \left[\frac{\text{біт}}{c} \right]. \quad (4)$$

Механізм гібридної віртуальної конкатенації транспортних контейнерів H-VCAT

Незважаючи на високу ефективність використання ресурсів, віртуальна конкатенація має істотний недолік – можливість об'єднання групи лише з однорівневих контейнерів. Для підвищення ефективності механізму віртуальної конкатенації пропонується формування гібридних груп – HVCG. Цей механізм полягає в утворенні групи з різнорівневих віртуальних контейнерів, що забезпечує точніше виділення ресурсів під необхідну швидкість передавання. Для гібридної віртуальної конкатенації використовуються групи з контейнерів VC-3 та VC-4. Під час передавання пакетного трафіку, ємність контейнера використовується повністю, оскільки немає необхідності у бітах узгодження та бітах фіксації, які додаються в контейнер під час передавання трибів PDH. Таким чином, ємність контейнера VC-3 зростає з 4096 біт до 4608 біт, а VC-4 з 16384 біт до 18576 біт, відповідно. Отже, зменшується надлишковість, характерна для мереж з каналною комутацією. Порівняння ефективності використання каналних ресурсів наведено в таблиці 1. Інформаційна ємність гібридної віртуально-конкатенованої групи визначається так:

$$r_{HVCG} = \sum_n r_n^{\{VC-4\}} + \sum_m r_m^{\{VC-3\}}, n, m \in N, [\text{біт}]. \quad (3)$$

Відповідно швидкість передавання корисної інформації при гібридній віртуальній конкатенації становить

$$C_{VCG} = f \cdot \left(\sum_n r_n^{\{VC-4\}} + \sum_m r_m^{\{VC-3\}} \right), n, m \in N, \left[\frac{\text{біт}}{c} \right]. \quad (4)$$

Оцінка ефективності використання каналних ресурсів під час передавання пакетного трафіку

| Тип конкатенації | Gigabit Ethernet (1 Гбіт/с) | | | 10 Gigabit Ethernet (10 Гбіт/с) | | |
|------------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| | Тип групи | Швидкість | Ефективність | Тип групи | Швидкість | Ефективність |
| СAТ | STM-16 | 2.1 Гбіт/с | 51 % | STM-256 | 33.6 Гбіт/с | 32 % |
| VCAT | 8xVC-4 | 1.2 Гбіт/с | 90 % | 73xVC-4 | 11 Гбіт/с | 98 % |
| H-VCAT | 7xVC-4 + VC-3 | 1.003 Гбіт/с | 99.7 % | 72xVC-4 + 2xVC-3 | 10.03 Гбіт/с | 99.7 % |

Структурна схема процесу передавання пакетного трафіку між двома мережами доступу, через транспортну мережу NG SDH показана на рис. 3. Передавання пакетного трафіку транспортними модулями STM-n забезпечується за рахунок взаємодії трьох механізмів [4]:

- GFP (General Framing Procedure) – призначений для адаптації пакетного трафіку відповідно до ємностей віртуальних контейнерів;

- (H)VCAT ((Hybrid) Virtual Concatenation) – механізм підвищення ефективності використання каналних ресурсів транспортної системи SDH;
- LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) – механізм контролю за зміною навантаження.

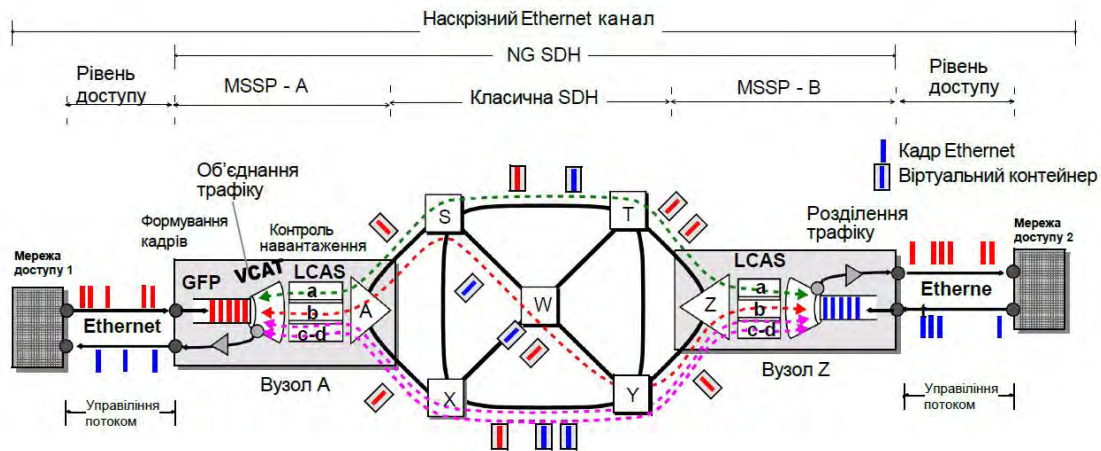


Рис. 3. Структурна схема процесу утворення каналу передавання пакетних даних поверх SDH мережі

Як показано на рис. 3, пакетний трафік з мережі доступу 1 подається у вузол А. У вузлі А пакетний трафік кадрується за процедурою GFP до розмірів віртуальних контейнерів. Потім механізм VCAT розподіляє кадри по відповідних віртуальних контейнерах, формуючи віртуально-конкатеновану групу VCG. Контейнери, які належать до VCG, розподіляються по своїх транспортних модулях STM-n, та передаються по відповідних маршрутах. Для контролю за співвідношенням пакетного та каналного навантаження в модулях STM-n використовується механізм LCAS. Отже, забезпечується наскрізний віртуальний канал Ethernet через мережу SDH без істотних змін в її конфігурації.

Висновки

Впровадження оптичних мереж на рівні доступу неодмінно призведе до стрімкого зростання обсягів пакетного трафіку, який буде передаватись через транспортну мережу. Для забезпечення передавання великих обсягів трафіку є кілька варіантів реалізації транспортної магістралі, зокрема рішення на основі технологій IPoDWDM та OBS. Однак впровадження цих рішень в українських реаліях є доволі складним та вимагає значних капітальних затрат. Водночас впровадження мереж NG SDH на основі наявних транспортних магістралей дає змогу істотно спростити процес впровадження пакетних мереж, без істотних змін в існуючій мережевій інфраструктурі. Одним з ключових елементів концепції NGSDH є технологія VCAT, яка полягає у віртуальній конкатенації контейнерів VC-n, що дозволяє виділяти необхідну пропускну спроможність для передавання пакетного трафіку. Запропоновано механізм гібридної віртуальної конкатенації, який дозволяє підвищити ефективність використання каналу на 10 % порівняно зі звичайною віртуальною конкатенацією та на 50–70 % порівняно із суміжною конкатенацією. Проведено оцінку параметрів мережі на етапі проектування транспортної системи. Визначено оптимальні набори конкатенованих контейнерів для передавання трафіку від мереж доступу FTTx з швидкостями 1 Гбіт/с та 10 Гбіт/с. В обох випадках механізм H-VCAT забезпечує ефективність використання каналних ресурсів – 99.7 %.

1. Kartalopoulos, S. V. (2004). *Next Generation SONET/SDH: Voice and Data* (pp. 34-38). IEEE Press.. 2. A. M. Saleh and J. M. Simmons, "Architectural principles of optical regional and metropolitan access networks" *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, pp. 2431–2448, Dec. 1999.. 3. Chang, M. C., & Liao, B. H. (2011, September). *Improving bandwidth utilization of NG-SDH by dynamic bandwidth management*. In *Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2011 13th Asia-Pacific* (pp. 1-4). IEEE. 4. Gunreben, S., & Gauger, C. M. (2005, July). *Dynamic bandwidth adaptation in NG SDH/WDM transport networks using LCAS*. In *Proceedings of the Networks and Optical Conference (NOC)*.