

10GBASE-T를 위한 UTP 채널 특성 분석

한미자, *박 준, *송상섭, **정해원, **강태규
*전북대학교 전자공학과, **한국전자통신연구원

Analysis of UTP channel specification for 10GBASE-T

Mi-Ja Han, *June Park, *Sang-Seob Song, **Hae-Won Jung, **Tae-Ku Kang
*Department of Electronics Engineering, Chonbuk National University
**Electronics and Telecommunications Research Institute
E-mail : mjhan@codelab.chonbuk.ac.kr

Abstract

10GBASE-T is 10Gigabit Ethernet over horizontal structured, twisted-pair copper cabling.[1] It aims to transmit data at a speed of 10Gbps at a 100m distance away, through UTP (unshielded twisted-pair) Cat-5e cable 4-pair. This paper looks over the characteristic of media over Cat 5e, 6, 7, and then suggests how much noise should be removed from it in order to offer the transmission speed of 10Gbps as sending data through each physical medium.

I. 서론

수 km 이내의 가까운 거리에 있는 각종 기기들을 연결하여, 이들간에 상호 정보를 교환하게 하는 통신 망을 LAN이라 하며, 내부적으로 정보교환을 많이 필요로 하는 대학, 기업, 병원, 정부기관 등 거의 모든 조직에서 LAN을 구성, 이용하고 있다. LAN의 표준안인 IEEE 802 시리즈는 각 LAN에서 사용되는 물리매체와 네트워크 구성방식에 따라 구분된다. CSMA/CD 방식을 사용하는 이더넷 프로토콜 역시 LAN시리즈 중 하나의 방식이며, 전송매체, 전송속도, 망 구성 형태 등에 따라 다양하게 정의되어진다.[3][4] 전송매체의 종류로는 동축케이블, 광섬유, UTP 등이 사용되며, UTP를

사용한 BASE-T 계열 이더넷은 10Mbps (1990), 100Mbps (1995), 1Gbps (1998) 등 4~5년마다 10배의 속도를 제공하는 이더넷으로 발전되어 왔다. 이더넷의 동선 선로 또한 10BASE-T에 사용된 UTP-3에서 출발하여 UTP-5, UTP-5e, UTP-6 등으로 그 품질이 지속적으로 개량되고 있다.[1]

10GBASE-T는 UTP Cat 5e이상의 cable 4-pair를 모두 사용하여 100m 거리에 대해 10Gbps의 속도로 데이터를 전송하는 것을 목표로 하여 표준화 작업 진행 중이며, 이러한 시점에서 UTP Cat 5e, 6, 7 선로특성에 대한 연구가 필요하다.

이어지는 2장에서 송, 수신단을 연결하는 물리매체의 전송환경에 대해 살펴보고, 3장에서 UTP Cat 5e, 6, 7 각각의 채널특성 분석과 함께, 전송속도 향상을 위한 방법을 연구하며, 마지막 4장에서 결론과 함께, 앞으로의 연구방향에 대해 제시하도록 하겠다.

II. 전송 환경

10GBASE-T에서는 UTP 선로 4쌍의 각각에 2.5Gbps씩 나누어 전송, 총 10Gbps rate를 만족시키는 방식을 고려하고 있다. 허브측과 노드 측에서는 각각 4조의 송, 수신부를 갖게 되는데, UTP의 전기적인 비차폐 특성 때문에 Echo, NEXT, FEXT의 잡음이 존재한다. 또한 다른 노드로 연결된 배선의 신호로부터 유입된 Alien NEXT가 존재할 수 있다.

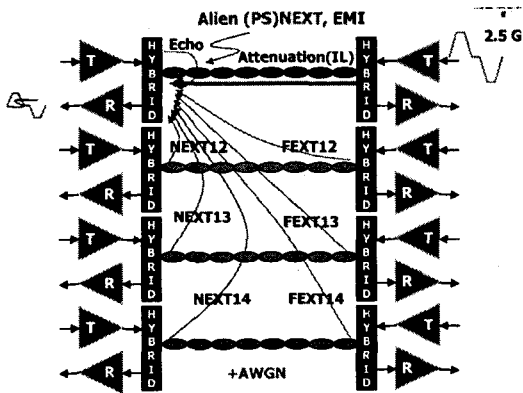


그림 1. Channel 환경

그림 1에서 볼 수 있듯이, 양 노드 각각 4조의 송, 수신부를 가지며, 각각의 수신부에는 상대측으로부터 감소된 신호(Insertion Loss)와 함께, 상대측에 보낸 신호가 되돌아 온 Echo(Return Loss), 자신측의 다른 TP로 보내진 신호가 유입된 3개의 NEXT, 같은 노드에 있는 다른 TP로 오는 신호가 유입된 3개의 FEXT, 그리고 그림에서 보이는 4개의 쌍으로 이루어진 하나의 전송 선로가 아닌 다른 선로에서 송수신되는 신호가 유입된 Alien NEXT 등의 잡음에 노출되어 있다. 상기된 여러 잡음들은 보낸 신호와 함께 섞여 수신이 되어, 신호에 대한 정확성을 떨어뜨린다. 이러한 환경에서 원하는 BER을 만족시키면서 낮은 SNR를 가지며 원하는 속도를 얻을 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

III. 채널 특성 분석

III- i. 특성분석

10GBASE-T에서는 UTP Cat 5e 이상의 선로를 이용하여 10Gbps 속도를 내는 것을 목표로 한다. 5e 이상의 선로 각각에 대한 채널 특성 분석을 통해, 10Gbps를 만족하기 위한 잡음 제거량을 계산해 보도록 하겠다. Class D(Cat 5e), E(Cat 6), F(Cat 7) 각각에 대한 수식적으로 나타내면 다음과 같다.[2]

- Class-D ($1M \leq f \leq 100M$)

$$IL = 2.0223\sqrt{f} + 0.0233f + \frac{0.210}{\sqrt{f}}$$

$$PSNEXT = -20 \log \left(10^{\frac{62.3 - 15 \log(f)}{-20}} + 2 \times 10^{\frac{30 - 20 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$PSELFEXT = -20 \log \left(10^{\frac{60.8 - 20 \log(f)}{-20}} + 4 \times 10^{\frac{72.1 - 20 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$RL = 30 - 10 \log(f)$$

- Class-E ($1M \leq f \leq 250M$)

$$IL = 1.9910\sqrt{f} + 0.0177f + \frac{0.2625}{\sqrt{f}}$$

$$PSNEXT = -20 \log \left(10^{\frac{72.3 - 15 \log(f)}{-20}} + 2 \times 10^{\frac{90 - 20 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$PSELFEXT = -20 \log \left(10^{\frac{64.8 - 20 \log(f)}{-20}} + 4 \times 10^{\frac{80.1 - 20 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$RL = 32 - 10 \log(f)$$

- Class-F $1M \leq f \leq 600M$

$$IL = 1.970\sqrt{f} + 0.0105f + \frac{0.210}{\sqrt{f}}$$

$$PSNEXT = -20 \log \left(10^{\frac{99.4 - 15 \log(f)}{-20}} + 2 \times 10^{\frac{99.4 - 15 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$PSELFEXT = -20 \log \left(10^{\frac{91 - 20 \log(f)}{-20}} + 4 \times 10^{\frac{87 - 15 \log(f)}{-20}} \right)$$

$$RL = 32 - 10 \log(f)$$

background noise 값은 공통적으로 -140dBm 값으로 정하며, ANEXT의 경우는,

$$\text{Cat-5e, } ANEXT = 38.3 - 15 \log \left(\frac{f}{100} \right)$$

$$\text{Cat-6, } ANEXT = 41.1 - 15 \log \left(\frac{f}{100} \right) \text{이다.}$$

BGN을 -155dBm까지 낮게 적용시킬 경우도 있지만, 이 경우는 worst case로서 가장 환경이 나쁠 때므로 -140dBm으로 정하였다. 이 외의 잡음은 지금까지 살펴본 잡음에 비해 값이 작고, 또한 간헐적으로 나타나기 때문에 제외시킨다. BGN 뿐 아니라 다른 모든 특성들이 worst case 이므로 실제 환경에서는 이와 같은 환경보다 rate 값이 더 좋게 나타날 수 있다.

그림 2는 각각의 선로에 대한 잡음 특성들을 보여준다.

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) (b/s) \dots\dots\dots (1)$$

그림2에서 보여지는 Insertion Loss, Return Loss, NEXT, FEXT, ANEXT 값들이 shannon의 채널용량 식인 (1)식의 S/N에서 N에 해당하는 값이라 할 수 있으며, 각각의 값들은 dB 값으로 나타내었기 때문에 모든 값의 합으로 나타낼 수 있다. (1)식에서 채널용량 C를 크게 하기 위해서는 적용 주파수의 범위가 넓어야 하며, S에 대한 N의 상대값이 작아야 한다.

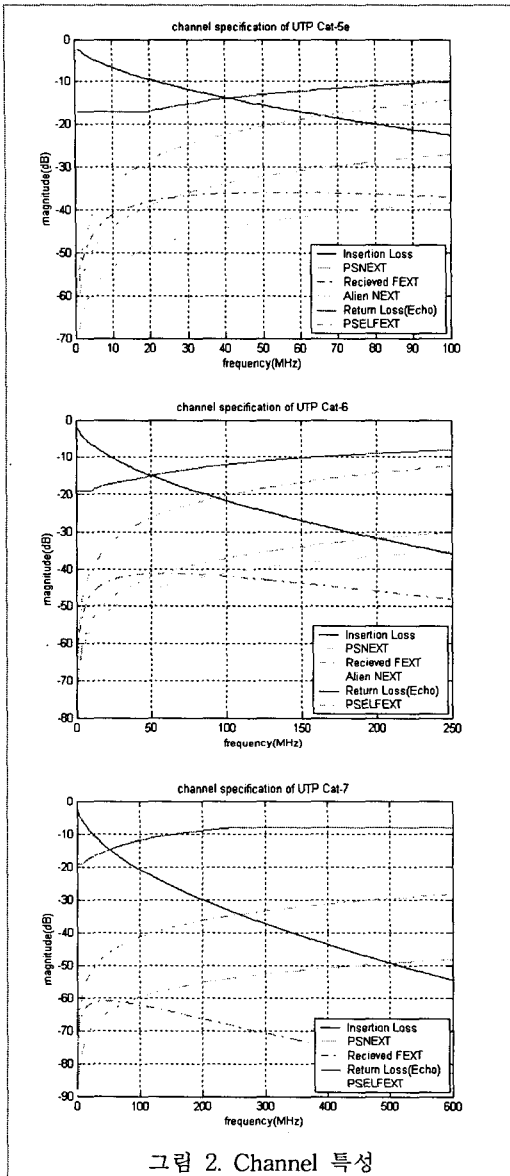


그림 2. Channel 특성

세 개의 케이블에 대한 특성을 비교해보자. 먼저, 세 케이블에 대한 주파수대역이 다르기 때문에 비교 영역을 $1M \leq f \leq 100M$ 로 하여 살펴보면, Cat 7의 경우가 전체적으로 신호의 감쇠량이 작고, Crosstalk 값이 작게 나타난다. 또한 가장 넓은 대역에 대해 케이블 특성이 정의 되어 있으므로 같은 환경에서 가장 좋은 특성을 가질 수 있다.

III- ii. 전송속도

Cat 7에 비해 Cat 5e, 6는 잡음의 영향도 더 많이

받고, 적용할 수 있는 주파수 영역이 좁기 때문에 전송속도가 좋게 나오지 않는다. 10GBASE-T에 대한 물리매체로 사용하기 위해서는, 전송 시 10Gbps의 속도를 제공해야 한다. Cat 5e와 6 케이블 적용여부를 보기 위해 각각에 대한 전송 용량을 계산해 보았다. 전송 파워를 10dBm 하여 위와 같은 특성을 나타내는 경우에 대하여, Cat 5e와 Cat 6의 전송용량은 그림 3과 같으며, 각각의 전송용량은 다음과 같다.

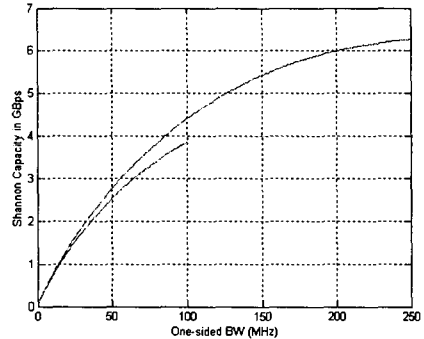


그림 3. 잡음환경 하에서의 Cat 5e, 6의 전송용량

Cat-5e: Capacity = 3.8574 Gbps

Cat-6 : Capacity = 6.2682 Gbps

잡음을 전혀 제거하지 않았을 때, 두 케이블 모두 10Gbps 속도를 만족시키지 못한다. (1)번 식에서 볼 때 채널 용량을 늘리기 위해선 S/N에서 N의 크기를 줄여야한다. 이 때 N에 적용되는 값들은 잡음값으로서 NEXT, FEXT, Return Loss, Alien NEXT 등이다. 그림2에서의 특성값들을 전체적으로 내려줄 수 있다면 가능하며, 이러한 잡음을 제거함으로써 원하는 속도를 얻을 수 있다. 기존의 gigabit 이더넷에서도 NEXT와 Return Loss canceller를 이용, 잡음을 제거함으로써 원하는 속도를 얻었다. 10G 시스템은 giga 시스템을 확장, NEXT와 Echo canceller 뿐 아니라 FEXT canceller도 적용하며, 다양한 cabling 구성방법을 통해 ANEXT도 제거할 수 있다.

Echo 40dB, NEXT 40dB, FEXT 20dB, Alien NEXT 15dB 제거하였을 때의 채널용량이 그림 4와 같으며, 이 때의 채널특성이 그림 5와 같다. 앞에서 본 그림 2에서의 채널 특성에 비해 crosstalk 값들이 전체적으로 아래로 내려간 것을 볼 수 있다. Cat 6의 경우 10Gbps 속도를 제공할 수 있지만, Cat 5e의 경우 턱없이 모자란다. 때문에 더 많이 잡음을 제거해야 하겠지만, 그러기 위해서는 canceller의 complexity가 증가하며, 그럴 경우, 계산량 증가로 구성이 어렵게 될 수도

있으며, 또한 cost의 증가로 경제적이지 못하다. 그리고, 위의 결과의 2배 이상의 속도를 만족하는 것은 불가능 할 것으로 보인다.

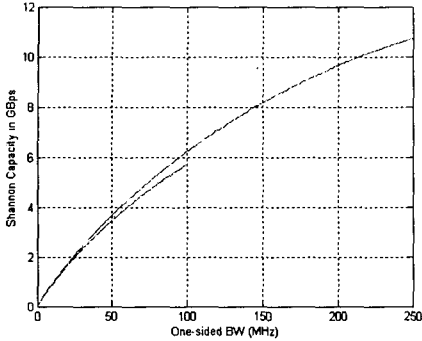


그림 4. 잡음제거 후의 Cat 5e, 6의 전송용량
 Cat-5e: Capacity = 5.7314 Gbps
 Cat-6 : Capacity = 10.7231 Gbps

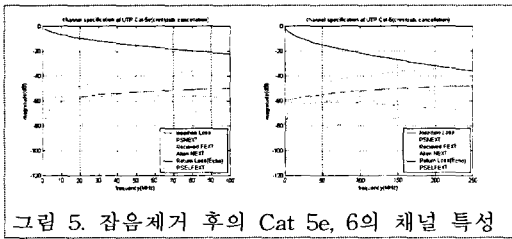


그림 5. 잡음제거 후의 Cat 5e, 6의 채널 특성

IV. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 10GBASE-T를 위한 UTP 채널 특성에 대해 다루었다. 10GBASE-T는 UTP Cat 5e이상의 cable 4-pair를 모두 사용하여 100m 거리에 대해 10Gbps의 속도로 데이터를 전송하는 것이 목표이다. 10GBASE-T의 원래 목표인 Cat 5e 케이블을 통해 10Gbps data 전송은 어렵겠지만, 그 이상의 케이블의 경우, 잡음 제거를 통해 10Gbps의 속도를 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 표준안이 완성될 것으로 예상되는 2005년에는 Cat 6 케이블이 가장 많은 비율을 차지할 것이며, 앞으로 설치할 케이블의 경우 ANEXT 제거를 위한 다양한 cabling 방식을 사용할 것이다.

gigabit 이더넷 시스템의 경우, NEXT, Echo canceller가 사용되었다. 10G에 적용하기 위해서 FEXT canceller에 대한 연구가 더 필요하며, cable 설치 방법에 대한 연구도 필요하다. 또한, 원하는 잡음

제거량이 많아질수록 canceller에 사용되는 tap 수가 많아지며, 그에 따라 computational complexity 또한 증가하게 된다. 많은 계산량을 수행할 수 있는 DSP 기술에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/10GBT>
- [2] ISO/IEC 11801 standard
- [3] 윤종호, "네트워크 엔지니어를 위한 최신 이더넷", 교학사, 2002
- [4] Christopher T. Di Minico, "Development of Equal Level Far-End Crosstalk (ELFEXT) and Return Loss Specifications for Gigabit Ethernet Operation On Category 5 Copper Cabling"
- [5] Hatamian, "Design Consideration for Gigabit Ethernet 1000BASE-T Twisted Pair Transceiver", IEEE,1998