1999 年 度 大 韓 電 子 工 學 會 夏 季 綜 合 學 術 大 會 論 文 集 第 22 卷 第 1 號 99/6

WDM 링에서 SONET ADM 수 최소화를 위한 트래픽 grooming 알고리즘

윤 승 진, 노 선 식, 김 수 현, 김 영 천
전북대학교 컴퓨터공학과
전화 : (0652) 270-2413 / 팩스 : (0652) 270-2418

Traffic Grooming Algorithm for minimizing the number of SONET ADM in the WDM Ring Network

Sung Jin Yoon, Sun Sik Roh, Soo Hyun Kim, Young Chon Kim
Department of Computer Engineering Chonbuk National University
E-mail : yckim@moak.chonbuk.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose new algorithm to minimize the total cost of overall system in WDM ring networks. The cost of system includes the number of SONET ADMs as well as the number of wavelength. As optical technologies and WDM components are developed, the dominant cost of system is the number of SONET ADMs which is electronic equipment. To reduce the number of SONET ADMs in nonuniform traffic, we propose two algorithms : one is the algorithm to construct full circles as many as possible to minimize gaps by cutting and combining the connections. The other is the algorithm to groom circles into a wavelength to share the maximum number of nodes. The simulation results show that the proposed algorithm is superior to conventional algorithm in nonuniform traffic

I. 서론

현재 물리계층 망 구조로 SONET(Synchronous Optical Network) 링이 널리 사용되고 있다. SONET 링은 사용하는 파장에 데이터를 삽입하고 축출할 수 있는 SADM(SONET Add/Drop Multiplexer)과 서로 다른 SADM들을 상호 연결하는 광섬유로 구성되어 있다. SADM은 여러 낮은 전송속도 트래픽을 하나의 높은 전송속도 트래픽으로 다중화/역다중화한다. 하지만 기존 SONET 링 구조의 망으로는 앞으로 전개될 HDTV, VOD 등과 같은 대용량 멀티미디어 서비스와 다양한 정보 통신 서비스들의 통합으로 인한 통신 대역의 요구량을 충족시킬 수 없다.

파장 분할 다중화(WDM:Wavelength Division Multiplexing) 기법은 광섬유의 방대한 대역을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로, 하나의 광섬유를 통하여 여러 파장을 동시에 전송할 수 있는 기법이다. WDM 링에서 하나의 파장은 하나의 SONET 링으로 구성할 수 있으므로 파장 분할 다중화 기법은 하나의 광섬유를 통해 다중의 SONET 링을 제공할 수 있다.

파장 분할 다중화 기법을 사용하는 망을 설계할 때에 있어서 중요한 점은 망 구성에 드는 전체 비용을 최소화시키는 것이다. 망 구성에 드는 비용을 최소화하기 위해서 광소자 부분인 파장 수를 최소화하고 전기적 소자 부분인 SADM 수를 최소화해야 한다. 하지만 이 두 가지 목표가 동시에 만족되지 않을 수 있다. 현재 WDM 기술의 발달과 고속 광전송 소자의 개발로 인하여 파장 수 보다는 상대적으로 SADM의 수가 망을 구성하는데 있어서 전체 비용에 많은 영향을 미친다. 그러므로 망의 비용을 줄이기 위해서는 파장 수를 최소화하기보다는 SADM의 수를 최소화해야 한다. SADM수는 WADM(Wavelength ADM)과 효과적인 트래픽 grooming 알고리즘을 사용하여 줄일 수 있다.[4]-[8]

그림 1은 여러 파장 중 자기에게 필요한 파장을 선택적으로 다중화할 수 있는 WADM을 사용하여 SADM의 수를 줄이는 방법을 나타내고 있다. 하나의 노드에서 전송하길 원하는 트래픽을 모든 파장을 사용하여 전송할 경우, 각 노드는 각 파장에 대한 SADM을 필요로 한다. 즉 3개의 파장을 사용할 경우 3개의 SADM을 사용해야 한다. 하지만 전송하길 원하는 트래픽을 하나의 파장을 통해 전송할 수 있도록 효과적으로 grooming한다면, 그 노드는 1개의 SADM을 사용하여 전송할 수 있게 되며, 이로 인해 SADM의 수를 줄일 수 있게 된다.[7]

광전송 망에서 망의 전체 비용을 최소화하기 위한 연구가 많이 이루어졌다. 이전 연구에서는 SADM 수의 최소화를 고려하지 않고 파장 수만을 최소화하기 위한 파장 할당 알고리즘과 망 구성에 관한 연구를 하였다.[2][3]

또는 제한된 균형 트래픽 상황에서 SADM 수를 최소화하기 위한 파장 할당 알고리즘과 트래픽 grooming 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다.[4]-[8]

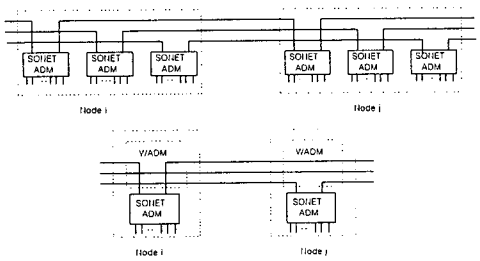


그림 1. 파장 ADM

본 논문은 망을 설계함에 있어서 다양한 망 상황을 고려한 불균형 트래픽 하에서 망 구성 비용을 최소화하기 위해 SADM의 수를 최소화시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 망의 모든 연결은 연결간에 공백이 존재하지 않도록 circle을 구성하였다. 구성된 circle은 낮은 전송 트래픽이기 때문에 한 파장이 수용할 수 있는 용량만큼의 circle을 모아서 하나의 파장을 할당하였다. 이때 공유 노드 수가 많은 circle을 모아 하나의 파장에 할당하여 SADM 수를 최소화하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시스템 비용을 최소화하기 위한 구체적인 방법에 대하여 기술하고, 3장에서 시스템 비용을 최소화하기 위한 트래픽 grooming 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘에 대한 시뮬레이션 및 결과에 대한 분석을 하였으며 5장에서 결론을 맺는다.

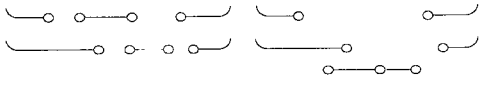
II. 시스템 구성 비용의 최소화

1. 파장 수와 SADM 수

시스템 구성 비용을 최소화하기 위해서 파장 수 및 SADM 수를 최소화해야 한다. 그러나 이들은 서로 보완관계를 가지므로 두가지 목적을 동시에 이루기는 어렵다.

그림 2는 g가 1일 때 두 가지 목적이 동시에 이루어질 수 없음을 나타낸 것이다. circle을 구성하는 방법에 따라 파장과 SADM 수에 차이가 있다. 그림 2-a)는 파장 수를 최소화하도록 circle을 구성한 것으로, 이때 파장 수는 2이고 사용되는 SADM은 8개이다. 그림 2-b)는 SADM의 수를 줄이도록 circle을 구성한 것으로, 파장 수는 3이지만 SADM은 7개이다. 따라서 시스템 구성 비용을 최소화하기 위해서 최적의 목표를 설정해야 한다.

최근 WDM 기술의 발달과 고속 광전송 소자의 개발로 인하여 광 관련 소자 부분 보다 전기적 소자 부분이 망 전체의 비용과 성능에 있어서 병목 현상의 중요한 원인이 된다. 그러므로 망 전체 비용을 줄이기 위해서는 파장 수보다 SADM 수를 줄여야 한다.



a) 파장 수 최소화 b) SADM 수 최소화

그림 2. 파장 수 최소화와 SADM 수 최소화

2. SADM 수의 최소화

WDM 링이 0부터 N-1까지 N개의 노드로 구성되어 있다고 가정한다. i 노드에서 j 노드로 전송하길 원하는 연결의 수를 $T_{i,j}$로 정의하면, 불균형 트래픽에서는 망 전체적으로 $T_{i,j}$ 값이 동일하지 않고 다양하게 된다. $T_{i,j}$에 속해 있는 임의의 연결을 $t_{i,j}$라 정의하면, 망 전체적으로 연결들의 조합으로 이루어진 circle을 구성할 수 있다. 이때 구성되는 circle은 불균형 트래픽 상황이므로 완전 circle과 부분 circle로 이루어진다.

구성된 circle의 총 수를 C, circle 전송 용량을 Bc, 한 파장의 전송 용량을 Bw라고 하면, 한 파장이 수용할 수 있는 circle의 수 g는 식1과 같이 구할 수 있다.

$$g = \lceil \frac{B_w}{B_c} \rceil \quad (1)$$

이때 g는 grooming 인자이다. 망에서 발생하는 트래픽을 전송하기 위해 필요한 파장의 수는 식2와 같다.

$$W = \lfloor \frac{C}{g} \rfloor \quad (2)$$

W 개의 파장에서 SADM의 수를 최소화하기 위해서는 효율적인 circle 구성 방법이 필요하다. 그림 3은 circle을 구성할 때, circle에 존재하는 공백의 수가 많을수록 SADM 수가 증가함을 보여주고 있다. 그림 3-a는 circle 구성 과정에 의해 a 노드에서 d 노드까지의 부분 circle이 구성된 가운데 $t_{c,a}$와 $t_{c,b}$ 연결이 존재할 경우이다. $t_{c,b}$ 연결을 구성된 circle에 포함시킬 경우 추가적인 공백이 생겨나므로 6개의 SADM이 필요하다. 하지만 구성된 circle에 추가적인 공백이 구성되지 않도록 $t_{c,a}$ 연결을 포함시킬 경우 a 노드가 중복됨으로 인해 5개의 SADM이 필요하다. 따라서 circle을 구성할 때에 공백이 존재하지 않는 circle을 구성하거나 되도록 공백의 수가 적은 circle을 구성함으로써 SADM의 수를 최소화할 수 있다.

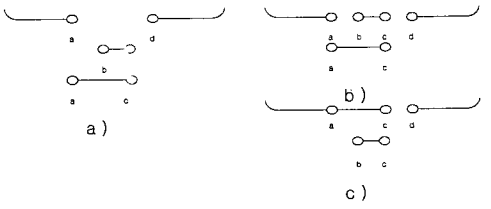
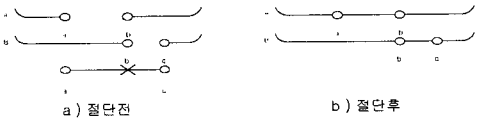


그림 3. 공백과 SADM 수

그림 4는 부분 circle을 공백이 없는 완전 circle로 만들기 위한 절단 방법을 나타낸다.



a) 절단전 b) 절단후

그림 4. 절단 방법

circle 구성 과정에 의해 A와 B 두 개의 부분 circle이 구성되고 아직 circle에 포함되지 않은 연결 $t_{c,a}$가 존재할 경우, 연결 $t_{c,a}$는 이미 구성된 부분 circle A나 B 둘다와 중복되므로 어느 circle에도 포함될 수 없다. 하지만 $t_{c,a}$를 b 노드에서 절단하여 $t_{c,b}$ 와 $t_{b,a}$로 나누면 $t_{c,b}$는 부분 circle B에 포함되고, $t_{b,a}$는 부분 circle A에 포함할 수 있다. 절단 방법을 사용하여 부분 circle A와 B를 완전 circle로 만들 수 있으며, 절단 방법을 사용하지 않을 경우 필요한 SADM의 수는 6이었지만, 절단 방법을 사용한 경우 필요한 SADM의 수는 4이다. 따라서 절단 방법을 이용하여 circle을 구성함으로써 SADM의 수를 줄일 수 있다.

III. 제안된 트래픽 grooming 알고리즘

본 장에서는 SADM의 수를 최소화하기 위한 트래픽 grooming 알고리즘을 제안한다. 파장 할당 알고리즘은 트래픽 grooming 알고리즘의 일부분으로 트래픽 grooming 알고리즘에 포함된다. 제안된 알고리즘은 두 부분으로 구성되는데, 첫째는 circle 구성 단계이고, 두 번째는 트래픽 grooming 단계이다.

1. circle 구성

circle 구성 단계에서의 목표는 망 내에 존재하는 연결들을 이용하여 공백이 존재하지 않거나 공백수가 적은 circle을 구성하는 것이다. circle을 구성하는 과정은 다음과 같다.

단계 1] 완전 circle 구성
단계 2] 남아 있는 연결을 이용하여 부분 circle 구성
단계 3] 절단할 수 있는 연결을 찾아 절단 절단된 부분을 부분 circle에 포함
단계 4] 더 이상 절단할 수 있는 연결이 존재하지 않을 때까지 단계 3] 반복
단계 5] 완전 circle이 아닌 남아 있는 연결들을 가지고 더 이상 circle에 변화가 없을 때까지 단계 1]~단계 4] 반복

circle 구성 알고리즘은 먼저 완전 circle을 만들고, 남아 있는 연결들을 이용하여 부분 circle을 만든다. 부분 circle을 완전 circle로 만들기 위해 절단 방법을 사용한다. 절단에 의해서 완전 circle이 더 이상 만들어지지 않을 때까지 그리고 circle에 변화가 더 이상 없을 때까지 알고리즘을 반복 수행한다.

2. circle grooming

하나의 파장은 grooming 인자 g개의 circle을 포함할 수 있다. 즉 구성된 전체 circle 중 g개를 선택하여 하나의 파장을 할당한다. 이때 임의의 g개의 circle을 선택하여 파장을 할당할 경우 각각의 노드는 파장마다 SADM을 두게 되며, 이는 동일 상황에서 가장 많은 SADM을 사용하게 된다. 그러므로 circle을 모아 파장을 할당할 때에 SADM수가 최소가 되도록 circle을 모아야 한다. 이를 위해서 circle을 선택할때 노드 수가 제일 많은 circle을 기준 circle로 선택하고 각각의 circle들을 그 기준 circle과 비교하여 공유 노드 수가 많은 g-1개의 circle을 선택한다. 하나의 파장을 선택된 g개의 circle에 할당한다. circle 구성 알고리즘에 의해 구성된 circle을 파장에 포함시키는 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1] 구성된 circle중 노드가 가장 많은 circle을 초기 circle로 선택
단계 2] 초기 circle과 비교하여 추가되는 SADM이 가장 작은 circle을 선택
단계 3] 선택된 circle들과 비교하여 추가되는 SADM 수가 가장 작은 circle을 선택
단계 4] g개의 circle이 다 선택될 때까지 단계 3] 반복 수행
단계 5] W 개의 파장에 대하여 단계 1] ~ 단계 4]를 반복 수행

결국 한 파장안에 포함되는 공유 노드 수를 최대화하여 각각의 노드에서 최소의 SADM을 사용할 수 있도록 grooming한다.

VI. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 제안된 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한다. 시뮬레이션은 단방향 WDM 링에서 수행하였다. 트래픽은 불균형 트래픽으로, 망의 한 노드에서 다른 노드로 전송되는 트래픽은 연결의 수가 1에서 5까지의 난수를 발생 시켜 다양한 값을 갖도록 하였다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해서, 기존 트래픽 grooming 알고리즘[7]과 비교하였다.

그림 5에서는 노드의 수를 1에서 20까지 증가 시켰을 때, 망 전체 트래픽을 수용할 수 있는 파장의 수를 나타낸다. 제안된 알고리즘에 의해 구성된 파장수는 기존 알고리즘에 의해 구성된 파장 수와 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이러한 현상은 grooming 인자가 1에서 16까지 변하더라도 같은 결과를 나타내고 있다. 절단 방법을 사용하는 제안된 방법에서는 필요한 파장의 수는 절단 방법을 사용하지 않았을 때 파장의 수와 차이가 거의 없음을 보인다.

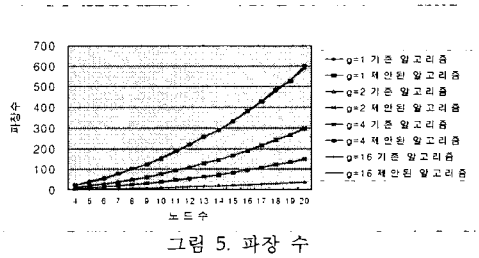


그림 5. 파장 수

그림 6은 노드의 수와 grooming 인자를 변화시켰을 때 구성된 SADM의 수를 나타내었다. 제안된 알고리즘에 의해 구성된 SADM의 수가 기존 알고리즘에 의해 구성되는 SADM의 수보다 적다. 또한 노드의 수가 증가할수록

SADM의 수는 더욱 적어짐을 알 수 있다. 이는 절단을 사용하여 circle에 존재하는 공백을 제거함으로써 공유하는 SADM의 수를 늘릴 수 있기 때문이다. 망 전체적으로 공유하는 SADM 수의 증가는 동일한 상황에서 트래픽을 제공하기 위해 필요한 SADM 수를 감소하는 효과를 가져온다. grooming인자가 변하더라도 제안된 알고리즘에 의해 구성되는 SADM 수가 적음을 확인할 수 있다.

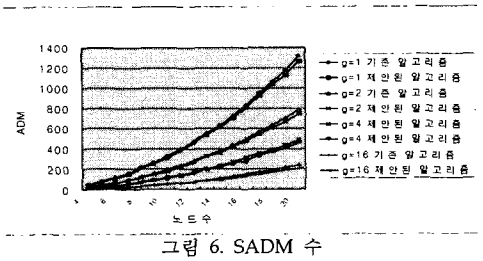


그림 6. SADM 수

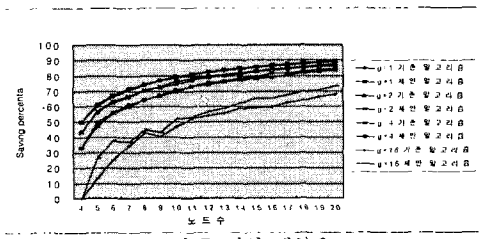


그림 7. 절약 백분율

그림 7은 트래픽 grooming 알고리즘을 사용하지 않아 모든 노드가 망에서 사용하는 각각의 파장에 대한 SADM을 가지고 있게 되는 경우에 대해 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 SADM 수의 절약 백분율을 나타낸 것이다. 절약 백분율은 다음 식과 같이 정의하였다.

$$S = \frac{N * W - D}{N * W} \qquad (3)$$

여기서 D는 알고리즘을 적용하여 구성된 SADM의 수이다.

절약 백분율은 노드 수가 일정할 때에 g가 커짐에 따라 감소하는데, 이는 하나의 파장에 더 많은 circle이 포함되기 때문에 더 많은 SADM이 필요하게 된다. 또한 절약 백분율은 노드의 수가 증가함에 따라 증가되다가 안정화된다. 기존 알고리즘보다 제안된 알고리즘을 사용하므로 절약 백분율관점에서 더 좋은 성능을 보였으며 grooming 인자가 커짐에 따라 격차가 커짐을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 WDM 링을 설계할 때에 중요한 고려사항인 망의 비용을 최소화하기 위한 트래픽 grooming 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 SADM의 수를 줄이기 위해 공백이 없거나 공백의 수가 적은 circle을 구성하도록 하였으며, 부분 circle을 공백이 없는 완전 circle로 만들기 위해 절단 기법을 사용하였다. 또한 circle을 grooming할 때에 공유 SADM 수가 많도록 하여 SADM의 수를 줄였다. 동일한 상황에서 제안된 알고리즘을 사용할 때에 구성된 파장의 수는 기존의 알고리즘에 의해 구성된 파장 수와 비슷하면서, 기존 알고리즘 보다 SADM의 수가 더 적었다. 앞으로 더 다양한 트래픽 상황에 대한 분석과 공유하는 SADM의 수를 늘리기 위한 기법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

[1] Chungpeng Fan, "Optical Networking - A Paradigm Shift of Technology," WDM Forum, Jun. 1998.

[2] R. Barry and P. Humblet, "Models of Blocking Probability in All-optical Network with and without Wavelength Changes," IEEE JSAC/IEEE-OSA JLT: Special Issue on Optical Networks, Bol. 14, No.5, 1996

[3] O.Gerster, R.Ramaswami and G.Sasaki, "Dynamic Wavelength Allocation in WDM Ring Netowks with Little or No Wavelength Conversion," The 34th Allerton conf. on Communications, Control, and Computing, 1996.

[4] O.Gerster, P. Lin and G.Sasaki, "Wavelength Assignment in a WDM Ring to Minimize Cost of Embedded SONET Rings," INFOCOM'98, 1998.

[5] Eytan H.Modiano and Angela L.Chiu,"Traffic Grooming Algorithms for Minimizing Electronic Multiplexing Cost in Unidirectional SONET/WDM Ring Networks," CISS'98, Mar. 1998.

[6] O.Gerster, R.Ramaswami and G.Sasaki, "Cost Effective Traffic Grooming in WDM Rings," IEEE/ACM Trans. Networks, May. 1998.

[7] X.Zhang, C.Qiao, "An Effective and Comprehensive Solution to Traffic Grooming and Wavelength Assignment in SONET/WDM Rings," SPIE Proc. of Conf. on All-Optical Networking, vol.3531, pp.221-232, Nov. 1998.

[8] O.Gerster, P.Lin, G.Sasaki, "Combined WDM and SONET Network Design," INFOCOM'99, 1999.

[9] Jane M.Simmons, Evan L.Goldstein, Adel A.M.Saleh, "Quantifying the Benefit of Wavelength Add-Drop in WDM Rings with Distance-Independent and Dependent Traffic," IEEE Journal of Lightwave Tech., vol.17, no.1, Jan. 1999.