

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ В ОПТИЧЕСКИХ MLR СЕТЯХ

Евсеева О.Ю., Ильяшенко Е.Н.

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина
E-mail: evseeva.o.yu@gmail.com*

Model for resource control in MLR optical networks

Packet optical networks are converged solutions that allow to reduce amount of used equipment, operational complexity and cost. At same time the convergence doesn't allow to solve control tasks at different levels independently but requires cross-layer control decision. The paper offers mathematical model for cross-layer optimal resource control in mixed-line rate optical networks. The model takes into account different line rates at optical layer, dynamics of incoming traffic at IP-layer, and it's aimed at joint allocation of resources at both of them.

Как показывают результаты исследований, проведенные компанией Infinera Corporation [1], крупные сервис провайдеры в основе своей транспортной сети, как правило, используют многоуровневую архитектуру, объединяющую в себе пакетные IP-сети, технологии многопротокольной коммутации меток (MPLS), оптических транспортных сетей (OTN) и волнового мультиплексирования (WDM). При этом на фоне экспоненциального роста объемов трафика возникает интерес к конвергированным решениям (платформам), в рамках которых функции нескольких уровней объединяются и возлагаются на единую техническую систему с целью уменьшения объема используемого оборудования, снижения сложности как самой сети, так и процесса ее обслуживания, а также стоимости. С этой точки зрения конкурирующими являются два подхода: IP-over-WDM и IP-over-OTN, представляющие собой различные варианты реализации пакетных оптических сетей. Сеть IP-over-WDM имеет в своей основе совокупность IP/MPLS-маршрутизаторов, оснащенных WDM-интерфейсами, соединение между которыми осуществляется при помощи реконфигурируемых оптических мультиплексоров ввода/вывода (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM), где WDM-интерфейсы могут иметь одинаковые скорости передачи (Single-Line Rate, SLR) или разные (Mixed-Line Rate, MLR). В рамках IP-over-OTN маршрутизаторы оснащаются различными Ethernet-интерфейсами, например, 10, 40 и 100 Гбит/с, т.е. обеспечивается многоскоростная передача. Связность при этом обеспечивается через реконфигурируемую OTN/WDM-сеть, где совмещены задачи волнового мультиплексирования и оптической коммутации [1].

Как показано в литературе, в условиях гетерогенного современного трафика, где запрашиваемые скорости передачи могут варьироваться от десятых долей до десятков Гбит/с, многоскоростной режим функционирования оптической сети является более эффективным с точки зрения использования сетевых ресурсов [2]. Таким образом, в сетях IP-over-OTN или IP-over-WDM в режиме MLR благодаря линейке скоростей передачи упрощается задача

отображения IP-поток на множество световых путей и оптических несущих, но при этом усложняется задача распределения оптических несущих на уровне WDM (т.н. задача Routing and Wavelength Assignment, RWA). Тогда предложенная ранее авторами математическая модель оптимального управления ресурсами оптической SLR сети [3] становится неприменимой и должна быть пересмотрена. Поскольку различные скорости передачи при одних и тех же расстояниях между приемо-передающими устройствами означают различные уровни ошибок (Bit Error Rate, BER) на канальном уровне, условие сохранения потока для мультиплексоров WDM-сети принимает вид

$$\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^N \sum_{l=1}^{N_{m,n}^w} \gamma_{i,j}^{l,m,n} c^{l,m,n} w_{i,j}^{l,m,n}(k) - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq m}}^N \sum_{l=1}^{N_{r,m}^w} \gamma_{i,j}^{l,m,n} c^{l,r,m} w_{i,j}^{l,r,m}(k) = \begin{cases} f_{i,j}(k), & \text{если } m = i; \\ 0, & \text{если } m \neq i, j; \\ -f_{i,j}(k), & \text{если } m = j, \end{cases} \quad (1)$$

где $w_{i,j}^{l,m,n}(k)$ – булева переменная, равная единице, если на k -м интервале управления l – я несущая в оптическом тракте (m, n) используется для создания светового пути между мультиплексорами i и j ; $c^{l,m,n}$ – пропускная способность l -й оптической несущей в тракте передачи (m, n) ; $\gamma_{i,j}^{l,m,n} = \{0, 1\}$ – коэффициент, отражающий приемлемость использования l -й несущей в оптическом тракте (m, n) для создания светового пути (i, j) в соответствии с допустимым порогом BER; $N_{m,n}^w$ – число оптических несущих в тракте передачи (m, n) ; N – число мультиплексоров в сети WDM; $f_{i,j}(k)$ – пропускная способность формируемого светового пути (i, j) .

Искомая переменная $w_{i,j}^{l,m,n}(k)$ кроме системы уравнений (1) должна удовлетворять ряду ограничений:

$$\sum_{i=1}^{N^r} \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{N^r} \sum_{l=1}^{N_{m,n}^w} w_{i,j}^{l,m,n}(k) \leq N_{m,n}^w, \quad \sum_{i=1}^{N^r} \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{N^r} w_{i,j,h}^{l,m,n}(k) \leq 1, \quad (2)$$

$$w_{i,j}^{l,m,n}(k) = w_{i,j}^{l,r,m}(k), \quad \sum_{l=1}^{N_{m,n}^w} w_{i,j}^{l,m,n}(k) = \sum_{\substack{q=1, \\ q \neq m}}^N \sum_{l=1}^{N_{m,q}^w} w_{i,j}^{l,m,q}(k), \quad (3)$$

где N^r – количество маршрутизаторов на уровне IP-сети.

Условие (2) связано с ограниченным количеством оптических несущих в каждом тракте передачи, каждая из них может быть использована один раз. Условия непрерывности длины волны и использования единого для формируемого светового пути маршрута (3) не являются обязательными, но могут быть введены в соответствии с физикой рассматриваемой сети.

В целом выражения (1) – (3) описывают задачу RWA, где величина $f_{i,j}(k)$ должна удовлетворять требованиям относительно связности между маршрутизаторами на уровне IP, т.е.

$$f_{i,j}(k) \geq b_{i,j}(k), \quad (4)$$

где $b_{i,j}(k)$ – требуемая на уровне IP пропускная способность соединения (светового пути) между маршрутизаторами i и j .

В свою очередь величина $b_{i,j}(k)$ определяется текущими объемами поступающего в сеть трафика и может быть рассчитана на основе выражений:

$$x_{i,j}(k+1) = x_{i,j}(k) - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N^r} b_{i,l}(k) \cdot \Delta t \cdot u_{i,l}^j(k) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i,j}}^{N^r} b_{m,i}(k) \cdot \Delta t \cdot u_{m,i}^j(k) + y_{i,j}(k), \quad (5)$$

$$0 \leq x_{i,j}(k), \quad \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{N^r} x_{i,j}(k) \leq x_i^{\max}, \quad 0 \leq u_{i,l}^j(k) \leq 1, \quad \sum_{n=1}^{N^r} u_{i,l}^n(k) \leq 1, \quad (6)$$

где $i, j = \overline{1, N^r}$, $i \neq j$; $\Delta t = t(k+1) - t(k)$ $x_{i,j}(k)$ – объем данных, которые находятся на i -м маршрутизаторе и предназначены для передачи j -му маршрутизатору в момент времени t_k ; $u_{i,l}^j(k)$ – маршрутная переменная, которая указывает на долю пропускной способности канала (i, l) , выделяемую в момент времени t_k для передачи потока с адресом j ; $y_{i,j}(k)$ – объем нагрузки, поступающей в момент времени t_k на маршрутизатор i и предназначенной для передачи маршрутизатору j ; x_i^{\max} – максимально допустимая длина очереди на i -м маршрутизаторе.

Таким образом, в рамках предложенной модели управляющими являются переменные трех типов: $u_{i,l}^j(k)$, $b_{i,j}(k)$ и $w_{i,j}^{l,m,n}(k)$. Их расчет в соответствии с (1) – (6) обеспечивает совместное распределение ресурсов как на IP уровне, так и на уровне нижележащей оптической сети, где в качестве критерия принятия решения может выступать, например, минимум потребляемой энергии [3]. Основными отличительными особенностями модели (1) – (6) являются: учет многоскоростного режима функционирования, учет динамики поступающего на обслуживание трафика, возможность формирования управляющего решения, оптимального с точки зрения сети в целом, а не в рамках отдельных уровней и подсистем.

Литература

1. Kline R. Better Network Economics with IPoOTN / Ron Kline. – Infinera Corporation, 2013. – 9 p. – (Document Number: WP-ITN-6-2013).
2. Евсеева О.Ю. Модель энергоэффективного управления ресурсами сети IP-over-DWDM / О.Ю. Евсеева, Е. Н. Ильяшенко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 8 (124). – С. 107 – 113.
3. Feres M.M. Power Consumption and Blocking Probability Tradeoffs in Mixed-Line-Rate and Mixed-Formats (MLR-MF) Optical Networks” / M.M. Feres, M. de Lacerda Rocha, M.A. Romero // SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), 4-7 Aug. 2013: proc. of conf. – 2013. – P. 1-5.