

主題

VDSL 가입자 전송기술 개발 및 표준화 동향

포항공대 강규민, 임기홍

차례

1. 서론
2. 채널
3. 전체시스템 구조
4. VDSL 전송시스템 개발 및 표준화 동향
5. 결론

요 약

본 논문에서는 FTTC/VDSL (Fiber-to-the-Curb/Very High-speed Digital Subscriber Line) 전송시스템의 개발동향과 ANSI, ETSI, ITU등의 표준화 위원회에서 현재 진행중인 VDSL 시스템의 표준화 작업에 대해 기술하였다. 특히, POTS (Plain Old Telephone Service), BA-ISDN (Basic Access Integrated Services Digital Network), HDSL (High-rate Digital Subscriber Line), SDSL (Single-pair HDSL), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 등의 다양한 xDSL (Digital Subscriber Line) 서비스들에서 발생하는 NEXT (Near-end Crosstalk)/FEXT (Far-end Crosstalk)와 같은 crosstalk을 최소화하기 위해 제안된 VDSL 시스템의 주파수 대역과 PSD (Power Spectral

Density) mask에 관해 설명하고, 순방향 (down-stream) 채널과 역방향(upstream) 채널의 데이터 전송률이 대칭적인 VDSL전송시스템과 비대칭적인 VDSL 전송시스템 간의 주파수대역의 호환성 문제, RFI (Radio Frequency Interference) ingress/egress 문제의 해결 방안에 관해 기술하였다. 또한, 현재 VDSL Coalition과 VDSL Alliance 간에 논의 중인 VDSL 전송시스템의 변복조 방식에 관한 표준화 작업과정 및 순방향과 역방향에 할당될 band 개수에 따른 시스템 성능의 장단점 등에 관해 살펴보았다. 끝으로 현재 국내에서 개발되고 있는 FTTC/VDSL 전송시스템의 전체구조를 요약하고, 네트워크에서 가입자쪽으로 순방향 데이터 전송에 사용된 51.84 Mb/s 16-CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation) 전송시스템과 가입자 맥내에서 네트워크 방향으로 역방향 데이터 전송에 사용된 1.62 Mb/s QPSK (Quadrature

Phase Shift Keying) burst-mode TDMA (Time Division Multiple Access) 전송시스템 등의 동작 원리 및 구조를 기술하였다.

1. 서론

초고속정보통신망 구축의 궁극적인 목표는 모든 가정으로 광선로를 설치하는 것이지만 막대한 시간과 비용이 요구되므로 FTTH (Fiber-to-the-Home)로의 진화 중간단계로서 기존의 전화 선로를 활용하여 고속화하는 xDSL (Digital Subscriber Line) 방식이 연구, 개발되고 있다. 현재 고려되고 있는 광대역 가입자 망의 구성방안으로는, 기존의 전화선로를 활용하여 고속화하는 HDSL (High-rate Digital subscriber Line), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), CATV 서비스를 위한 설비를 활용하는 HFC (Hybrid Fiber Coax) 방식, 광선로와 동선을 혼용하는 FTTC (Fiber-to-the-Curb)/VDSL (Very High-speed Digital Subscriber Line) 방식 등이 있다. 세계 선진 각국에서는 이들 방식을 이용하여 이미 시험 망들을 구축하여 운용 중이며 이 결과들로부터 도출된 문제점들을 보완하며 핵심 기술들의 실용화를 위한 노력을 집중적으로 진행하고 있다. 이와 같은 가입자 망의 광대역화 즉, 통신망과 가입자 사이를 연결하는 access 시스템의 고속화를 위해서는 고속 전송 시스템이 필수적이며 현재 고려되고 있는 광대역 가입자 망의 전송 방식으로는 2BIQ, DMT (Discrete Multitone Modulation), CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)/QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 전송방식 등이 있다.

최근에는 데이터 전송속도를 최대 51.84 Mb/s 까지 높일 수 있는 고속 전송 시스템인 VDSL 시스

템에 관한 연구와 표준화 작업이 활발히 진행되고 있다 [1]-(7). VDSL 시스템은 전화국과 가입자간의 거리가 짧고 가입자가 밀집된 지역에 서비스되며, 앞으로 보편화될 FTTC 구조에서 ADSL 시스템을 대체할 차세대 고속 전송 시스템이다. VDSL 시스템은 1996년도에 처음으로 벨 연구소에서 51.84 Mb/s 16-CAP샘플 모델이 나온 이후 현재에는 약 5개의 회사에서 칩셋을 개발하였고 상당수의 수요자를 확보하고 있다. ANSI (American National Standards Institute)와 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)에서 VDSL 시스템에 대한 표준화 작업을 1996년도에 시작하여 시스템의 요구 조건을 마련하고, ITU (International Telecommunications Union)에서도 1999년도에 표준화 작업에 들어 갔으며, 2000년도 중반 즈음에 표준안이 마련될 것으로 예측된다.

FTTC/VDSL 시스템에서는 ONU (Optical Network Unit)가 옥외나 밀폐된 장소에 위치하기 때문에 ONU안에 내장된 순방향 (down-stream) 채널 송신부의 전력소모를 가능한 최소화하여 ONU가 가열되지 않도록 해야 한다. DMT 송신기와 수신기는 계산량이 거의 비슷하여 소모하는 전력이 비슷한데 반해, CAP/QAM 전송 시스템은 ONU에 내장된 순방향 채널 송신부의 계산량이 가입자 쪽에 위치한 수신부보다 훨씬 간단하기 때문에 ONU에서 전력소모가 DMT를 기반으로 한 전송시스템보다 훨씬 적으며, CAP/QAM 전송 시스템은 비슷한 성능을 가지는 DMT 전송시스템이 소모하는 전력의 25%정도만을 사용한다. 따라서 Lucent Technologies, Orckit, Broadcom, 삼성전자 등에서는 VDSL 시스템 개발에 CAP/QAM 등의 단일 반송파 (single-carrier) 방식을 사용한다. 현재 VDSL 시스템에 사용될 line coding방식으로 CAP/QAM 방식과 DMT방식이 거론되고 있으며,

현재까지는 비교적 CAP/QAM 방식이 시스템 복잡도, 전력소모, 성능 등 여러 가지 측면을 고려해볼 때 약간 더 선호되는 경향이 있으나, ADSL 시스템을 위한 line coding 방식으로 DMT 방식이 채택되었고 Texas Instruments, NEC, SK Telecom, Samsung AIT 등 30여개 이상의 통신업체에서 DMT 변복조 기술에 기반을 둔 VDSL 시스템을 연구개발하고 있는 추세이기 때문에 앞으로 위의 2가지 변복조 기술의 절충안이 표준으로 채택될 것으로 보인다.

서론에 이어서, 제 2장에서 FTTC/VDSL 시스템의 환경 및 채널에 관하여 기술하고, 제 3장에서는 시스템의 전체구조를 언급한 후, 순방향 채널 데이터 전송을 위한 16-CAP/QAM 시스템과 역방향(upstream) 채널 데이터 전송에 사용되는 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) burst-mode TDMA (Time Division Multiple Access) 전송시스템에 관해 기술하고, 제 4장에서는 VDSL 시스템의 최근 개발동향 및 표준화 동향을 살펴본 후 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 채널

전송시스템을 설계, 개발하기 위해서는 시스템이

운영될 환경, 즉 채널에 관한 철저한 연구가 선행되어야 하며, 이어서 표준화 위원회 등에서 규정한 시스템 성능을 만족하는 알고리즘개발, 및 실제 하드웨어 구현시에 시스템 복잡도를 고려한 시스템 파라메타 등을 추출하는 과정이 필수적이다. 본 장에서는 FTTC/VDSL 시스템의 환경을 간략히 요약한 후 전송시스템이 동작할 선로에 관하여 기술한다.

그림 1은 xDSL 전송시스템을 위한 선로의 구성 환경을 나타내고 있다. 그림 1의 맨 위에 보이는 FTTC구조에서, 전화국 등으로부터 ONU까지 광케이블이 연결되며, ONU에서 가입자까지는 기존의 전화선로가 사용된다. 광 케이블을 통하여 전송되어온 광 신호는 ONU에서 전기신호로 변환된 후 각 가입자로 보내지기 위하여 역 다중화되며, 한 개의 ONU는 약 수십 가입자를 서비스한다. 또한, ONU는 가입자로부터 수신한 데이터를 네트워크로 전송하기 위하여 다중화한 후 광신호로 변환하는 기능도 수행한다. ONU에서 가입자로 전송되는 순방향 채널 및 가입자에서 ONU로 송신되는 역방향 채널의 전송속도는 각각 51.84 Mb/s (STS-1) 및 1.62 Mb/s 이며, DAVIC (Digital Audio-Visual Council) 1.0에서 규정한 16-CAP 및 QPSK 전송방식을 각각 이용하였다. 두 채널 모두 ATM (Asynchronous Transfer Mode) cell을 전송하며 순방향 채널은 SONET

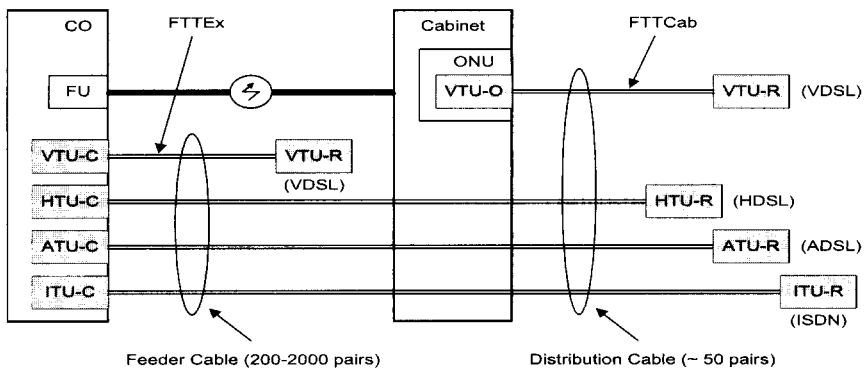


그림 1. xDSL 가입자 망

(Synchronous Optical Network) frame을 사용한다. 순방향 채널 및 역방향 채널은 서로 다른 주파수 대역을 사용하기 때문에 상호간의 간섭 즉 NEXT (Near-End Crosstalk)가 없으나, 순방향 채널 상호간과 역방향 채널 상호간에는 FEXT (Far-End Crosstalk)가 존재한다 [7]. 최근에 표준화 위원회에서는 이러한 순방향 채널과 역방향 채널의 비대칭적인 구조 외에 대칭적인 구조도 제안하고 있는데 이는 제 4장에서 다시 언급하겠다 [1]. 그림 1에서 보는 바와 같이 FTTC/VDSL, HDSL, ADSL, ISDN (Integrated Services Digital Network) 등의 다양한 서비스들이 같은 케이블에 묶여서 전송되고, 이때 사용되는 주파수 대역이 서로 겹치게 되면 상대방 시스템의 성능에 치명적인 영향을 줄 수 있으므로 시스템을 디자인 할 때 서로 다른 시스템에서 사용하는 주파수 대역에 관한 호환성 문제를 반드시 고려해야 하며, 이는 제4장에서 자세히 다루고자 한다.

본 절에서는, FTTC/VDSL 가입자선로의 선로감쇄 (propagation loss), FEXT, RFI (Radio Frequency Interference), 충격잡음 (impulse noise), bridged-tap등의 채널잡음에 관하여 기술한다. 그림 2는 가입자선로로 이용되는 BKMA, 26-gauge, 및 24-gauge 케이블 등의 선로감쇄를 비교하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 24-gauge distribution 케이블인 BKMA 케이블의 선로감쇄는 TIA/EIA-568-A표준[7]에 규정된 category-5 의 선로감쇄와 비슷하며 다음과 같이 표시된다.

$$L_p(f) = 3.597\sqrt{f} + 0.043f + 0.0914/\sqrt{f} \quad (1)$$

이때, $L_p(f)$ 는 dB로 표시된 선로감쇄이며, 주파수는 MHz로 나타내었다.

FEXT interferer는 power-sum으로 나타나며, 50-pair케이블인 경우 다음식으로 표시할 수

있다.

$$EL \text{ FEXT} = \frac{(49/n)^{0.6}}{\psi f^2 d} \quad (2)$$

이때, d 는 케이블의 길이이며, ψ 는 coupling 계수이다. 주파수를 MHz로, 길이를 kilofeet로 각각 나타냈을 때 $\psi = 8 \times 10^{-5}$ 이다.

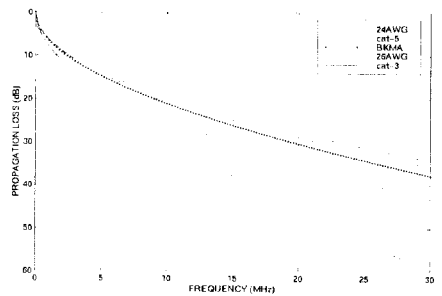


그림 2. 가입자선로의 propagation loss(d=1kft)

그림 3은 11 FEXT interferer일 때의 EL-FEXT power-sum loss를 보여주며, 600-ft의 UTP (Unshielded Twisted Pair) 케이블의 수신 단에서 얻은 SNR (Signal-to- Noise Ratio) 값의 의미를 갖는다. 식 (2)의 FEXT 모델과 실험치의 FEXT power-sum loss를 비교하면 모델 값이 약 3dB 나뉘음을 알 수 있다.

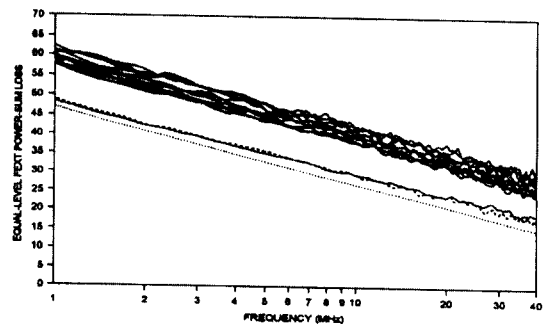


그림 3. EL-FEXT power-sum loss(BKMA cable)

HDSL/ADSL 환경에서는, 전송시스템의 수신단에 적절한 기능을 추가함으로써 bridged-taps 이 전송시스템의 성능에 끼치는 영향을 완화시킬 수 있다. 이는 HDSL/ADSL의 동작 주파수가 VDSL 보다 낮고 loop 내의 bridged-tap이 길기 때문에 가능하다. 그러나, VDSL 환경에서는 short bridged-taps에 의한 영향이 상당히 심각하므로 (예를 들어, bridged-tap의 길이가 약 10-100 ft인 경우 선로 감쇄가 약 30 dB 정도 추가됨), VDSL 시스템 설치 시에는 loop 내의 bridged-tap을 가능한 제거하는 등의 세심한 주의가 필요하다 [7].

그림 4는 1 kft 24-gauge 케이블에 bridged tap이 연결되었을 때의 선로감쇄를 보여주고 있다. 그림 4에서 loss의 null 주파수는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_o = \frac{164}{d_{ft}} \quad (3)$$

이때, d_{ft} 는 feet로 표시한 bridged tap의 길이이며, 주파수는 MHz로 표시하였다.

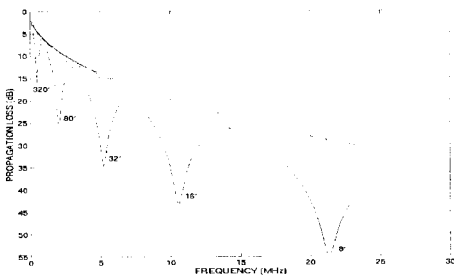


그림 4. Bridged Tap의 영향

AM radio, amateur HAM radio, 및 short-wave radio 등으로 인한 RFI는 VDSL 전송시스템의 순방향 채널과 역방향 채널의 성능에 심각한 영향을 주기도 하고 (RFI ingress), 역으로 VDSL 시스템이 HAM과 같은 다른 무선 전송

시스템에 영향을 주기도 한다 (RFI egress). 실험 결과에 의하면 대부분의 RFI에 의한 영향은 drop cable이나 케이블의 연결부분에서 주로 발생하며 UTP distribution 케이블에는 큰 영향을 끼치지 않는다. 따라서 순방향 채널 및 역방향 채널의 주파수 대역을 결정할 때는 FTTC/VDSL 시스템에 영향을 주는 표 1에 기술된 HAM 주파수 대역을 고려해야 한다 [1].

주파수 (MHz)
1.8 - 2.0
3.5 - 4.0
7.0 - 7.3
10.1 - 10.15
14 - 14.35
18.068 - 18.168
21 - 21.45
24.89 - 24.99
28 - 29.1

표 1. HAM 사용 주파수 대역

RFI ingress와 RFI egress 문제를 해결할 수 있는 가장 좋은 방법은 shielded drop 케이블을 사용하는 것이지만 모든 곳에 이를 설치하려면 막대한 비용이 들기 때문에 효율적이지 못하며, 많은 연구기관과 통신업체에서 다양한 방법을 제시하고 있다. 단일 반송파 방식에 기반을 둔 VDSL 시스템은 RFI의 영향을 최소화하기 위해 수신부에 결정 궤환 등화기 (ISI(Intersymbol Interference) predictive DFE(Decision Feedback Equalizer) 즉 ISI-DFE)를 사용한다. ISI-DFE를 사용하면 송신부에 RFI를 제거하기 위한 기능을 추가하지 않고도 수신부에서 RFI를 효과적으로 처리할 수 있기 때문에, 단일 반송파 방식에서는 주로 ISI-DFE를 사용한다 [7]. 그림 5는 채널에 RFI가 존재할 때 ISI-DFE가 RFI를 제거하는 모습을 보여 주고 있다. 수신부의 A/D 입력단에서 RFI와 채널을 통과

한 신호의 전력 스펙트럼을 그림 5의 왼쪽 아래에 나타내었으며, 여기서 가능한 RFI의 주파수 대역은 표1에 나타나 있으며, RFI의 크기는 HAM 송신부와 VDSL 시스템의 수신부가 가까이 있을수록 증가하고 대략 50ft 정도의 거리에 두 시스템이 위치하고 있는 경우 10dBm 정도의 전력을 나타낸다 (1). 그림 5의 중간 아래 부분은 수신부에 있는 feed-forward 필터의 주파수 응답을 나타내며, ISI를 효율적으로 제거하기 위해 RFI가 있는 주파수 대역에서는 깊이 파인 형태를 가짐을 볼 수 있다. 따라서 이론적으로는 feed-forward에서 잡음을 백색화하는 기능을 하기 때문에 RFI를 제거하고 NEXT와 같은 광대역 잡음을 백색화하며, precursor ISI를 제거한다. Feedback 필터에서는 feed-forward 필터에서 처리하지 못한 post-cursor ISI를 제거함으로써 slicer의 입력단에서는 그림 5의 오른쪽 아래에서 보는 바와 같이 folded spectrum이 평평하게 된다.

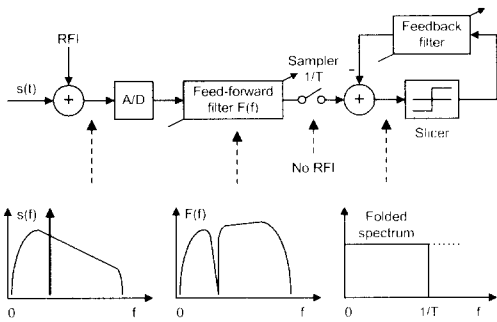


그림 5. RFI가 존재하는 채널환경에서 ISI-DFE의 동작원리

DMT를 기반으로 하는 VDSL 전송시스템에서는 RFI의 효과를 완화하기 위해 고차의 디지털 또는 아날로그 band-stop 필터나 narrow-band adaptive band-stop 필터를 사용하거나 HAM 주파수 대역 및 바로 이웃하는 주파수 대역에 해당하는 subcarrier를 사용하지 않는 방법 등이 있으나, 이 방법보다는 band-stop 필터링과 canceling

을 적절하게 합한 형태를 이용하는 것이 더 효과적이다 (2). SDMT (Synchronized DMT)의 경우 adaptive RF canceler를 사용할 수 있으며, 20개의 심볼 period로 구성된 superframe내에 순방향과 역방향 전송간의 변화를 위해 silent period로 할당된 2개의 심볼 period가 있는데, 이 기간동안 RF canceler를 update한다 (2). VDSL 전송시스템이 HAM에 영향을 주는 RFI egress 문제를 해결하기 위해서는 VDSL 시스템의 송신부 신호 전력을 제한해야 하는데 HAM 주파수 대역과 겹치는 부분의 최대 전력이 80dBm/Hz가 넘지 않도록 PSD (Power Spectral Density) mask를 디자인해야 한다. 또한, SDMT의 경우 HAM 주파수 대역 및 바로 이웃하는 주파수 대역에 해당하는 subcarrier를 사용하지 않으므로써 RFI egress를 완화할 수 있다.

가입자 건물 내에서 coaxial 케이블 즉, unbalanced 케이블을 사용할 경우 light dimmer나 hair dryer에 의하여 발생하는 충격잡음은 약 1-2 MHz의 주파수 대역까지 전송시스템에 심각한 영향을 끼친다. 이와 같은 충격잡음을 제거하기 위하여 순방향 채널과 역방향 채널 모두에 convolutional-interleaved Reed-Solomon 코드를 사용한다. 표 2에 FTTTC/VDSL 전송시스템의 순방향 채널과 역방향 채널의 데이터 전송률에 대칭적 (symmetric) 혹은 비대칭적 (asymmetric)인 서비스에 대한 도달거리 및 전송 속도를 나타내었다.

3. 전체시스템 구조

FTTTC/VDSL 전송시스템의 전체구조는 그림 6과 같다. 전체시스템은 순방향 및 역방향 채널의 데이터 전송을 위한 51.84 Mb/s 16-CAP 전송시스템 및 1.62 Mb/s QPSK 전송시스템과, 타이밍 복

Range	서비스유형	순방향채널	역방향채널
Short (~1000ft)	Asymmetric	52Mb/s	6.5Mb/s
	Symmetric	26Mb/s	26Mb/s
Medium (~3000ft)	Asymmetric	26Mb/s	3.2Mb/s
	Symmetric	13Mb/s	13Mb/s
Long (~4500ft)	Asymmetric	13Mb/s	1.6Mb/s
	Symmetric	6.5Mb/s	6.5Mb/s

표 2. VDSL 전송거리 및 전송속도

원회로, 자동이득 제어회로 등으로 구성되며, 각 시스템 구현 시에 DAVIC에서 규정한 권고사항을 고려하였다. 서론에서도 언급했듯이 VDSL 전송시스템에 대한 표준안이 아직 확정되지 않았기 때문에 순방향 채널과 역방향 채널에 사용되는 line coding 방식, 주파수 대역과 excess bandwidth, 데이터 전송속도 등은 계속해서 조금씩 바뀌고 있는 추세이다 [3][4].

16-CAP 전송 시스템은 ONU에 있는 16-CAP 송신부가 한 가입자택내의 여러 단말기를 시미스할 수 있게끔 점 대 다점 (point-to-multipoint) 구조로 설계되었으며, QPSK 전송시스템은 ONU의 QPSK 수신부가 가입자택내의 여러 개의 QPSK 송신부를 시미스할 수 있게끔 시분할 다중접속 방식을 채택하였고 초기화 작업을 위하여 preamble이라는 훈련 신호 (training signal)를 사용한다. 따라서, 16-CAP 수신부가 스스로 초기화할 수 있게끔 클라인드 적응등화 방식을 채택하였으며, QPSK 수신부는 할당된 시간 내에 임의의 QPSK 신호의 carrier 및 타이밍 동기를 복원하고 데이터를 수신할 수 있게끔 burst-mode로 동작한다. 전체시스템의 동기화는 다음과 같이 이루어진다. ONU에 위치한 16-CAP 전송부의 clock은 네트워크로부터 공급되며 전체시스템의 기준 clock 기능을 한다. 가입자에 위치한 16-CAP 수신부와 QPSK 송신부를 위한 clock은 수신된 16-CAP

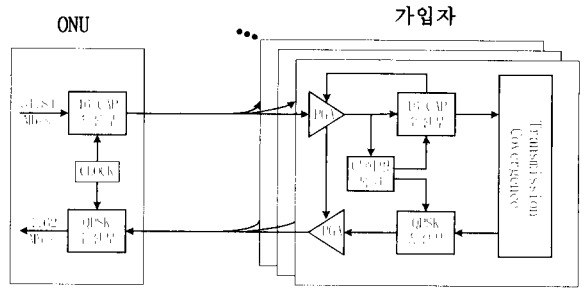


그림 6. FTTC/VDSL 전송시스템 전체구조

신호로부터 복원되며 QPSK 수신부는 16-CAP 전송부와 동일한 기준 clock를 사용하며 시분할 다중 접속으로 수신된 QPSK 신호로부터 carrier와 타이밍 복원기능을 할당된 시간 내에 매번 반복 수행한다. 가입자에 수신된 순방향 채널 신호는 자동이득 제어기, 타이밍 복원회로, A/D (Analog to Digital) 변환기와 디지털 16-CAP 수신부를 거쳐서 가입자의 상위계층으로 데이터가 전달된다. 가입자의 순방향 채널 신호는 16-CAP 수신부의 자동이득 제어기의 정보를 이용하여 적절히 증폭되어 ONU로 송신된다. 순방향 및 역방향 채널의 전송거리는 최대26-gauge 2.5kft에서 DAVIC의 규정 비트오율 (bit error rate)인 10^{-6} (순방향)과 10^{-5} (역방향)을 만족하도록 전체 시스템을 설계하였다 [3][4]. DAVIC의 시스템 성능 요구조건을 만족하는 최소의 송수신부 필터 탭 수와, 각부분 최적의 bit-precision을 사용하였고, 시스템의 critical-path timing delay를 계산하여 적절한 pipeline delay를 두었으며, 수신부의 안정성을 위하여 등화기에 tap-leakage를 추가하였다 [5].

본 논문에서 구현한 CAP 전송기술은 ATM Forum의 51.84 Mb/s 및 155.52 Mb/s ATM-LAN 표준전송방식이며 FTTC 구조에서 DAVIC이 규정한 51.84/25.92/12.96 Mb/s 표준 가입자 전송방식으로서 xDSL 분야에서 가장 보편적으로 사용되어지는 가입자 전송 기술이다

(5)-(7). 특히 CAP 전송방식은 QAM 전송방식과 비교하여 시스템 성능은 동일하지만 CAP 전송방식을 사용하면 수신부의 등화기 구조가 간단할 뿐 아니라 반송과 복원 기능이 필요치 않으며, 신호 스펙트럼의 위치 및 pre-emphasis 등을 손쉽게 변환할 수 있는 등의 이점으로 최근 초고속 근거리 통신망과 xDSL 전송분야에서 널리 이용되고 있다. DAVIC 1.0에서는 RFI와 타이밍 복원기능 등을 고려하여 순방향 채널을 위한 주파수 대역으로 12.96 MHz의 center frequency와 38%의 excess bandwidth를 사용할 것을 권고하고 있는데 반하여, DAVIC 1.4에서는 주파수 대역을 약간 낮은 쪽으로 옮겨 center frequency를 10.368MHz, excess bandwidth를 20%로 제안하고 있다. 앞으로도 계속적으로 VDSL 시스템의 채널과 다양한 잡음에 관한 연구를 기칠 후, 최적의 주파수 대역이 결정될 것으로 보인다.

xDSL 전송시스템은 기존의 전화선을 이용하여 수 Mb/s에서 수십 Mb/s이상의 빠른 데이터 전송을 하기 때문에 심분간의 상호간섭 (ISI)이 심하며, FEXT/NEXT, RFI, 충격잡음, bridged-taps에 의한 선로 감쇄 등 다양한 잡음들이 존재한다. 특히, FTTC/VDSL 전송시스템의 동작환경에 자주 발생하는 RFI가 시스템의 성능에 큰 영향을 주기 때문에 이를 효율적으로 제거하기 위해 16-CAP 수신부에서는 ISI-DFE를 사용해야 한다 [7]. RFI와 같은 협대역 간섭 (narrowband interference)과 NEXT/FEXT와 같은 광대역 잡음 (broadband noise)이 모두 심각한 xDSL 환경에서는 ISI-DFE에 NP (Noise Predictive) 필터를 합한 형태인 Hybrid-type DFE를 사용하면 수신부에 좋은 성능을 얻을 수 있다 [7]. FTTC 구조에서 가입자 맥내의 여러 개의 단말기중 임의의 한 개가 켜질 때, 다른 단말기는 이미 데이터 수신 중에 있으므로, 동일한 순방향 채널 데이터를 이용하여 스스로 블라인드 모드로 초기화하여야 한다.

16-CAP 수신부에 적용될 수 있는 블라인드 알고리즘으로는 RCA (Reduced Constellation Algorithm), CMA (Constant Modulus Algorithm), MMA (Multi Modulus Algorithm) 방식 등이 있다 [6].

4. VDSL 전송시스템 개발 및 표준화 동향

본 절에서는 VDSL 전송시스템의 개발동향과 ANSI, ETSI, ITU등의 기관에서 진행중인 VDSL시스템의 표준화 작업에 대해 살펴보고자 한다. 현재 연구, 개발되고 있는 VDSL 전송시스템에서 중점적으로 고려하고 있는 사항은 다음과 같다. Self-NEXT의 영향을 최소화하고, POTS (Plain Old Telephone Service), BA (Basic Access)-ISDN, HDSL, SDSL (Single-pair 1.544 Mb/s HDSL) 등의 주파수 대역과의 호환성문제 뿐만 아니라 약 1MHz 이상까지의 주파수 대역을 사용하고 있는 ADSL 시스템과의 호환성 문제에 초점을 맞추고 있다. 따라서 VDSL 전송시스템을 개발시 다른 xDSL 시스템으로부터 발생할 수 있는 NEXT/FEXT와 같은 crosstalk을 최소화하기 위해 주파수 대역을 정할 때 호환성 문제를 고려하며, 송신부의 PSD mask를 디자인할 때 신중을 기하고 있다. 순방향과 역방향 채널의 데이터 전송률이 대칭적인 VDSL 전송시스템과 비대칭적인 VDSL 전송시스템 간의 주파수대역의 호환성 문제도 또한 중요한 issue로 다루되고 있다. HAM radio에 의한 RFI의 ingress문제와, VDSL 시스템이 HAM bands에 영향을 주는 RFI egress 문제의 해결은 전송시스템의 성능에 지배적인 영향을 준다. 또한 사용되는 채널의 특성에 맞는 전송률과 전송속도의 최적화, 효과적인 초기화 절차 등도 시스템 개발시 반드시 고려되어야 할 것이다.

그림 7은 일반적인 VDSL 전송시스템이 사용하는 주파수대역을 나타내고 있는데, 최저 약 400kHz에서부터 최고 약 30MHz까지의 주파수대역을 사용하고 있음을 볼 수 있다. 현재 연구, 개발되고 있는 대부분의 VDSL 전송시스템이 사용하

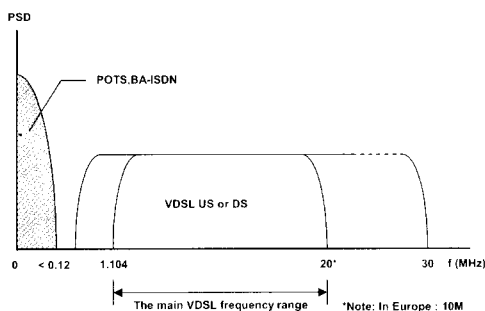


그림 7. VDSL 전송시스템 주파수대역

는 주파수 대역은 다른 xDSL 시스템과의 호환성을 고려하여 주로 1MHz~20MHz 부근이며, 유럽 지역에서는 10MHz이내의 주파수 대역을 사용하고 있다. POTS, BA-ISDN, HDSL, SDSL 서비스는 일반적으로 400kHz이내에서 되며, 이러한 서비스와의 crosstalk을 최소화하기 위한 VDSL 전송시스템의 주파수 대역을 그림 8에 나타내었다.

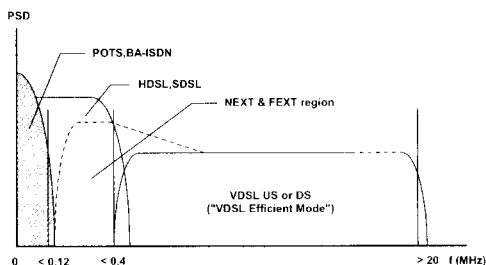


그림 8. POTS, ISDN, HDSL, SDSL과 호환성을 가지는 VDSL 전송시스템 주파수대역

한편, ADSL 전송시스템은 다른 xDSL 시스템에 비해 비교적 높은 주파수 대역을 사용하기 때문에 VDSL 시스템은 이에 적절하게 대처할 수 있는 주파수 대역을 선택해야만 한다. 그림 9에서 ADSL

과 호환성을 가지는 VDSL 전송 시스템의 주파수대역을 나타내고 있는데, ADSL 시스템으로부터 오는 NEXT의 효과를 최소화하기 위해 VDSL PSD mask의 시작부분을 boost시켜 디자인한다.

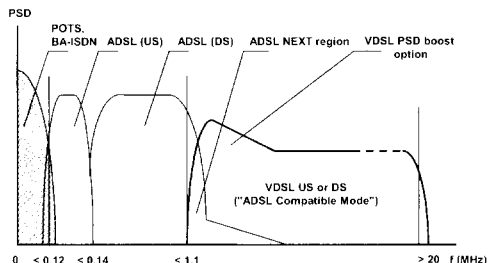


그림 9. ADSL과 호환성을 가지는 VDSL 전송 시스템 주파수대역

VDSL 전송시스템의 변복조 방식에 관한 표준안을 마련하기 위해 현재 SCM(Single-carrier Modulation)에 기반을 VDSL Coalition과 DMT에 기반을 둔 VDSL Alliance간에 열띤 토론이 진행중이다. CAP/QAM에 기반을 둔 SCM 방식을 사용하는 VDSL Coalition에는 현재 약 30여개의 VDSL 개발업체가 참여 중이며, 최근에 제안된 표준안에서는 순방향 및 역방향 모두 최고 2개까지의 band를 사용할 수 있도록 주파수 대역을 할당하고 있다 [1]. SCM 방식을 선호하는 주요한 이유는 무엇보다도 시스템이 DMT방식보다는 간단하게 구현될 수 있고, 또 기존의 기술들을 바로 이러한 시스템 개발에 쉽게 적용할 수 있기 때문이다. 한편, DMT를 기반으로 하는 VDSL Alliance에도 계속해서 많은 업체가 참여하고 있으며, 현재에는 약 30여개의 개발업체가 여기에 소속되어 있다. Zipper/SDMT에 기반을 둔 DMT방식은 최고 4096개의 carrier를 사용할 수 있으며, 채널의 특성을 파악한 후 각 carrier에 해당되는 주파수 대역에 비트를 할당하여 신호를 전송한다. DMT 방식은 시스템이 동작 중에도 채널을 수시로 체크하여 각 carrier에 최적의 비트를 할당할 수 있기 때문에

SCM 방식에 비해 높은 주파수 대역도 효율적으로 활용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 유럽(ETSI)에서는 2가지 타입의 변복조기술을 모두 표준안에 포함시키고 있으며, 북미(ANSI)에서는 SCM에 초점을 두면서도 SCM과 DMT 방식을 모두 개발하고 있고, ITU에서는 VDSL 시스템의 표준안으로 SCM 타입을 채택하려고 노력 중이다.

VDSL 전송시스템을 개발하는데 있어서 순방향과 역방향에 각각 몇 개의 주파수 band를 할당할 것인가 하는 문제에 관한 논의가 VDSL Coalition과 VDSL Alliance 사이에서 논의 중이다. 양방향 채널에 많은 band를 할당할 경우 각 band를 분리하기 위해 사용되는 필터 때문에 시스템의 성능이 저하되고 복잡해질 뿐만 아니라, 할당되는 band의 개수가 증가할수록 서로 다른 주파수 대역 개수는 기하급수적으로 늘어나기 때문에 스펙트럼의 관리가 굉장히 힘들어지게 된다. 양방향 채널에 각각 하나의 band만 사용할 경우에는 스펙트럼을 관리하기가 쉽고 구현이 간단하기 때문에 제품의 단가가 상대적으로 낮아질 수가 있는 반면, 똑같은 cable binder에서 존재하게 될 대칭적/비대칭적 VDSL 시스템이 제공할 수 있는 서비스의 영역(최대도달거리, 최대전송률 등)이 제한된다. 위와 같은 장단점 때문에 VDSL Coalition에서는 양방향 각각에 최대 2개까지의 band를 사용할 것을 제안하고 있고, VDSL Alliance에서는 적어서 VDSL 시스템의 요구조건을 충족시키기 위해 16개 이상의 band를 사용하고 있으며, ITU에서는 절충안으로 8개 이하의 band를 사용하는 것을 고려하고 있다.

그림 10에서 VDSL 전송시스템의 FDD(Frequency Division Duplex)를 위한 주파수 대역을 보여주는데, 2개의 순방향 채널과 2개의 역방향 채널을 위한 band가 각각 할당되어 있으며, 각 band 사이에는 스펙트럼의 겹치는 현상(spectral overlapping)을 막기 위해 guard

frequencies를 두고 있다. VDSL 시스템에서 FDD방법을 사용하게 되면, self-NEXT의 영향을 피할 수 있고, 보다 유동적인 주파수 대역을 할당함으로써 다른 xDSL 서비스와의 주파수 대역의 호환성(spectral compatibility)을 가질 수 있으며, 또한 서로 다른 유형의 VDSL 서비스(symmetrical/asymmetrical, high rate/low rate)를 효과적으로 할 수 있게 된다. FDD방법을 사용하는 경우, 채널로부터 오는 여러 가지 종류의 잡음들의 stationarity를 그대로 유지할 수 있기 때문에 기존에 사용하는 잡음제거 기법들(등화기, echo/NEXT/RFI 제거기 등)을 바로 적용할 수 있고, 비교적 저렴한 가격으로 제품을 만들 수 있기 때문에 보다 많은 업체에서 이 방법을 적용할 것으로 기대된다.

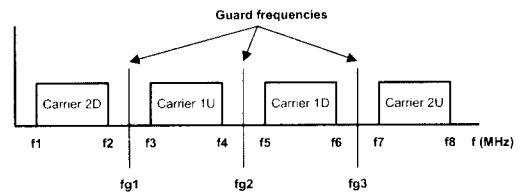
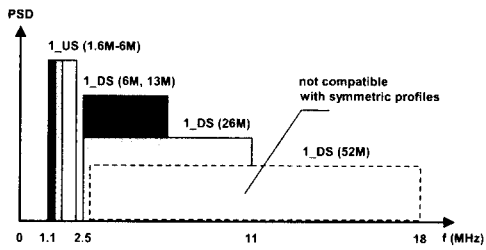
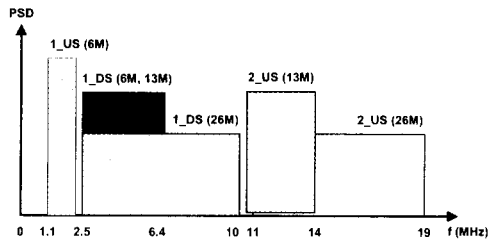


그림 10. FDD 구조를 위한 VDSL 전송시스템 주파수대역

순방향 채널과 역방향 채널의 대칭적/비대칭적 전송간의 호환성을 고려한 VDSL 전송시스템의 주파수 대역을 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a)는 VDSL 시스템의 비대칭적인 전송을 위한 주파수 대역을 보여주고 있는데, 데이터 전송률이 26Mb/s까지는 그림 11(b)의 대칭적인 전송을 위한 주파수 대역과 호환성이 있다. 비대칭적인 전송을 할 때에 표2에 주어진 데이터 전송률 외에도 그 사이사이의 다양한 전송률로 데이터를 전송할 수 있다. 예를 들어 2.5-18MHz의 주파수 대역을 모두 사용하면서 8-CAP/QAM으로 데이터를 전송할 경우 데이터를 약 39Mb/s의 속도로 보내게 된다. 그림 11(b)에서 보는 바와 같이 대칭적인 전송 모드에서는 최고



(a) Asymmetric profiles



(b) Symmetric profiles

그림 11. 대칭적/비대칭적 구조를 고려한 VDSL 전송시스템의 순방향 채널과 역방향 채널 주파수대역

26Mb/s까지 지원하고 있으며, 2개의 역방향 band를 할당함으로써 주파수 대역을 보다 효율적으로 사용하고 있다. 양방향 모두 26Mb/s인 경우 첫번째 역방향 band (1_US)로는 약 6.5Mb/s의 데이터를 보내고 두번째 역방향 band (2_US)로는 약 19.5Mb/s를 보냄으로써 양방향 채널의 데이터 전송률을 같게 한다.

앞에서 언급한 각종 xDSL 서비스와의 호환성뿐만 아니라, 아마추어 HAM radio의 주파수 대역을 고려해서 최근 제안된 VDSL 전송시스템의 송수부 PSD mask를 그림 12에 나타내었다. PSD mask를 디자인할 때에 그림 8과 그림 9에서 언급된 사항들을 고려하였으며, 표 1에 있는 HAM band에 해당되는 주파수 영역에서는 80dBm/Hz 이하의 PSD를 가지게끔 mask를 제작함으로써 VDSL 서비스가 아마추어 HAM radio에 영향을 주는 RFI egress문제를 해결하였다. 또한 DAVIC에서 규정한 전체 전력의 최대값을 넘지 않는 범위 내에서 0.12-14MHz 까지 PSD를 boost

함으로써 시스템 성능을 향상시켰다. 참고로, DAVIC에서는 순방향(또는 역방향) 채널 전송에 사용되는 전체 전력을 11.5dBm 이하로 제한하고 있으며, 일반적인 in-band 내에서 신호의 PSD를 60dBm/Hz로 규정하고 있다 [1].

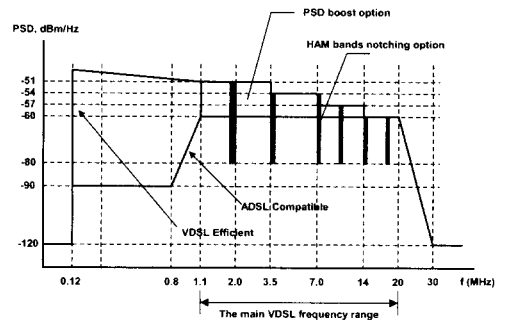


그림 12. VDSL 송신부 전력 스펙트럼 Mask

5. 결론

본 논문에서는 FTTC/VDSL 전송시스템의 개발 환경 및 채널(선로감쇄, FEXT, bridged-tap, RFI, 충격잡음)에 관하여 기술하고, 전체 시스템 및 순방향, 역방향 채널 데이터 전송을 위한 16-CAP/QAM 시스템과 QPSK burst-mode TDMA 시스템에 관해 설명하였으며, VDSL 전송시스템의 개발동향과 ANSI, ETSI, ITU등의 기관에서 진행중인 VDSL시스템의 표준화 작업에 대해 살펴보았다. 본 논문에서 설명한 FTTC/VDSL 전송시스템에 관한 표준안이 현재 계속적으로 조금씩 바뀌고 있으며, 주파수 대역도 달라지고 있다 [3][4]. 따라서 SCM에 기반을 둔 FTTC/VDSL 전송시스템의 역방향 채널에 사용되는 line coding 방식은 QPSK대신 순방향 채널에서 사용되는 CAP/QAM방식을 사용할 수도 있다. FTTC/VDSL 전송시스템의 모든 기능들은 디지털로 구현되었으며, 칩 구현을 위하여 각 기능들의

VLSI 시스템 파라메타들을 추출하고 성능 시험을 실시하였다.

Self-NEXT뿐만 아니라, 하나의 binder를 통해 전화국과 사용자들간에 다양한 xDSL 서비스들(POTS, BA-ISDN, HDSL, SDSL, ADSL 등)이 제공될 때 발생하는 NEXT/FEXT등의 crosstalk을 최소화하고 주파수 대역의 호환성문제를 해결하기 위해 각 통신업체 및 표준화 위원 등에서 최근에 제안한 VDSL 시스템의 주파수 대역과 PSD mask에 대해 살펴보았다. 또한, 순방향과 역방향 채널의 데이터 전송률이 비칭적인 VDSL전송시스템과 비대칭적인 VDSL 전송시스템 간의 주파수대역의 호환성 문제와 RFI ingress/RFI egress 문제의 해결 방안에 대해 언급하였다. 현재 VDSL 전송시스템의 변복조 방식에 관한 표준안 작업과정에서 SCM 방식과 DMT방식이 거의 비슷한 위치에 있음을 살펴보고, 두개 방식의 절충안이 2000년도 중반쯤에 마련될 것으로 기대된다. VDSL 전송시스템을 개발하는데 있어서 순방향과 역방향 채널에 각각 몇 개의 주파수 band를 할당할 것인가 하는 문제에 관한 논의가 VDSL Coalition과 VDSL Alliance 사이에서 계속 논의중임을 살펴보고, 여기에 대한 절충된 표준안이 조만 간에 나올 것으로 예상된다. DSP 기술발전 추세에 따라서 2000년대 초기에는 현재 ASIC 으로 개발중인 FTTC/VDSL 가입자 전송시스템도 ADSL 시스템과 같이 DSP 칩으로 개발될 것으로 보인다. 최근에는 Home Phone Network Alliance (Home-PNA) 신호와 VDSL 시스템의 호환성 문제가 대두되어 활발한 연구가 진행되고 있으며 결과에 따라서 VDSL 표준화에 영향을 끼치리라 예상된다.

※ 참고 문헌

- [1] VDSL Coalition, V. Oksman, Ed., VDSL Draft Specification, ANSI T1E1.4/98-054R1, June 1-5, 1998.
- [2] VDSL Alliance, K. Jacobsen, Ed., VDSL Alliance SDMT VDSL Draft Standard Proposal, ANSI T1E1.4/98-265, Aug. 1998.
- [3] DAVIC 1.0 Specification Part 8: Lower Layer Protocols and Physical Interfaces, 1997.
- [4] DAVIC 1.4 Specification Part 8: Lower Layer Protocols and Physical Interfaces, 1998.
- [5] N. R. Shanbhag and G. H. Im, "VLSI Systems Design of 51.84 Mb/s Transceivers for ATM-LAN and Broadband Access," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 46, no. 5, pp. 1403-1416, May 1998.
- [6] J. J. Werner, et.al, "Blind Equalization for Broadband Access," IEEE Commun. Magazine, vol. 37, no. 4, pp. 87-93, April 1999.
- [7] 임기홍 외, FTTC/VDSL 가입자 전송기술 51.84 Mb/s 16-CAP과 1.62 Mb/s QPSK Burst TDMA, 한국통신학회지, 제15권, 7호, pp.169-179, 7월, 1998.

장 규 민

1997년 2월 포항공대 전자전기공학과(학사)
1999년 2월 포항공대 전자전기공학과(석사)
1999년 3월~현재 포항공대 전자전기공학과(박사과정)

※주관심분야 : 디지털 통신

임 기 홍

1980년 2월 서울대학교 전자공학과 (B.S.)
1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(Ph.D.)
1987년 2월~1990년 10월 한국과학기술연구원
(선임연구원)
1990년 10월~1996년 2월 AT&T 벨 연구소
(연구원)
1996년 2월~현재 포항공대 전자전기공학과
(부교수)

※관심분야: 통신 및 신호처리