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 기반의 대용량 광 패킷 스위치 네트워크 구성 및 특성

민 성욱*, 한 치문*, 김 해근**
*한국외국어대학교 전자공학과, **한국전자통신연구원 교환전송연구소

Characteristics and Architecture of WDM based Large Scale Photonic Packet Switch Network

Seoung Wook MIN*, Chimoon HAN*, and Hae Geun KIM**
*Hankuk University of F.S., swmin@san.hufs.ac.kr, cmhan@maincc.hufs.ac.kr, and **ETRI, hgkim@nice.etri.re.kr

Abstract

This paper proposes the architecture of WDM(wavelength division multiplexed) based large scale photonic packet switch network, which is composed of the FC(frequency converter) and OM (output module). The features of the proposed WDM based photonic packet switch network are 2-stage switch network, and WDM based internal optical link that is connected between FC and OM. This paper evaluates the internal call blocking characteristics of the photonic packet switch network. In results, we confirmed that the proposed WDM based photonic packet switch network has the potentiality in the practical implementation.

I. 서 론

현재, 패킷 스위치는 전자회로에 의해 것만 실용화 되어 운용 중에 있으며, 멀티미디어 통신의 발달에 의해 패킷 네트워크 노드의 고속 대용량화가 요구되고 있다. 따라서 멀티미디어 네트워크를 위한 중요한 요구 중 하나는 초당 Kbps에서 수백 Mbps까지의 광범위한 트래픽을 효율적으로 취급하고, CBR이나 VBR과 같은 다양한 트래픽 패턴에 대해 유연성을 갖는 것이다. 또 다른 요구는 현재 전화 서비스 비용의 2배 정도로 end-to-end 광대역 통신서비스가 공급되어 지도록 전송대역 용량을 증가시키는 것이다. 이와 같은 요구를 충족시키는 방법 중의 하나가 WDM (Wavelength Division Multiplex) 기반의 광 패킷 스위치 네트워크이며, 단일 파장 당 수Gbps~10Gbps의 전송 용량의 제공이 가능하다. 그러나 end-user간 커넥션에서 요구 대역폭이 단일 파장당의 전송 용량 만큼 필요한 것은 아니다. 따라서 네트워크 내의 종단 노드간에서 단일 파장을 이용하여 경로를 설정하고, 네트워크내에서 다중화 기술을 이용하여 트래픽을 다중화하는 WDM 기반 스위치 네트워크 기술이 필요하다. 이러한 네트워크를 구축할 수 있는 기술이 WDM 기반의 광 패킷 교환노드 기술이며, 현재 광 패킷 스위치 네트워크는 WDM 기술을 이용한 다양한 유형이 여러 곳에서 연구 검토되고 있다[1,2,3,4].

본 논문에서는 WDM 기반 대용량 광 패킷 스위치 네트워크를 현재 가능한 광 모듈을 이용하여, 2단 접속 구조로 구성하고 스위치 내부의 블로킹 특성을 사용하는 파장 수를 이용하여 해결하는 방법을 검토 한다. 특히 본 방식은 구성이 간단하며, 2단으로 구성된 대용량 광 패킷 스위치로 동작하는 특징을 갖는다.

서론에 이어 II.에서는 광 패킷 스위치 네트워크의 구조 및 동작 원리에 대해 설명한다. III.에서는 II.에서 제안한 구조의 블로킹 특성 개선이 가능한 방안에 대해 분석 검토한다. IV에서는 II 및 III에서 제시한 광 패킷 스위치 네트워크의 트래픽 특성을 평가하고, 본 방식이 유효함을 명확하게 하고, 결론을 맺는다.

II. 2단 접속 대용량 광 패킷 스위치 네트워크

스위치 내부 링크 접속을 WDM 기반으로 한 대용량 2단 접속 광 패킷 스위치 네트워크 구성 방법을 제안하고 동작 원리를 서술한다. 본 방식은 주파수변환모듈(*FC: Frequency Converter*)과 출력모듈(*OM: Output Module*)로 구성되며, 모듈간 내부 접속은 WDM 기반으로 하며 그림1과 같이 구성된다. 그림1은 *nm x nm* 규모의 스위치 네트워크이며, *FC*와 *OM*간에 사용되는 파장의 수를 적절히 조정함으로써 내부 넌 블로킹 특성으로 구성하는 것이 가능하다.

본 방식의 스위치 네트워크는 *n*개의 입력을 받아서 *k*개의 주파수로 변환하는 *m*개의 주파수 변환모듈로 입력부를 구성하고, 출력부는 *k*개의 주파수를 받아서 *n*개의 출력을 갖는 *m*개의 출력 모듈로 구성된다. 본 방식에서 요구하는 내부 라우팅 포멧은 그림2와 같으며, 이는 목적지가 동일한 교환 노드로 향하는 VP를 모아서 새로운 패킷을 구성하는 VPS(Virtual Path Set) 개념을 도입하여 구성한다. 그림2와 같은 광 패킷 포멧이 스위치 입력단에 입력되면, 주파수 변환 모듈에서는 출력 *OM(Output Module) ID*를 이용하여 해당하는 *OM* 별로 광 주파수를 할당하여

전달한다. 출력 *OM*에서는 *OM Port ID*를 이용하여 출력 단자로 출력한다. 이 구조는 입출력단 링크가 광학적으로 이루어지기 때문에 링크의 고속화를 도모할 수 있는 특징을 가지고 있다. 스위치 네트워크 전반부인 주파수 변환 모듈의 구성을 그림3에 나타냈다. 주파수 변환 모듈은 셀 분배기, 출력버퍼, *E/O* 모듈로 구성된다. 그림1의 주파수 변환 모듈 *FC*에서 발생되는 주파수는 출력 모듈 *OM* 수와 같다고 가정하자. 각 입력 단에 입력되는 광 패킷은 그림2와 같은 포멧으로 입력되면, 패킷 분배기(*PD:Packet Distributor*)에 의해 *OM Port ID*에 따라 *Output Buffer1*에 저장된다. 이때 변환되는 파장은 표3-1과 같은 규칙으로 변환시킨다. 표1에서 보면, 동일 출력모듈*OM*으로 향하는 신호는 서로 다른 파장으로 변환시켜 전송하고 있다. 즉 파장 분할 방식을 이용하기 때문에 하나의 광 링크로 전송할 수 있음을 나타내고 있다. 따라서 동일 출력모듈 *OM*으로 향하는 신호는 광 결합기(*Optical Combiner*)에 의해 합성되어 출력모듈*OM*으로 전달된다. 이때 광 신호*ff*의 속도는 최대 *n*개의 입력 신호를 전달 할 수 있으면(즉 *FC*로 입력되는 모든 신호가 특정 *OM*으로 향하는 경우), 스위치 내부에서는 넌 블로킹이 된다. 따라서 스위치 내부가 넌 블로킹이 되도록 구성하는 방법은 *FC*와 *OM*를 연결하는 광 링크의 속도를 높이든가 아니면 파장 다중화 방법으로 채널 수를 증가 시키는 방법을 사용할 수 있다. *OM* 모듈은 한 개의 광 입력에서 *n*개의 출력으로 분배하는 기능을 갖고 있으며, 그 구성은 그림4와 같다. *OM* 모듈의 입력은 *m*개의 *FC*로 부터 입력되는 서로 다른 *k*개의 파장을 다중화하여 하나의 광 링크를 통해 입력된다. 이때 입력되는 신호는 *Splitter*에 의해 *k*개의 신호로 분할되어 고정 *Wavelength Filter*에 입력된다. *Fixed Wavelength Filter*를 통과한 광 신호는 *O/E* 변환 과정을 통해 전기 신호로 변환된다. 그리고 변환된 광 패킷이 목적지의 출력단자로 전송되기 위해 *FB(Forwarding Buffer)*에 저장된 후, *OM Port ID*에 의해 각 포트의 출력버퍼*(output buffer 2)*에 저장된다.

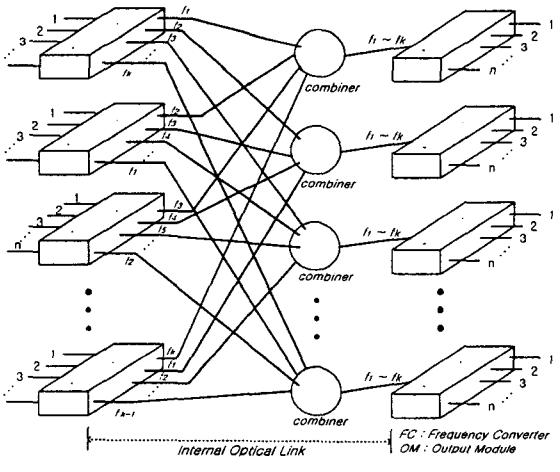

그림1 WDM 다중 링크 접속 광 패킷 스위치 네트워크

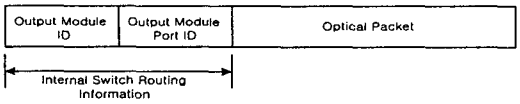

그림2 스위치 내부 라우팅 광 패킷 포멧

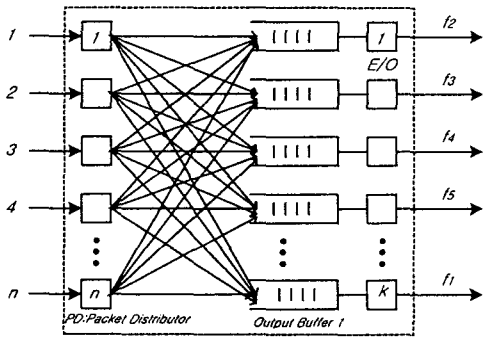

그림3 주파수 변환(FC) 모듈 구성

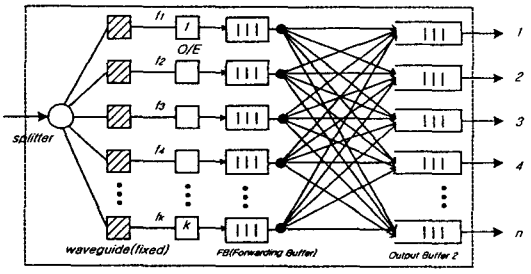

그림4 출력 모듈(OM : output module) 구성

III. WDM에 의한 스위치 내부 링크 다중화

II.에서 제안한 WDM 기반의 2단 접속 광 패킷 스위치 네트워크에서 내부 블로킹 특성을 개선하기 위해서는 *FC*와 *OM* 사이의 링크의 속도를 증가 시키면 가능하다. 따라서 *FC*와 *OM* 사이의 광 링크에 WDM 방식을 적용하고, 광 링크의 속도를 고속화하는 방법을 제안한다. 즉 그림1의 *FC*의 출력 단에 *r*개 파장을 다중화하는 방식으로 구성하면 된다. 이때 파장의 수는 *FC* 및 *OM* 모듈의 *r*배가 된다. 그림5에 *r=2*인 경의 스위치 네트워크 구성 예를 나타냈다. 그림5는 그림1에서 사용하는 파장 개수보다 2배로 증가 시켜서 시스템을 구성하고 있다. 이 경우, *FC*의 출력에서 2개의 파장이 특정 *OM* 모듈로 향하도록 구성하고 있다. *FC*의 출력 단의 출력버퍼 구성 방법을 그림6에 나타냈다. *FC*입력의 반은 f_i, 그리고 나머지 반은 f_{i+1} 주파수로 변환시켜서 내부 광 링크로 전송한다.

내부 광 링크 속도와 사용하는 파장의 수를 결합한 광 패킷 스위치 네트워크(*n=16, m=16*) 즉 단자 규모가 *256 x 256*인 시스템을 상상하고, 내부 링크당 사용하는 파장 수에 따라 필요한 광학 부품 수를 표1에 나타냈다. 광 결합기와 광 분배기의 수는 사용하는 파장에 관계없이 일정하며, 광

결합기의 입력단 및 광 분배기의 출력단 수는 사용하는 파장 수에 의존한다. 또 *E/O, O/E* 그리고 파장 필터 수는 사용하는 파장의 수에 의존한다.

표1 사용파수 수에 따른 부품 수의 비교

내부 링크당 사용 파장 수 / 항 목	1 파장	2 파장	3 파장
Combiner/Splitter 수	16/16	16/16	16/16
파장변환기(E/O모듈)	16	32	48
파장 필터	16	32	48
O/E 모듈	16	32	48

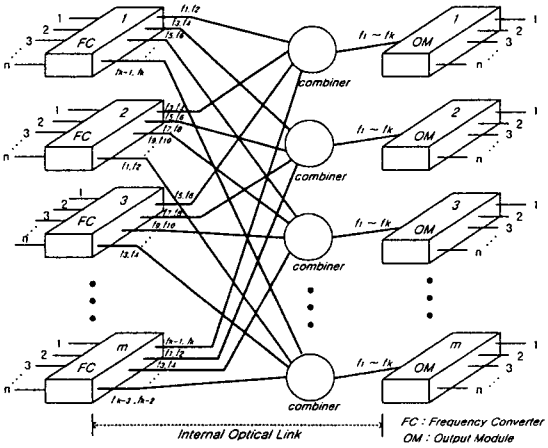

그림5 *r*개 파장 다중 링크 광 패킷 스위치 네트워크(*r=2*)

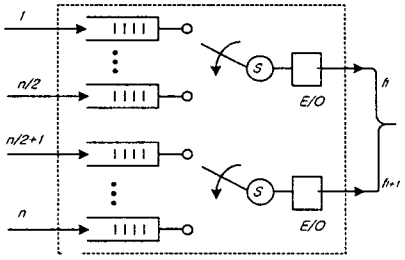

그림6 다중 파장 변환 FC의 출력단 구성

IV. 성능 분석 및 평가

WDM 기반의 대용량 광 패킷 스위치 네트워크의 내부 블로킹 특성을 파장 다중도와 링크 속도에 따른 특성을 시뮬레이션에 의해 분석하였으며, 조건은 다음과 같다.

- *FC*의 입력 단자 수 및 모듈 수 : $n=16$, $m=16$
- *OM*의 출력 단자 수 및 모듈 수 : $n=16$, $m=16$
- 광 링크에 사용하는 파장의 수 : *1, 2, 4, 8*
- 호의 대역폭 / 평균 호 지속시간 : 10 Mbit/s / 3분

상기 조건에서, *FC*의 각 입력 단에 인가되는 호가 균등하게 출력 *OM*으로 향하는 경우에 대해서 내부 호 블로킹 특성을 그림7에 나타냈다. 그림7은 내부 링크 접속에서 기존의 방식처럼 한 개의 파장을 이용하여 접속한 경우이다. 이때 입력측에 가해지는 부하가 *0.9*일 때는 내부 호 블로킹 확률은 *0.1* 정도, 부하가 *0.5*일 때는 내부 호 블로킹 확률은 *0.005*정도로 나타났다. 2개 이상 파장을 사용할 경우에 내 부 호 블로킹 확률은 거의 없었다.

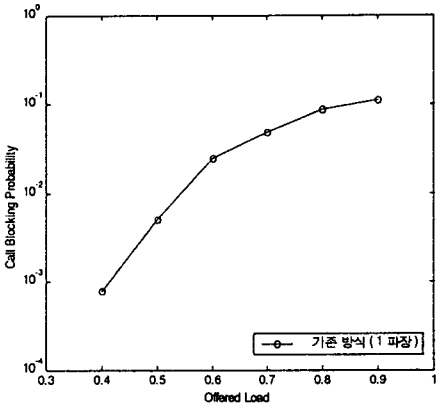

그림7 광 패킷 스위치 네트워크의 내부 블로킹 특성 – 1

내부 링크에서 호 블로킹 특성을 분석하기 위해, 특정 *OM*으로 트래픽이 편향될 때, 내부 링크에 사용하는 파장의 수에 따른 호 블로킹 특성을 조사하였다. 본 검토에서 정의한 편향 트래픽은 *n*개의 입력에서 가해지는 *FC*의 호 중 *x%*는 특정 *OM*으로 향하고, *x%*를 제외한 나머지 호는 균등하게 서로 다른 *m*개의 *OM*으로 분배되는 상황을 말한다. 이때 *x%*를 편향 트래픽을 *x%*로 정의하였다. 그림8부터 그림10까지 그래프에서 가로 축은 각 *FC*입력에 가해지는 호의 트래픽량이고, 새로 축은 주목하는 특정 링크에서 발생하는 내부 호 블로킹 특성을 나타냈다.

그림8은 트래픽 편향이 *20%*, 그림9는 트래픽 편향이 *30%*, 그림10은 트래픽 편향이 *50%*일때, 편향되는 특정 링크에서 호 블로킹 확률을 나타내었다. 광 패킷 교환기를 실제 적용할 때, VPS 개념의 네트워크에 적용하기 때문에 입력 링크의 사용 효율은 *50%* 이상이 될 것으로 예측된다. 따라서 최악의 경우 트래픽 편향이 *100%* 이지만, 이러한 경우는 거의 없다. 트래픽 편향을 *50%*, 입력 부하 *0.8*로 가정할 때, 내부 호 블로킹 확률을 *0.001*를 만족하는 시스템을 설계하고자 할 때, 그림10에서 알 수 있듯이 *8*파장을 다중화하여야 한다. *FC*와 *OM*사이에 링크에 사용하는 파장을 *FC*입력 *n*의 *1/2*, 즉 *8*개 파장을 사용하여 접속하여야 한다. 또한 내부 광 링크의 속도를 *4*배 고속화 시키면, 링크 접속에서는 *2*개의 파장을 사용하여도 동일한 특성을 얻을 수 있다. 또 링크 속도를 배로 증가 시키면, *4*개의 파장을 사용하여 구성하면 동일한 특성을 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

그림8에서 보면, 트래픽 편향이 *20%*이고 부하 *0.7*일 때, *4*개의 파장을 사용하면 *0.001*정도의 내부 블로킹 확률을

갖는 시스템을 구성할 수 있다. 그리고, 트래픽 편향이 *30%*이고 부하가 *0.7*이면, 약 *0.01*정도의 내부 블로킹이 발생함을 알 수 있다.

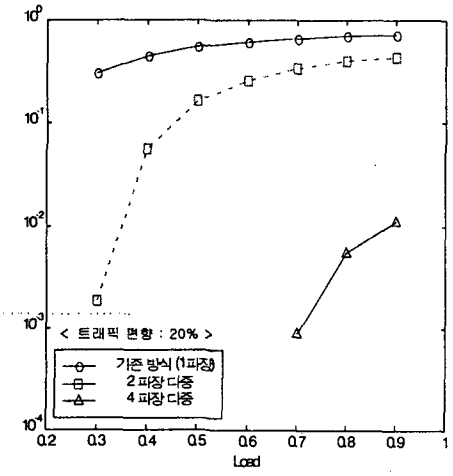

그림8 광 패킷 스위치 네트워크의 내부 블로킹 특성 -2

본 방식은 내부 링크가 광학적으로 구성되기 때문에 링크의 고속화가 가능하므로 파장의 수와 내부 링크의 속도를 적절히 증가하여 최적의 광 패킷 스위치 네트워크를 설계할 수 있다. 스위치 내부의 손실 L_{LOSS} 은 광 결합기의 손실 L_C, 광 분배기의 손실 L_S, 광 파장 필터의 손실 L_F, 그리고 각 단에서 결합하는 커넥터 손실과 광 섬유 손실 L_{LINK}로 주어진다.

$$L_{LOSS} = L_C + L_S + L_F + L_{LINK}$$

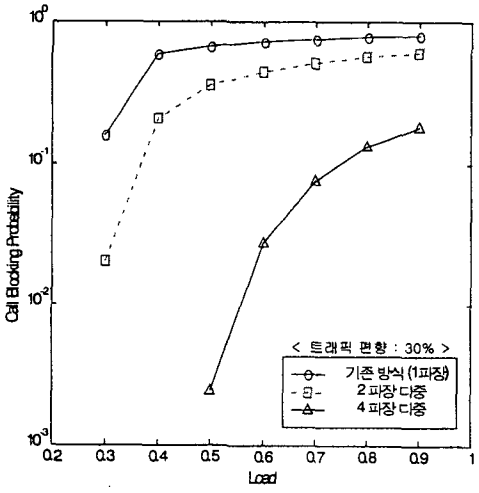

그림9 광 패킷 스위치 네트워크의 내부 블로킹 특성 - 3

광 결합기 및 광 분배기의 손실도 사용하는 파장 수 즉 광결합기 입력 및 광 분배기의 출력 수에 의존한다. 따라서 광스위치의 내부 손실 마진과 입력 광 전력 및 수신 전력이 주어지면, 사용 가능한 최대 파장 수가 결정된다. 최대 사용가능 한 파장의 수가 제한되면, 내부 광 링크의 속도를 증가 시켜서 해결한다.

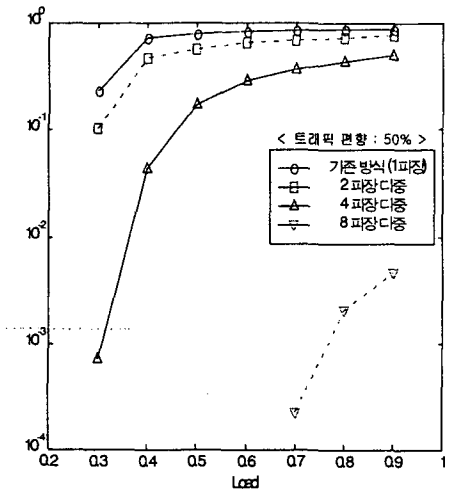

그림10 광 패킷 스위치 네트워크의 내부 블로킹 특성 - 4

V. 결 론

대용량 광 패킷 스위치 노드에 적합한 WDM 방식에 기반을 둔 2단 접속 광 패킷 스위치 네트워크 구조를 제안하고, 제안한 스위치 네트워크의 구성 및 동작 원리를 나타냈다. 제안 방식의 특성을 사용하는 파장의 수와 내부 링크의 속도를 변수로 하여 내부 블로킹 특성을 분석하였다. 분석 결과 제안한 방식은 파장 다중 접속을 이용하기 때문에 파장의 수와 링크의 속도를 적절히 조합함으로써 내부 넌 블로킹 특성을 갖도록 설계가 가능하며, 트래픽 처리 특성도 우수한 방식으로 평가된다. 따라서 본 방식은 수백 Gbit/s 급 처리 용량을 갖는 광 패킷 스위치 네트워크 구조에 적합한 방식이다.

또 제안한 방식을 구현하는 한가지 방법으로 파장 라우터를 이용하여 스위치 내부를 완전히 광학적으로 구성하는 는 것이 가능하다. 금후, 이에 대한 연구와 다양한 호에 대한 분석이 요구된다.

[참고 문헌]

[1] Le Nguyen Binh, Hock Choong Chong, " Improved WDM packet Switch Architectures with Output Channel Grouping", Comm. Network, Vol.8, No.1, Jan.-Feb., 1997.

[2] Kohei Nakai et al., "A WDM Tb/s ATM switch with dynamic link speed control method", IEICE-SSE Vol.97, No.618, Mar.,1988.

[3] I.P.Kaminow et al., "A Wideband All-Optical WDM Network", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.14, No.5, pp. 780-799, 1996.

[4] Jun Nishikido et al., "A Study of Dense WDM Broadcast and Select Network System", IEICE-SSE Vol.96, No.535, Feb.1987.