

## 광통신 다중화기술

박진우, 이상록, 김기범

(고려대학교 전자공학과)

### ■ 차 례 ■

- |   |   |
|---|---|
| <p>I. 서 론</p> <p>II. 광시분할 다중방식</p> <p>    2.1 전기적 다중화와 광학적 다중화</p> <p>    2.2 광시분할 다중화 시스템의 구조</p> <p>III. 파장분할 다중방식</p> <p>    3.1 파장분할 다중방식의 구조</p> | <p>    3.2 파장분할 다중화 시스템의 실현 및 특성</p> <p>IV. 광부호분할 다중방식</p> <p>    4.1 광부호분할 다중방식의 구조</p> <p>    4.2 광부호분할 다중방식의 분류</p> <p>    4.3 진 방</p> <p>V. 결 론</p> |
|---|---|

### I. 서 론

장거리전송과 광대역통신에 주로 활용되어 오던 광섬유 통신기술은 광통신기술의 큰 발전과 새로운 소자의 개발과 발전으로 그 성능과 경제성이 획기적으로 개선됨에 따라 정보통신 매체로서의 확실한 위치를 차지하고 있을 뿐아니라, 응용이 제한되었던 분야로 확대 활용되어감에 따라 통신의 새로운 미래형 서비스를 창출할 수 있는 기반을 마련하고 있다.

광통신소자분야에서 이루어지고 있는 큰 발전과정과 더불어, 현대의 통신기술을 수용하여 광섬유통신의 장점을 최대한 활용하기 위한 광통신기술은 새로운 개념의 광네트워크의 소개와 광대역신호의 전송처리기술의 발전으로 나눌 수 있을 것이다. 즉 기존의 음성서비스와 방송서비스 뿐만 아니라 고속데이터 서비스와 영상통신 서비스 등의 보다 다양한 광대역 정보를 많은 가입자에게 전달하려는 광가입자망, 즉 FTTO(Fiber To The Office), FTTH(Fiber To The Home) 등의 실현이 가까운 기간내에 이루어질 것이며, 이에 망설계의 이론과 실제에 근본적으로 새로운 변화를 필요로 한다[1]. 한편, 보다 다양한 형태의 광

대역신호를 전송할 필요가 증대됨에 따라 신호처리 속도가 약 10 GHz 이내로 제한되는 전자소자기술의 한계를 극복하기 위한 새로운 광스위칭기술과 광다중화기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

본 논문에서는 전자소자에 의한 신호처리의 병목현상을 줄이고 광섬유의 큰 대역폭을 최대한으로 활용하기 위하여 연구되고 제안된 광다중화기술에 대하여 논하기로 한다. 일반적인 광다중화기술의 분류는 광시분할 다중방식(Optical Time Division Multiplexing), 파장분할 다중방식(Wavelength Division Multiplexing), 그리고 광부호분할 다중방식(Optical Code Division Multiplexing)으로 할 수 있으며, 본 논문은 각각의 다중방식의 원리를 설명하고 최근에 연구발표된 내용을 중심으로 각 방식의 장점과 제한점, 그리고 앞으로 가능한 기술발전방향에 대하여 기술한다.

### II. 광시분할 다중방식

본 절에서는 시분할 다중방식에서 전기적 다중화와 광학적 다중화의 차이를 설명하고, 광시분할 다중방식에서 광학적 다중화와 역다중화 과정에서의 주

요 소자들의 기능과 각 소자들이 성능에 미치는 영향을 설명한다.

2.1 전기적 다중화와 광학적 다중화

시분할 다중방식은 각 채널마다 특정 타임슬롯(time slot)을 할당함으로써 여러 채널간에 전송링크를 공유하는 다중방식이다. 그림 1은 광전송시스템에서 전기적 다중화와 광학적 다중화 방식의 블럭도를 보이고 있다. 그림 1(a)는 기존의 방구조로 광대역의 광섬유를 효율적으로 이용하기 위해 고속의 전기처리 과정에 의해 다중화하고 단지 집대집 전송을 위해 광전송기술을 활용한다. 즉, 전기적으로 다중화된 시스템은 전광(electrical-to-optical) 변환장치 전단에서 전기적으로 다중화하고 광전 변환장치 후에 역다중화하는 방식이다. 각각 B의 비트율을 갖는 n개의 기저채널(baseband channel)이 다중화되면 nB의 비트율로 대역폭이 증가되므로 다중화기와 실광변환장치는 다중화된 비트율로 동작해야 하므로 전자소자에 의한 병목현상이 발생한다. 기존 방식에서의 전기적 다중화에 의한 시분할 다중방식은 전자소자의 처리속도

한계에 의해 광섬유의 큰 대역폭을 활용하기에는 불충분하다. 따라서 그림 1(b)에서와 같이 전기적으로 다중화된 시스템의 한계를 극복하기 위하여 각각의 기저채널을 실광 변환한 후에 광신호를 다중화함으로써 신호차리에 모든 전자소자들은 기저채널의 비트율에서 행해지므로 전자소자에 의한 병목현상을 방지할 수 있다. 이처럼 기저채널을 광으로 다중화하는 방식을 광시분할 다중방식이라 한다[2-6].

2.2 광시분할 다중화 시스템의 구조

광시분할 다중화 시스템은 그림 2에서처럼 송신기, 수신기, 그리고 Mode-locked 레이저로 구성된다.

Mode-locked 레이저는 전체 시스템의 동기를 제공하고, 각 채널에 폭이 좁은 광펄스를 제공한다. 또한, 광시분할 다중방식에서 각 채널에 제공되는 광펄스를 복직지에 해당하는 올바른 타임 슬롯에 할당되어야 하므로 모든 송신기간의 동기를 위하여 중앙 동기 방식의 클럭신호를 모든 채널에 제공한다. 광시분할 다중방식은 각 채널마다 일정한 지연을 가진 후 폭이 매우 좁은 광펄스를 기저채널에 할당하여 광펄스를 다중화하는 방식으로 광펄스의 폭이 좁을수록 더 많은 채널을 수용할 수 있다. 따라서 폭이 좁은 광펄스를 발생하는 방식은 광시분할 다중화 시스템에서 중요한 요소이다. 고속 전자회로의 특성을 활용하기 위해 picosecond 단위의 펄스폭을 갖는 광펄스를 발생하기 위한 방식은 크게 mode-locking 방식과 gain/Q-switching 방식이 있다[7].

광송신기는 게이트와 광다중화기로 구성된다. 게이트는 반도체 레이저로부터 나오는 폭이 좁은 광펄스를 입력데이터에 의해 변조하기 위한 전광변조기로 구성된다. 그리고, 광다중화기는 변조된 광신호를 프레임의 적절한 슬롯을 선택하기 위한 장치로 1×M 스위치와 지연선(delay line)으로 구성된다. 그림 3은 게이트에서의 신호처리과정과 다중화된 신호예를 보이고 있다. 그림 3(a)는 입력데이터를 샘플링하는 전광변환기의 예이다. 레이저의 출력인 짧은 폭을 갖는 광펄스 열은 변조기를 통하여 전기적 입력데이터를 샘플링하여 NRZ 형태의 전기적 입력신호를 RZ 형태의 광신호로 변화함으로써 원래의 전기적 NRZ 데이터 신호는 동일한 전송율을 갖지만 폭이 좁은 광펄스로 변환된다. 따라서, 낮은 대역폭의 전기적 신호가 높은 대역폭의 광신호로 변환될 때 고속의 전자소자에 의존하지 않고 가능하므로 효율적이다.

그림 3(b)는 n개의 채널을 시간 영역에서 다중화

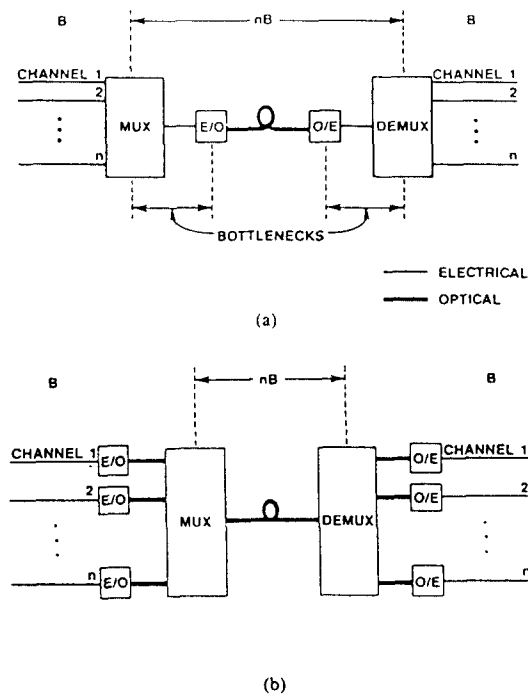


그림 1. 전기적 다중화와 광학적 다중화의 시스템 블럭도  
(a)전기적 다중화 시스템 (b)광학적 다중화 시스템

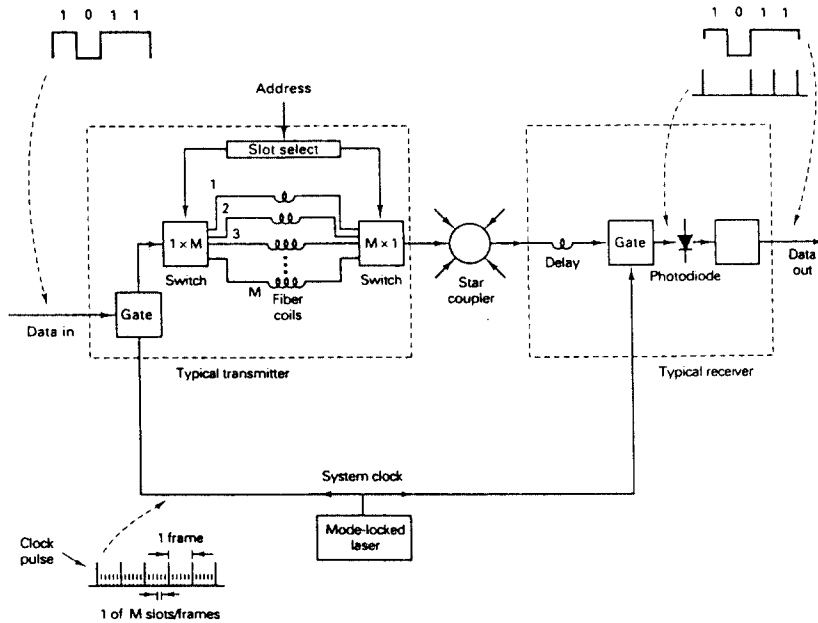
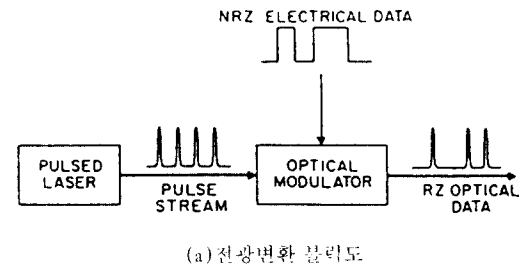


그림 2. 광시분할 다중화 시스템 블록도 [3]

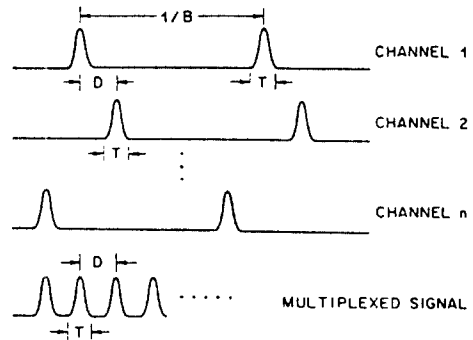
된 예이다. 다중화기에 입사하는  $n$ 개의 광신호들은  $B$  주기로 반복되면서  $T$ 의 펄스폭을 갖는 RZ 펄스열이다. 즉,  $B$ 는 프레임 간격을 의미하고  $T$ 는 각 채널에 해당되는 펄스의 폭을 나타내므로 펄스폭의 비  $B/T$ 는 최대 수용가능한 가입자수를 의미한다. 이 펄스열은 각 채널마다 일정한 지연을 거치고 입력데이터에 의해 전광변환기에서 변조된 후 다중화된다. 따라서 각 기저채널의 데이터는 다중화된 데이터 열에서 할당된 타임슬롯을 제외하고는 모두 "0"을 가지므로 인접채널간의 간섭이 작다.

광수신기는 역다중화기와 광다이오드를 이용한 광전변환기로 구성된다. 역다중화기는 다중화된 펄스열의 각 비트를 적절한 채널의 광전변환기로 전송하는 것이다. 광수신기는 다중화된 프레임에서 자신의 타임슬롯을 확인하기 위하여 그림 4와 같은 역다중화 과정을 거친다. 즉, 자신의 타임슬롯을 확인하기 위하여  $i$ 번째 수신기는 광클럭 신호를  $iT$  만큼 지연하여 수신된 신호를 더함으로써 광클럭신호보다 큰 신호를 얻을 수 있다. 따라서 수신기는 신호레벨이 기준을 넘으면 데이터가 있음을 확인할 수 있다.

최근까지 Gbps의 비트율을 갖는 고속의 광시분할 다중화 시스템의 구현은 광학적 다중화와 역다중화



(a) 전광변환 블록도



(b) 다중화된 신호

그림 3. 전광변환기를 이용한 다중화 예

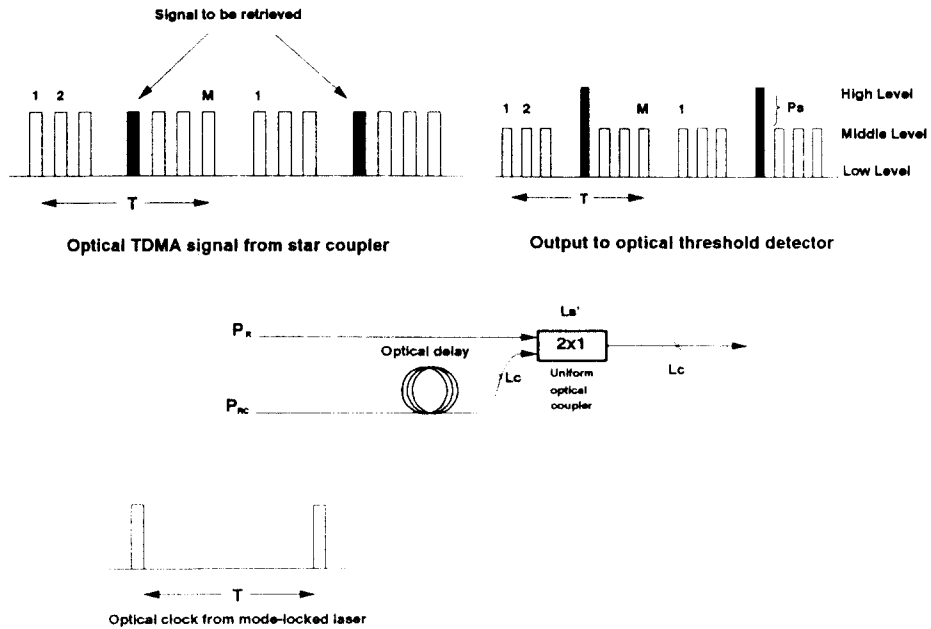


그림 4. 이다중화 예

과정에서 필수적 소자인 고속의 광스위치와 폭이 매우 좁은 펄스를 발생하기 위한 반도체 레이저와 같은 광소자의 한계에 의해 이루어지지 못하였다. 그러나, 폭이 좁은 광펄스를 발생하기 위한 mode-locking 방식이나 gain/Q-switching 방식의 발달로 수십 picosecond의 폭을 갖는 광펄스를 발생가능한 레이저가 개발됨에 따라 여러 실험예가 발표되고 있다[3-6]. 광시분할 다중화 시스템을 구현한 예 [4]에서 보듯이 gain switching 방식에 의해 25 ps의 폭을 갖는 레이저를 이용하여 40 Gbps의 시스템 효율(throughput)을 얻고 있다. 따라서, 앞으로 10 ps 이하의 폭을 갖는 광펄스를 발생시키는 레이저가 개발된다면 100 Gbps 이상의 시스템 효율이 가능하리라 기대된다.

### III. 파장분할 다중방식

본 절에서는 파장분할 다중화방식(WDM)의 다중화 원리, 발전과정, 그리고 파장분할 다중방식을 이용한 광가입자망의 개발예를 알아 본다.

#### 3.1 파장분할 다중방식의 구조

파장분할 다중방식은 광섬유의 저손실 대역을 파

장대역에서 분할하여 사용하는 방식이나[8-20]. 단일 모드 광섬유의 저손실 대역을 주파수로 변환하면 약 30 THz의 대역을 얻을 수 있다. 이를 완전히 사용하기 위해서는 광펄스의 폭이 수십 femtosecond의 크기여야 한다. 그러나, 수십 femtosecond 정도의 펄스는 아직 실용적이지 못하므로 파장분할 다중방식을 통해 이를 활용하는 것이 효과적이다.

그림 5는 파장분할 다중화 시스템의 블록도이다. 송신기에서는 각 채널마다 특정파장이 할당되어 전광 변환된 후 파장 다중화기를 통하여 다중화되어 전송된다. 수신기에서는 이다중화기를 통하여 각 파장을 선택한 후 원하는 신호를 복구하게 된다.

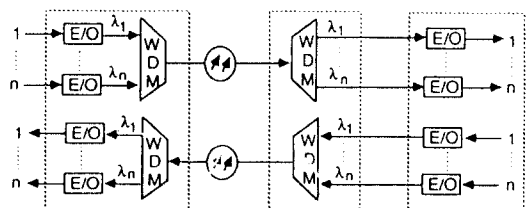


그림 5. 파장분할 다중화 시스템 블록도

과장분할 다중화 시스템은 다음과 같은 특징이 있다. 과장 다중화기는 동일 장치나 다중화와 역다중화에 모두 사용가능하고 완전히 수동소자로 구성된다. 또한, 과장분할 다중방식에서 채널은 서로 독립적이고, 데이터 형태에 있어 서로 투과성(transparency)이 있어 다른 전송율을 갖는 신호를 함께 전송할 수 있다.

그림 6은 과장분할 다중방식의 발전과정과 관련된 소자의 예이다[12]. 초기의 과장분할 다중화방식의 활용은 Coarse WDM이라 부르며 단 두개의 채널만을 다중화하였다. 즉, 하나의 채널은 1,300 nm의 대역을 사용하고 다른 채널은 1,500 nm의 대역을 사용하였다. 또한, 초기의 과장분할 다중방식은 방향성 결합기(directional coupler)나 DTF(Dielectric Thin Film)와 같은 비교적 단순한 장치를 사용했다. 그러나, 오늘날 DFB(Distributed FeedBack)나 DBR(Distributed Bragg Reflector)와 같은 좁은 선폭(linewidth)을 갖는 레이저의 발달로 더 좁은 채널간격으로 많은 수의 채널을 다중화할 수 있게 되었다. 이를 고밀도 과장분할 다중방식(Dense WDM)이라 부른다. 고밀도 과장분할 다중방식은 다채널의 과장을 다중화하기 위해 회절격자 소자를 사용함으로써 1~2 nm 채널간격으로 약 20개의 채널을 수용할 수 있다. 또한, guided-wave interferometric multiplier와 코히어런트 검출방식(coherent detection)을 사용함으로써 0.04 nm와 같이 더 작은 채널간격을 유지할 수 있는데 이를 광주파수분할 다중방식(optical FDM)이라 한다. 과장분할 다중화 시스템과 광주파수분할 다중화 시스템은 구조에 있어 유사하지만 과장분할 다중화 시스템의 채널간격이 1 nm 정도인 반면 광주파수분할 다중화 시스템은 채널간격이 5 GHz 정도로 신호 대역폭의 비트율

정도로 채널간격이 좁다. 따라서, 광주파수분할 다중화 시스템을 구현하기 위해서는 정교한 소자의 개발과 검출방식을 필요로 한다.

과장분할 다중화 시스템의 성능은 수용가능한 채널 수, 채널간 간격 등에 의해 좌우되므로 레이저와 광필터의 스펙트럼 특성은 시스템에서 고려할 중요한 변수이다. 고밀도 과장분할 다중화 시스템에서 성능이 우수한 tunable 레이저와 tunable 필터를 필요로 한다. 즉, 고밀도 과장분할 다중화 시스템은 DFB 레이저 다이오드와 같은 좁은 선폭을 갖는 레이저를 사용해야 한다. DFB 레이저 다이오드는 고속변조에서도 1 nm의 수십분의 1보다 작은 선폭을 갖는다. 이같은 좁은 선폭을 갖는 레이저를 이용하는 고밀도 과장분할 다중화 시스템에서는 채널이 밀집된 간격으로 다중화되므로 각 레이저의 과장은 할당된 대역내에서 안정되어야 한다. 따라서, DFB 레이저는 온도에 따라 약 0.09 nm/C로 변화하므로 온도 안정화회로를 포함한다.

또한, 누화와 초과손실은 시스템의 파워마진(power margin)에 영향을 미치므로 성능을 좌우하는 중요한 변수이다. 그러나, EDFA(Erbium-doped Fiber Amplifier)와 같은 광섬유증폭기의 발전으로 다중화 소자에 의한 초과손실과 분리기(splitter) 및 탭(tap)에 의한 손실을 보상할 수 있게 되므로써 파워마진에 대한 제약이 해결되어 고밀도 과장분할 다중방식의 발전은 더욱 가속화되고 있다.

### 3.2 과장분할 다중화 시스템의 실현 및 특성

과장분할 다중화 시스템의 실험적 예는 BTRL(British Telecommunication Research Lab.)에서 처음으로 개발되었다. BTRL은 성형커플러를 이용한 예로 여러 개의 과장을 각 송신기에 할당하고 수신기에서는 기계식 tunable 필터를 이용하여 원하는 신호를 선택하였다. 또한, AT&T Bell Lab.은 1 nm의 채널간격을 갖는 과장분할 다중화 시스템을 처음으로 구현하였다. 최근 과장분할 다중방식을 광가입자망에 적용한 실험예는 다음과 같다.

그림 7은 Bellcore에서 개발된 이중 스타망을 이용한 LAMBDANET 광가입자 망의 구조이다[18]. LAMBDANET 광가입자 망은 과장이 고정된 송신기와 수신기를 사용하였다. 즉, 각 송신기는 매우 좁은 스펙트럼 폭을 갖는 DFB 레이저를 이용하여 각 노드에 고유 과장을 할당하고, 각각의 과장을 통하여 신호를 전송한다. 성형 커플러는 전송된 개개의 과장을 다

Channel Spacing (nm)	100	10	1	0.1
Terminology	Coarse WDM		Dense WDM	
			Optical FDM	
Multiplexer Technology	Couplers or DTF Filters		Diffraction Gratings	
			Guided-Wave Interferometry	

그림 6. 과장분할 다중방식의 발전과정

중화하여 각 노드로 전송하고, 각 노드는 파장 여다중화 과정은 통하여 원하는 파장, 즉 원하는 채널신호를 선택할 수 있다. LAMBDA NET 시스템은 18개의 파장을 다중화하여 2 Gbps의 전송율로 전송하였다. 또한 Bellcore에서 제안한 PPL(Passive Photonic Loop) 시스템은 LAMBDA NET과 유사한 이중 스타망구조로 전화망에서 라우팅 신호를 제공하기 위해 설계되

었다[13]. 즉, PPL 시스템은 각 가입자에게 고유한 파장을 할당하여 전화망에서 파장에 따라 가입자 신호를 선별할 수 있도록 회절격자 소자를 이용한 여다중화기를 통해 파장을 라우팅하는 시스템이다. 따라서, 해당 가입자만이 특정 파장에 할린 정보의 수신이 가능하므로 보안이 용이하다.

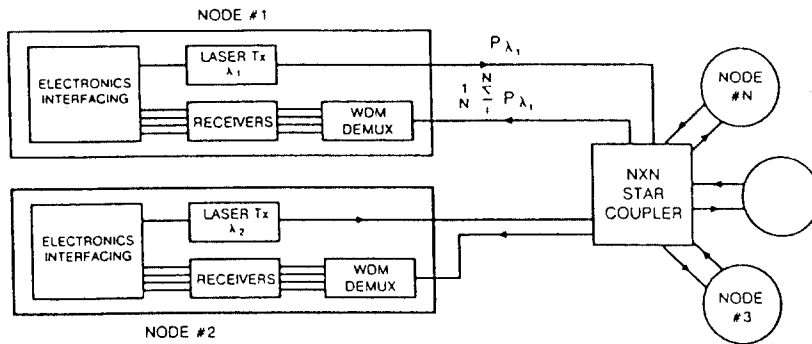


그림 7. LAMBDA NET 시스템의 구조 [18]

그림 8은 FOX(Fiber Optic Crossconnect) 시스템으로 병렬처리 컴퓨터에서 메모리를 공유하기 위한 목적을 갖는다[19]. FOX 시스템은 전류주입 동조(injection current tuning)에 의한 고속의 tunable 레이저를 사용함으로써 수십 nanosecond의 running time을 갖도록 하였다. 또한, HYPASS(Hybrid Packet Switching System)은 FOX의 확장된 형태로 고속의 tunable

레이저와 tunable 필터를 사용함으로써 수백 Gbps의 시스템 효율을 갖는 패킷스위칭이 가능함을 보여주고 있다.

그림 9는 STAR TRACK 시스템으로 파장이 고정된 송신기와 tunable 수신기를 사용함으로써 수신단에 다중서비스를 선별적으로 수용할 수 있는 시스템이다[13]. 또한, STAR TRACK 시스템은 또한 패스

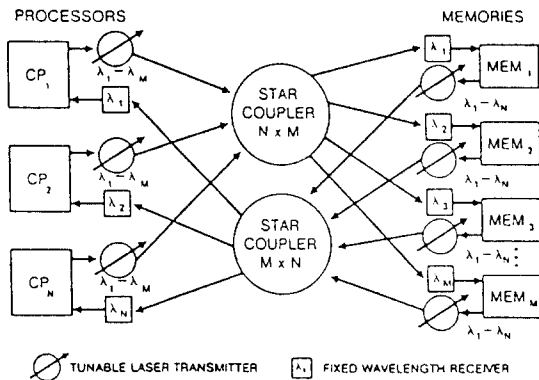


그림 8. FOX 시스템의 구조 [19]

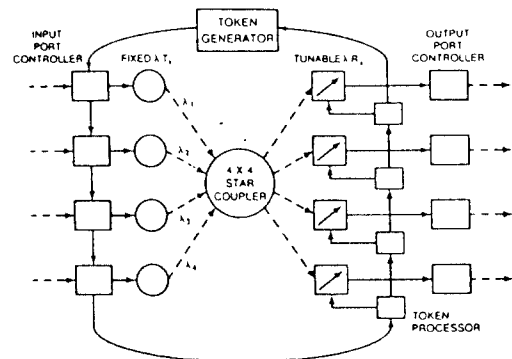


그림 9. STAR TRACK 시스템의 구조 [13]

방식에 의해 서비스간의 충돌을 방지하고 수신단에 서 원하는 서비스를 수용할 수 있다.

과장분할 다중방식을 사용함으로써 광대역 신호를 다중화하고 전송함에 있어 고속 전자소자의 요구가 감소되었고 경제적인 이점이 있다. 또한, 과장분할 다중방식은 기존의 전자통신망과 호환성이 있고, 다중화된 채널의 투과성과 독립성은 다양한 전송율과 데이터 형태를 갖는 채널을 동시에 수용할 수 있는 장점을 제공한다. 그러나, DFB 레이저나 DBR 레이저와 같은 고속의 안정된 tunable 레이저와 과장 다중화기를 집적화하기 위한 OEIC(Optoelectronic Integrated Circuits)의 발전을 필요로 한다.

과장분할 다중화 시스템의 연구에서 최근의 연구 방향은 과장분할 다중방식을 적용한 망에서 signalling control, wavelength routing, media access control 등이 있으며, 또한 채널수의 증가에 따라 나타나는 SBS (Stimulated Brillouin Scattering)과 FWM(Four-Wave Mixing)과 같은 비선형 효과와 누화정도를 다루고 있다[20].

#### IV. 광부호분할 다중방식

##### 4.1 광부호분할 다중방식의 구조

광부호분할 다중방식(Optical CDMA)은 전기적 신호 또는 광신호 간의 교차상관 값이 작도록 부호화하여 광채널을 통해 전송하고, 이런 과정을 거쳐 들어온 다른 여러 신호들로부터 원하는 신호만을 그 부호에 맞는 상관관측기를 통해 추출해 내는 다원 접속방식이다[21-32].

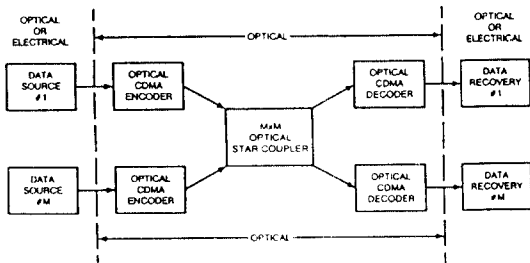


그림 10. 광부호분할 다중화 시스템 블럭도

그림 10에서 부호화와 복호 방식에 따라 부호화하는 영역은 시간적[21-28], 공간적[30], 스펙트럼적

[31] 광부호분할 다중방식 등이 있을 수 있다.

가장 널리 연구되고 있으며 기존의 직접확산 방식의 부호분할 다중화와 유사한 기간적 광 CDMA의 기본적 개념은 기존의 전기적 신호처리러만으로도 되어 있는 CDMA 시스템과 큰 차이가 없으나, 광통신이라는 점에서 생기는 근본적인 차이는 (+1, 0)으로 표시된다는 것이다. 기존의 시스템에서 부호분할 다중화를 위한 직교부호는 (+1, -1)로 표시되어서 교차상관 값을 0으로 만들 수가 있다. 그러나, 광통신에서는 신호가 광세기로 표현되므로 (+1, 0)으로만 표시되므로 곱과 합의 연산인 상관 결과가 0이 될 수 없다. 따라서 광통신에 쓰이는 직교부호는 모두 의사직교부호(pseudo orthogonal code)이다.

의사직교부호를 기존의 (+1, -1)에서 (+1, 0)으로 전환하여 사용하는 것과 광신호의 특성에 적합하도록 새로이 고안한 것으로 나누어 볼 수 있다. 전자의 경우는 Prime code나 Gold code를 전환하여 사용하는 것이고[21-23], 후자의 경우는 OOC(Optical Orthogonal Code) 등이 있다[24-29]. 두 가지 모두 한 비트 내의 총 칩의 수와 +1인 칩의 수를 작게 하면서도 구분 가능한 정도로 하여 자기상관 값을 최대로 하고 교차상관 값을 최소로 한다. 결국, 한 비트를 최소한으로 나누어 자기 신호와 다른 신호의 상관관측기의 출력차이를 극대화할 수 있는 부호를 만들어 내는 것이다.

공간적 광 CDMA는 부호화한 것을 여러개의 광 채널에 나누어 전송하는 것으로 단독적인 것보다는 시간적 광 CDMA와 복합 형태로 하는 것이 유망하다[30].

스펙트럼적 광 CDMA는 가장 빠른 형태의 광 CDMA 이긴 하나 그만큼 짧은 펄스를 요구하고 있으며, 회절격자 쌍을 이용하는 부호기와 복호기의 특성으로 인하여 수용자수에 한계를 가지게 된다[31].

광부호분할 다중화 시스템이 흥미를 끄는 가장 큰 이유는 바로 데이터 간의 충돌을 무시할 수 있다는 데에 있다. 또한, 광부호분할 다중화 시스템의 장점은 광 점유의 넓은 대역폭을 이용하여 충돌을 무시함으로써, 결과적으로 네트워크의 제어가 특별히 필요없는 광통신 시스템의 구현 가능성에 있다.

##### 4.2 광부호분할 다중방식의 분류

###### 4.2.1 부호 할당 영역에 따른 분류

부호를 할당하는 영역에 따라 시간적(temporal), 공간적(spatial), 스펙트럼적(spectral)인 CDMA로 나누

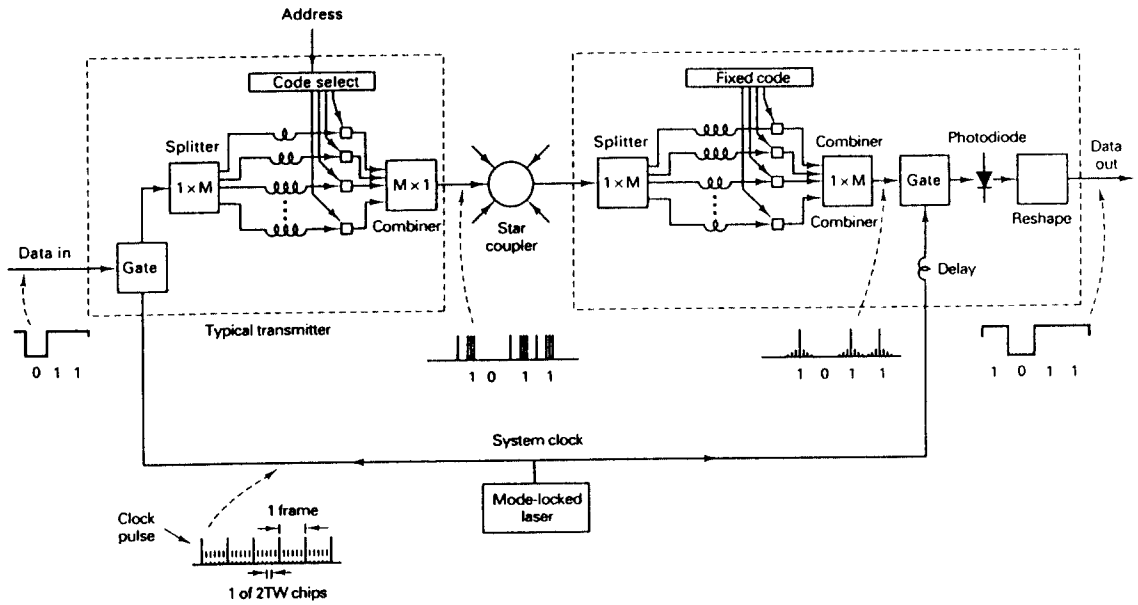


그림 11. 시간적 CDMA [3]

어 볼 수 있다. 각각은 다음과 같은 특성을 가진다.

- 시간적 CDMA :  $T_c = T_b / L(N, w)$
- 공간적 CDMA :  $f = L(N, w)$
- 스펙트럼적 CDMA :  $\delta\lambda = \Delta\lambda / L(N, w)$

여기에서,  $T_b$  : 디지털 데이터 비트 주기

$T_c$  : 칩의 주기

$f$  : 공간적 CDMA 경우 사용하는 광 채널의 수

$\delta\lambda$  : 스펙트럼 채널의 폭

$\Delta\lambda$  : 총 채널의 스펙트럼 폭

$N$  : 동시 사용자 수

$w$  : +1 인 칩의 수

$L(N, w)$  : 직교 부호의 비트 수

### 가. 시간적 CDMA

가장 많은 실험 대상이 되고 있는 방식으로 그림 11에 보여져 있다. 이는 시간상에서 광 탭 지연선을 이용하여 직교부호를 원 신호에 곱하는 방식으로 부호화되며 복호도 역시 탭 지연선 등을 이용한 상관검출기 등이 이용된다. 현재 수십 명 정도의 동시 통신을 실험적으로 구현해 보고 있으며, 각 사용자간의 통

신 속도는 수백 Mbps 정도 이다. 이를 구현하는데 필요한 광 펄스의 폭은 picosecond 단위의 크기이며, 시스템 효율은 수 Gbps 정도이다.

### 나. 스펙트럼적 CDMA

스펙트럼 CDMA는 그림 12에서처럼 구성되며 큰  $\Delta\lambda$ 를 위해 femtosecond 단위의 펄스를 필요로 한다. 부호기와 복호기는 같은 거리의 초점을 가진 렌즈 쌍의 단위 배율 평면에 놓인 회절격자 쌍과 그 사이에 놓인 공간적 패턴을 가진 위상 마스크로 구성되어 있다. 첫번째 회절격자는 입력펄스를 스펙트럼 성분들로 분해한다. 이 성분들이 렌즈를 통과하면서 공간적으로 가장 멀어지는 위치에서 위상 마스크에 의해 랜덤한 위상 진이를 한다. 이들이 다시 두번째 렌즈에 의해 모아지고 두번째 회절격자에 의해 단일 광선으로 되어 광 채널을 통과하게 된다. 복호기는 부호기와 동일한 구조이고 위상 마스크만이 부호기와 서로 역상의 관계인 것을 사용함으로써 이루어진다.

이 시스템의 경우 사용자간 통신속도가 1 Gbps 정도까지 가능하며, 전체적인 시스템 효율은 100 Gbps에 달한다.



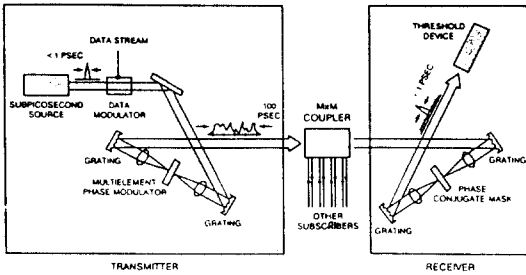


그림 12. 스펙트럼적 광 CDMA [31]

다. 시·공간적 CDMA

단순한 공간적 광 CDMA는 부호마다 다른 광 채널을 할당한다는 것으로 이것만으로는 대역폭을 충분히 이용한다는 광 CDMA의 취지에서 벗어나므로 시간적인 방법을 동시에 사용하여 이를 보완한다. 이에 대한 블록도가 그림 13에 있다. 각각의 광채널을 통한 통신 성능은 시간적 CDMA의 경우와 같고, 전체적으로 동시 사용자수와 시스템 효율이  $f$ 배 증가한다.

4.2.2 동기 여부에 따른 분류

통신망 전체의 송신기와 수신기의 동기 여부에 따라 동기식과 비동기식으로 나눈다.

가. 비동기식 CDMA

위에서 설명한 시간적 CDMA의 한 종류로서 서로 통신하려는 사용자간의 송신기와 수신기만 동기를 시키고 다른 송신기와 수신기들의 동기는 고려하지 않는 방식이다. 이것의 의사직교부호는 다른 의사직교부호와의 교차상관 값이 제한될 뿐 아니라 자기 자신의 시간적 이동된 부호와의 상관 또한 제한이 된다.

이러한 특징으로 인해 진정한 tell-and-go가 가능한 방식이다.

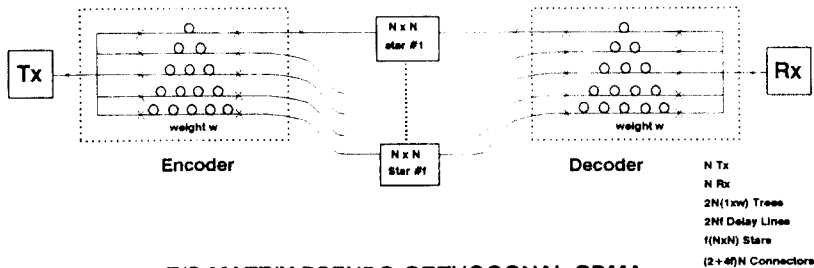
나. 동기식 CDMA

중앙 동기식 mode-locked 레이저를 이용하여 망 전체의 동기가 가능하다. 송신기간의 동기가 이루어지면 비동기식 CDMA에서 사용하는 의사직교부호를 시간상 칩 주기의 정수배 만큼씩 이동시킨 것 중에서도 의사직교부호를 얻을 수 있으므로 수용할 수 있는 사용자의 수는 급격하게 증가하게 된다. 예를 들어, Prime code의 경우 비동기식일 때에  $P$ 명인 사용자수를 동기식일 때  $P^2$ 명으로 늘릴 수 있다. 그러나, 동시 사용자 수는 필요한 정도의 에러율을 유지한다는 조건에서 큰 증가를 보이지는 못한다.

같은 동기 방식인 TDMA가 동기식 CDMA 보다는 우수한 성능을 가지고 있다. 즉 동시 사용자수나 시스템 효율이 CDMA 방식에 비해 앞서 있다. 그러나, 채널을 좀 더 여러가지의 속도의 데이터에 고루 효율적으로 하려면 CDMA 방식이 유리하다. 이러한 특성은 서비스의 종류가 점점 증가하는 추세를 고려할 때에 중요한 장점이 될 수 있다.

4.3 전 망

현재의 광 CDMA의 시스템 효율은 타 시스템보다 열등한 것이 사실이나 CDMA 자체가 가지고 있는 처리해야 할 신호에 대한 융통성, 네트워크의 제어가 필요 없는 이유로 인한 편리성, 코드의 할당만으로 사용자 수를 늘릴 수 있는 확장성 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 신호가 급작스럽게 발생하고 실시간 처리가 필요하며 전체 할당된 사용자중 일부만이 사용하는 시스템에서는 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또



T/S MATRIX PSEUDO-ORTHOGONAL CDMA

그림 13. 시·공간적 CDMA [30]

한, 광 CDMA 단독이 아닌 다른 형태의 다중방식과의 결합도 성능을 올리려는 시도로써 나타나고 있다[21, 32].

### V. 결 론

현재 전자회로소자의 제한된 신호처리속도에 의하여 극히 사용이 제한된 광섬유의 방대한 대역폭을 적극적으로 확대활용하기 위하여 많은 방식과 종류의 광신호 다중화연구가 진행되고 있으며, 장차 정보사회에서 요구되는 수백 GHz의 광대역 정보통신이 주역을 담당하게 되는 기술로서 인정되고 있다. 광신호 다중방식의 개발경향은 현재의 기술수준과 응용측면에서 볼 때, 디지털 전자통신의 수송을 이루는 시분할 다중방식이 널리 활용중에 있으므로 성능의 향상을 위한 광학적 시분할 다중방식에 대한 많은 실용적인 연구가 진행되고 있으나, 한편으로는 전자의 속도제한을 극복할 수 있으면서 광학의 장점을 최대한으로 이용할 수 있도록 광신호를 직접 광학적으로 다중화하려는 새로운 방식의 제안이 두드러진다. 특히 현재 급속히 진행되고 있는 광소자의 발전, 즉 좁은 파장의 제안이 두드러진다. 특히 현재 급속히 진행되고 있는 광소자의 발전, 즉 좁은 파장 선폭의 레이저 다이오드, 광필터, 분리기, 그리고 광섬유증폭기 등의 관련 응용소자의 성능개선과 함께 그리고 광네트워크에의 응용 적합성으로 파장분할 다중방식이 큰 관심을 끌고 조기에 실제 적용이 가능할 것으로 믿어진다. 또한 광부호분할 다중방식은 광신호의 특성에 의하여 전자통신에서와 같은 다중화 효율을 얻기가 힘들지만 특별한 응용의 경우, 즉 적은 수의 신호발생원으로부터 신호의 발생빈도가 불규칙하고 신호속도가 다양하거나 네트워크제어가 간단하여야 하는 경우의 응용분야에서, 그리고 다른 다중화방식과 혼용하여 적용할 때 독특한 장점을 찾을 수 있을 것이다.

이제까지 새로이 제안된 많은 방식은 현재의 기술수준으로서는 실현이 불가능하더라도 급속히 이루어지는 광소자의 성능개선 또는 새로운 기능의 광소자의 등장, 그리고 타당한 경제성을 가지고 가까운 날에 실현될 수 있는 가능성을 보여주고 있으며, 실제 적용에 대한 가능성 여부는 그 후에 판단될 수 있을 것이다.

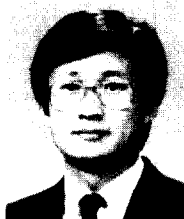
이 같은 광신호의 다중화연구는 현재 정보사회에서 급속히 증가하는 정보전송과 원활한 광대역정보의 상호교환욕구에 대한 해답을 제공할 수 있는 광통

신 기술분야로서 다른 광통신기술의 발전, 광관련소자 및 전자소자 기술의 발전과 더불어 보다 깊은 발전이 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Fiber In The Loop, 한국통신 국제 심포지엄 '92, 서울, 1992. 11.
2. S. K. Korotky, et al., "8-Gbps Transmission Experiment over 68 km of Optical Fiber," J. of Lightwave Tech., Vol. 5, pp.1505-1509, 1987.
3. P. R. Prucnal, et al., "Ultrafast All-Optical Synchronous Multiple Access Fiber Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. SAC-4, No. 9, pp.1484-1493, Dec. 1986.
4. R. S. Tucker, et al., "Optical Time-Division Multiplexing for Very High Bit-Rate Transmission," J. of Lightwave Tech., Vol.6, No.11, pp.1737-1749, Nov. 1988.
5. R. K. Boncek, et al., "Five Gigabit/second Operation of a 50-Channel Optical Time-Division Multiple-Access Interconnect," Opt. Eng., Vol.31, No.11, pp. 2442-2449, Nov. 1992.
6. P. J. Smith, et al., "An Expandable TDM Distributive Switch Network, Using Gain Switched Laser Diodes," ECOC '90, pp.153-156, 1990.
7. K. Y. Lau, "Short-Pulse and High-Frequency Signal Generation in Semiconductor Lasers," J. of Lightwave Tech., Vol.7, No.2, pp.400-419, Feb. 1989.
8. S. S. Wagner, et al., "Technology and System Issues for a WDM-Based Fiber Loop Architecture," J. of Lightwave Tech., Vol.7, No.11, pp.1759-1768, Nov. 1989.
9. G. R. Hill, "Wavelength Domain Optical Network Techniques," Proc. of the IEEE, Vol.77, No.1, pp. 121-132, Jan. 1989.
10. Yih-Kang Maurice Lin, et al., "Passive Optical Subscriber Loops with Multiaccess," J. of Lightwave Tech., Vol.7, No.11, pp.1769-1777, Nov. 1989.
11. Yih-Kang Maurice Lin, et al., "Fiber-Based Local Access Network Architecture," IEEE Comm. Mag., pp.64-73, Oct. 1989.
12. S. S. Wagner, et al., "WDM Applications in Broadband Telecommunication Networks," IEEE Comm.

- Mag., pp.22-30, March 1989.
13. C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks : Principles and Applications," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.8, No.6, pp. 948-964, Aug. 1990.
  14. Biswanath Mukherjee, "WDM-Based Local Lightwave Networks Part I: Single-Hop Systems," IEEE Network, pp.12-27, May 1992.
  15. Biswanath Mukherjee, "WDM-Based Local Lightwave Networks Part II : Multihop Systems," IEEE Network, pp.12-27, May 1992.
  16. N. R. Dono, et al., "A Wavelength Division Multiple Access Network for Computer Communication," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.8, pp. 983-994, Aug. 1990.
  17. D. W. Faulkner, et al., "Optical Networks for Local Loop Applications," J. of Lightwave Tech., Vol.7, No.11, Nov. 1989.
  18. M. S. Goodman, et al., "The LAMBANET Multi-wavelength Network : Architecture, Applications, and Demonstration," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.8, No.6, pp.995-1004, Aug. 1990.
  19. E. Arthurs, et al., "HYPASS : An Optoelectronic Hybrid Packet-Switching System," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.6, pp.1500-1510, 1988.
  20. P. A. Roshier and A. R. Hunwicks, "The Analysis of Crosstalk in Multichannel Wavelength Division Multiplexed Optical Transmission Systems and Its Impact on Multiplexer Design," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.8, No.6, Aug. 1990.
  21. W. C. Kwong, et al., "Performance Comparison of Asynchronous and Synchronous Code-Division Multiple-Access Techniques for Fiber-Optic Local Area Networks," IEEE Trans. Commun., Vol.39, No.11, pp.1625-1634, Nov. 1991.
  22. P. R. Prucnal, et al., "Spread Spectrum Fiber-Optic Local Area Network Using Optical Processing," J. of Lightwave Tech., Vol. LT-4, May 1986.
  23. J. Y. Hui, "Pattern Code Modulation and Optical Decoding - A Novel Code Division Multiplexing Technique for Multi-fiber Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. SAC 3, No.6, Nov. 1985.
  24. J. A. Salehi, "Code Division Multiple-Access Techniques in optical Fiber Networks - Part I: Fundamental Principles," IEEE Trans. Commun., Vol.37, No.8, pp.824-833, Aug. 1989.
  25. J. A. Salehi, et al., "Code Division Multiple-Access Techniques in Optical Fiber Networks - Part II: Systems Performance Analysis," IEEE Trans. Commun., Vol.37, No.8, pp.834-842, Aug. 1989.
  26. J. A. Salehi, "Emerging Optical Code-Division Multiple Access Communications Systems," IEEE Network, pp.31-39, March 1989.
  27. H. M. Kwon, "Optical Orthogonal Code Division Multiple Access System Part I: With APD Noise and Thermal Noise," ICC. 91, pp.614-617.
  28. H. M. Kwon, "Optical Orthogonal Code Division Multiple Access System Part II : Multibits/Sequence-Period OCDMA," ICC. 91, pp.618-621.
  29. Fan R. K. Chung, et al., "Optical Orthogonal Codes : Design, Analysis, and Applications," IEEE Trans. on Information Theory, Vol.35, No.3, pp.595-604, May 1989.
  30. A. J. Mendez, "Performance of Pseudo Orthogonal Codes in Temporal, Spatial, and Spectral Code Division Multiple Access(CDMA) Systems," Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (USA), Vol.4, No.12, pp. 1401-4, Dec. 1992.
  31. J. A. Salehi, et al., "Coherent Untrashort Light Pulse Code-Division Multiple Access Communication Systems," J. of Lightwave Tech., Vol.8, No.3, pp. 478-491, March 1990.
  32. Giovanni Vannucci, "Combining Frequency-Division & Code-Division Multiplexing in a High-Capacity Optical Network," IEEE Network, pp.21-30, March 1989.



박진우

- 1979년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
- 1983년 8월 : 컬럼비아대학교 전기 및 전자공학과 석사
- 1987년 11월 : 버지니아 주립공과대학교 전기공학과 박사
- 1980년 : 한국통신기술연구소 연구원
- 1988년 3월 ~ 1989년 2월 : 명지대학교 전자공학과
- 1989년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과 조교수



이상록

- 1968년 7월 16일생
- 1991년 2월 : 고려대학교 전자신신공학과 학사
- 1993년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학석사
- 1993년 2월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과 박사과정



김기범

- 1969년 4월 30일생
- 1993년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
- 1993년 2월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과 석사과정