《主 題》

광을 이용한 백플레인 상호연결 기술의 현황 (Photonic Backplane Interconnection)

丁鍾珉·池尹圭·申相永
(한국과학기술원 전기및 전자공학과)

■차 례■

Ⅰ. 머릿말
Ⅱ. 광을 이용한 백플레인 상호연결 기술
1. 자유공간에서 렌즈를 이용한 상호연결
2. 홀로그램을 이용한 상호연결
3. 광섬유를 이용한 상호연결
4. 광도파로를 이용한 상호연결
Ⅲ. 맺는 말

Ⅰ. 머리말

놀랄만한 발전을 계속하고 있는 고속 장거리 광통신 시스템 개발기술은 1980년대부터 데이타 버스, LAN(Local Area Network), 그리고 비디오 trunking과 분배망등 여러분야에 응용되어 왔다. 컴퓨터, 통신 및 교환기 분야의 발전경향은 디지탈 시스템의 고속화, 대용량화, 병렬 프로세싱, 다중 프로세서, 가격절감, 그리고 공간 축소등을 요구하고 있다. 이러한 시스템은 많은 수와 고밀도의 상호연결(interconnection)구조를 필요로 하는데 기존의 전기적인 디지탈 시스템은 패키징과 상호연결 기술에 의해 고속화 및 병렬처리가 제한을 받고 있기 때문에 이에 대한 해결책으로 광을 이용한 상호연결 기술이 등장하였다. 가장 빠른 트랜지스터의 스위칭 시간은 10ps 정도인데 상업적으로 이용가능한 가장 빠른 집적회로(GaAs logic)는 패키징에서 오는 기생효과 때문에 상승/하강 시간이 100ps 정도로 늦어진다. 회로 보드(boards)와 전기적 백플레인(backplane)에서 오는 열화(degradation)로 인해 보드간 신호전송의 상승시간은 1ns 정도로 늦어진다. 결과적으로, 현재 전기적 상호연결 기술은 클락 신호의 주기를 10ns 정도로 제한하고 있다. 이는 기생 리액턴스, 임피던스 부정합, 누화(crosstalk), 분산, skin 효과 및 핀아웃(pinout)문제 등에 그 원인이 있다. 이러한 문제를 고려하여 구리선, 동축 케이블 및 광을 이용한 상호연결 구조의 동작속도와 거리에 따른 한계는 그림1에 나타나 있다[1]. 특히, 광을 이용한 상호연결은 기존의 전기적 상호연결에서 오는 문제들을 해결할 수 있고 전력 소비[2]나 신호 왜곡이 작기때문에 많은 관심을 받고 있다. 모듈간, 백플레인간, 보드간, 칩간 그리고 게이트간에 광을 이용한 상호연결 기술이 미국, 유럽, 그리고 일본등에서 활발히 연구되고 있다. 이러한 광을 이용한 상호연결 기술은 고속 장거리 고밀도 상호연결을 가능하게 하며, 상호간섭효과가 없고 정전용량 부하효과가 없기 때문에 팬아웃(fanout)문제 해결에 도움이 되고, 자유공간에서 병렬처리를 가능하게 한다. 모듈간 상호연결은 고속동작과 시간지연이 작아야 하므로 광섬유를 주로 이용하며, 백플레인사이의 상호연결도 대개 1km 이내에서 1Gb/s 동작속도를 갖기위해 광섬유를 이용하며, 칩간에서는 광섬유, 광도파로 및 홀로그램등을 이용하고 있다. 이와 같은 배경하에 본고에서는 광을 이용한 상호연결 기술중 가장 많은 관심을 받고 있는 광백플레인 기술개발 현황에 대해 언급하고자 한다.

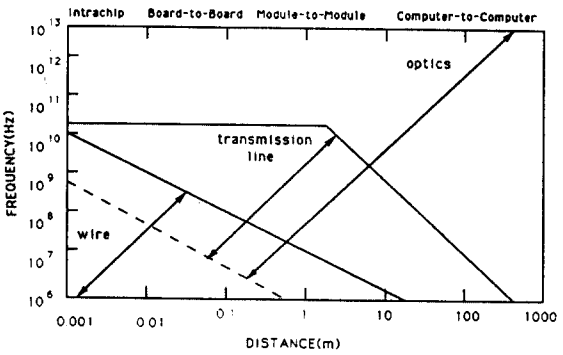


그림 1. 동작속도와 길이에 따른 전기적 상호연결과 광을 이용한 상호연결

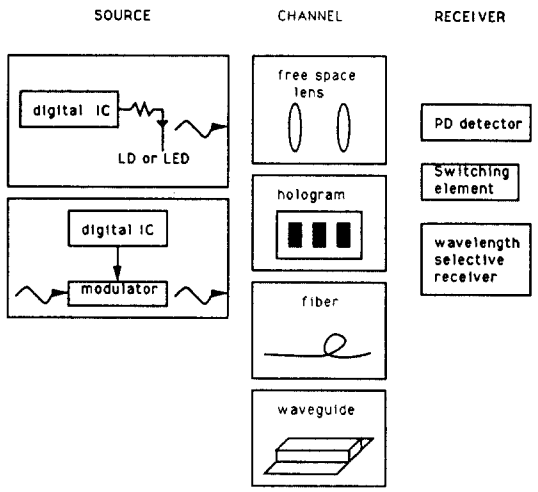


그림 2. 광을 이용한 상호연결 시스템에서의 광원, 채널 및 수신소자

II. 광을 이용한 백플레인 상호연결 기술

광을 이용한 상호연결(optical interconnection)이란 말은 보통 한 시스템내에서 전기적 상호연결에서 오는 여러 문제들을 해결하기 위해 광을 이용할때 사용한다. 그러므로, 광을 이용한 LAN등은 배제되는 것이다. 광을 이용한 상호연결 기술은 1984년 Goodman씨 [3]등에 의해 구체화되기 시작, 현재는 많은 사람들이 활발히 연구하고 있다. 이러한 상호연결은 그림 2와 같은 여러가지 조합으로 구현될 수 있다. 광원으로는 반도 LD나 LED를 직접 변조하거나, CW레이저와 변조기(modulator)를 조합하여 사용한다. 빛이 통과하는 채널에는 렌즈를 이용한 자유공간, 홀로그램, 광섬유, 그리고 광도파로 등이 있다. 그리고, 수신단으로 광검출기는 주로 포토다이오우드를 이용하고 때로는 스위칭 소자나 파장선택 필터등을 그 앞에 연결한다. 물론, 이때 가장 중요한 것은 어떤 조합에 있어서도 전기적 배선의 길이를 최소로 해야 한다는 것이다.

보통, 광원과 광검출기가 포함된 수신단에서는 강도변조 / 직접검출(IM / DD:Intensity Modulation / Direct Detection)을 주로 이용하고 있으므로 채널을 중심으로 광 백플레인 상호연결이 어떻게 구현되고 있는지에 대해 살펴보기로 한다.

1. 자유공간에서 렌즈를 이용한 상호연결

자유공간을 채널로 이용하면 빔이 상호간섭없이 교차할 수 있고, 같은 공간내에 여러개의 채널이 공존할 수 있는 장점으로 인해 고밀도의 상호연결을 구현할 수 있다. 상호연결에서 채널은 광원의 변조 및 변환효율, 커플링과 정합, 광 링크의 전체효율, 그리고 디지탈 시스템에의 인터페이스등을 고려하여야 한다. 물론 각 링크당 가격, 시스템의 패키징과 신뢰도도 충분히 고려되어야 한다.

1979 Cathey씨등 [4]은 한 컴퓨터 내에서 이용할 수 있는 자유공간에서의 광 데이타 버스구조를 제안하였다. 이는 광원과 광검출기 어레이를 이용하여 병렬처리 기능을 용이하게 해주는 구조로 2차원의 어드레싱 구조를 갖고 있다. 1983년 일본의 Okada씨등 [5]은 자유공간에서 광 데이타 버스 구조를 이용한 Dialog. H란 컴퓨터에 대해 보고 하였다. 그 당시 광전소자 기술에 의해 클락의 동작속도는 100MHz였다. 이들이 제안한 광 데이타 버스 구조와 시스템은 그림 3과 같다. 1990년 일본의 NTT전송 시스템 실험실에서는 다중 프로세서로 구성된 COSINE(Computer sustem employing Optical Spatial INterconnections for Experimentation)-1이란 병렬 프로세싱 컴퓨터 시스템을 제안하였다[6]. 이 시스템은 그림 4와 같은 상호연결 구조를 갖고 있으며 18개의 프로세서 보드를 연결하였을 때, 프로세서간 신호 지연시간은 70ns이하로 효과적인 양방향성 신호처리 조건에 합당한 것으로 생각된다. 특히 이 시스템은 복잡한 전기적 배선에서 오는 신호의 열화를 최소로 줄일 수 있다는 데 큰 의미가 있다. 같은 해 이 실험실에선 고속동작과 많은 팬아웃 상호연결을 갖는 실

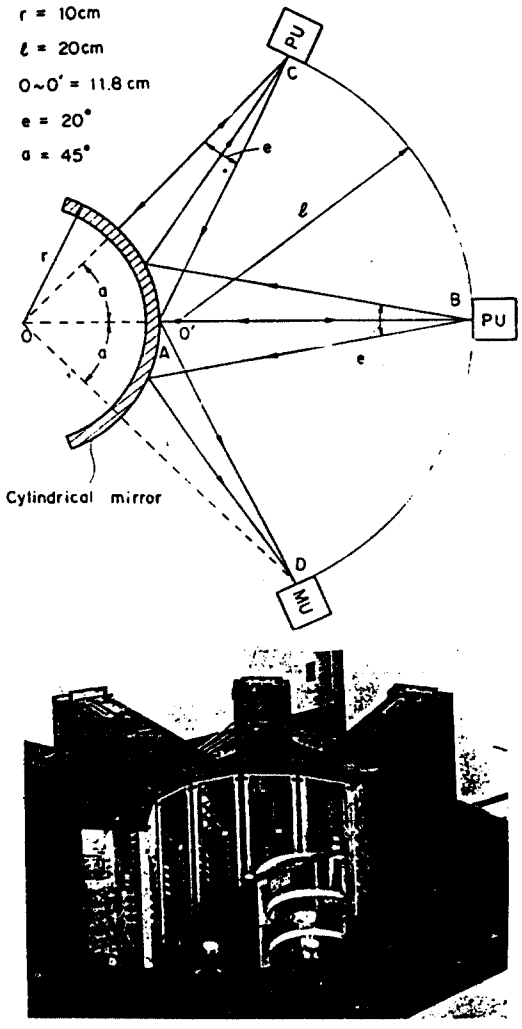


그림 3. 자유공간에서 광을 이용한 버스의 기본구조와 실험장치[5]

시간 다중 프로세서 시스템에 SLM(Spatial Light Modulator)을 이용하면 스위칭 속도가 마이크로초 정도의 시간이 됨을 알고 이를 해결하기 위해 LISA (Lightwave Interconnections employing Spatial Addressing)이란 이름의 자유공간 광 상호연결 구조를 제안하였다[7]. 이는 그림 5와 같은 구조를 갖고 200 MB/s 속도로 데이타 스위칭 기능을 하는 것을 보여 주었다. 1991년 Hamanaka씨는 SELFOC 렌즈와 평면형 마이크로 렌즈 어레이를 이용해 광 데이타 버스 상호연결 시스템을 제안했다[8]. 이 시스템은 3

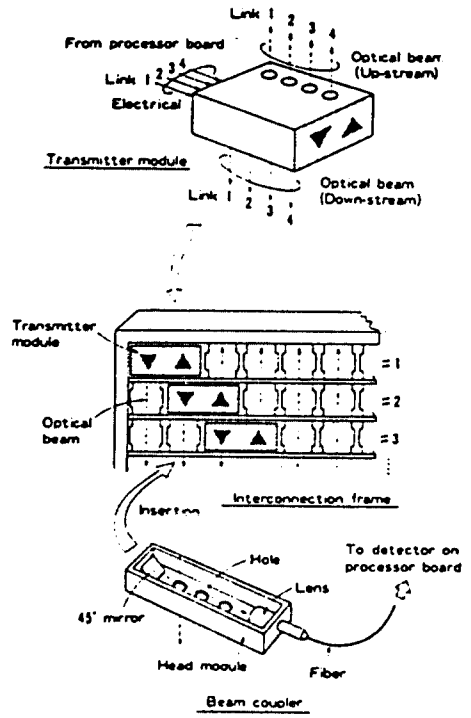


그림 4. 자유공간에서 광을 이용한 상호연결 구조[4]

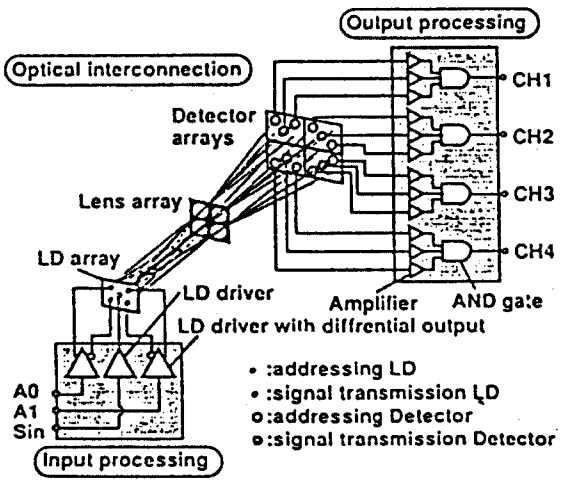


그림 5. 1×4 LISA의 고조도[7]

차원 광 시스템이 요구하는 세밀한 정합(alignment)과 내구성 문제에 어느정도 해답을 제시하고 있으며

그 구조는 그림 6과 같다. 이 시스템은 보드간 상호연결은 물론 신경회로망에서 데이타 프로세싱에 응용될 것으로 보인다. Lincoln Lab.의 Tsang씨[9]는 효율성이 높은 광을 이용한 상호연결을 제안하여 레이저 구동회로, 전치증폭기, AGC(Automatic Gain Control), 타임 재생회로등 회로의 복잡함만 더해주는 비효율적인 부분들을 제거하였다. 그 시스템은 그림 7과 같다. 보드간 데이타 전송으로 한 칩에서 나온 신호는 보드의 가장자리로 보내진 다음 백플레인을 거쳐 그 다음 보드로 전송되는 기존의 시스템과는 틀리게 이 방식은 보드간에 물리적 접촉이 없이 보드위

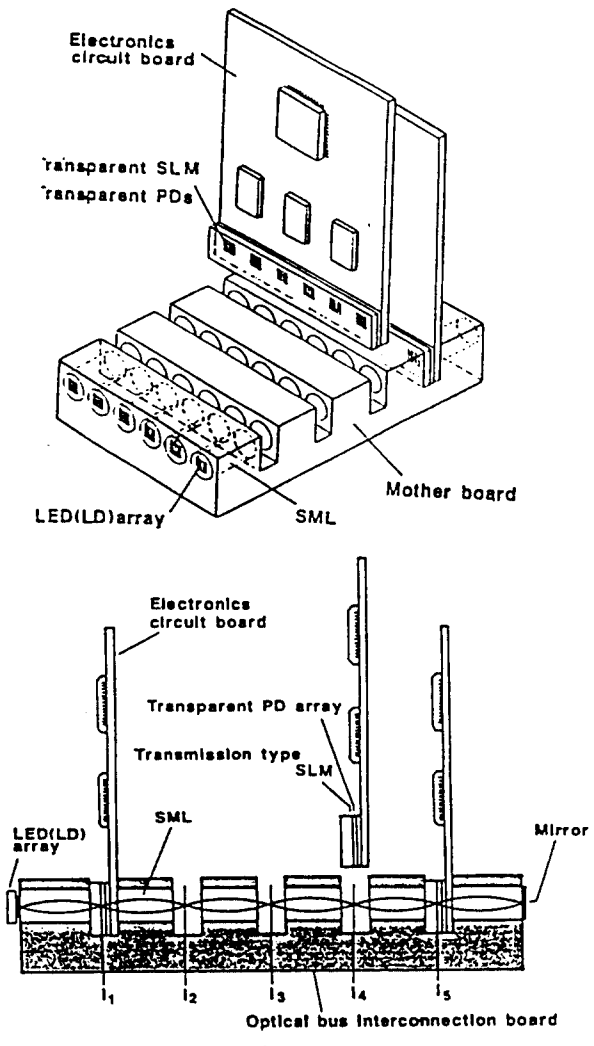


그림 6. 광을 이용한 데이타 버스 시스템[8]

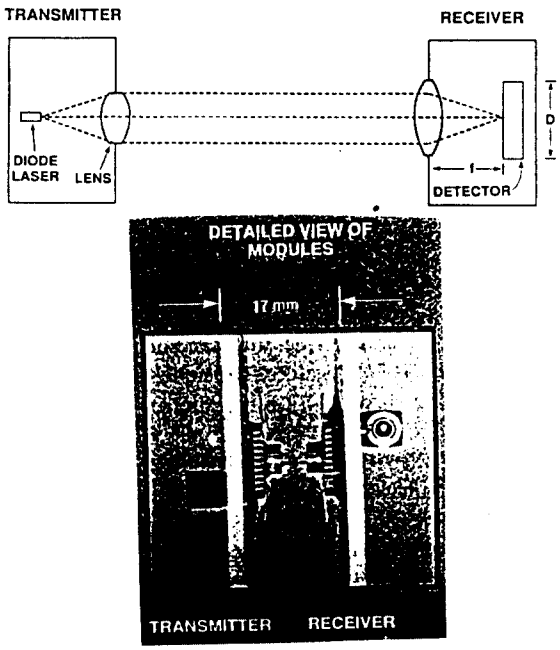


그림 7. 보드 사이에 광을 이용한 상호연결을 구현하기 위한 수신기 및 송신기 모듈과 사진[9]

어느 지점에서라도 그 옆 보드의 지정된 지점에 연결을 가능하게 한다. 이는 논리회로의 레이 아웃을 삼차원으로 이끌어 내는 역할을 해낼 수 있을 것으로 기대된다.

자유공간에서 렌즈를 이용한 상호연결은 꾸준히 발전하고 있는 마이크로 광학과 광전소자 기술에 힘입어 광 링크의 효율성과 정합성을 개선하는 방향으로 많은 성과들이 나올 것으로 기대된다.

2. 홀로그램을 이용한 상호연결

홀로그래픽 소자를 이용한 자유공간 광 채널도 많은 수의 상호연결과 고밀도의 상호연결에 유용한 시스템을 구성할 수 있다. 이 시스템에서도 광 시스템의 높은 효율성을 기대할 수 있다. 1989년부터 유럽은 ESPRIT II 프로젝트 중 OLIVES(Optical Interconnection for VLSI and Electronic Systems)란 프로그램에서 광을 이용한 상호연결 시스템을 구성하고 있다[10]. 여기에서는 리본 광섬유를 이용해 광 데이타 버스 구조를 제안하고 있으며 도파로 어레이를 이용하여 보드내에서 다중칩 모듈(MCM :

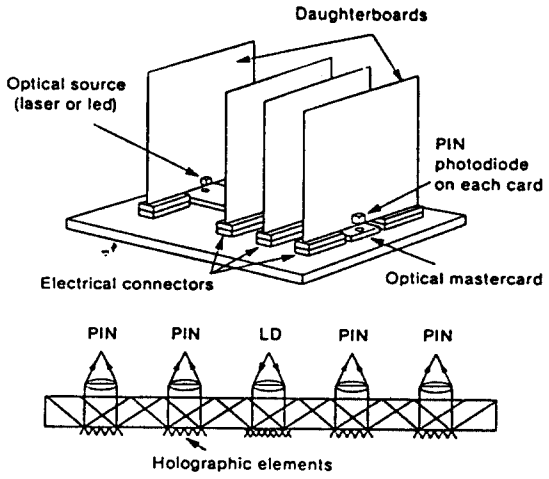


그림 8. 마스터카드 구조[10]

Multichip Module)을 제안하고 있다. 특히 CGH (Computer Generated Holograms)를 이용하여 "마스터카드(mastercard)"란 이름의 백플레인 상호연결 기술을 선보이고 있다. 그림 8은 마스터카드 구조를 보여주고 있다. 이 실험에서 4개의 팬아웃에 클락 분배를 했으며 클락 스큐(skew)는 100ps 정도로 측정되었다. 이런 홀로그램을 이용한 구조의 장점은 상호연결에 필요한 부피를 줄일 수 있다는 데 있다. 예로, 동축 케이블을 이용한 기존의 전기적 상호연결에서 8개의 보드 시스템에 클락을 분배하기 위해서는 120㎤ 정도의 부피가 필요하나 광 마스터카드는 5㎤ 정도의 부피만 차지한다. 물론, 더 많은 보드를 상호연결할 때나 다중데이타 통신망에선 더 많은 이득을 볼 수 있을 것이다. 1991년 Kim씨등은 광전 송수신 보드간에 고속으로 정보 전송을 할 수 있는 광 홀로그래픽 백 플레인 상호연결 시스템을 선보였다[11]. 이 시스템의 구성도와 4개의 채널에 대한 시스템은 그림 9에 나와 있다. 이 시스템은 한 매질에 기록된 다중 상호연결 패턴을 이용하여 상호연결 구조를 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 그리고 비교적 큰파장 변화에 적용할 수 있고, 보드간 어긋난 정합 및 진동에도 어느 정도 보상되도록 설계되었다.

이상의 대표적인 두 가지 예로서 광 홀로그래픽 상호연결은 최상급 전기적 상호연결 시스템보다 상호연결 밀도, 전력소비 및 동작속도면에서 우수하다. 그러나 광전 트랜시버를 비롯하여 홀로그램에 대한

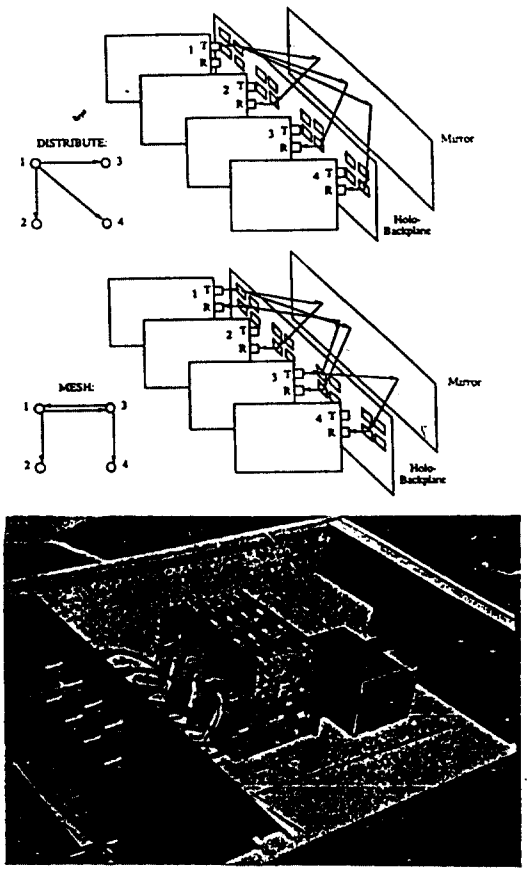


그림 9. 홀로그래픽 소자를 이용한 광 백플레인 하드웨어 구성도 및 시스템[11]

가격이 아직은 비싸기 때문에 광전 소자기술에 많은 진보가 있어야 상용화 가능하리라 생각된다. 이외에 광 홀로그래픽 상호연결 기술이 실용화되기 위해서는 광 데이타, 주소, 콘트롤 계획 및 그들의 프로토콜 ; 기계적 요구사항으로 정합성 ; 정합, 기계적 진동, 표면의 먼지, 버스 길이, 전력 전송, 동작 시간에 의한 데이타 오율(error rate)등 신뢰도에 대한 연구가 꾸준히 진행되어야 한다.

3. 광섬유를 이용한 상호연결

대개 모듈간과 백플레인간에는 고속동작에 적합하고 시간지연(latency)이 작은 광을 이용한 상호연결 채널로써 광섬유가 많이 이용되고 있다. 상호연결과 인터페이싱에서는 가격이 무엇보다도 중요한 요소로

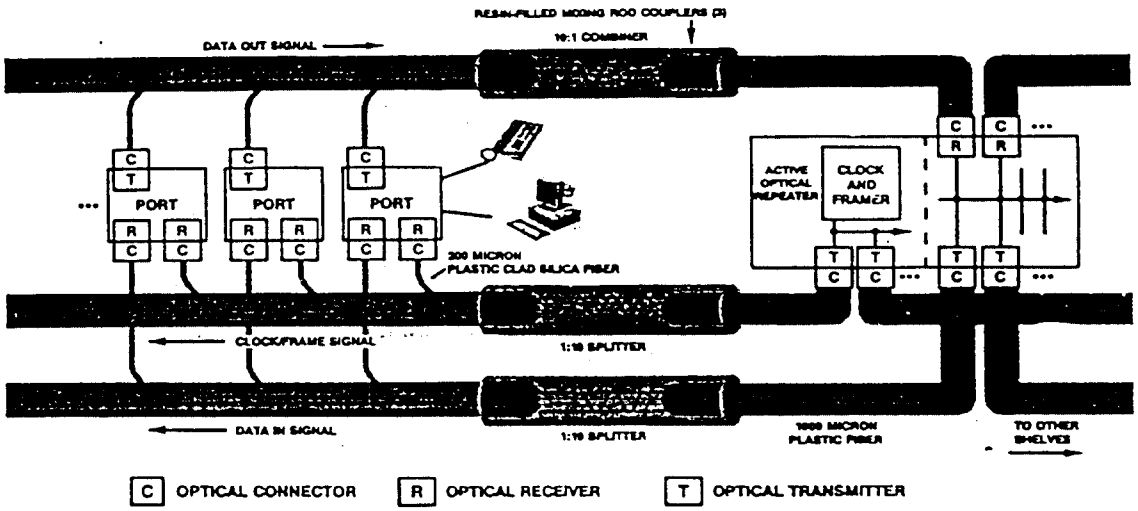


그림 10. 시간분할 스위칭 시스템에 응용된 광섬유를 이용한 광 백플레인의 한 예[12]

작용하기 때문에 저렴한 가격의 광섬유를 이용한 백플레인 상호연결에 대한 노력도 진행되고 있다. 1990년 AT&T Bell Labs.의 Grimes씨와 Hass씨는 아주 저렴한 가격으로 광 섬유를 매개로 한 고속 광 백플레인을 선보였다[12]. 이 시스템은 수십미터 이내에서 동작하는 시스템으로 그림 10과 같이 시간분할 스위칭 시스템에 응용될수 있다. 이 시스템은 대역폭이 넓고, 전자기 간섭효과가 없고, 보드 밀도를 높일 수 있으며, 번개나 과잉 전압에 의한 치명적인 손상을 받지 않게 구현될 수 있는 등 많은 장점들을 갖고 있다. 이 버스는 8비트 512타임 슬롯을 KHz frame rate로 전송하여 결국 32.768 Mb/s 속도로 동작할 수 있다. 이 시스템에서 광신호의 분배와 커플링을 위해 쓰인 광섬유는 보통 장거리 통신용 광섬유가 아닌 플라스틱-클래드-실리카 섬유와 PMMA(Poly-Methyl MethAcrylate)코어 섬유로 낮은 가격으로 정합이 비교적 쉽게 되도록 시스템을 구현한 것이 돋보인다.

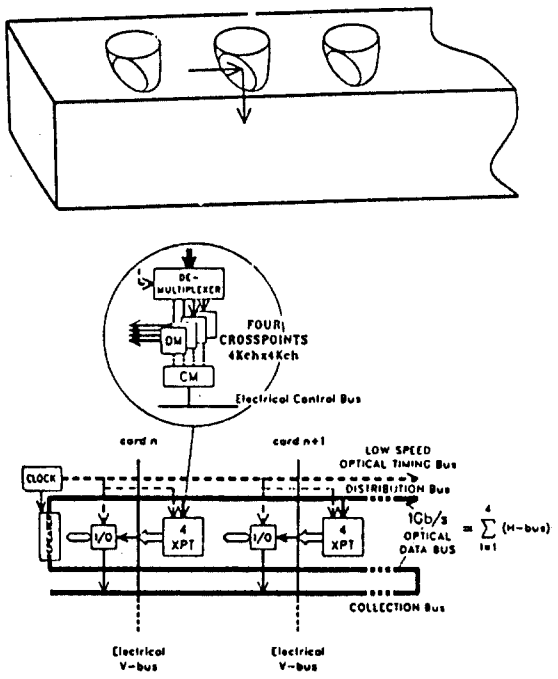
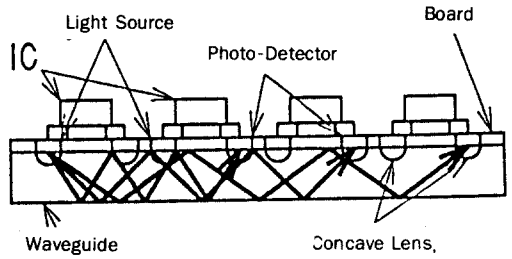


그림 11. 커플러를 포함한 광도파로 구조와 광 데이타 버스 구조[13]

4. 광도파로를 이용한 상호연결

보드간에 광을 이용한 상호연결 기술로써 광 백플레인 상호연결은 보통 10개 이상의 보드사이에 상호연결을 가능하게 하며, 데이타 전송은 Gb/s에 달해야 하기 때문에 다중 광도파로 채널을 이용하는 것이 비교적 적당하다고 알려져 있다. 회로 보드위에 사진

인쇄 기술(photolithography)에 의한 폴리머 광도파로 (polymer waveguide) 제작기술이 개발되어 널리 이용되고 있다. 1987년 Bell Northern Research (BNR)에서는 폴리머 광도파로에 커플러를 삽입한 구조의 광 버스 시스템을 제안하고 있다[13]. 그림 11에 광도파로 구조와 버스구조가 나와있다. 이 버스는 1Gb\s 속도로 데이타를 분배할 수 있어 64,000개의 음성신호 라인을 제어할 수 있는 블락킹이 없는 단일 스테이지의 타임 스위치에 응용될 것으로 전망되고 있다. 1990년 NEC사의 Kawai씨 등은 그림 12와 같은 구조의 병렬 프로세싱에서 광을 이용한 버스를 선보였다[14]. 이 시스템에서는 2차원 광도파로와 오목렌즈를 이용하여 새로운 구조의 버스를 성공적으로 보여주었다. Bristow씨 등은 폴리머 광도파로를 매개로 하여 광 백플레인 상호연결 시스템을 구성하였[15].



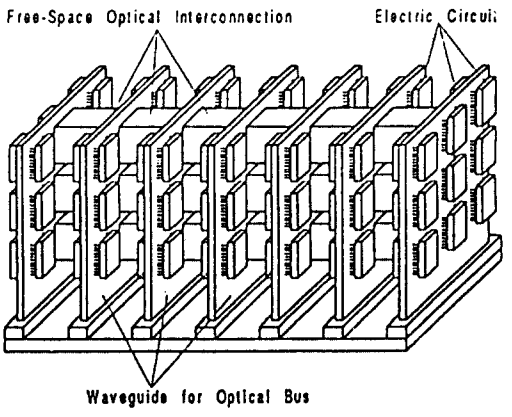


그림 12. 광 데이타 버스 구조와 병렬 프로세싱 시스템에의 응용 예[14]

Ⅲ. 맺는말

광 백플레인 상호연결 기술의 중요성은 앞에서 언급한 것과 같다. 이러한 기술의 실용화를 앞당기기 위해서는 여러 제반 기술의 발전이 있어야 한다. 단일 광전집적회로 기술, 하이브리드 집적 기술, 레이저 어레이 기술, 표면 발광 레이저 개발 기술, 마이크로 광학 기술, 광섬유 커플링 기술, 홀로그램에 대한 기술, 레이저 증폭기, 모듈레이터, SLM, Si위에 GaAs 이종 에피텍시, 폴리머 광도파로 기술 및 낮은 전압에서 구동 가능한 레이저 다이오드 개발기술등이 그것이다. 광을 이용한 상호연결 시스템에서 주요 관건인 광링크의 효율성, 소비 전력, 팬 아웃 및 자유공간에서 시스템의 정합성을 고려하여 앞으로 많은 연구가 진행되어야 한다. 미국의 AT&T Bell Labs., BNR, Honeywell, Bellcore, Thinking Machines Inc, 그리고 MIT Lincoln Lab.과 유럽의 OLIVES 프로젝트 그리고 일본의 NTT 전송 시스템 실험실 등 많은 연구기관에서 좋은 결과들이 나오고 있다.

컴퓨터 및 광대역 교환기 분야에서 고속 대용량 병렬처리를 위해 광을 이용한 상호연결 기술의 대표적인 시스템으로 광 백플레인 상호연결 개발기술의 중요성은 다시한번 인식되어져야 하고 국내에서도 많은 지원 아래 열심히 연구 개발하여 앞으로 정보화 시대에 맞는 기술을 보유하도록 힘써야 한다.

참 고 문 헌

1. D. Z. Tsang, "Optical interconnections in digital sytems-satatus and prospects," pp. 23-29, Optics & photonics News, oct., 1990.
2. M. R. Feldman et al., "Comparison between optical and electrical interconnects based on power and speed considerations," Appl. opt., vol. 27, pp. 1742-1751, 1988.
3. J. W. Goodman et al., "Optical interconnects for VLSI systems," Proc. IEEE, vol. 72, pp. 850-866, 1984.
4. W. T. Cathey et al., "High concurrency data bus using arrays of optical emiiters and detectors," Appl. Opt., vol. 18, pp. 1687-1691, 1979.

5. Y. Okada et al., "Dialog. H:a highly parallel processor based on optical common bus." in COMPCON 83, IEEE Computer Society Press, pp. 461-467, 1983.
6. T. Matsumoto et al., "A parallel processing computer system employing reconfigurable board-to-board free-space optical interconnect ions : COSINE-1," Optical Computing, pp. 416-417, 1990.
7. T. Sakano et al., "Lightwave interconnections employing spatial addressing:LISA," Photonic Switching, pp. 176-1991.
8. K. Hamanaka, "Optical bus interconnection system by using SELFOC lenses and planar microlens array," Optical Computing, pp. 32-35, 1991.
9. D. Z. Tsang, "Technique for implementation of high-speed free-space optical interconnects," Optical Computing, pp135, 1991.
10. J. W. Parker, "Progress in optical interconnection technologies and demonstrators under the ESPRIT II OLIVES programme." Optical Computing, pp. 304-307, 1991.
11. R. C. Kim et al., "An optical holographic backplane interconnect system," J. Lightwave Technol., vol. 9, pp. 1650-1656, 1991.
12. G. J. Grimes et al., "An optical backplane for high speed performance switches," Proc. Inter, Switching Symp., vol. 1, pp. 85-89, 1990.
13. D. A. Kahn et al., "A photonic backplane for a high capacity time switch," Proc. Inter. Switching Symp., C7.4.5, 1987.
14. S. Kawai et al., "Two-dimensional optical buses for massively parallel processing," Optical Computing, pp. 136-139, 1991.
15. J. P. G. Bristow et al., "Polymer waveguide-based optical backplane for fine-grained computing," Proc. SPIE, vol. 1178, pp. 103-104, 1990.

丁 鍾 珉

- 1990년 : 한국과학기술대학 정보통신학과(학사)
- 1992년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과(석사)
- 1992년 3월～현재 : KAIST 전기 및 전자공학과 (박사과정)
- 연구분야 : OEIC, 광을 이용한 데이타 버스\LAN 등

池 尹 圭

- 1978년 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(학사)
- 1980년 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(석사)
- 1980년～1984년 : The Univ. of Texas at Austin(박사)
- 1984년～1989년 : (미국)AT & T Bell Labs. (MTS)
- 1989년～현재 : KAIST 전기 및 전자공학과. 현재 부교수
- 연구분야 : 광통신, 광대역통신, 광교환 등

申 相 永

- 1964. 3~1968. 2 : 서울대학교 공과대학 전기공학과(학사)
- 1971. 9~1973. 6 : Polytechnic Institute of New York(Electro-Physics : 석사)
- 1973. 6~1975. 8 : Polytechnic Institute of New York(Electro-Physics : 박사)
- 1975. 9~1978. 1 : Polytechnic Institute of New York(Electro-Physics : (연구원)
- 1978. 2~1980. 2 : KAIST 전기 및 전자공학과 (조교수)
- 1980. 3~1986. 3 : KAIST 전기 및 전자공학과 (부교수)
- 1986. 3~현재 : KAIST 전기 및 전자공학과 (교수)
- 연구분야 : 광통신 소자, 광정보 처리, 비선형 광학 등