主題

10기가비트 이더넷 기술 동향

충남대학교 정보통신공학과 이찬구, 김대영

차 례

1. 서론
2. 이더넷의 발전 역사
3. 10기가비트 이더넷 표준화 동향
4. 주요 이슈
5. 라인코드
6. MB810 라인코드
7. 향후 전망 및 결론

I. 서 론

컴퓨터와 그 주변기기 간의 정보교환 및 주변장치 공유의 목적으로 개발된 LAN은 초기에는 일정 구역 내의 컴퓨터간의 통신을 위한 용도로 발전해 왔으나, 최근 사용자의 통신 영역이 점차로 확대됨에 따라 이들 LAN 간을 연결할 수 있는 브리지 기술과, 서로 상이한 프로토콜을 가지는 망간을 접속할 수 있는 프로토콜인 인터넷 프로토콜 (IP : Internet Protocol)이 개발되어 실제적으로 전세계의 모든 단말들이 상호 연결되어 정보를 교환할 수 있게 되었다.

이와 같은 LAN의 효용성이 확대됨에 따라, 대학이나 중대규모 회사의 사내망 구성을 위하여 내부의 여러 LAN을 상호 연결시켜주는 고속의 백본망에 대한 중요성이 대두되었다. 지금까지는 LAN의 내부 트래픽이 대부분 (80%)을 차지하고 LAN 간의 트래픽이 일부(20%)를 이루고 있었지만, WWW (World Wide Web)등의 어플리케이션을 이용한 인터넷 트래픽의 증가와 가상랜 등과 같은 기술이 발전함에 따라 LAN 간의 트래픽 점유비중이 80% 이상을 점유할 정도로 크게 증가되고 있다. 이는 LAN 자체의 고속화와 함께 LAN을 상호 연결하는 백본망의 중요성이 더욱 확대됨을 의미하며 선진 외국의 관련 업체들도 효율적인 고속백본망의 개발에 주력하고 있다.

현재 고속백본망의 용량은 160Gbps를 수용하기 위한 장비들이 개발 단계에 있고 통신사업자와 랜사업자 영역이 중복되게 되어 통합된 백본망을 필요로 하게 되었다. 다양한 속도의 트래픽을 수용하기 위한 10 Gbps이상의 고속전송 기술로 광선로를 이용하는 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)기술이 유일한 대안으로 제시되고

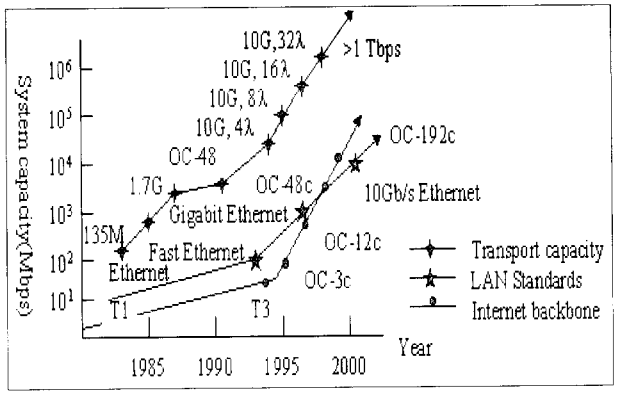


그림 1. 백본시스템의 연도별 전송 속도

있으며 그싯점은 위의 (그림 1)에서와 같이 2000년을 예상하고 있다. 향후 통합되는 망은 (그림 2)에서와 같이 기존의 데이터 통신망의 Ethernet을 고속화한 10 Gigabit Ethernet을 위주로 MAN/WAN의 백본망에 접속되는 것이 가장 유력시 되고 있어 10 Gigabit Ethernet의 표준화를 IEEE 802.3 HSSG에서 1999년 3월부터 시작하고 있다. 10 Gigabit Ethernet은 광 인터페이스를 통하여 광전달망에 직접 접속될 수 있고 동시에 기존 통신사업자의 SOENT/SDH장비와도 접속될 수 있다.

세계 데이터 통신 시장은 1996년 기준하여 320억불에 달하고 있으며 2000년에는 650억불을 예상하고 있다. 여기에서 랜시장은 연간 19%씩 성장이 예상되며 특히 MAN/WAN시장은 연간 38%씩 증가할 것으로 예측하고 있다. 즉, 1996년 MAN/WAN시장이 120억불이던 것이 2002년에

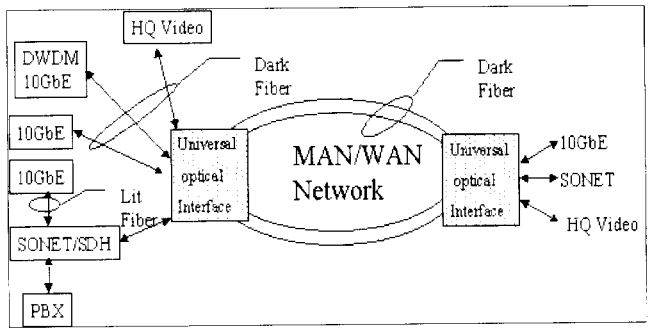


그림 2. MAN/WAN 백본망의 접속

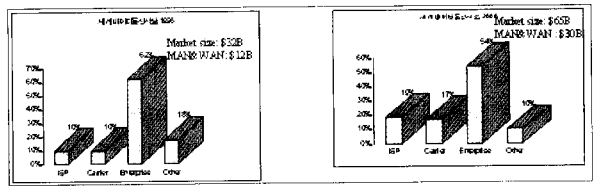


그림 3. 세계 데이터통신시장 예측

는 580억불이 될 것이다.

본 고에서는 2장에서 이더넷이 발전되어 온 과정을 간략하게 설명하고 3장에서 10기가비트 이더넷 표준화 동향을, 4장에서 표준화의 주요 이슈, 그리고 5장에서 10기가 이더넷에서의 가장 중요한 이슈 중의 하나인 라인코드를 정리하였고 우리나라에서 제안중인 라인코드인 MB810에 대한 기술적인 검토 내용을 5장에서 기술하고 끝으로 향후 전망을 기술하였다.

2. 이더넷의 발전 역사

(1) 이더넷의 발전

이더넷은 1973년에 Xerox사에서 2.94Mbps 전송 속도를 가지는 최초의 이더넷이 발표된 이후 Xerox사와 Digital Equipment Coporation (DEC), Intel사가 연합하여 표준을 개발[DIX Ethernet]하고 1980년에 10Mbps의 이더넷을 개발하게 되었고 저렴한 가격과 당시의 10Mbps라는 고속 전송 능력 때문에 많은 발전을 거듭해 왔다. DIX(Dec-Intel-Xerox)그룹과 병행하여 IEEE에서는 현재의 유명한 802 프로젝트를 결성하고 첫 회의를 1980년에 미국 샌프란시스코에서 개최하였다. IEEE 802위원회는 모든 랜을 포함하는 단일 표준안의 도출이 어렵다고 보고 여러 개의 Working Group으로 분할하여 각각의 표준안을 도출하도록 하였으며 802.3은 이더넷 기반의 LAN 표준화를, 802.4는 토큰버스, 802.5는 토큰링을 표준화 하였다.

- 10Mbps 이더넷의 시대 : 1982~1990

IEEE 802.3 에서는 이더넷 표준을 1983년에 승인하였는데 이 표준은 DIX표준과 거의 유사한 형태로 별 차이가 없었으나 단지 리피터, 물리매체 옵션을 데스크탑용의 동축 케이블과 빌딩간 접속을 위한 광선로등으로 세분하여 규격을 확장하였다. 따라서 초기의 이더넷은 동축케이블에 의한 Shared Media형태로 구성되었다. 초기에 동축 케이블을 선호하게 된 이유로는 첫째 트위스트페어 보다 외부 잡음의 영향을 적게 받고, 대역폭이 넓었으며 특히, 임피던스특성이 좋아 저가의 송수신 소자를 만들기가 용이하였기 때문이다. 둘째로 대역폭을 공유하는 초기 LAN에 적합하였기 때문이다. 초기의 LAN은 허브를 이용한 집속 시스템이나 브리지, 스위칭 기능의 LAN등을 고려하지 않았었다. 세번째로 1980년대에는 데이터 통신용으로 기존에 설치된 트위스트페어가 없었기 때문이다. 이러한 동축망은 성형망과 호환이 안되었으며 SynOptics Communications사에서 개발한 트위스트페어 기반의 10 Mbps이더넷이 IEEE 802에서 10BASE-T표준으로 승인되고 시장에서의 호응이 높아짐에 따라 트위스트페어로 이더넷의 전송매체가 1990년부터 급격하게 변화되기 시작하였다.

- LAN 브리지와 스위치의 출현 : 1984~1997

브리지는 1984년 DEC가 상용화를 시작하였고 초기에는 성능에 비해 고가였으나 당시에 증가하는 컴퓨터를 용이하게 접속 시켜주는데 라우터를 사용하는 것보다는 브리지가 훨씬 가격이 저렴하였으므로 브리지의 사용이 확산되게 되었다. 브리지를 사용하게 되면 Shared LAN을 Dedicated LAN으로 변환하게 되어 트래픽이 효율적으로 운용되며 단말의 수를 늘려가기가 용이한 잇점이 있다. 1991년에 Kalpana사가 LAN Switch라는 새로운 개념의 브리지를 출시하였는데 여러 개의 접속포트를 사용하여 각 포트에서 동시에 최대 속도를 지원할 수 있도록 한 것이었다. 스위치 기능을 브리지가 수행하게 되면 미디어 한 단말 전용으로 대역을 할당할 수 있게 되고 따라서 미디어 공유를 위한 액세스 제어가 필요없게 되어 이른바 Full duplex이더넷

을 가능하게 한다. IEEE 802.3 에서는 전이중망 형태의 이더넷 표준을 1995년에 시작하여 1997년에 완료하였다.

- Fast Ethernet의 출현 : 1992~1997

컴퓨팅 능력 향상 및 광대역 어플리케이션의 등장에 따라 광대역의 네트웍이 필요하게 되었고, Switched LAN은 이러한 요구를 충족시켜 줄수 있도록 각각의 데스크탑에 전용 선로를 제공하게 되었다. 아직도 서버를 공유하기 위한 공유 네트웍의 필요성이 존재하고 있고 각 단말의 속도가 높아짐에 따라 서버용 네트웍의 대역 요구도 급속하게 증가하게 되었다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 1992년에 Grand Junction Networks사에서 서버와 같은 공유 리소스를 고속으로 백본에 연결할 목적으로 이더넷 구조와 동일하면서도 속도가 10배 빠른 100Mbps Fast Ethernet을 개발하였고 곧이어 IEEE 802.3에서 1995년 Fast Ethernet표준으로 설정되게 되었으며 10Mbps 이더넷 출현 이후 15년만에 처음으로 전송 속도를 증가 시키는 계기가 되었다.

- 기가비트 이더넷 : 1996~1998

Fast Ethernet이 15년간 잠재되어 있던 광대역 네트웍 수요를 충족시키기 위하여 폭발적으로 수요가 증가하고 있는 한편으로 스위칭 기능과 Fast Ethernet의 결합에 따른 서버와 캠퍼스 백본등에서의 네트웍이 다시 병목현상이 초래되기 시작하였는데 이를 해결하기 위한 방법으로 Fast Ethernet 표준화가 완료된 후 채 1년이 되지 않아 기가비트 이더넷 표준화가 시작되었다. 기가비트 이더넷 표준은 1996년에 시작되어 1998년에 IEEE 802에서 완료하였다.

- 10기가비트 이더넷의 출현 : 1999~2001

기가비트 이더넷의 표준화 완료를 기점으로 1999년 3월부터 10기가비트 이더넷 표준화를 위한 스터디 그룹을 결성하고 표준화를 진행하고 있다. 기가비트이더넷이 캠퍼스나 빌딩의 백본으로 대체되고 있으나 트래픽의 폭주로 인하여 제한적인 로컬망에서의 백본 기능을 담당할 것으로 예측됨에 따라 광역의 백본을 구축할 수 있는 10기가 비트의 출현이 예상되고 있다. 10기가 비트는 향후 장거리 백본 전송의 기본 계위로 인식되고 있으며 기존 랜사업자 및 통신사업자의 사업 영역이 중복되는 부분이어서 이 분야의 표준화는 기존 통신 및 랜 사업 분야의 대대적인 지각변동을 예고하고 있다.

(2) LAN 패러다임의 변화

- Shared Media에서 Dedicated Media로

초기 이더넷이 동축 케이블을 이용하는 공유 매체를 사용하였으나 트위스트페어에 의한 전송매체가 등장하게 됨에 따라 각 단말에 전용매체을 제공하는 형태로 옮겨 가게 되었다. 보통 한 단말이 네트웍을 점유하고 사용하는 순간은 다른 단말이 사용하지 못하는 전용선의 개념이 이미 이더넷에 존재하고 있었는데 이에 따라 구조적 배선의 개념이 도입되게 되었다. 구조적 배선에서는 소그룹별로 허브를 사용하여 스타 형태로 각 단말에 전송 매체가 제공되고 모든 단말은 허브에서 종단되며 각 허브는 백본 개념의 공유 매체에 접속되도록 하고 있다. 구조적 배선을 이용하여 각 단말에 전용 매체를 제공할 경우 단말의 이동, 추가 설치 및 변경이 용이하고 접속되는 LAN기술에 무관하고, 장애에 대한 네트웍 분리 및 네트웍 관리가 용이하며 네트웍 장비에 대한 보안성이 우수하나, 공유 매체에 비하여 설치비가 비싸고 허브와 같은 장비가 필요한 단점이 있다. 그러나 트위스트페어의 전송 품질 및 전송 기술이 발달하고 LAN의 전송거리가 대부분 100미터 이하인 점을 고려하면 전용 매체가 가지는 장점이 이미 많은 호응을 받고 있다.

- Shared LAN에서 Dedicated LAN으로

초기에 공유 매체에 접속되어 있는 단말의 속도가 전송 매체의 용량에 비해 충분히 느릴 때에는 사용 시간을 나누어 공유하는 것으로 충분하였으나 단말의 컴퓨팅 파워가 급속하게 증대되고 네트웍에 접속되는 단말의 수가 급증함에 따라 채널이 Congestion이 발생하게 되어 LAN을 세그먼트로 분할하여 사용하기에 이르렀다. 세크먼트를 접속하기 위한 브리지가 도입되고, 특히 브리지가 스위치 기능을 수용함에 따라 네트웍 트래픽을 효율적으로 사용하게 되었고 세그먼트화에 따라 상대적으로 한 전송 매체에 접속된 단말의 수가 감소하게 되었다.

여기서 중요한 것은 브리지가 스위치이며 따라서 스위칭 기능의 LAN개념으로 패러다임이 변화되었다는 것이다. 스위칭 기능의 LAN에서는 충돌 영역을 분리하고 스위치가 축소된 형태의 백본을 제공하는 형태의 세그먼테이션을 가능하게 하고 있다. 또한 스위치를 이용하여 전송 거리를 자유롭게 늘려갈 수 있으며 Aggregation용량을 스위칭 허브의 총 용량까지 늘려주는 것이 가능하게 된다.

- Half duplex에서 Full duplex로

여러가지 형태의 LAN에서는 다양한 MAC알고리즘이 선을 보였지만, 기본적으로 이더넷의 MAC은 CSMA/CD이다. 그러나 MAC은 매체를 공유하기 위한 알고리즘으로 전용 매체를 사용하여 각 단말에 전용선을 공급하는 구조에서는 MAC의 역할이 없어지게 된다.

전용 매체와 전용 LAN으로의 패러 다임 변화는 스위칭 기능의 허브와 단말 사이를 Full duplex가 가능하게 하였으며 따라서 기존의 CSMA/CD도 거의 기능이 없어지게 되었다. Full Duplex도입은 전통적인CSMA/CD를 사용하는 제약이 없게 되고 따라서 이더넷의 전송 거리에 대한 제약도 사라지게 되었다. Fast Ethernet의 경우 표준에 의하면 전송 거리가 2킬로미터인데 여러 업체들로부터 Full duplex로 100km까지 전송 거리를 확장갈 수 있는 제품이 출시되고 있다. 즉 LAN이 단지 단거리 로컬 망을 의미하던 것으로부터 장거리의 광역망으로 개념이 변화하고 있다.

이상에서와 같이 이더넷은 Full duplex형태로 광역망을 형성하고 있으며 인터넷의 인터페이스를 위한 백본의 트랜스포트로 급격히 부상하고 있다. 글로벌 망을 위한 백본으로 최근 10기가비트 이더넷이 부각되고 있으며 광전달망과 결합되어 테라급까지 전송 속도를 달성하는 전송의 기본 계위로 인식되고 있다.

3. 10기가비트 이더넷 표준화 동향

100Mbps급의 Fast Ethernet을 포함한 고속 LAN기술이 데스크탑 또는 서버 레벨까지 일반화되고 가까운 미래에 데스크탑까지 광선로가 포설되는 FTTD(Fiber To The Desk)가 예상됨에 따라 이들 트래픽을 수용할수 있는 보다 더 고속의 LAN 기술이 필요하게 되었고, 이러한 필요성에 부응하여 Gigabit Ethernet기술이 출현하였으며, 1999년 3월부터 IEEE 802.3 HSSG(Higher Speed Study Group) 에서는 10Gigabit Ethernet기술의 표준화를 시작하기에 이르렀다. 또한, 국가별 정보화 정책의 추진에 따라 지역을 포함하는 글로벌 백본을 구축하는데 고속데이터를 수용하기 위한 방법으로 하나의 광선로에 여러 채널의 10 기가비트 데이터를 DWDM방식으로 전송하는 것을 고려하고 있으며, 특히 WAN을 위한 백본으로 10 Gigabit Ethernet과 기존 통신사업자의 SONET/SDH 전송장비와의 시장 쟁탈전이 시작되고 있다. 따라서 10기가비트 이더넷 표준화에 참여하고 있는 멤버들은 크게 기존 랜 사업자와 통신사업자, 그리고 부품 개발에 관련된 사업자로 구분

되며 여기서 표준화 진행을 선도하는 그룹은 랜사업자와 통신 사업자 그룹이며 부품 개발 사업자 그룹은 단지 표준화 방향을 주시하면서 부품 개발에 유리한 쪽으로 투표권을 행사하고 있다. 현재까지의 IEEE 802.3 HSSG의 10기가비트 이더넷 표준화 진행 방향을 정리하면 다음과 같다.

- Preserve the 802.3/Ethernet frame format at the MAC Client service interface.
- Meet 802 Functional Requirements, with the possible exception of Hamming Distance.
- Preserve minimum and maximum Frame Size of current 802.3 Std.
- Support full-duplex operation only.
- Support star-wired local area networks using point-to-point links and structured cabling topologies.
- Specify an optional Media Independent Interface.
- Support proposed standard P802.3ad, Link Aggregation.
- Select only one of 10.000 Gb/s or 9.58464 Gb/s to standardize as the MAC/PLS data rate.
- Support fiber media selected from the second edition of ISO/IEC 11801 (802.3 to work with SC25/WG3 to develop appropriate specifications for any new fiber media).
- Provide a family of Physical Layer specifications which support a link distance of:
  - At least 2 km over SMF
  - At least 10 km over SMF
  - At least 100 m over installed MMF
  - At least 300 m over MMF
  - At least 40 km over SMF

10기가비트 이더넷 표준화 스터디그룹은 (그림 4)에서와 같이 1999년 3월에 결성되어 10월 현재까지 4번의 미팅을 가졌으며 11월에는 정식 프로젝트로 IEEE 802 위원회로부터 승인을 받고 2000년 3월에 정식 워킹그룹으로 출범하여 본격적인 드

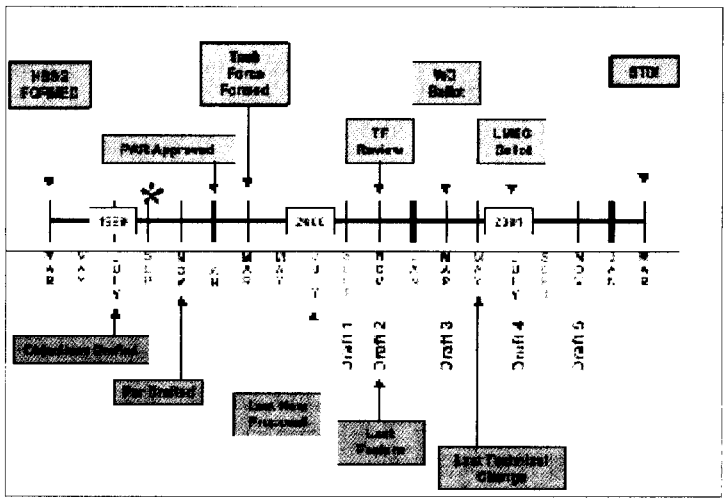


그림 4. 10기가비트 이더넷 표준화 일정

래프트 작업을 진행할 계획이다. 2000년 9월 1차 드래프트를 완료하고 최종 드래프트에 대한 워킹그룹 투표를 확정하고 이를 IEEE 802위원회 승인을 거쳐 2002년 3월에 표준을 확정할 계획이다.

4. 주요 이슈

(1) Distance Objective

기존 랜의 응용이 500미터 이내의 거리가 80% 이상이었던 것이 10기가비트 이더넷에서는 40Km의 전송 거리를 수용하도록 표준화 목표에 설정하였다.

그리고 위에서 언급한 바와 같이 Full Duplex만을 지원하도록 표준화 하기로 결정함에 따라 10기가비트 이더넷은 기본적으로 광역망의 백본용 트랜스포트로 사용이 당연시 되고 있다. 따라서 10기가비트이더넷의 표준화에는 기존 랜사업자의 측면에서 시장을 확장하려는 의도와 통신사업자들이 기존 시장을 지키려는 이해관계가 첨예하게 대립되고 있다. 랜 사업자는 광역망의 백본으로 10기가비트 이더넷을 사용할 경우 기존 통신 장비를 사용하는 것보다 1/20이하의 코스트로 운영이 가능하다고 주장하고 있다. 반면 통신 사업자들은 장거리 통신시장에서 이미 기술이 안정되어 있고 높은 신뢰성을 제공할 수 있다는 주장을 펴고 있는데 결국 1999년 9월 인터림 미팅에서 토의를 통하여 두가지를 모두 별도의 규격으로 진행하자는데 합의하였다. 즉, 통신사업자의 규격으로도 10기가비트 이더넷 장비를 만들고, 랜사업자의 규격으로도 장비를 만들어 시장에 출시하게 되면 시장에서의 경쟁력 여부에 따라 자연스럽게 우위의 규격이 생존할 것이기 때문에 시장기능에 맡기는 것이 규격화를 빠르게 진행하는데 도움이 될 것이라는 판단을 내린 것이다.

(2) Speed

기존의 랜이 10의 배수로 진화되어 왔고 전송 속도가 그에 따라 증가되어 왔으므로 랜 사업자는 기존랜의 연장으로 10기가비트의 속도로 기존 광선로를 이용하여 WAN LINK를 구성하는 것이 가격경쟁력 및 운용성에서 유리하다고 주장하는 반면 기존 통신사업자의 시설을 사용하기 위하여 10G속도를 SONET계위인 9.58기가비트로 맞추어야 한다고 통신사업자측에서 주장하였으나 결국 별도의 규격으로 진행하기로 함에 따라 이에 대한 논의도 일단락이 되고 있다. 다만 9.58기가비트의 속도를 수용할 경우 기존 랜을 종속신호로 수용하기 위한 접속을 제공하여야 하므로 통신사업자 그룹에서의 규격은 이의 수용을 위한 별도의 인터페이스 정합을 정의하고 있다.

5. 라인코드

10기가비트 이더넷 표준화 스터디그룹에서 가장 큰 이슈가 라인코드로 기존 1기가비트 이더넷의 표준인 8B/10B는 8비트를 10비트로 변환하는 코딩으로 대역폭을 25% 낭비하게되는데 10G에서 이를 적용할 경우 2.5Gbps가 낭비하게 되어 이의 낭비가 너무 크다는 의견이 지배적이었다. 따라서 이에 대한 대안으로 다음과 같이 4개의 라인코드가 제안되었으며 이에 대한 논의가 계속 되고 있다.

(1) 기존 8B/10B와 이를 보완한 IBM의 16B/18B: IBM에서 제안중인 블록 코드인 8B/10B는 8비트 원시데이타에 2비트를 추가하여 10비트로 변환하는 코드로 리던던시가 25%소요 된다. 즉, 코딩 효율이 낮은 것을 보완하기 위하여 원시데이타 16비트에 2비트를 추가하여 18비트로 코딩하면 코딩 리던던시가 반으로 줄어들게 되어 코딩 효율이 증가하며 여

기에 추가하여 에러 정정 능력을 갖도록 설계하여 기존 8B/10B대신에 사용할 수 있다고 주장하고 있다. 이 코딩을 사용할 경우 입력 10Gbps데이타에 대해 소요 대역폭은 11.25 GHz가 된다.

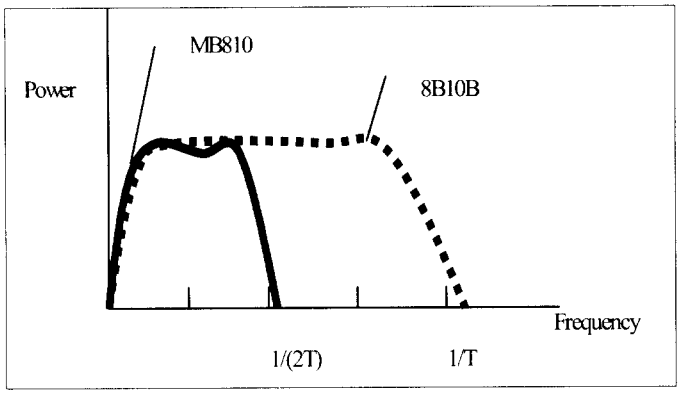
(2) MAS(Multilevel Analog Siganling) : PAM 5 (Pulse Amplitude Modulation-5 level)로 5레벨 변조를 이용하여 채널의 소요 대역폭을 줄일 목적으로 제안된 것으로 HP, 지멘스등 20여 업체가 공동으로 연구를 진행중에 있다. 원시 데이터를 4레벨로 변환하고 나머지 1레벨은 링크의 제어용으로 할당하고 있어 실제 소요 대역폭은 10기가비트 입력 데이터에 대해 5GHz 대역을 필요로 하게 된다. 대역폭을 줄여주어 장거리 광전송을 가능하게 하려는 목적을 달성할 수 있으며 광선로의 비선형 특성에 의한 5레벨 신호의 비선형 왜곡에 의한 수신 신호의 신호대 잡음비 열화에 대해 에러 보정 코딩 기술을 접목할 것이라고 주장하고 있다.

(3) MB810: ETRI와 충남대학교에서 제안한 라인코드로 최소 대역폭 선로부호이다. 즉 원시데이타 8비트를 10비트 코드워드로 변환하는 것으로 IBM의 8B/10B와 인터페이스가 동일하나 채널의 소요 대역폭을 절반으로 필요로 하게 된다. 즉, 10Gbps 원시데이타를 코딩하면 12.5Gbps가 되지만 채널에 인가되는 스펙트럼의 대역폭은 6.25GHz를 필요로 한다. 따라서 장거리 광전송에 유리할 뿐만 아니라 바이너리 블록 코드의 장점을 동시에 만족 시켜주는 코드로 1999년 7월 미팅에서 제안되어 현재 계속 논의를 진행 하고 있으며, IEEE 802.3 HSSG 의장 요청으로 ETRI 및 충남대학교에 MB810웹사이트를 운영하고 있으며 관련 논문과 프로그램, 실험결과 등을 지속적으로 업데이트 하고 있다.

(4) Scrambled-NRZ:기존 통신사업자가 SONET을 기반으로 하는 이더넷 물리계층을 주장하면서 이미 기술적인 충분한 연구와 시장에서의 검증을 거친 스크램블 NRZ를 라인코드로 사용하자는 주장이다. NRZ를 주장하게 된 배경은 이미 통신 사업자가 필요한 부품을 사용중에 있고 이를 그대로 LAN시장에 투입하여 시장 진입의 일정을 단축하고 동시에 가격 경쟁력을 확보하려는 의도가 작용하고 있다. 이미 포화 상태에 이른 장거리 통신 시장의 새로운 돌파구로 LAN시장을 공략하기 위한 것으로 파악되고 있다.

6. MB810 라인코드

MB810 라인코드는 설계를 위한 시스템 파라미터로 ASV(Alternate Sum Variation)을 새로이 정의하고 DSV(Digital Sum Variation)와 함께 이를 유한하게 해줌으로써 코딩후의 스펙트럼이 직류성분이 없을 뿐만 아니라 나이퀴스트 주파수에서 스펙트럼 영점이 존재하는 2진 블록 코드이다. 8B/10B인 경우 RDS(Running Digital Sum)을 6으로 제한하여 코딩 스펙트럼이 직류 성분이 없도록 하고 있으나 소요 대역폭은 나이퀴스트 주파수의 2배를 새로이 점유하게 된다 (그림 5). 그러나 MB810 라인코드는 전송 채널의 소요 대역폭을 원시 데이터의 40%, 코딩된 데이터 레이트의 50%를 필요로 하게되어 고속의 데이터를 대역 제한된 채널을 통해 전송할 때 매우 유리한 잇점이 있다. 특히 코드워드 자체의 무직류특성 및 최소대역폭 특성, 그리고 Run-Length Limit특성은 전송 채널에서 요구되는 이상적인 신호라고 할 수 있다. 제안된 MB810의 시스템 구현을 위하여 필요한 실험과 시뮬레이션 및 구현 결과를 요약하면 다음과 같다.



(1/T : 시그널링 레이트)

그림 5. 스펙트럼 비교

- MB810 스펙트럼

(그림 6)은 코딩된 신호의 출력이 10Gbps일때 MB810과 8B/10B의 스펙트럼을 측정한 것이다. 측정을 위하여 랜덤데이타를 코딩룰에 의하여 프로그램으로 코드워드를 발생시키고 이 신호를 펄스 발생기에 로드시켜 10 Gbps로 출력되는 신호에 대해 스펙트럼을 측정하였다. 위에서 설명한 바와 같이 MB810의 경우 나이퀴스트 주파수인 5GHz에서 스펙트럼 영점이 존재하는 반면에 8B/10B코드는 10GHz에서 영점이 존재하는 것을 볼수 있다. 또한 도시된 그림에는 나타나 있지 않으나 두 라인코드 모두 무직류 특성을 만족함을 확인 하였다.

- 지터 특성

전송 시스템 구현에 필요한 MB810라인코드의 지터특성을 분석 하였다. 전송 채널 모델은 아직 10기가비트 이더넷 채널 모델이 없는 관계로 IEEE 802.3z (1기가비트 이더넷 표준)에서 정의한 4차 베셀톰슨 필터를 사용하였으며 사용한 데이터 패턴도 위 표준에서 정의한 방식을 준용하였다. 여기서 보고자 하는 것은 이미 표준으로 사용되고 있는 NRZ와 8B/10B의 지터 특성에 MB810이 상대적으로 어느 정도의 특성을 갖고 있는지 비교함으로써 시스템 구현을 위한 MB810의 지터 성능을 판단하는 것이었다. 채널의 대역을 1.25GHz에 Normalize 하였으며 채널의 대역을 감소 시켜 가

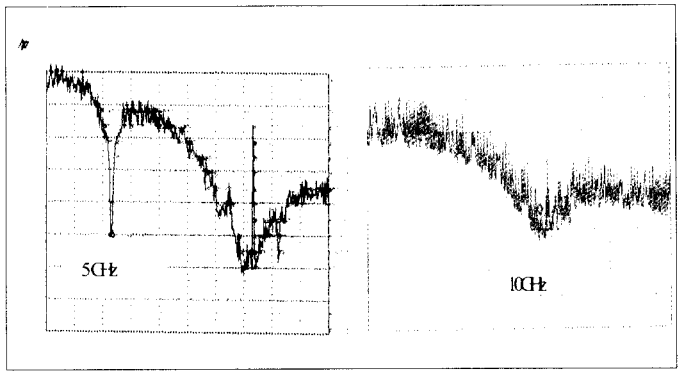


그림 6. MB810과 8B/10B 스펙트럼의 측정 결과

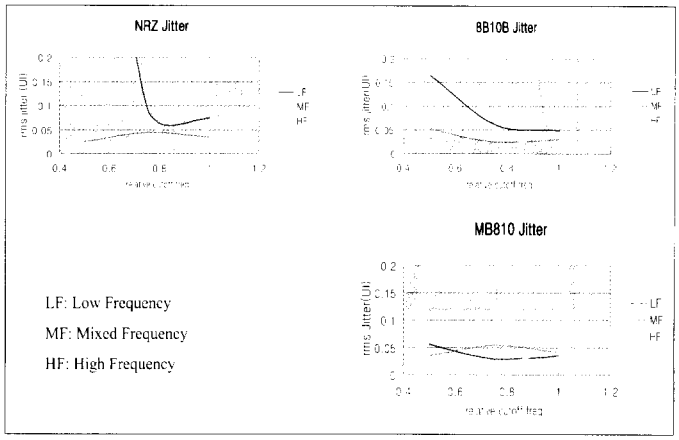


그림 7. 지터 시뮬레이션 결과

면서 rms지터를 측정하였다. 여기서 NRZ데이타의 속도는 1Gbps이며 MB810 및 8B/10B는 1.25Gbps이다.

시뮬레이션 결과 NRZ LF데이타와 8B/10B LF데이타는 채널 대역이 감소함에 따라 지터가 급격하게 증가하고 있으나 MB810의 지터는 일정 값 이하로 제한되고 있음을 알수 있었다. 따라서 MB810은 이미 시스템에서 검증된 다른 코드들보다 상대적으로 우수함을 알 수 있었으며 시스템 구현시 지터 특성을 만족할 것으로 보여진다.

- 구현

이론과 시뮬레이션으로 정립된 MB810의 10기가비트 이더넷의 라인코드로 적용성을 검증하기 위하여 하드웨어로 구현을 하였다. 고속의 데이터를 처리하기 위하여 10Gbps데이타 스트림을 80개의 125Mbps병렬데이타로 변환하여 이에 대한 인코딩을 순수 로직 게이트 조합으로 구현하고 2단계의 단순 다중 방식으로 12.5Gbps의 최종 출력을 만드는 구조로 설계하였다. 이때 사용되는 단순 다중 부품은 10:1 멀티플렉서로 현재 12.5Gbps에서 동작하는 다중칩이 개발되어 있지 않은 상태여서 이속도로 구현하는 것은 불가능한 상태이다. 따라서 전체적인 처리 속도를 1/10으로 낮추어 1.25Gbps를 최종 출력으로 제공하도록 구현하였으며 구현은 FPGA를 사용하였다. 구현 결과 인코더와 디코더의 경우 각각 2만 게이트가 소요 되었다. 이 구현을 통하여 MB810라인코드가 실제 보드상에서 동작 하는 것을 증명하였으며 향 후 12.5Gbps로 동작하는 10:1다중칩이 개발되면 신호 처리 속도를 10배로 증가시키기만 하면 되는데 실제 인코딩 및 디코딩 로직은 125Mbps 처리 속도만 허용되면 되므로 구현상 속도에 의한 문제점도 없으리라 예상된다.

이외에도 MB810은 256개(8비트)입력 비트에 대해 10비트 즉, 1024개의 워드중의 일부를 맵핑시키게 되므로 잉여의 워드를 이용하여 프레임 동기, 감시 및 제어용으로도 할당이 가능하다.

7. 향후 전망 및 결론

10기가비트가 향후의 장거리 백본망의 기본 계위라는 것에 대해서는 대부분 의견이 일치되고 있다. 그리고 통신의 패러다임이 네트웍 사업자와 국가 정책의 관점에서 시설되고 운영되어 오던 것이 이제는 사용자 관점으로 변화되고 있다. 즉, 사용자 필요에

의해 사용자가 자체적으로 다양한 규격과 성능의 전송로를 포설하고 운영하며 기존 통신사업자의 시설을 임차하게 된다. 또한 일반 사용자도 다양한 방식과 규격의 통신로를 선택할 수 있게 되며 이제 남은 것은 도래하는 시장에서 어떤 표준이 사용자의 호응을 받아 살아 남게 되는가가 중요하다고 할 수 있다. 이더넷의 역사를 통해 알 수 있는 바와 같이 시장은 가격 경쟁력에 의해 좌우되며 여기에 기존 사용자들에게 별도의 교육을 필요로 하지 않는 편리한 표준이 사용자에게 설득력을 가질 것으로 생각된다. 이러한 관점에서 이미 전세계적으로 60억개의 노드를 구축하고 있는 이더넷이 가격 경쟁력 및 사용의 용이성에 의해 가장 강력한 후보로 예견되며 백본을 포함하는 글로벌 네트웍의 구축에 필수적인 10 Gigabit Ethernet은 통신 시장에서의 엄청난 파괴력을 몰고 올 것이다. 따라서 현재 IEEE 802.3에서 진행중인 10 Gigabit Ethernet 시스템 표준화에 국내 산업체, 대학, 연구소 및 정부 등이 적절하게 역할을 분담하여 효과적인 대응을 추진해야 할 것이다.

※ 참 고 문 헌

[1] http://grouper.ieee.org/groups/802/3/10G_study/public/july99/index.html.

[2] http://grouper.ieee.org/groups/802/3/10G_study/public/sept99/index.html.

[3] http://ccl.chungnam.ac.kr/LineCode/.

[4] http://routertech.etri.re.kr/English/Standard.

[5] IEEE Draft P802.3z/D5.0, Clause 36, Physical Coding Sublayer (PCS) and Physical Medium Attachment (PMA) sublayer, type 1000BASE-X, May 1998.

[6] 윤종호, 고속 이더넷, 오옴사, 1996.

[7] Rich Seifert, Gigabit Ethernet, Addison-Wesley, 1998.

[8] http://www.canarie.ca.

[9] D. Y. Kim, and J. -k. Kim, "A condition for stable minimum-bandwidth line codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 2, pp. 152-157, Feb. 1985.

[10] D. Y. Kim, "Lower-bound eye widths of minimum-bandwidth systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp.1235-1249, Feb./Mar./Apr., 1995.

[11] C. G. Lee, D. I. Lee, and D. Y. Kim, "An evaluation for high speed optical line code: Minimum Bandwidth(MB) Line Code MB34," *proc. of ICT'98*, Porto Carras, Greece, June 22-25, 1998.

[12] J. H. Kim, *A Study on the Design of Minimum-Bandwidth Binary Line Codes*, Ph.D. dissertation, CNU, Taejon, 1992.

이 찬 구

1983년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과(학사)
1997년 8월 충남대학교 전자공학과(석사)
1999년 3월~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정
1983년 3월~1987년 3월 공군 중위(항공무장)
1987년 6월~1993년 7월 삼성전자 종합연구소(주임연구원)
1993년 7월~현재 ETRI 고환전송기술연구소 무선 ATM팀 근무 (선임연구원)
※주관심분야: OFDM, Line coding, RF System

김 대 영

1975년 서울대 전자공학과 학사
1977년 한국과학원 전기및전자공학과 석사
1983년 한국과학원 전기및전자공학과 박사
1982년~현재 충남대학교 전자공학과, 정보통신공학과 교수
1998년~현재 한국통신학회 대전충남지부장
2000년 개방형컴퓨터통신연구회(OSIA) 회장
※관심분야:차세대 인터넷 프로토콜, 고속 네트워킹 기술