DBpia

논문 01-26-1B-7 한국통신학회논문지 '01-1 Vol.26 No.1B

최소대역폭 선로부호 MB810의 설계 및 성능 분석

정회원 이 찬 구*, 김 대 영**, 정 해 원*, 이 형 호*

Design and performance analysis of MB810

ChanGoo Lee*, Dae Young Kim**, Hae-Won Jung*, Hyeong Ho Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 현재 "10기가비트 이더넷 표준화"에 제안중인 최소대역폭 선로부호 MB810에 대하여 설계에 필요한 시스템 파라미터인 ASV (Alternate Sum Variation), DSV (Digital Sum Variation), 설계 툴인 BUDA (Binary Unit DSV and ASV) 셀을 설명하고 이를 이용하여 MB810을 설계하였고, 설계 과정을 최소대역폭 선로부호 설계과정으로 일반화하였으며 설계된 MB810 선로부호의 전송 성능을 시뮬레이션 및 구현으로 8B/10B와 비교, 분석하고 고속 데이터에 대한 구현 가능성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 대역이 제한된 선형 채널에서 최소대역폭 선로부호 MB810은 12.5 GHz 대신 5 GHz의 대역폭만으로 SNR (Signal to Noise Ratio) 18dB에서 BER (Bit Error Rate) 1×10^{-10}을 달성할 수 있으며 지터특성 또한 대역이 제한된 상황에서도 지터가 증가하지 않고 일정하게 제한되고 있음을 확인하였다. 구현은 2단계의 단순 비트인터리빙 방식의 다중을 통하여 순수 게이트 조합으로 고속의 데이터를 부호화/복호화 하는 것이 가능하였으며 부호화 및 복호화에 필요한 게이트수는 각각 2만 게이트 이내로 산정 되었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose MB810, a minimum bandwidth line code, for the line code of band-limited channel, which has the characteristics of DC-free and minimum bandwidth. Based upon the simulation results of the transmission in linear channel , the MB810 requires 5 GHz of channel bandwidth when transmitting 12.5 Gbps data to attain 1×10^{-10}BER at 18dB SNR in the receiver, while 8B/10B requires 10 GHz for the same coditions. Jitter of MB810 is confined within 0.05 UI (Unit Interval), whereas that of 8B/10B and scrambled-NRZ (Not Return to Zero) are exploded as the channel bandwidth decreases. Encoder and decoder of the proposed MB810 are implemented and tested using the gate arrays, and the number of gates for the encoder and decoder are estimated to be under the 20K gates, respectively. We concluded that MB810 is a transmission code of the band-width hungry channel.

Ⅰ. 서 론

최근 인터넷의 비약적인 발전에 힘입어 LAN (Local Area Network)의 트래픽이 급증하고 있으며 이에 부응하여 이더넷의 속도도 10 Mbps에서 1 Gbps까지 상용화가 되어 있다. 1999년 3월부터 IEEE 802.3ae에서는 10기가비트 이더넷의 표준화를 시작하였으며 여기에서 전송을 위한 선로부호가 가장 큰 이슈가 되어 왔다. 즉, 기존에 사용하고 있는 선로부호 8B/10B는 8비트를 10비트로 변환하는 블록코드로 10기가 데이터를 보내는데 12.5기가의 대역이 필요하며 결과적으로 2.5기가의 대역폭 낭비가 초래되어 10기가비트 이더넷에서는 다른 선로부호를 검토하게 되었다. 여기에 국내에서는 최소대역폭 선로부호 MB810을 제안하고 이를 설계, 성능, 구현측면에서 관련 연구를 진행하여 왔다.[1][2]

* 한국전자통신연구원 라우터기술연구부 ** 충남대학교 정보통신공학과 컴퓨터통신연구실,
논문번호 : 00340-0828, 접수일자 : 1999년 8월 12일

www.dbpia.co.kr

본 논문에서는 II장에서 IEEE 802.3ae에 제안중인 10기가비트 이더넷용 선로부호 후보에 대한 특징을 기술하였고 III장에서는 최소대역폭(MB: Minimum Bandwidth) 선로부호 MB810의 설계과정 및 특성, 그리고 IV장에서 MB810의 전송성능을 8B/10B와 비교 분석하였고 제안된 MB810 선로부호가 최소대역폭 및 무직류 특성을 만족하면서 고속 데이터용으로 구현이 적합함을 증명하고 V장에서 결론을 맺고 있다.

II. 10기가비트 이더넷 제안 라인코드[1]

10기가비트 이더넷 표준화그룹인 IEEE 802.3ae에서 가장 큰 이슈가 라인코드로 기존 1기가비트 이더넷의 표준인 8B/10B의 대역폭 낭비에 대한 대안으로 다음과 같이 5개의 라인코드가 제안되었다.

1) 기존 8B/10B와 이를 보완한 IBM사의 16B/18B: IBM사에서 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 여기에 추가하여 에러 정정 능력을 갖도록 설계하여 기존 8B/10B대신에 사용할 수 있다고 주장하고 있다. 이 코딩을 사용할 경우 입력 10 Gbps 데이타에 대해 소요 대역폭은 11.25 GHz가 된다.

2) MAS(Multi-level Analog Signaling) : PAM 5 (Pulse Amplitude Modulation-5 level)로 5레벨 변조를 이용하여 채널의 소요 대역폭을 줄일 목적으로 제안된 것으로 원시 데이터를 4레벨로 변환하고 나머지 1레벨은 링크의 제어용으로 할당하고 있어 실제 소요 대역폭은 10기가비트 입력 데이터에 대해 5 GHz 대역을 필요로 하게 된다. 대역폭을 줄여주어 장거리 광전송을 가능하게 하려는 목적을 달성할 수 있으나 광선로의 비선형 특성에 의한 5레벨 신호의 비선형 왜곡에 의한 수신신호의 신호대 잡음비 열화에 대해 에러 보정 코딩 기술 및 등화기가 필요하게 되고 구현이 복잡하게 된다.

3) MB810 : ETRI와 충남대학교에서 제안한 라인코드로 최소 대역폭 선로부호이다. 즉 원시데이타 8비트를 10비트 코드워드로 변환하는 것으로 IBM의 8B/10B와 인터페이스가 동일하나 채널의 소요 대역폭을 절반만 필요로 하게 된다. 즉, 10 Gbps 원시데이타를 코딩하면 12.5 Gbps가 되지만 채널에 인가되는 스펙트럼의 대역폭은 6.25 GHz를 필요로 한다. 따라서 장거리 광전송에 유리할 뿐만 아니라 바이너리 블록 코드의 장점을 동시에 만족 시켜주는 코드로 1999년 7월 미팅에서 제안되어 현재 계속 논의를 진행하고 있다.

4) Scrambled-NRZ : 기존 SDH (Synch- ronous Digital Hierarchy)/SONET (Synch- ronous Optical Network)에서 기술적인 충분한 연구와 시장에서의 검증을 거친 스크램블된 NRZ를 라인코드로 사용하자는 제안이다. NRZ를 주장하게 된 배경은 이미 통신 사업자가 필요한 부품을 사용중에 있고 이를 그대로 LAN시장에 투입하여 시장 진입의 일정을 단축하고 동시에 가격 경쟁력을 확보하여 이미 포화 상태에 이른 장거리 통신 시장의 새로운 돌파구로 LAN시장을 공략하기 위한 것으로 파악되고 있다. 스크램블 신호는 신호의 유한 연속장이 보장되지 않으나 대역폭은 10 GHz를 필요로 한다.

5) 64B/66B: 애질런트사에서 제안한 방식으로 라인 코딩 방식으로는 스크램블을 사용하나 블록 코드에서 사용하는 제어코드의 기능을 수용하기 위하여 8 x 8 (64bits)블럭에 2비트의 데이터를 추가하여 줌으로써 10 Gbps데이터를 전송하는데 10.3 GHz의 대역폭을 필요로 하며 기존 10 Gbps용 광소자를 별도의 수정 및 보완 없이 그대로 활용할 수 있다는 점이 장점이라고 할 수 있다. 즉, 기존 광 및 전자 부품이 그대로 활용될 수 있는 것이 시스템의 시장도입에 걸리는 시간을 단축 시켜주고 기존 부품업체의 신규 투자 부담이 없게 되므로 이에 대한 지지도가 올라가고 있다. 그러나 무직류 특성 및 프레임워드에 대한 에러 전파등의 성능 분석이 충분하게 검증되지 않았고 사용되는 클럭의 주파수가 32/31로 변환되는 과정에서의 지터, 클럭 발생기의 구현 문제 등이 아직 제품으로의 검증을 필요로 하고 있다.

III. 최소대역폭 선로부호 MB810 설계

1) MB810선로부호 설계를 위한 시스템 파라미터 신호의 전송을 R = 1/T (여기서 T는 시그널링 간격)이라 할 때 이론적인 최소대역폭은 나이퀴스트 주파수인 1/2T로 알려져 있다. 선로부호의 시스템 파라미터인 ASV (Alternate Sum Variation) 과 DSV (Digital Sum Variation)은 다음 식으로 정의되며 ASV가 유한하게 되면 최소 대역폭 특성을 갖게 되며 DSV가 유한하면 무직류 특성, 즉 유한 연

www.dbpia.co.kr

속장 특성을 만족한다. [3][4]

$$ASV = \max_{I,J,\{Y_n\}} \left| \sum_{n=I}^{J} (-1)^n Y_n \right| \quad (1)$$

$$DSV = \max_{I,J,\{Y_n\}} \left| \sum_{n=I}^{J} Y_n \right| \quad (2)$$

윗식에서 Yn은 인코더의 출력 심볼 시퀀스이며, I, J는 I < J를 만족하는 임의의 정수이다.

최소대역폭 선로부호를 설계하기 위한 툴로 BUDA(Binary Unit DSV and ASV)셀을 이용하였는데 BUDA셀은 그림 1에 도시한 바와 같이 ASV와 DSV가 각각 1인 정방형의 셀이다 그림1은 2진 데이터 시퀀스가 1100으로 코딩되는 상황을 나타내고 있다. BUDA셀에서의 논리적 부호인 1과 0은 각각 +1/2과 -1/2의 물리적인 값으로 대응된다. 따라서 그림1 BUDA셀의 맨 좌측에서 부호화기의 스테이트가 있다고 가정하고 이점에서의 RDS (Running Digital Sum)와 RAS (Running Alternate Sum)를 계산하면 각각 1/2과 0이 된다. 여기서 RDS와 RAS는 다음식으로 정의된다. [5]

$$RDS = \sum_{n=I}^{J} Y_n \quad (3)$$

$$RAS = \sum_{n=I}^{J} (-1)^n Y_n \quad (4)$$

그리고 윗식에서 ASV는 RAS의 최대 분산이고 DSV는 RDS의 최대 분산임을 알 수 있다.

ASV가 유한하면 최소대역폭 시그널링을 보장하며 DSV가 유한하게 되면 무직류 특성, 즉 주파수 영점인 부근에서의 전력 스펙트럼 성분이 영이 된다. 따라서 최소대역폭 선로부호를 설계하기 위하여 BUDA셀을 유한하게 조합하면, 생성되는 코드의 시

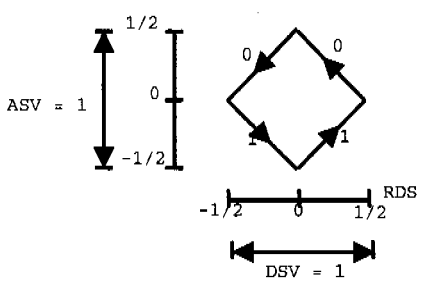


그림 1. BUDA셀

스템 파라미터인 ASV, DSV가 유한하게 되어 무직류이면서 최소대역폭 특성을 갖는 선로부호를 용이하게 설계할 수 있다.

2) MB810 설계

1)절에서 정의된 시스템 파라미터와 BUDA셀을 이용하여 8비트 2진데이터를 10비트 2진 데이터로 변환하는 MB810을 설계 하였다.[6] ASV 및 DSV가 각각 6이 되도록 BUDA셀을 배치하고 코딩 스테이트를 정하여 유한한 루프가 형성되도록 코드워드를 찾아 구성한 결과 12개의 코딩 스테이트를 가진 최소대역폭 2진 선로부호가 설계 되었다.

MB810선로부호는 모든 부호어가 임의의 코딩 스테이트에서 시작되어 자기 코딩 스테이트를 포함한 다른 코딩 스테이트에서 종단되어야 하며 코딩 스테이트가 아닌 점에서 부호어가 종단되지 않아야 하는데 이의 설계과정은 다음과 같다.

(1) ASV와 DSV가 6이라고 가정하고 BUDA셀을 가로 세로 6개씩이 되도록 그림 2와 같이 구성한다.

(2) BUDA셀이 교차하는 임의의 한점을 코딩 스테이트로 설정하고 설정된 스테이트에서 256개의 10비트 부호어가 존재하는지 검사한다. 256개 이상의 부호어가 존재하면 하나의 스테이트가 되며 존재하지 않으면 다른 교차점을 선정하여 이과정을 반복한다. 그리고 10비트 부호어가 끝나는 점을 다음 코딩 스테이트로 설정한다.

(3) 다음 코딩 스테이트에서 (2)항에서와 같이 256개의 부호어 존재유무를 확인하고 마찬가지 방법으로 다음 코딩 스테이트를 선정한다.

(4) (2),(3)항의 과정을 반복하여 모든 코딩 스테이트들이 폐루프가 구성되면 코딩 스테이트를 결정하는 과정이 완료된 것이다.

(5) 각 코딩 스테이트에서 존재하는 부호어를 8비트 입력 비트에 맵핑하여 부호화 테이블을 작성한다. 이때 각 부호의 RAS, RDS를 계산하여 이 값이 작은 부호어를 우선적으로 할당하며 큰 값은 제외하는 것이 부호어의 스펙트럼 모양을 좋게 한다.

위의 방법으로 설계된 MB810은 그림 3과 같이 12개의 스테이트를 가지며 대부분의 부호어가 인접하는 코딩 스테이트로 천이되는 특성을 나타내었다. MB810은 하나의 10비트 부호어에 한 개의 8비트 입력 데이터가 맵핑되므로 비록 부호화시엔 스테이트 정보를 필요로 하지만 복호시 스테이트 정보가

www.dbpia.co.kr

없이 단순한 맵핑으로 복호가 가능하므로 전송중에 발생하는 에러를 확산 시키지 않는 특성을 갖게 된다. 설계된 MB810선로부호의 특성을 측정하기 위하여 시뮬레이션 및 측정을 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 입력되는 원시데이터는 10 Gbps의 PRBS (Pseudo Random Bit Sequence, p=0.5)로 가정하고 MATLAB을 이용하였다. 그림 4에서와 같이 설계된 MB810은 무직류 특성을 만족하며 6.25 GHz에서 첫번째 널을 가짐을 확인하였다. 그림 5에서는 MB810선로부호 신호를 10 Gbps 전기신호로 발생시켜 스펙트럼을 측정한 것으로 나이퀴스트 주파수인 5 GHz에서 스펙트럼 널이 있음을 알 수 있다.

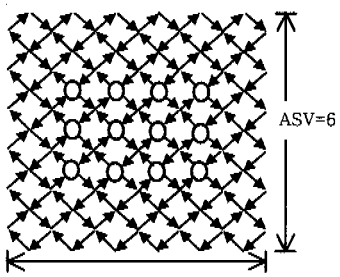


그림 2. MB810설계용 BUDA셀 구성

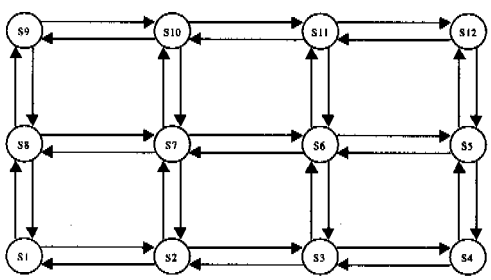


그림 3. MB810 스테이트 천이 다이어그램

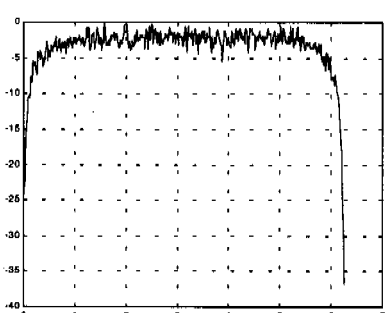


그림 4. MB810 시뮬레이션 전력 스펙트럼

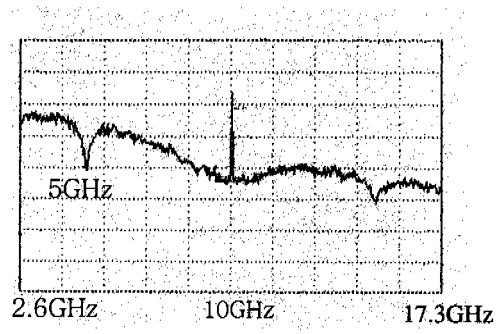
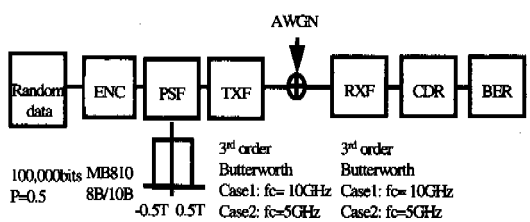


그림 5. MB810 측정 전력 스펙트럼

Ⅳ. 전송 성능 분석 및 고찰

설계된 MB810의 전송 성능을 분석하기 위하여 전송 시스템을 그림 6과 같이 모델링하고 스크램블된 NRZ데이타와 8B/10B, 그리고 MB810에 대해 수신단의 BER (Bit Error Rate)과 지터특성을 시뮬레이션을 통하여 분석, 비교하였다. 그림 6에서 랜덤데이타 100K bit를 Mark ratio = 0.5인 조건으로 발생시키고 이를 인코더를 통하여 MB810 및 8B/10B코드로 코딩하였다. 코딩된 데이터는 PSF (Pulse Shaping Filter)에서 구형파로 만들어지고 이를 TXF (Transmit Filter)에서 신호의 이득과 대역을 제한하여 송신한다. 여기서 Raised cosine filter 대신 구형파를 사용한 것은 실제 고속의 데이터를 전송하는데 별도의 PSF를 사용하지 않고 NRZ 형태로 그대로 송신 회로에 인가하는 것이 일반적인 방법이기 때문에 이를 구형파 필터로 모사한 것이다. 채널에 인가되는 신호는 코딩에 관계없이 항상 1이 되도록 정규화 하여 송신하고 채널에는 백색가



ENC : encoder
PSF : Pulse Shaping Filter
TXF : Transmitter filter with AGC
RXF : Receiver Filter
CDR : Clock and Data Recovery
BER : Bit Error Measurement

그림 6. 전송 시뮬레이션 모델

www.dbpia.co.kr

우시안 잡음이 인가되는 것으로 가정하였다. 수신필터는 채널을 통과한 신호에 대해 송신 필터에서 사용한 필터를 사용하여 잡음을 제한하고 이를 CDR (Clock and Data Recovery)회로에서 클럭과 데이터를 복구하여 이들 데이터에 대한 BER 및 지터를 측정하였다.

1. BER 성능

BER성능을 알아보기 위하여 그림 6의 모델에서 송신 필터와 수신필터의 대역폭을 각각 10 GHz, 5 GHz인 경우로 나누어서 시뮬레이션을 하였다. NRZ 데이터 전송의 경우 보통 송수신 필터의 차단 주파수가 잡음에 대한 성능을 고려하여 실제 전송데이터 속도의 80% 로 정하여 사용하고 있어 본 시뮬레이션에서도 이를 적용하여 80%에 차단 주파수를 갖는 필터를 고려하였다.[7] 즉 12.5 GHz의 데이터 속도인 경우 80%는 10 GHz이며, 최소대역폭 선로부호인 경우 6.25 GHz의 대역신호이므로 이의 80%인 5 GHz가 된다. 시뮬레이션을 송.수신필터의 차단 주파수가 10 GHz인 경우와 5 GHz인 경우, 필터의 차수를 3차 버터워스 필터와 5차 버터워스 필터인 경우로 나누어서 수행하였다. 전송성능의 BER과 지터 성능을 구분하기 위하여 BER 시뮬레이션에서는 CDR성능을 이상적인 것으로 가정하였다. 즉, 채널에 백색 가우시안 잡음을 인가하면서 수신필터를 통과한 신호의 SNR을 측정하여 이를 BER로 환산하는 방법을 사용하였다. 필터의 대역에 따른 측정잡음전력을 등가잡음 전력으로 변환하고 이를 측정신호에 대한 SNR로 환산하여 BER을 구하였다. 그림 7은 송신필터의 차단 주파수가 5 GHz인 경우의 MB810 및 8B/10B에 대한 송신단의 스펙트럼을 보여주고 있다. MB810은 6.25 GHz에 스펙트럼 널을 가지고 있으나 8B/10B의 경우 스펙트럼 널이 12.5 GHz에 위치하고 있어 저주파수 대의 전력이 강조되어 전송되는 형태를 보여주고 있다. 그림 8 (가)는 송수신 필터의 차단 주파수가 모두 10 GHz로 되어 있을 경우의 시뮬레이션을 한 결과로 두 신호의 전송 성능에 대한 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 송수신 필터의 차수도 3차보다 5차가 약간 BER 성능이 떨어지는 것으로 나오고 있는데 이는 5차의 버터워스필터가 신호성분을 그만큼 더 차단하여 수신단의 SNR을 열화 시키기 때문이다. 그러나 그림 8 (나)의 경우처럼, 송수신단의 필터를 5 GHz로 제한하여 신호를 전송하게 되면 3차 버터워스 필터를 사용한 경우 SNR 18dB에서 MB810은 BER이 1×10^{-10}이하인 반면 8B/10B는 BER이 1×10^{-5}정도의 결과가 얻어 졌다. 여기에서는 필터의 차수가 5차인 경우 두 코드 모두 BER성능이 좋지 않으며 이는 실제 시스템에서도 80%의 차단 주파수를 갖는 필터가 감쇄량이 큰 고차 필터를 사용하지 않는 이유를 설명해 주고 있다. 즉, 고속의 데이터를 송수신하는 경우 고차의 필터를 구현하는 대신 구현의 용이성 및 코스트를 감안하여 일반적으로 단순한 아날로그 저역 필터를 사용하고 있다.

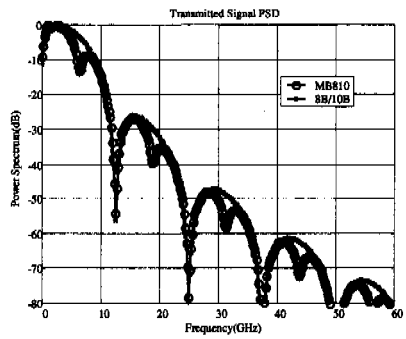
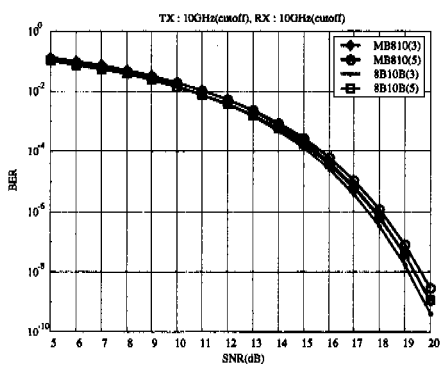
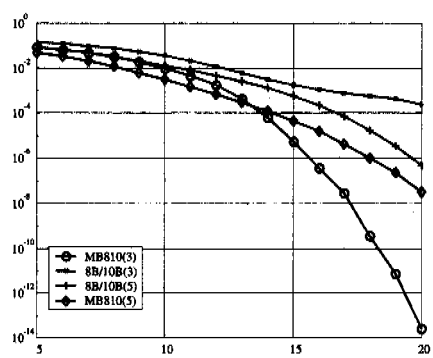


그림 7. 송신단의 전력스펙트럼



(가) 송수신필터의 차단주파수가 10 GHz일 때,



(나) 송수신필터의 차단 주파수가 5 GHz일 때

그림 8. BER 성능

www.dbpia.co.kr

BER성능 시험결과 MB810은 8B/10B의 1/2의 전송 대역을 갖는 선형 채널에서 충분하게 전송성능이 확보됨을 알 수 있었다. 이 결과를 토대로 일반적으로 대역 제한된 채널에서 고속의 데이터를 송수신 하는데 최소 대역폭 선로부호를 사용하게 되면, 원래신호의 60%정도의 채널대역만 확보되면 전송이 가능하다고 할 수 있다.

2. 지터 성능

지터 성능을 측정하는 모델은 그림 9와 같다.

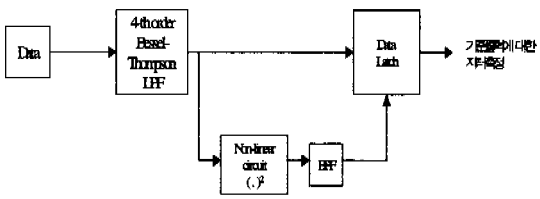


그림 9. 지터성능 시뮬레이션 모델

데이터를 수신하여 IEEE 802.3z에서 지터를 측정하는 방법으로 제시된 4차 베셀-톰슨 필터를 사용하고 일반적인 2승루프를 통과 시켜 클럭 성분을 대역 필터로 추출하는 회로를 사용하였다. 4차 베셀-톰슨 필터의 전달함수는 다음과 같다.[8]

$$H(p)=\frac{105}{105+105y+45y^2+10y^3+y^4}$$

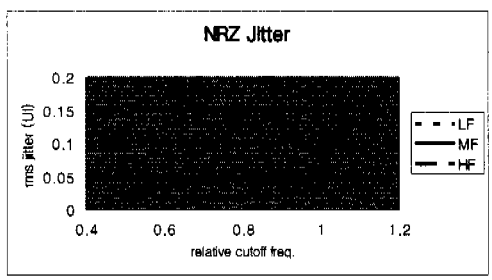
$$y=2.114p;\ p=\frac{jw}{w_r};\ w_r=2\pi f_r;\ f_r=0.9375 \qquad (5)$$

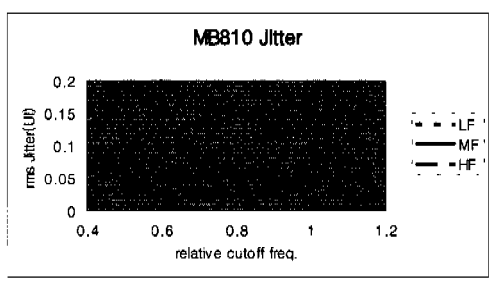
사용된 대역 통과 필터의 Q(Quality factor)는 100으로 가정하였다. 사용되는 데이터 형태도 위의 규격에서 제시하는 LF (Low Frequency), HF (High Frequency), MF (Mixed Frequency)에 따라 발생 시켜 사용하였다. 사용된 데이터 포맷은 다음 표와 같다. HF데이터의 경우 MB810에서는 연속되는 '1010...'패턴이 최대 5번 반복되며 이후에는 '0101..'패턴으로 위상을 바꾸게 되어 있다. 즉 무한대의 '1010..'패턴은 MB810에서는 발생하지 않는데 반해 8B/10B와 NRZ에서는 발생된다. LF의 경우 MB810은 연속되는 '0'이나 '1'의 개수가 짝수개로 제한되어 있어 무한대로 ASV가 축적되는 것을 제한하고 있으나 8B/10B와 NRZ는 이런 제한이 없다. MF데이타는 8B/10B의 경우 K28.5코드가 연속장이 축적되지 않도록 데이터 비트를 반전시키는 형태로 계속되고, MB810은 ASV, DSV가 유한하도록 루프가 형성되어 코드가 발생된 형태이다. NRZ의 경우 이런 제한이 없으므로 HF와 LF를 결합하여 반복되도록 하였다.

지터를 각 형태의 데이터를 입력 시켜 시뮬레이션을 통하여 측정한 결과는 그림 10과 같다. 채널의 전송 대역을 줄여가면서 수신된 데이터에서 UI(Unit Interval)을 기준하여 지터를 측정하여 도시한 것으로 NRZ, 8B/10B, MB810의 데이터 속도를 모두 1로 정규화 하였다. 측정된 결과에서 보면 NRZ, 8B/10B의 경우 전송대역을 줄여 감에 따라 지터특성이 데이터 속도의 약 80% 대역 근처에서 가장 양호하게 나타나며 여기에서 더 채널대역을 줄여 가면 LF데이터에 대한 지터가 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이와 비교하여 MB810은 지터가 항상 0.05 UI 이내로 제한되고 있으며 채널 대역폭을 1/2까지 줄여 주어도 지터가 일정한 성능을 유지하고 있음을 알수 있다.

표 1. 지터 시험용 데이터 포맷

데이터 포맷	8B/10B	MB810	NRZ
HF	D21.5 반복 '101010···'	'1010101010 0101010101' 반복	'1010···'반복
LF	K28.7반복 '1111100000'	'1111111111000000000' 반복	'1111100000' 반복
MF	K28.5반복 '1111101011000000101000' 반복	'0011111010 0011000011 1100000101 1100111100' 반복	1010101010 1111100000반복





www.dbpia.co.kr

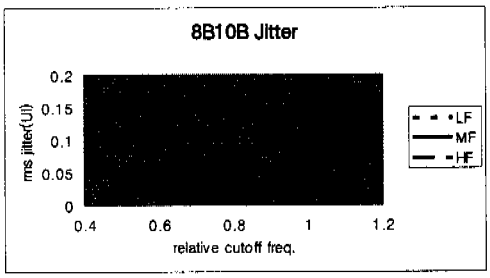


그림 10. 지터 시뮬레이션 결과

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

3. 구 현

이론과 시뮬레이션으로 정립된 MB810의 10기가 비트 이더넷의 라인코드로 적용성을 검증하기 위하여 하드웨어로 구현을 하였다. 구현은 그림 11에서와 같이, 고속의 데이터를 처리하기 위하여 10 Gbps데이타 스트림을 80개의 125 Mbps병렬데이타로 변환하여 이에 대한 인코딩을 순수 로직 게이트 조합으로 구현하고 2단계의 단순 다중 방식으로 12.5 Gbps의 최종 출력을 만드는 구조로 설계하였다. 이때 사용되는 단순 다중 부품은 10:1 멀티플렉서로 현재 12.5 Gbps에서 동작하는 다중칩이 개발되어 있지 않은 상태여서 이 속도로 구현하는 것은 불가능한 상태이다. 따라서 전체적인 처리 속도를 1/10으로 낮추어 1.25 Gbps를 최종 출력으로 제공하도록 구현하였으며 구현은 FPGA를 사용하였다. 구현 결과 인코더와 디코더의 경우 각각 2만 게이트가 소요 되었다. 이 구현을 통하여 MB810라인

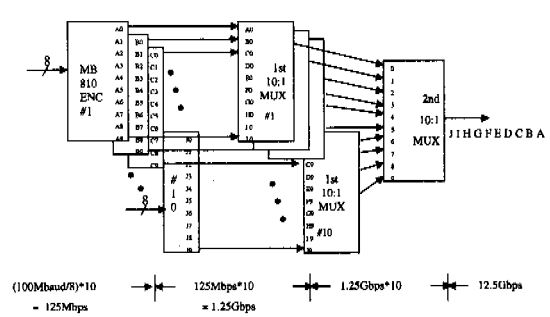


그림 11. 2단계 단순 비트인터리빙 방식의 MB810 인코더

코드가 실제 보드상에서 동작 하는 것을 증명하였으며 향 후 12.5 Gbps로 동작하는 10:1다중칩이 개발되면 신호 처리 속도를 10배로 증가시키기만 하면 되는데 실제 인코딩 및 디코딩 로직은 125 Mbps 처리 속도만 허용되면 되므로 구현상 속도에 의한 문제점도 없으리라 예상된다.

4. 성능분석 결과 고찰

시뮬레이션 결과 NRZ 및 8B/10B와 같이 최소 대역폭 선로부호가 아닌 신호는 채널의 전송 대역이 1/T의 80%까지 보장 되는 선형 채널에서만 전송 성능이 유지되는 반면에 최소 대역 폭 선로부호인 MB810은 채널의 대역폭이 1/2T의 80%까지 보장되면 충분한 전송 성능이 얻어짐을 알 수 있다. 일반적으로 사용되는 송신 및 수신 필터는 고속의 데이터인 경우 감쇄특성이 큰 필터를 구현하기가 어려우므로 낮은 차수의 아날로그 저역통과 필터를 사용하고 있어서 차단주파수를 1/T의 80%로 설계하여도 신호성분에 대한 감쇄는 BER성능에 큰 영향이 없고 오히려 수신단의 잡음을 효과적으로 억압하게 되어 최적의 BER성능을 나타내고 있음을 알수 있다. 따라서 시뮬레이션에서 감쇄특성이 큰 5차 버터워스필터를 1/T의 80%로 차단주파수를 설정하면 신호성분의 감쇄가 수신단 잡음의 억압효과보다 커지게 되어 BER 성능이 떨어짐을 알 수 있었다. 그러므로 최적의 전송 성능을 얻기 위해서는 전송 신호의 스펙트럼 형태에 적합한 필터의 감쇄특성을 결정하여 적용하는 것이 필요하다. 신호의 스펙트럼 모양은 코딩에 따라 달라지므로 각 코딩에 적합한 필터의 특성을 최적화 하는 것도 전송 성능을 향상시키는 한 가지 방법이 될 수 있다.

한편, 지터 특성을 보면 시뮬레이션 모델에서 동일한 CDR회로를 이용하였기 때문에 MB810에서 지터가 개선되는 것은 순수한 코딩효과에 의한 것으로 볼 수 있다. 실제 시뮬레이션에서 사용한 CDR출력에서 클럭성분의 전력은 MB810이 다른 코드에 비해 훨씬 작게 측정되었다. 이는 1/2T에 MB810코드는 스펙트럼 널이 존재하여 2승루프를 사용시 상대적으로 작은 클럭 성분이 추출되기 때문이다. 따라서 최소대역폭 선로 부호에 적합한 클럭 복구회로를 적용하게 되면 지터 성능은 훨씬 개선될 수 있을 것으로 예상된다.

V. 결 론

www.dbpia.co.kr

본 논문에서는 10기가비트 이더넷 표준으로 제안중인 최소대역폭 선로부호 MB810의 설계에 필요한 시스템 파라미터인 ASV, DSV, 설계 툴인 BUDA 셀을 이용하여 MB810을 설계하였고, 설계 과정을 최소대역폭 선로부호 설계과정으로 일반화하였으며 설계된 MB810 선로부호의 전송 성능을 시뮬레이션 및 구현으로 분석하고 고속데이터에 대한 구현 가능성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 대역이 제한된 선형 채널에서 최소대역폭 선로부호 MB810은 12.5 GHz 대신 5 GHz의 대역폭만으로 SNR 18dB에서 BER 1×10^{-10}을 달성할 수 있으며 지터특성 또한 대역이 제한된 상황에서도 지터가 증가하지 않고 일정하게 제한되고 있음을 확인하였다. 기존 1기가비트 이더넷의 표준인 8B/10B는 대역 제한 채널에서 전송성능을 만족하지 못할 뿐 아니라, 지터 특성도 LF데이터가 전송대역이 작아짐에 따라 급격하게 발산되는 현상이 나타났다. 따라서 8B/10B는 전송채널이 충분하게 보장된 채널에서만 사용이 가능하며 MB810은 전송채널 대역이 출력 데이터 속도의 1/2 에서도 충분한 전송 성능이 얻어짐을 확인하였다. 구현은 2단계의 단순 비트인터리빙 방식의 다중을 통하여 순수 게이트 조합으로 고속의 데이터를 부호화/복호화 하는 것이 가능함을 확인하였다. 부호화 및 복호화에 필요한 소요 게이트수는 각각 2만 게이트로 CMOS칩의 경우 게이트 숫자에 대한 코스트는 부품 전체 가격에 미치는 영향이 거의 없음을 감안하면 소요되는 게이트의 숫자도 시스템 구현에 큰 부담이 되지 않을 것이다. 결론적으로 최소대역폭 선로부호인 MB810은 무직류, 유한 연속장 특성을 만족하는 바이너리 선로부호로 대역이 제한된 채널에서 고속의 데이터를 나이퀴스트 대역폭으로 전송 가능하게 하여 줌으로써 전송 효율을 혁신적으로 향상시키는 방안이 될 수 있음을 시뮬레이션 및 구현을 통하여 알 수 있었다.

참 고 문 헌

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

[2] ChanGoo Lee, Hyeong Ho Lee, Dae Young Kim, Jung Whan Kim, and Hae Won Jung, "A new Line Code for 10-Gigabit Ethernet: MB810,"proc. of ICC2000, vol. 3, pp.1774-1777, June 2000.

[3] Dae Young 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.

[4] Dae Young Kim, J.I. Baek, J.-k. Kim, S. K. Hyun, and Y. K. Park, "Run- Length-Limited Variants of Duobinary and Modified Duobinary," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-33, no. 2, pp. 142-150, Feb. 1987.

[5] ChanGoo Lee, Dae Young Kim, Byungjun Ahn, Hae Won Jung, Hyeong Ho Lee, and Chu Hwan Yim, "A line code for high capacity optical transmission systems: MB810,"Proc.of ISS2000,Access technologies1, Birmingham UK, 7-12 May 2000.

[6] J. H. Kim, "A study on designing line codes of minimum bandwidth," Ph.D. Dissertation, CNU, Taejon, 1992.

[7] IEEE 802.3z/D5.0 'Clause 38.6 Optical measurement requirement', PP.38.10-38.16, May 6, 1998.

[8] IEEE 802.3z/D5.0 'Annex 36A Jitter test patterns', PP.36 A.1 - 36 A.3, May 6, 1998.

이 찬 구(ChanGoo Lee)

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~2000년 8월 : ETRI 교환전송기술연구소 무선 ATM팀 (선임연구원)
2000년 9월~현재 : 기가시스네트(주) 연구소장
<주관심 분야> OFDM, Line Coding, RF System

김 대 영(Dae Young Kim)
1975년 : 서울대 전자공학과 (학사)
1977년 : 한국과학원 전기및전자공학과 (석사)
1983년 : 한국과학원 전기및전자공학과 (박사)

www.dbpia.co.kr

1982년~현재 : 충남대학교 전자공학과, 정보통신공학과 교수
1998년~현재 : 한국통신학회 대전충남지부장
2000년~현재 : 개방형컴퓨터통신연구회(OSIA) 회장
<주관심 분야> 차세대 인터넷 프로토콜, 고속 네트워킹 기술

정 해 원(Hae-Won Jung)

1980년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)
1982년 2월 : 한국항공대학원 항공전자공학과 (석사)
1999년 2월 : 한국항공대학원 항공통신정보공학과 (박사)
1982년 3월~현재 : ETRI 교환전송연구소 라우터기술연구부 무선 LAN팀장, 책임연구원
<주관심 분야> 무선 LAN, 홈네트워킹, 통신시스템

이 형 호(Hyeong Ho Lee)

1977년 2월 : 서울대학교 공업교육과 전자전공 (학사)
1979년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
1983년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)
1984년 12월~1986년 11월 : 미국 AT&T Bell 연구소 방문 연구원
1996년 9월~1998년 8월 : 충남대학교 공과대학 전자공학과 겸임교수
1995년 1월~1998년 12월 : 대한전자공학회 회지편집위원장
1996년 1월~1998년 12월 : 대한전자공학회 전자교환연구회 전문위원장
1996년 1월~1999년 12월 : IEEE ComSoc APB MDC의장
1998년 1월~현재 : 대한전자공학회 이사
1998년 5월~현재 : 통신위원회 전문분과위원회 전문위원
1999년 1월~현재 : 한국통신학회 교환 및 라우팅 연구회 위원장
2000년 1월~현재 : IEEE 대전 Section 부의장
2000년 4월~현재 : 10기가기비트 이더넷 포럼 의장
1983년 8월~현재 : ETRI TDX개발단 신호방식개발실장, 지능망교환기개발실장,
ETRI 교환기술연구단 소프트웨어종합실장, 계통연구부장,
ETRI 교환전송기술연구소 교환시스템연구부장 등 역임,
현재 : ETRI 교환전송기술연구소 라우터기술연구부장, 책임연구원
<주관심 분야> BISDN망, ATM교환, 고속LAN 및 라우터 기술, 인터넷, 신호처리, 패킷통신, 무선ATM, IMT2000 지능망

www.dbpia.co.kr