광WDM 인터커넥션에서 AWG 라우터의 특성 연구

김 훈*, 최 현 호**, 박 광 채***
조선대학교 대학원 전자공학과*, 순천제일대학 전자정보통신학부**, 조선대학교 전자정보통신공학부***
광주광역시 동구 서석동 375번지

A Study on Characteristic of AWG Router in Optical WDM Interconnections

Hoon-Kim*, **Hyun-Ho Choi****, Kwang-Chae Park***
* Dept. of Electronics Eng., Graduate School of Chosun Univ
** Dept. of Electronic & Telecommunication Suncheon First College
*** School of Electronics, Information and Communications Eng. Chosun Univ.
375 Seoseck-dong, Dong-gu, Kwangju 501-759, Korea
E-mail : kcpark@mail.chosun.ac.kr

Abstract : A 640Gb/s very advanced ATM switching sysdtem using 0.25um CMOS VLSI, 40 layer ceramic MCM and 10Gb/s, 8 wavelength 8×8 optical WDM interconnection has been fabricated.

To break though the interconnection bottleneck, optical WDM interconnection is used. It has 20Gb/s 8 wavelength 8×8 interconnection capability. It realizes 640Gb/s interconnections within a very small size.

Pretiminary tests show that 80Gb/s ATM switch MCM and optical WDM interconnection technologies can be applied to future high speed broadband networks

Ⅰ. 서 론

광통신의 장거리, 고속화 및 대용량의 추세에 따라 이미 2.5Gb/s 급 광통신 시스템이 상용화되었고, 10Gb/s 급 광통신 시스템의 상용화도 멀지 않았다. 그러나 요구되는 정보서비스의 용량이 더욱 증가되어 이의 실현을 위해 기존의 광통신 시스템에 부가적인 장치없이 광섬유 한가닥에 여러개의 채널을 동시에 전송하는 파장다중 광통신에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광통신은 여러 파장의 신호들이 동일한 광섬유로 전송되므로 이를 정확하게 분리해 내는 기술이 매우 중요하다. 그 중에서도 광 배열 도파로 회절격자 형태의 광파장 필터는 InP 반도체로의 구현이 가능하다. 이러한 InP 기반 AWG (Arrayed Waveguide Grating)는 다른 기능을 갖는 광소자들과 집적하므로써 칩 사이즈를 줄일 수 있으며, 복합기능을 가진 광소자의 구현이 가능하다.

WDM 방법을 사용하는 전광(all-optical) 네트워크에서 파장 라우팅에 관한 관심이 점점 증가하고 있다. WDM 기술에 기반을 둔 광전달망에서는 하나의 광섬유에 여러 개의 파장을 다중화하여 사용함으로써 전송용량을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 파장에 따른 경로제어가 가능하기 때문에 통신망의 유연성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 전달망이 구축되기 위해서는 광필터 및 광 다중화/역다중화기와 같은 광학소자의 개발이 필수적이고, 광전달망의 효율적인 구축을 위해서 경로제어 및 파장할당 방법과 같은 통신망 기술개발이 요구된다. 통신망의 지원, 특히 파장을 효율적으로 사용하기 위한 경로제어 및 파장할당 방법에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.

본 논문에서는 AWG를 이용한 광 라우터를 소개하고, 라우터의 파장할당 및 특성을 알아본다.

Ⅱ. 광WDM 인터커넥션

고속 인터커넥션 기술은 640Gb/s 스위칭 시스템을 구성하기 위해 필요하다. 8개의 80Gb/s 스위칭(8×8) 모듈의 인터커넥션은 64개의 교차점을 단마다 다루는 것이 필요하다. 일반적인 인터커넥션 기술은 각각의 교차점에서 요구되는 초고속 회선속도를 다룰 수 없기 때문에 비실용적이다. 그러므로 넓은 대역폭을 가지는 광 기술은 전기 스위칭 시스템의 처리율 한계를 극복하는데 핵심이 될 것이다[1-2]. 이는 각각의 단에서 8개

의 80Gb/s급 스위치들을 다른 단의 스위치와 서로 연결하는 WDM 라우팅 시스템을 구축하는 것이 목적이다. 구성은 광 라우터를 통하여 8개의 기본 스위치(8×8)를 서로 연결하기 위해 8개의 다른 파장과 8×8 광 라우터를 사용한다[3]. 광 라우터는 앞단에 있는 모든 기본 스위치들이 여러 파장을 통해 다음 단에 있는 모든 스위치들로 어드레스 되는 것을 가능하게 한다. WDM 인터커넥션 시스템은 8개의 송신기(TX) 블록, 1개의 광 라우터, 8개의 수신기(RX) 블록으로 구성되어 있다. 각각의 TX 블록은 8개의 10Gb/s 광 TX 모듈, 8개의 서로 다른 파장, 1개의 광 다중화기로 구성되어 있고, 다중화된 파장을 갖는 8×10Gb/s WDM 신호를 전송한다. 각각의 RX 블록은 1개의 역다중화기, 8개의 10Gb/s 광 수신기 모듈로 구성되어 다중화된 파장 8×10Gb/s WDM 신호를 받아들인다. 송신기와 수신기 모듈의 중심에 있는 광 라우터는 AWG로 이루어져 있고, 광 라우터가 입력 WDM 신호들을 파장에 따라 여러 출력포트로 교환한다는 것을 의미한다. 출력채널 수와 파장의 라우팅 관계는 WDM 광 신호가 유입되는 입력채널 수에 좌우되는데, 순환적인 방법으로 실행된다. 따라서 앞단에 있는 1개의 스위치는 하나의 셀을 특별한 파장 신호를 이용하여 다음 단에 있는 어떤 스위치에 교환할 수 있다. 이러한 방법으로 8×8 인터커넥션은 80Gb/s 처리율을 갖는 8개의 WDM을 수용할 수 있다. 시스템은 분리된 광섬유 수를 줄이고, 시스템이 간단하게 동작할 수 있도록 한다. 640Gb/s 전체 시스템 처리율은 1개의 광 라우터를 이용하여 좋은 성능을 유지할 수 있다.

WDM 기술을 효과적으로 실행하기 위해서 WDM 인터커넥션은 단순화되어야 한다. 보통의 WDM 시스템은 긴 전송회선에서 전송용량이 증가하기 때문에 좁은 채널 간격의 WDM을 사용한다. 그러나 시스템을 복잡하게 하고, 온도범위 한계를 감소시키기 때문에 엄격한 파장제어를 필요로 한다. 넓은 온도 한계를 얻기 위해 AWG의 통과대역을 넓히고, 복잡한 온도제어 회로를 제거하는 것이 좋다. 그러나 넓은 AWG 통과대역은 광 라우터에서 큰 주파수 에러의 원인이 되어 넓은 WDM 채널 간격이 광 소스를 선택하는데 있어서 어려움을 증가시킨다. 이러한 문제를 해결하고, 525GHz(center : 193.1THz)의 넓은 채널 간격을 갖는 AWG를 사용하기 위해 이 시스템을 사용하였다[4]. 최적의 채널 간격은 필터 손실과 주파수 에러가 작을 때이다.

Ⅲ. AWG 최적조건 분석

Phased-array (디)멀티플렉서는 길이를 증가시키는 도파관의 array로 연결된 두 개의 star 커플러의 N×N 파장 필터이다. phased-array는 중심 주파수(center frequency), free spectral(diffraction order 사이의 간격, free spectral range), 채널 간격(channel spacing), 열, 출력단자 수(number of channels)와 같은 몇 개의 변수로 표현된다. 여기서 기본 모델로 사용하고 있는 phasar AWG의 레이아웃과 수신단의 geometry를 그림 1에서 보여주고 있다.

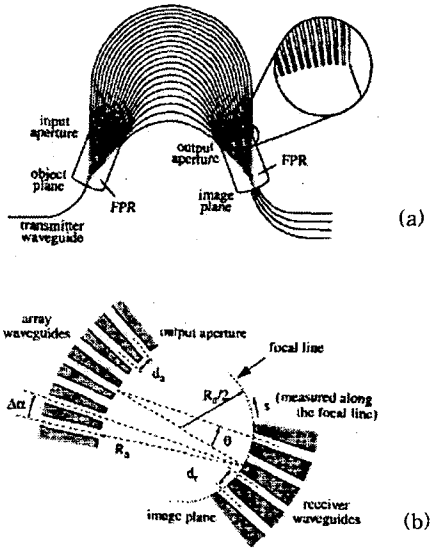

그림 1. (a) phasar AWG 레이아웃
(b) 수신단의 geometry

도파관에서 모델은 가우시안 근사치를 사용하여 phased-array (디)멀티플렉서를 통한 전송은 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$t_{p,q}=\sum_{m=0}^{M-1} A_p^{e^{j[]\beta_s R_a(1+\Phi_p\alpha_m))}} e^{j[\beta_g L_m]} A_q^{j[\beta_s R_a(1+\alpha_m\Phi_q)]} \quad (1)$$

$$A_i=\sqrt{\frac{\beta_s\omega_0\Delta\alpha}{\sqrt{2\pi}}}\; e^{-[\beta_s\omega_0\alpha_m/2]^2}\; e^{-[\beta_s\omega_0\Phi_i/2]^2} \quad (2)$$

Lm=mp L+L_0는 array arm의 길이이다. 여기에서 pL은 두 개의 연접한 array 도파관 사이의 길이 차이이다. freespectralrange로부터 phased-array의 order v는 다음 식과 같이 주어진다.

$$v=\int(\lambda_c \;/\; \Delta\lambda_{FSR}) \quad (3)$$

결론적으로 초점길이는 다음과 같이 주어진다.

$$R_a=\frac{N_{slab}d_a d_r}{v\Delta\lambda} \quad (4)$$

입력 도파관의 gaussian far-field width θ_0를 사용하여 diffracted 부분을 모으는데 필요한 array에서

도파관의 수는 다음과 같이 주어진다.

$$M = \int \left(\frac{4\theta_0}{\Delta\alpha} + 1 \right) \quad (5)$$

2.1. 도파관 구조

phasar 응답은 사용한 도파관 구조에 의해 결정되는데, 도파관의 특성을 결정하는 매개변수는 다음과 같다.

- 도파관의 폭 ω_{ag}(waveguide width) : InP로 만들어진 도파관의 경우는 2um이고, glass로 만들어진 도파관의 경우는 6um 값을 갖는다.
- 규격화된 전파상수 b(normalized propagation constant) : 거의 다중모드의 높은 대조를 보여주는 도파관(InP)의 경우는 0.8로 주어지고, 단일 모드의 낮은 대조를 보여주는 도파관(glass)의 경우는 0.6의 값을 갖는다.
- slab-mode index n_{slab} : InP 도파관의 경우, 일반적인 값은 3.3이고, glass 도파관의 경우는 1.44이다.
- phasar의 입·출력단에서의 도파관 사이의 간격(dr) : 작은 separation은 high crosstalk를 주고, 큰 간격은 덩치 소자를 크게 한다. 합리적인 값은 도파관 폭의 1.5배이다.
- star 커플러의 위치에서 array(d_a)에서의 도파관 사이의 간격 : 작은 간격은 가장 작은 손실을 준다. 이는 사용하는 공정에 의해 크게 제한 받는다. InP 도파관의 경우는 0.5um이고, glass 도파관의 경우는 6um이다.
- 중심 채널의 삽입 손실(LossAtCenter Frequency) : 중심 채널은 0의 insertion loss를 갖는다. 이 변수는 모든 채널에 임의의 손실을 더한다. 입·출력 단자 도파관의 수가 짝수인 phasar에서는 중심 채널이 존재하지 않는다.
- signal repersentation : block
- multiple bands : 적절한 필터 transfer 기능을 가지고, 독립적으로 필터링 된다.
- paramenterized signals : 상대신호의 중심 주파수에서 계산된 필터의 전달 기능값에 의하여 parameterized signal의 power 정보가 변한다.
- noise bins : 전송된 잡음 신호에 대하여 모듈의 행위는 변수 noised dynamic와 noise threshold를 이용하여 결정된다. 다음 두 가지 조건이 만족된다면 noise bins는 밴드폭으로 resize된다. ① 필터의 투과 기능의 역학(최소값에 대한 최대값의 로그함수 비)은 매개변수 noise dynamic을 초과한다. ② bin의 spectral 영역에서 필터의 attenuation은 매개변수 noise threshold에 의해 특정화된 값은 초과하지 않는다.

Ⅳ. 성능 분석

광WDM 인터커넥션의 라우팅 블록도는 그림 2에서 보여진다. 10Gb/s를 처리율을 가지고 있는 80Gb/s 스위치는 8개의 파장 신호를 처리한다. 라우터 AWG는 표 1과 같이 8×8 라우터의 입력포트와 출력포트에 따른 투과 파장 라우팅을 수행한다. 첫 번째 포트로부터의 입력 WDM 채널(λ+1~λ0)은 λ+1으로부터 출력포트 #1으로, λ+2로부터 포트 #2, 그리고 λ0로부터 포트 #8로 스위치 된다. 두 번째 입력포트로부터의 입력 WDM 채널(λ+1~λ0)은 주기적 시프트 레지스터에서와 같이 λ+1로부터 출력포트 #2로, λ+2로부터 #3, λ0로부터 포트 #1으로 스위치 된다. 각각의 출력포트는 각각의 다른 입력포트를 갖는 8개의 WDM 채널을 처리한다.

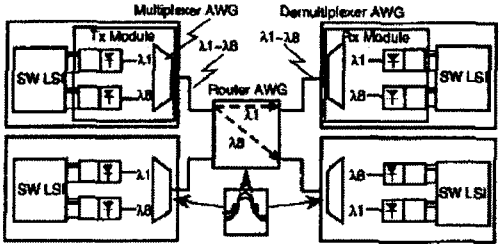

그림 2. 광WDM 인터커넥션 라우팅 구성도

표 1. AWG의 라우팅 채널

입력포트# / 출력포트#	1	2	3	4	5	6	7	8
1	λ+1	λ+2	λ+3	λ-4	λ-3	λ-2	λ-1	λ0
2	λ+2	λ+3	λ-4	λ-3	λ-2	λ-1	λ0	λ+1
3	λ+3	λ-4	λ-3	λ-2	λ-1	λ0	λ+1	λ+2
4	λ-4	λ-3	λ-2	λ-1	λ0	λ+1	λ+2	λ+3
5	λ-3	v-2	λ-1	λ0	λ+1	λ+2	λ+3	λ-4
6	λ-2	λ-1	λ0	λ+1	λ+2	λ+3	λ-4	λ-3
7	λ-1	λ0	λ+1	λ+2	λ+3	λ-4	λ-3	λ-2
8	λ0	λ+1	λ+2	λ+3	λ-4	λ-3	λ-2	λ-1

입력포트 #4에서 출력포트 #5로 출력되는 채널의 중심 파장을 λ0로 하여 λ0보다 작은 파장은 -기호로, λ0보다 큰 파장은 +기호로 표기하였다. 한 채널 간격은 1.6nm이며, 할당된 파장은 온도 23° C를 기준으로 할 때에 다음과 같다.

- λ-4 : 1547.3nm
- λ-3 : 1548.9nm
- λ-2 : 1550.5nm
- λ-1 : 1552.1nm
- λ0 : 1553.7nm
- λ+1 : 1555.3nm
- λ+2 : 1556.9nm
- λ+3 : 1558.5nm

비할당된 채널의 영향을 알기 위해 8개 입력포트에 한 채널을 입사시킨 후, 고정된 출력포트 #5에서 측정한 투과 스펙트럼이다. 사용한 채널의 중심 파장은 λ0(1553.7nm)이고, 이것은 #4의 입력일 때, 투과가 최대가 되는 영역이다. 그 다음으로 투과가 큰 것은 #4로부터 두 채널 간격인 입력포트 #1과 #7이다. 최대 투과와의 차이는 약 20dB로 다소 작으므로 신호의 전송에 무시할 수

없을 정도의 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 예를 들어, 입력 #7에서 출력 #2로 할당된 채널을 생각해 보면, 이 채널의 중심파장은 $\lambda 0$이다. 이 신호는 출력 #2이외의 다른 모든 출력포트들로 새어 나가는데, 그림 3에서 보여지는 바와 같이 출력 #5로 가장 많이 새어나감을 알 수 있다.

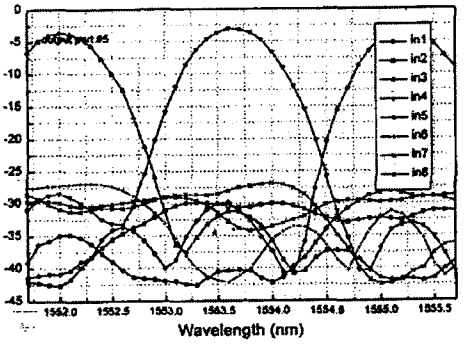

그림 3. 8개 이력포트에 대한 출력포트 #5에서 투과 스펙트럼

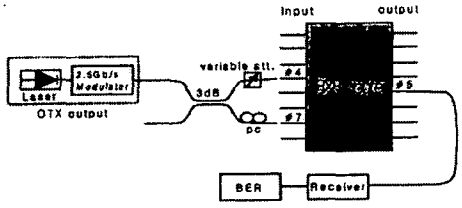

그림 4. 입력포트 #7에 의한 #4 신호의 BER 변화

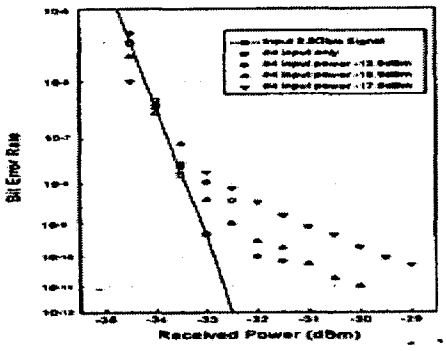

그림 5. 출력포트 #4와 수신된 파워 대 BER

이러한 오버랩은 피할 수 있으며, 그 영향을 조사해 보기 위해 출력포트 #4에서 BER(Bit Error Rate)을 측정하였다. 그림 4에서는 측정 setup을 나타내었다. 입력포트는 #4와 #7이며, 그림 5에 측정한 BER을 그래프로 나타내었다.

입력신호는 2^{23}-1 확률의 2.5Gb/s로 강도 변조된 파장 1553.7nm의 신호이며, 라우터를 거치지 않은 신호 안의 BER을 나타내었다. 입력포트 #4에 입사하였을 경우, 출력단 #5에서의 BER인데, 라우터를 거치지 않은 신호와 거의 같음을 알 수 있다. 입력포트 #7에 동일한 신호가 입사할 경우에는 #4의 입력 파워를 변화시키며, BER을 측정하였고, #7에 입사한 신호의 영향으로 BER이 변화하였음을 알 수 있다. 입력포트 #7에 입사한 신호의 입력 파워는 14.2dBm로 고정하였고, 입력포트 #4에 입사하는 신호의 입력 파워가 -13.9dBm과 -17.9dBm일 때, 10^{-9} BER의 수신 파워는 각각 --32.5dBm과 -31dBm로 측정되었다..

V. 결 론

640Gb/s ATM 스위칭 시스템은 0.25㎛ CMOS 장치, 고밀도 MCM 기술, 광파장 분할 다중화 인터커넥션 기술을 이용하여 제작된다. 시스템의 핵심 부분인 WDM 인터커넥션 시스템은 파장 분할 다중화 라우팅 기술을 이용하여 80Gbps 스위칭 모듈을 서로 연결하고, 이러한 스위칭 시스템은 고속 멀티미디어 네트워크의 플랫폼 구축에 응용될 수 있다.

AWG 라우터의 포트에 따른 파장 할당과 투과 특성을 조사하였다. 고정된 입력포트에 할당된 파장 대역을 입사하여 각 출력단에서의 투과 스펙트럼을 보았다. 또한 고정된 출력포트에서 각 입력포트에 입사하는 광의 투과 스펙트럼을 보았고, 할당된 파장이 아닌 채널의 영향을 조사하기 위해 신호의 BER을 측정하였다.

참 고 문 헌

[1] E. Munter, J. Parker, and P. Kirkby, " A Hign-Capacity ATM switch Based on Adbanced Electronic and Optical Techniques," *IEEE Commn. Mag.*, pp. 64-71, 1995.

[2] M. Tsukada, A. Misawa, J. Nishikido, Y. Shimazu, and H. Nakano, "Experiments on photonic cell switching with an optical input buffer," *Electron. Lett, 30, 13,* pp. 1081-1082, 1994.

[3] S. Yasukawa, N. Yamanaka. R. Kawano, H. Takeuchi, and S. Kuwano, "T bps WDM Interconnection System with Pocket-size 10 Gbps Transmitter/Receiver Module and AWG Router," *ECOC'98,* pp. 575-576, 1998.

[4] S. Yasukava, and N. Yamanaka, "640 Gbps Ultra-high-speed Optical Interconnection System using Wide-channel-spacing Wavelength Division Multiplexing," *BSS'97,* pp. 101-105, 1997.