

論文 98-35S-11-6

# WDM 다중홉 망에서 ATM 응용을 위한 노드 구조 및 셀 라우팅 기법

## (Node Architecture and Cell Routing Strategies for ATM Applications in WDM Multihop Networks)

李湖淑\*, 李靑勳\*, 蘇元鎬\*, 權赫重\*\*, 金永川\*

(H.S.Lee, C.H.Lee, W.H.So, H.J.Kwon, and Y.C.Kim)

### 요 약

본 논문에서는 WDM 다중홉 망에서 효율적인 ATM 응용 서비스를 제공하기 위한 노드 구조 및 셀 라우팅 기법을 제시하였다. 제안된 WDM 노드의 파장 교환 구조는 MSN 구조의 논리적 토폴로지를 기반으로 하고, 내부에 광 지연루프를 사용하여 전·광 신호의 변환없이 셀의 지연을 허용함으로써 Store-and-forward(S&F)와 편향 라우팅의 장점을 취할 수 있다. 제안된 라우팅 기법은 ATM 셀 전송의 우선 순위에 따라 각기 다른 버퍼 점유, 재지연, 편향 기법을 적용하여 서비스 계층별 QoS를 보장하면서 효율적인 경합 해결 및 경로 제어가 가능하도록 하였다. 라우팅 방식-I에서는 경합이 발생할 경우 고순위 셀은 S&F 방식으로 라우팅하고 저순위셀은 편향시켜 고순위 셀의 전송지연을 줄이고 처리율을 향상시켰다. 방식-II는 망의 트래픽 부하가 적을 경우 저순위 셀도 부분적인 버퍼 점유를 허락하여 저순위 셀의 폐기율을 줄이므로써 망의 이용률을 높일 수 있도록 하였다. 제안한 라우팅 기법들의 성능 평가를 위해 시뮬레이터를 작성하여 균형 및 불균형 트래픽 상황에서 평균 홉수와 처리율 측면에서 성능을 비교 분석하였다.

### Abstract

In this paper, we proposed a node architecture and cell routing strategies for ATM applications in WDM multihop networks. The proposed node architecture employs the optical delay loop for storing the cell which is failed in out-link contention. This optical delay loop allows the delay of one cell without the electro-optic conversion. Therefore, we can get the advantages of S&F(Store-and-Forward) routing in Deflection-based all-optical networks. To support the ATM applications efficiently, we considered the transmission priority of ATM cell so that high priority cell can be transmitted with lower loss and shorter delay than low priority one. Two kinds of routing strategies are designed for this architecture: Scheme-I and Scheme-II. Scheme-I applies S&F routing to high cell and Deflection routing to low cell, i.e., high cells are routed along the shortest path based on S&F routing, but low cells are deflected or lost. Scheme-II is similar to Scheme-I except that low cells can occupy the optical loop if it is available. This scheme-II increases the utilization of network resources without decreasing the throughput of high cell by reducing the low cell loss rate when traffic load is low. Simulation results show that our routing strategies have better performance than conventional ones under non-uniform traffic as well as uniform traffic.

\* 正會員, 全北大學校 컴퓨터工學科

(Dept. of Computer Eng., Chonbuk Nat'l Univ.)

\*\* 正會員, (주) 대우통신

(DAEWOO Telecom Ltd.)

接受日字: 1998年3月21日, 수정완료일: 1998年10月17日

### I. 서론

파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing; WDM) 기법은 임의의 파장에 접근 가능한 광-송/수신 소자를 이용하여 같은 파장을 갖는 노드간

에 전송이 이루어지도록 하므로써 광섬유의 방대한 대역폭을 여러 개의 독립된 파장 채널로 다중화시키는 기법이다. WDM 망의 구조 중 다중홉 망은 각 노드의 입력단과 출력단이 특정 파장으로 고정된 형태로서 파장 할당 방법에 따라 다양한 논리적 토폴로지의 구성이 가능하다. 이와 같은 WDM 다중홉 망에서는 직접 통신이 불가능한 노드간의 통신은 중간 노드에서의 파장 변환 및 라우팅 과정을 거쳐 목적지 노드에 도달하게 된다.<sup>[1-2]</sup> 따라서 2개 이상의 패킷이 같은 출력 링크를 요구할 경우 경합이 발생한다.

WDM 다중홉 망의 라우팅 방식은 경합에 실패한 패킷을 다른 출력 링크로 의도적으로 우회시키는 편향(deflection)방식<sup>[3,4,8]</sup>과 버퍼를 이용하여 다음 슬롯에 전송을 시도하는 S&F(store-and-forward) 방식<sup>[4,5]</sup>이 있다. S&F 방식은 최단 홉수내에 전송이 가능하다는 잇점이 있으나, 중간 노드에서 버퍼링을 위한 전·광 신호의 변환이 필요하다. 편향 방식은 중간 노드에서의 전·광 신호 변환을 요구하지 않으므로 전광(all-optical) 통신망을 위한 라우팅 방식에 적합한 반면, 최단 거리 라우팅이 보장되지 않고 목적지까지의 전송 지연을 예측할 수 없을 뿐 아니라 연속된 경합 실패로 인하여 망의 부하가 증가하는 단점이 있다. 따라서 고속 WDM 다중홉망에서는 발생 가능한 중간 노드의 경합을 효율적으로 제어하기 위한 라우팅 기법이 요구된다. 특히 WDM 망에서 B-ISDN의 표준 전송 모드인 ATM 응용 서비스를 수용하기 위해서는 셀 라우팅 결정시 각 서비스 특성에 따른 QoS(Quality of Service) 요구 사항이 고려되어야 한다.<sup>[6]</sup> ATM 셀은 서비스를 요구하는 데이터의 속성과 지연 성분에 의해 전송의 우선 순위가 부여되며, 고순위 셀은 저순위 셀에 비해 높은 우선 순위로 전송이 가능하도록 라우팅 방식을 최적화해야 한다.

본 논문에서는 WDM 다중홉 망에서 ATM 서비스를 위한 노드 구조와 셀 전송의 우선 순위(priority)를 고려한 라우팅 기법을 제시하였다. 제안된 노드 구조는 전·광 신호 변환의 부담을 줄이기 위해 광·지연 루프를 출력 버퍼로 사용한 파장 교환 구조로서 전·광 신호 변환없이 하나의 셀을 지연시킬 수 있는 특징을 가지므로 전광 영역에서 S&F 라우팅의 장점을 취할 수 있다. 이러한 노드 구조를 기반으로 ATM 셀의 전송을 위한 2가지 라우팅 기법을 제시하였다. 제안한 노드 구조와 셀 라우팅 알고리즘을 WDM 다중

홉 망을 위한 가상 논리 구조 중 하나인 MSN(Manhattan Street Network)<sup>[7]</sup>에 적용시켜 시뮬레이션 모델을 구성하고 평균 홉수, 처리율 측면에서 기존 라우팅 방식과의 성능을 비교 분석하였다. 또한 불균형(hot spot) 트래픽 상황에서도 성능을 비교하였다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 MSN망의 구조와 제안된 라우팅을 위한 파장 분할 노드 구조를 기술하였다. 3장에서는 고속 WDM 망에서 ATM 응용을 위한 셀 라우팅 기법을 제시하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통한 기존 기법들과의 성능 비교 결과를 기술하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 다루었다.

## II. ATM 셀 교환을 위한 WDM 노드 구조

### 1. MSN의 논리적 망 구조

WDM 다중홉 망은 각 노드가 특정 파장으로 고정되어 있거나 튜닝 속도가 느린 송/수신 소자를 한쌍 이상 가지고 있는 구조로서 자신에게 할당된 채널을 통해서만 데이터를 송/수신할 수 있다. 따라서 다중홉 구조에서는 송/수신 소자에 할당된 파장의 형태에 따라 다양한 토폴로지의 구성이 가능하며, 그림 1과 같이 성형 구조의 물리적 토폴로지를 이용하여 MSN의 논리적 토폴로지의 구성이 가능하다. 이 경우 각 노드는 그림 1과 같이 각 파장 채널의 독립적인 전송을 위해 두 쌍의 고정 파장 송/수신기를 필요로 한다.

본 논문에서 제안한 라우팅 기법의 적용을 위해 WDM 다중홉 망의 논리적 토폴로지로서 그림 2와 같은 단방향 MSN(Manhattan Street Network) 구조를 사용하였다. 그림은 16개(4x4)의 노드를 가지는 단방향 MSN의 형태와 노드 구조의 예이다.<sup>[7]</sup> 일반적인 MSN 구조는 짝수의 행과 열을 가지며 그림 2에서 보는 것과 같이 각 열과 행의 노드들은 인접 열 또는 행과 반대 방향으로 진행되는 링의 형태로 연결된다. 이러한 구조는 최단거리 경로를 찾을 확률이 서로 같은 방향으로 진행되는 링의 형태에 비해 망 전체에 보다 동등하게 분포되는 장점을 가진다.<sup>[4,7]</sup> 기본적인 MSN 구조에서 각 노드는 2x2 셀 교환 기능을 담당하게 된다. 따라서 ATM 셀 교환을 위해 각 노드는 그림 2와 같이 두 개의 입력단과 두 개의 출력단을 가지며 각 입/출력단은 특정 파장으로 고정되어

단방향 MSN 구조를 형성하게 된다. 또한 노드 내부에는 셀 라우팅 알고리즘에 의해 결정된 셀을 다음 경로로 출력하기 위해서 파장 변환과 로컬 입출력을 위한 교환 모듈을 포함한다.

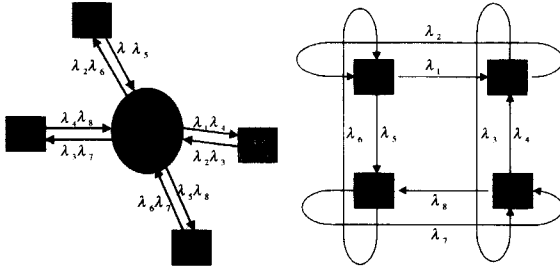


그림 1. 논리적 토폴로지의 구성  
Fig. 1. Configuration of logical topology.

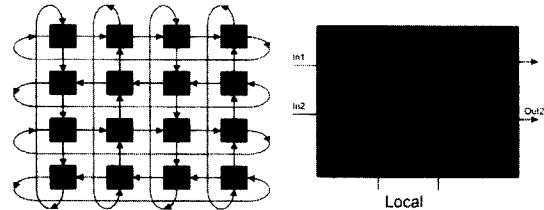


그림 2. 4×4 MSN 구조 및 노드 구조  
Fig. 2. 4×4 MSN structure and a node structure.

MSN은 확장성과 모듈성이 우수하고, 수신측 주소만을 가지고 목적지 노드까지의 최단 경로를 정규적 수식으로 간단히 결정할 수 있는 자체라우팅이 가능하다는 장점이 있다. 또한 목적 노드까지 하나 이상의 최단 경로가 존재하므로 망의 신뢰성이 높아 LAN이나 MAN 같은 규모의 패킷 통신망을 위한 구조로 많이 채택되고 있으며, WDM 다중혼 망을 위한 적절한 논리적 토폴로지의 하나로 제시되어 왔다. MSN 구조에서 셀 전송의 라우팅 결정을 위한 다양한 최단거리 경로 알고리즘이 Nicholas F. Maxemchuk<sup>[4,7]</sup> 등에 의해 제시되었다. 본 논문에서 제안한 라우팅 기법은 연산이 다소 복잡하나 최단 경로의 탐색이 용이한 Maxemchuk의 Deterministic Rule 1<sup>[7]</sup>을 기본으로 하였다.

2. WDM 노드에서 효율적 경합 해결을 위한 셀 교환 구조

WDM 다중혼 망에서는 중간 노드에서 2개 이상의 패킷이 동시에 같은 링크로 출력을 요구할 경우 경합

이 발생한다. 이를 해결하기 위한 경합 해결 방식은 경합에 실패한 패킷을 다른 출력 링크로 의도적으로 우회시키는 편향(deflection)방식과 노드내의 버퍼를 이용하는 S&F(store-and-forward)방식으로 대별된다.<sup>[12]</sup>

S&F 방식은 출력단에 하나 이상의 버퍼를 두어 셀 간의 경합이 발생하였을 경우 경합에 실패한 셀을 버퍼에 저장하여 다음 슬롯에 다시 경합에 참여하도록 하는 방식이다. 따라서 셀들은 중간단에서의 버퍼를 거쳐 최단 경로를 통해 전송된다는 장점이 있으나, 연속해서 경합이 발생할 경우 경합에 실패한 셀들의 유실 없이 높은 처리율을 보장하기 위해서는 많은 양의 버퍼를 요구하게 된다. 그러나 고속 광통신망에서 셀들을 저장하기 위해 전자적 버퍼 구조를 사용할 경우 중간에 전·광 신호 변환의 부담이 발생하므로 전광 통신망을 위해서는 효율적이지 못하다. 편향 방식은 Hot-potato 방식이라고도 불리우며, 경합에 실패한 셀을 저장하기 위한 버퍼를 사용하지 않고 사용 가능한 다른 링크를 통해 의도적으로 우회시키는 방법이다. 중간단에 전자적 버퍼를 사용하지 않으므로 전·광 신호 변환을 요구하지 않아 전광 통신망에 적합한 구조이나 경합에 실패하여 우회시킨 셀들은 다시 여러홉을 거쳐 목적지 노드에 도달하게 되므로 평균 홉수가 길어지게 된다. 또한 목적지 노드까지의 경로를 예측할 수 없어 일정한 전송 지연을 보장할 수 없고, 망의 트래픽이 많아질 경우 우회된 셀들이 증가하여 망의 부하가 늘어나게 된다. 따라서 본 논문에서는 전광 통신망에서 S&F 방식이 갖는 부담을 해결하고 고속 경로 제어에 적합한 그림 3과 같은 셀 교환 구조를 제시하였다.

제안된 노드 구조는 그림과 같이 교환부에 광 지연 루프(optical delay loop)<sup>[8]</sup>를 두어 출력 링크 경합에 실패한 셀이 한 슬롯 타임동안 지연될 수 있는 광 버퍼 역할을 하도록 한다. 광 지연 루프는 하나의 셀에 대해 한 슬롯 타임동안 지연될 수 있으며, 루프를 통과한 셀은 다음 타임 슬롯에서 다시 경합한다. 따라서 전·광 변환없이 경합에 실패한 셀의 일시적인 버퍼링이 가능하여 라우팅에 융통성을 부여할 수 있다.

그림 3은 2×2 입력/출력형 파장 교환을 위한 기본 노드 구조이다. 입력단에 다중화된 파장 채널을 통한 신호가 들어오면 분배기(Splitter)를 통해 두개의 링크로 분산되고 각 링크는 현재 노드에 할당된 입력 파장

( $\lambda_{In1}$ ,  $\lambda_{In2}$ )으로 필터링하여 두 개의 파장 성분을 추출한다. 파장 교환을 위한 정보 추출을 위하여 셀의 헤더 부분은 전·광 변환을 통해 전자적으로 동작하는 제어부로 입력되고, 제어부에서는 목적지 주소를 식별하여 입력된 셀의 라우팅을 결정한다. 입력단에 도착한 셀이 현재의 노드가 목적지일 경우 제어부는 자신의 로컬 버퍼에 저장하기 위한 신호를 준다. 또한 결합에서 실패하여 폐기될 셀이 발생할 경우 로컬 버퍼로 입력되어 폐기된다. 로컬 큐에서 셀을 전송할 때는 입력단에서 사용되지 않은 파장으로 고정된 레이저를 통해 전송하므로써 입력된 다른 셀의 파장과 충돌이 발생하지 않도록 한다.

제시된 노드 구조의 교환부는 버퍼링에 관련된 기능을 가지는 부분(A)과 출력 포트를 결정하기 위한 파장 교환 기능을 갖는 부분(B)으로 나뉘어 진다. 제어부의 슬롯 동기를 위한 지연을 거친 각 신호(최대 2개)는 SC(star coupler)를 경유하여 교환부 A로 분배된다. 현재 노드가 목적지인 셀은 각각 두 개의 파장( $\lambda_{In1}$ ,  $\lambda_{In2}$ )으로 고정된 필터를 통해 로컬로 전달된다. A는 광 지연 루프를 이용한 광 버퍼 부분을 포함하고 있으며 광-지연 버퍼는 두 개의 입력 파장  $\lambda_{In1}$ ,  $\lambda_{In2}$  와 로컬로부터 입력되는 파장 채널 중 최대 두 개의 셀을 한 슬롯 타임 동안에 셀 전송을 지연할 수 있다.

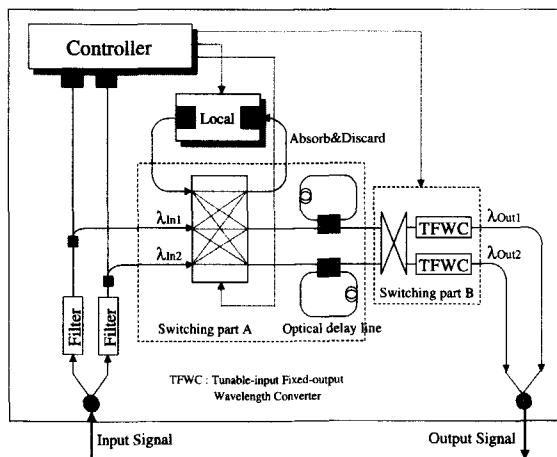


그림 3. 광-지연루프를 사용한 파장 교환 노드 구조  
Fig. 3. WDM node architecture using fiber delay loop.

교환부 B에서는 헤더 분석 결과를 기반으로 입력된 신호의 출력 포트를 결정한다.  $\lambda_{In1}$ 로 B에 입력된 셀

은  $\lambda_{Out2}$ 를 통해 행방향으로 진행하려 하고,  $\lambda_{In2}$ 로 입력된 셀은  $\lambda_{Out1}$ 으로 진행하려 한다고 가정하면 오른쪽의 TFWC(Tunable input Fixed output Wavelength Converter)는  $\lambda_{In1}$ 를 받아들여  $\lambda_{Out2}$ 로 파장을 변환하고, 왼쪽의 TFWC는  $\lambda_{In2}$ 를 받아들여  $\lambda_{Out1}$ 으로 변환하는 기능을 가지며 그 반대의 기능도 가능하다. 제안한 셀 라우팅 기법-II에서는 저순위 셀의 버퍼링이 가능하며 계속해서 입력되는 고순위 셀과의 결합이 발생하면 지연 루프상에서 재지연시키는 기법을 사용하고 있다. 이 때 루프를 돌며 약해지는 신호의 세기는 루프상에 SOA(semiconductor optical amplifier)를 두어 해결한다.

### III. WDM 다중흐름 망에서 ATM 응용을 위한 셀 라우팅 방식

본 절에서는 앞서 제시한 광-지연 루프를 포함하는 WDM 망의 노드 구조를 기반으로, 고속 광 통신망에서 발생 가능한 중간 노드에서의 결합을 효율적으로 제어하고 ATM 셀의 우선 순위를 고려한 라우팅 기법을 제시하였다. 제안한 라우팅 방식은 기존 방식에 비해서 서비스의 QoS를 보다 효과적으로 보장하고 망 자원의 효율을 높이기 위해서 한 슬롯 타임의 전송 지연을 허용하는 광-지연 버퍼를 사용하였으며 셀의 우선 순위에 따라 S&F(store-and-forward) 방식과 편향 방식의 장점을 이용하였다. 본 논문에서 제안한 라우팅 기법은 저순위 셀의 폐기 여부에 따라 라우팅 방식-I과 방식-II로 나누어 진다.

#### 1. 셀 라우팅 방식-I

ATM 망에서 셀들은 망의 트래픽 제어를 위해 응용 계층별 서비스의 품질에 따라 결정된 우선 순위를 가지게 된다. 셀들의 유실과 전송 지연의 측면에서 고순위 셀들은 우선권을 가지고 서비스되어야 하며, 저순위 셀들은 상대적으로 낮은 우선 순위를 가지고 서비스 된다. ATM 셀 헤더 부분의 CLP(Cell loss priority)는 이들 우선 순위를 표시한다. 특히 WDM 다중흐름 망의 중간 노드에서 같은 출력 링크를 향한 셀들의 결합이 발생할 경우 ATM 셀 전송의 우선 순위를 고려하여 결합을 해결하는 라우팅 방식이 보다 높은 품질의 전송을 보장할 수 있을 것이다.

제안한 라우팅 기법에서는 셀들의 출력 링크 결합

이 발생하였을 경우 고순위 셀에 대해서는 S&F 방식, 저순위 셀에 대해서는 편향 방식으로 라우팅한다. 이는 고순위 셀에 대하여는 최단 거리 경로를 통해 전송 시키므로써 전송 지연을 최소화하여 전송의 품질을 보장하고, 저순위 셀에 대해서는 우회를 허용하여 고순위 셀에 비해 낮은 우선 순위로 전송되도록 하여 망 전체의 전송 품질을 높이기 위함이다.

라우팅 방식-1은 제안된 복합적 라우팅을 기반으로 하고, 저순위 셀이 출력 경합에 실패했을 경우 버퍼의 점유없이 편향 방식으로만 라우팅한다. 만약 편향될 링크가 또 다른 셀에 의해 점유되어 있는 때에는 저순위 셀의 폐기를 허용한다. 따라서 저순위 셀은 망을 거쳐 목적지 노드에 도달할 때까지 어느 버퍼도 점유하지 않으며, 망의 트래픽 부하가 많아질 경우 우선적으로 폐기되는 특징을 보인다. 방식-1에 대한 라우팅 테이블을 표 1에 기술하였다.

MSN 망에는 목적지 노드까지 여러 개의 최단 경로가 존재한다. 임의의 중간 노드에 도착한 셀의 목적지 주소에 대해 해당 노드가 어떤 출력으로 라우팅 하더라도 최단 경로 라우팅이 가능할 경우 그 노드를 무관(don't care) 노드라 하고, 최단 경로를 위해 특정 출력을 요구할 경우 유관(care) 노드라고 한다. 표 1에서 무관 노드와 유관노드를 셀의 우선 순위에 따라 DL(Don't Care - Low), DH(Don't Care - High), CL(Care - Low), CH(Care High) 로 각각 표기하였다. 무관 노드의 경우는 어느 링크로 출력되더라도 같은 경로길이를 가지므로 표 1에서 보는 바와 같이 출력 링크의 경합은 도착 노드를 유관 노드로 하는 두 개 이상의 셀이 같은 출력 링크를 요구하는 경우 발생한다.

예를 들어 저순위 유관 셀(CL)과 고순위 셀(CH) 간에 같은 출력 링크를 향한 경합이 발생하였다면 저순위 셀은 편향되고 고순위 셀이 출력 링크를 통해 진행된다. 또한 두 개의 고순위 셀(CH)이 경합하는 경우 경합에 실패한 셀은 버퍼에 저장되고 경합에 이긴 고순위 셀이 출력 링크를 통해 전송된다. 고순위 셀간의 경합이 발생한 경우에는 [7]의 Distance-Age 방식에 따라 목적지 노드까지의 거리가 짧은 셀을 우선적으로 서비스하고, 거리가 같은 경우에는 발생한 시점으로부터 오래된 셀에 우선을 둔다. 버퍼에 저장된 고순위 셀은 다음 타임 슬롯에서 다시 경합에 참여하며, 이 때 버퍼안의 셀이 경합에서 가장 높은 우선 순

위를 가지고 전송된다. 따라서 고순위 셀은 버퍼에 두 타임 슬롯 이상 반복적으로 지연되지 않는다. 저순위 유관 셀(CL)들은 버퍼가 비어 있거나 경합하는 고순위 셀이 없을 경우에만 원하는 출력 링크를 통해 전송되며, 경합이 발생하면 다른 링크를 통해 편향된다. 만약 편향시키고자 하는 링크가 다른 셀에 의해 점유되어 있는 경우 편향될 저순위 셀들은 폐기된다.

이와 같은 기법에 의해 고순위 셀은 우선적으로 최단 경로를 할당받게 됨으로 제한된 시간안에 QoS를 만족하며 전송될 수 있다. 특히 망의 트래픽이 증가하여 잦은 편향이 발생하게 될 경우 저순위 셀들은 우선적으로 폐기되는 특징을 보이므로 높은 입력 부하에서도 고순위 셀들 전송 품질 보장 및 전체적인 망 용량을 안정하게 유지시킬 수 있다.

표 1. 방식-1의 라우팅 규칙  
Table 1. Routing rules for Scheme-1.

Current State			Results	
Buffer	Cell 1	Cell 2	Cell 1	Cell 2
Empty	DL DH	DL, DH CL, CH	서로 다른 방향 (Random)	
			Other link	Prefered link
	CL	DL DH CL CH	Prefered link	Other link
			Deflection	Prefered link
	CH	DL DH CL CH	Prefered link	Other link
				Deflection Buffered
고순위 셀	DL	DL DH CL CH	Other link Discard	Discard Other link Discard Buffered
			Other link	
	DH	DL DH CL CH	Other link	Discard Buffered Discard Buffered
	CL	DL DH CL CH	Discard	Other link
			둘 중하나 deflection(Distance-Age)	Buffered
CH	DL DH CL CH	Buffered	Other link	
			Deflection	
Buffer	Cell 1	Cell 1		
고순위 셀	DL	Other link		
	DH			
	CL	Deflection		
	CH	Buffered		
고순위 셀	CL CH	Low High	Prefered link	Discard Buffered

2. 셀 라우팅 방식-II

라우팅 방식-I은 고순위 셀과 경합하는 저순위 셀에 대해 버퍼 점유를 허락하지 않고 편향 시키거나 편향할 수 없을 경우 폐기를 허용한다. 따라서 고순위 셀은 저순위 셀의 영향을 받지 않고 최소 경로를 통해 전송될 수 있으나 트래픽이 증가함에 따라 저순위 셀의 경우 적지 않은 셀의 유실이 발생할 수 있다. 방식-II는 망의 부하가 높지 않은 상황에서 노드의 광-지연 버퍼가 비어있을 경우 부분적으로 저순위 셀에게도 버퍼의 점유를 허락하고, 저순위 셀을 폐기시키는 대신 고순위 셀의 일부 편향을 허용하므로써 고순위 셀의 품질을 보장하면서 저순위 셀의 폐기를 최대한 줄이는 방법이다. 이는 트래픽 부하가 많지 않은 상황에서 고순위셀의 전송 지연을 보장하면서 망의 자원을 충분히 활용하여 저순위 셀의 망 이용률을 높이는 데 목적이 있다.

방식-II에서는 고순위 셀과 저순위 셀의 경합이 발생할 경우 버퍼가 비어 있다면 경합에 실패한 저순위 셀을 버퍼에 저장하여 다음 슬롯에서 다시 경합에 참여하도록 한다. 또한 버퍼안의 저순위 셀이 하나의 고순위 셀과 경합을 할 경우에는 새로 입력된 고순위셀을 우선적으로 진행시킨다. 경합에 실패한 버퍼안의 저순위 셀은 다른 쪽 출력 링크로 편향됨을 기본으로 하나 편향될 링크가 점유되어 있으면 다시 재버퍼링된다.

버퍼안의 저순위 셀과 두 개의 새로 입력된 고순위 유관 셀(CH)들간에 경합이 발생할 경우에는 경합에 실패한 고순위 셀이 버퍼를 점유하고 저순위 셀은 편향된다. 편향될 링크가 다른 셀에 의하여 점유되어 있다면 저순위 셀은 편향 링크의 버퍼를 다시 점유하게 된다. 이와 같이 저순위 셀들은 경합에 실패하여도 버퍼에 저장되거나 다른 링크로 편향되므로 셀의 폐기는 발생하지 않는다. 저순위 셀의 버퍼 점유를 허용하는 방식-II는 고순위 셀의 일부 지연을 발생시킬 수 있으나, 경합에서 항상 최우선 순위를 두어 전송되므로 최소 전송 지연을 보장한다. 저순위 셀의 버퍼링을 제외한 모든 경합의 결과는 방식-I과 동일하다.

라우팅 방식-II에 대한 모든 경우의 셀 라우팅 방법을 표 2에 나타내었다. 표 2의 왼쪽 부분은 현재의 버퍼상태와 이 버퍼를 요구하는 셀의 속성을 의미하며, 오른쪽 부분에는 경합한 셀이 진행되는 방향과 상태에 대해서 기술하였다. 표 2에서의 음영 부분의 셀은 버

퍼에 있는 셀과 다른 방향을 요구함을 의미하며, “※” 기호는 버퍼안의 저순위 셀이 다시 재지연됨을 의미한다.

표 2. 방식-II의 라우팅 규칙  
Table 2. Routing rules for Scheme-II.

Current State			Result	
Buffer	Cell 1	Cell 2	Cell 1	Cell 2
저순위 셀	DL	DL	Other link / Buffered (Distance-Age)	
		DH	Buffered (Random)	Other link
		CL	Other link	Buffered
		CH	Other link	Preferred link ※
	DH	DL	Other link	Buffered (Random)
		DH	서로 다른 방향 (Random) ※	
		CL	Other link	Buffered
	CL	DH	Deflection	
		CL	Buffered	Other link
		CH	Other link / Buffered (Distance-Age)	
	CH	DL	Preferred link ※	Other link
		DH	Preferred link ※	Other link
CL		Preferred link ※	Deflection	
CH		Buffer안의 Low cell deflection		
고순위 셀	DL	DL	Other link / Buffered (Distance-Age)	
		DH	Buffered (Random)	Other link
		CL	Other link	Buffered
		CH	Other link	Buffered
	DH	DL	Other link	Buffered (Random)
		DH	Other link / Buffered (Distance-Age)	
		CL	Other link	Buffered
	CL	DL	Buffered	Other link
		DH	Other link / Buffered (Distance-Age)	
		CH	Deflection	Buffered
	CH	DL	Buffered	Other link
		DH	Buffered	Other link
CL		Buffered	Deflection	
CH		Other link / Buffered (Distance-Age)		
저순위 셀	CL	CL	Preferred link	Buffered
		CH	Preferred link	Other link ※
		DH	Buffered	Buffered (Random)
	CH	CL	Preferred link	Other link
		CH	Preferred link	Buffered
		DH	Preferred link	Preferred link ※
고순위 셀	CL	CL	Preferred link	Buffered
		CH	Preferred link	Other link ※
		DH	Buffered	Buffered (Random)
	CH	CL	Preferred link	Other link
		CH	Preferred link	Buffered
		DH	Preferred link	Buffered (Random)
Buffer	Cell 1	Cell 1		
		DL	Other link	
		DH	Other link	
		CL	Buffered	
		CH	Preferred link (Buffer안의 Low cell deflection)	
고순위 셀	Cell 1	Cell 1		
		DL	Other link	
		DH	Other link	
		CL	Buffered	
CH	Cell 1	Cell 1		
		DL	Other link	
CH	Cell 1	Cell 1		
		DH	Buffered	

#### IV. 성능 평가 및 분석

본 절에서는 제안한 라우팅 방식들의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 통해 균형 트래픽과 불균형 트래픽 하에서 기존 라우팅 방식들과 평균 홉수, 처리율 측면에서 비교 분석하였다.

##### 1. 균형 트래픽에서의 성능 평가

라우팅 기법의 성능을 평가하기 위해 MSN 구조의 WDM 다중홉 망을 위한 시뮬레이터를 작성하였다. 망은  $8 \times 8$ 의 MSN 구조로 전체 64개의 노드로 구성된다. 모든 노드는 슬롯화된 타임의 시작 시점에 동기되어 트래픽을 발생시키고 FIFO로 동작하는 로컬 버퍼에 저장한다. 또한 망 내의 모든 전송과 처리도 슬롯 타임의 시작 부분에 동기된다. 한 노드에서 한 슬롯 타임에 발생할 수 있는 셀의 수는 최대 1개로 제한하였으며, 트래픽 발생은 Poisson 분포를 갖도록 하였다. 망내 트래픽 상황에 따라 우선적으로 서비스될 수 있도록 트래픽 제어 계층에서 우선 순위가 부여된 고순위 셀들은 보다 짧은 전송 지연 시간 내에 셀들의 유실없이 전송될 것을 요구한다. 이에 비해 저순위 셀들은 망의 상태에 따라 폐기되거나 전송이 지연될 수 있다. 따라서 전송 품질 측면에서 성능 평가 기준이 엄격한 고순위 셀들을 중심으로 성능 파타메타들을 정의하고 성능을 측정하였다. 시뮬레이션에서 고순위 셀의 발생 비율은 전체 트래픽의 80%로 고정하였다.

그림 4는 기존의 편향 방식<sup>[4]</sup>과 단일 버퍼형(One buffer) S&F 방식<sup>[5]</sup>, 그리고 제안한 두 가지 라우팅 방식의 성능을 고순위 셀의 평균 전송 홉수 관점에서 비교한 것이다. 제안한 라우팅 방식들은 단일 버퍼형 S&F 방식과 편향 방식에 비해 짧은 전송 홉수를 보임을 알 수 있다. 또한 저순위 셀의 일부 편향을 허용하는 방식-II도 방식-I에 근접하는 성능을 보인다.

그림 5는 같은 트래픽 부하에 따른 저순위 셀의 평균 전송 홉수를 비교한 것이다. 트래픽이 증가함에 따라 망 링크의 대부분은 고순위 셀이 차지하게 되므로 라우팅 방식-I에서는 저순위 셀의 홉수가 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 이는 트래픽 증가에 따라 저순위 셀의 폐기가 급격히 증가하기 때문이다. 방식-II에서는 단일 버퍼형 S&F 방식보다 다소 홉수가 증가하나 망의 부하가 증가하면 기존의 방식보다 짧은 전송 홉수를 보였다. 이는 낮은 부하에서는 저순위 셀이 폐기되

지 않으므로써 일부의 고순위 셀의 편향을 야기시킬 수 있으나 트래픽의 증가에 따라 저순위 셀의 폐기가 증가되므로 고순위 셀의 성능은 증가한다.

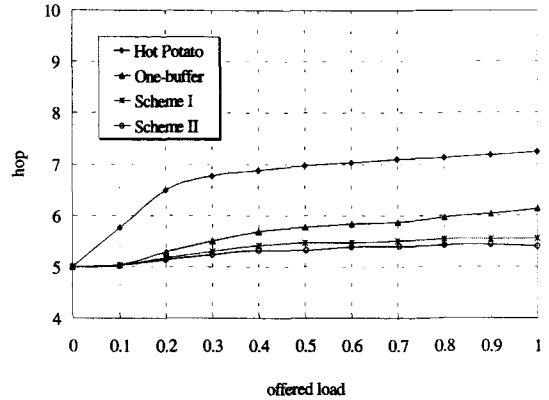


그림 4. 고순위 셀에 대한 평균 전송 홉수

Fig. 4. Average number of hops for high priority cells.

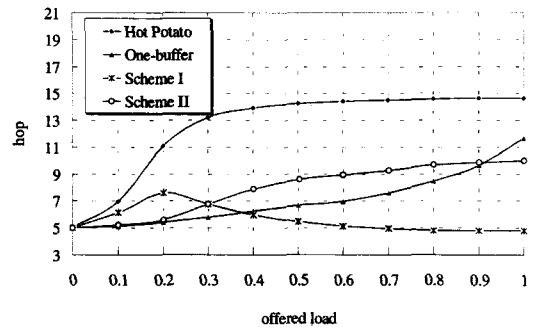


그림 5. 저순위 셀에 대한 평균 홉수

Fig. 5. Average number of hops for low priority cells.

그림 6은 제안한 라우팅 방식들과 기존 방식들을 처리율 관점에서 비교한 결과이다. 편향 방식은 경합 발생시 셀들을 우회시키므로 제한된 시간내에 전송을 보장받지 못하여 가장 낮은 처리율을 보인다. 또한 연속된 경합 발생시 셀들의 폐기가 자주 일어나는 단일 버퍼형 S&F 방식은 모든 셀들이 최단거리 경로를 보장받을 수 있다는 장점이 있으나, 연속된 경합이 발생할 경우 유실된 셀들로 인한 처리율 저하가 발생한다. 제안한 라우팅 방식-I은 저순위 셀의 폐기를 허용하나 고순위 셀의 폐기는 발생하지 않으므로 가장 높은 처리율을 보인다. 반면 방식-II는 입력 부하가 증가함에 따라 편향 방식과 단일 버퍼형 S&F 방식보다는 높은 처리율을 보였다.

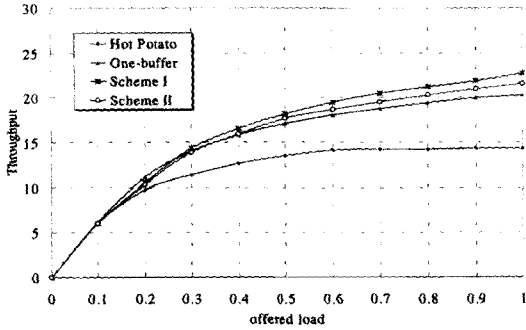


그림 6. 입력 부하에 따른 처리율  
Fig. 6. Throughput vs. offered load.

2. 불균형 트래픽에서의 성능 평가

각 노드들이 정규적으로 분포되어 있는 MSN 망에서 한 노드가 파일 서버나 비디오 스트림 서버로서 동작할 때 또는 클라이언트로서 망내 다수 노드로부터 데이터를 전송받을 때 특정 노드로 데이터가 편중되는 경향(hot spot)을 보이게 된다. 따라서 hot spot 트래픽 같은 불균형 트래픽 상황에서는 특정 목적지 노드로의 트래픽이 증가되어 중간단에서 출력 링크의 경합이 심하게 발생하게 된다. 이 절에서는 라우팅 방식-II에 대하여 불균형 트래픽이 성능에 미치는 영향을 분석하고, 기존의 라우팅 기법과의 성능을 비교 평가하였다. 이를 위하여 포아송 분포에 의해 한 슬롯 타임에 발생할 수 있는 트래픽 중  $h$  (hot spot ratio) 만큼의 트래픽은 특정 노드로 전송되고, 나머지 노드에게는  $(1-h)$ 의 트래픽을 균등 분배하여 전송될 수 있도록 트래픽을 발생시켰다. 고순위 셀의 발생 비율은 모두 80%로 하였다.

그림 7에서는  $h$ 를 0.1, 0.2, 0.3 으로 변화시키면서 균형 트래픽하에서와 불균형 트래픽 하에서의 고순위 셀의 평균 전송 홉수를 관찰한 결과이다. 그림에서와 같이  $h$ 가 0.1일 때는 균형 트래픽의 성능과 많은 차이를 보이지 않으며, 최대 입력 부하를 80%로 제한할 경우  $h$ 가 0.2일 경우에도 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 그림 8은  $h$ 를 0.2로 고정하여 방식-II와 기존의 방식들을 처리율 측면에서 비교한 그래프이다. 이 그래프에서 편향 방식과 단일 버퍼형 S&F 방식은  $h$ 가 증가할수록 처리율의 급격한 감소 현상을 볼 수 있다. 그러나 저순위 셀의 버퍼링을 허용하여 셀의 폐기를 줄인 방식-II는 기존 방식들에 비해 hot spot 트래픽 상황에서도 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

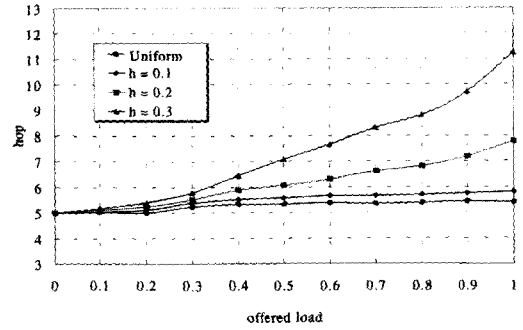


그림 7.  $h$  변화에 따른 고순위 셀의 평균 홉수  
Fig. 7. Average hops of high priority cells according to  $h$ .

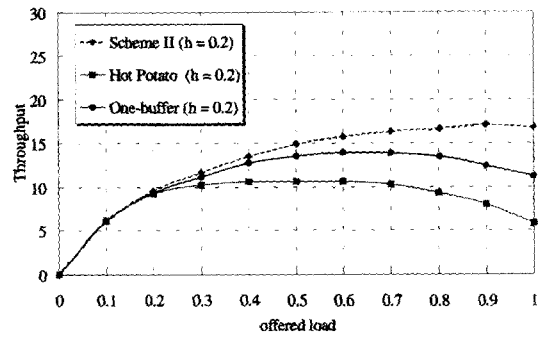


그림 8. 불균형 트래픽 하에서의 처리율 비교  
Fig. 8. Comparison of throughput under the hot spot traffic.

V. 결론

본 논문에서는 MSN 구조를 논리적 토폴로지로서 사용하는 WDM 다중홉 망에서 효율적인 ATM 셀 전송을 위한 노드 구조와 셀 라우팅 기법을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가하였다. 제안된 기법은 중간 노드에서의 경합 발생시 ATM 셀 전송의 우선 순위에 따라 S&F 방식과 편향 라우팅의 장점을 수용할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 광-지연 루프를 사용하여 전·광 신호 변환없이 셀의 버퍼링이 가능한 파장 교환 노드 구조를 제시하였다. 제안된 셀 라우팅 방식-I에서는 출력 링크의 경합이 발생할 경우 경합에 실패한 고순위 셀은 광 지연 버퍼에 저장하여 다음 경합에 참여하도록 하고, 저순위 셀은 폐기하거나 편향시킨다. 따라서 고순위 셀의 전송 지연과 처리율을 향상시켜 망내 트래픽 상황이 변하더라도 고순위 셀에 대한 안정된 전송 품질을 보장할 수 있다. 방식-II는 망의 트래픽 부하가 적은 상황에서는 저순위



셀도 부분적인 버퍼의 점유를 허락함으로써 고순위 셀의 품질을 보장하면서 저순위 셀의 폐기율을 줄여 자원의 이용율을 증가시킬 수 있었다. 제안된 라우팅 기법들의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 결과 제안된 셀 라우팅 기법들은 기존 방식들과 비교하여 평균 홉수와 처리율 측면에서 좋은 성능을 보임을 확인하였다. 특히 방식-II는 불균형 트래픽하에서도 좋은 성능을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. Mukherjee, "WDM based Local Lightwave Networks Part II : Multi-Hop Systems," *IEEE Network*, July. 1992.
- [2] C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks : Principles and Applications," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.* vol.8 pp.947-964, Aug. 1990.
- [3] A. Bononi, F. Forghieri, and P. R. Prucnal, "Analysis of One-Buffer Deflection Routing in Ultra-Fast Optical Mesh Networks", in *Proc. INFOCOM '93*, S.F., CA, vol. 1, pp. 303-311, Mar. 1993.
- [4] N. F. Maxemchuk, "Comparison of deflection and store-and-forward techniques in the Manhattan Street and Shuffle-Exchange networks," in *Proc. IEEE INFOCOM '89*, pp. 800-809, Apr. 1989.
- [5] F.Masetti, D.Gavignet-Morin, D.Chiaroni, G.Da Loura, "Fiber Delay lines Optical Buffer for ATM Photonic Switching Applications," *IEEE INFOCOM '93*, pp. 935-942, 1993.
- [6] Tohru Natsunaga, Masato Tsukada, Jun Nishikido, Koji Takayama, Hidetoshi Nakano, "Photonic ATM Switching Technologies", *NTT REVIEW* Vol.5 No.1 Jan. 1993.
- [7] N. F. Maxemchuk, "Routing in the Manhattan street Network," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-35, no.5, pp. 503-512, May 1987.
- [8] I.Chlamtac, A.Fumagalli, C.J.Suh, "A Delay Line Receiver Architecture for All-Optical Networks," *IEEE INFOCOM '96*, pp. 419-426, May 1996.

#### 저 자 소 개

李 湖 淑(正會員) 第 34卷 S編 第 5號 參照  
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중

李 青 勳(正會員) 第 35卷 S編 第 8號 參照  
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중

蘇 元 鎬(正會員) 第 35卷 S編 第 8號 參照  
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중

權 赫 重(正會員)  
1973년 7월 7일생. 1996년 전주대학교 전자계산학과(이학사). 1998년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학석사). 현재 (주)대우통신에서 근무중

金 永 川(正會員) 第 32卷 A編 第 9號 參照  
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수