

〈主 題〉

DMT ADSL 성능 모델 및 서비스 망

(한국전자통신연구원)

양충렬(신호서비스연구실 선임연구원)

김진태(신호서비스연구실 실장)

강석열(ATM교환연구부장)

□ 차 례 □

I. 개 요

II. DMT ADSL 시스템 등화기 구조

III. DMT ADSL 시스템 성능 모델

IV. ADSL 서비스

V. 결론 및 향후 전망

요 약

본 고에서는 통과 대역 DMT ADSL시스템의 등화기 구조를 설계하고 이를 포함하는 DMT ADSL 시스템 성능 모델을 제시하였다. CSA 지역에서 다중반송파 변조 방식(multicarrier modulation)을 전송방식으로 하는 6Mb/s급의 ADSL 서비스를 위하여 가입자 루프 및 전송신호 특성을 고려한 노이즈 모델을 고찰하고 DMT ADSL 시스템에서 성능 예측을 위한 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 그리고 기존에 설치되어 있는 일반 전화선(unshielded twisted pair copper wire)를 이용하여 ATM 환경에서 가입자에게 주문형 비디오(video on demand) 서비스, 화상 전화회의 서비스, 고속 인터넷 접속 서비스를 제공하기 위한 서비스 망 구조를 제시하였다.

I. 서 론

본격적인 정보통신 시대를 맞이하여 가정에 까지 FTTC/FTTH(Fiber To The Curb/Home)의 확대 설치가 완전하지 않은 시점에서 일반 전화 선로(unshielded twisted pair copper wire, UTP)상에서 비대칭형 전송방식인 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Lines), 대칭형 전송방식인 HDSL(High bit-rate Digital Subscriber Lines) 및 SDSL(Symmetric Digital Subscriber Lines)을 사용하여 각 가정

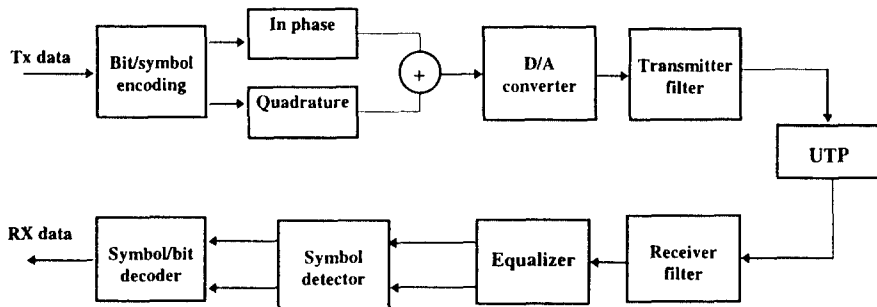
의 일반 사용자 및 소규모 사업자에게 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있게 하기 위한 DSL 기술 개발이 요구되고 있다. 이 가운데 ADSL 전송 기술은 현재 광범위하게 가입자를 수용하고 있는 기존의 전화 가입자 망을 통해 고속의 데이터 서비스를 제공하기 위해 제안된 비대칭형 전송 기술로서 단일 쌍의 기존 가입자 전화선에 새로운 코딩 기술과 주파수 분할 다중화(FDM)를 이용하여 가입자 방향으로 광대역 하향(down stream) 신호와 스위치 방향으로 상향(up stream) 신호를 동시에 전송하고, UTP에 다중화만으로 VOD 서비스가 가능하므로 현실적으로 가장 주목 받는 기술이라 할 수 있다. 최적의 스펙트럼을 사용하여 MPEG-1의 1.5Mb/s 및 MPEG-2의 3 ~ 10Mb/s의 단일 하향 채널과 16Kb/s ISDN(Integrated Service Digital network) 및 양방향 ITU Ho(384Kb/s) 채널을 수용하고, 6Mb/s 하향은 4개의 1.5Mb/s 채널, 2개의 3Mb/s 채널 및 1개의 6Mb/s 채널로 분기되며, 목표 루프는 각각 4Km, 5Km 및 6Km 수준이다. 초기 포맷은 FDM을 기반으로 하지만 성능 개선을 위하여 반향 제거, 에러 제어, 트렐리스 코딩, 잠재적 신호 간섭 및 기타 임펄스성 노이즈로부터 회로 보호할 잠재적 신호 영향 문제 등이 포함된다.

ADSL 시스템은 설치 비용이 최소화되고 시스템 구축(기존 통신 회선, 다중화기, 교환기)이 신속하며 점대점 기반 망 기술이어서 ATTH 구조의 실현이 쉬운 장점을 갖는다.

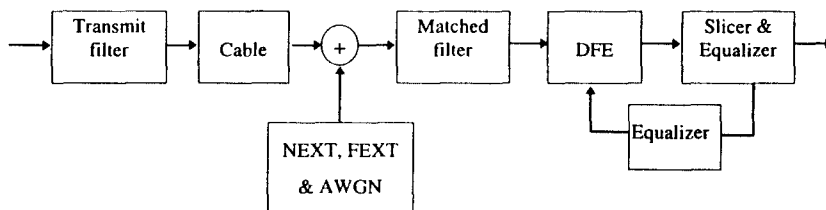
ADSL 전송 기술은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 방식, CAP(Carrierless Amplitude/phase Modulation) 방식 및 DMT(Discrete Multi-Tone) 방식으로 가능한데 첫번째, QAM 기술은 데이터를 2개의 1/2 속도 스트림(half-rate stream)으로 나누고 전송을 위해 직교 반송파로 변조하며, 수신단에서 이 직교성을 이용하여 2개의 비트 스트림을 연속된 데이터의 검출에 의한 변조를 통해 나눌 수 있게 된다. 두번째, CAP 기술은 (그림 1)과 같으며 QAM과 유사한데, 직교 반송파 대신 임펄스 응답이 Hilbert 쌍(위상차 /2)인 디지털 교차 대역필터(transversal bandpass)를 통해 2개의 비트 열을 변조한 후, 두 디지털 필터의 출력을 합하여 전송한다. CAP 방식의 ADSL은 QAM 변조 방식을 이용하여 보내고자 하는 주파수 대역에 데이터를 할당하는 방법으로 주파수 스펙트럼에 유연성을 갖고 가입자에서 전화국(central office)까지 단일 방향의 1.5Mb/s ~ 6Mb/s급 MPEG(Moving Picture Expert Group) 영상 신호를 전송한다. 영상 정보 대역으로 100K ~ 500KHz를 이용하고 음성 전화 서비스와 분리되므로 통화중에도 영상 전송이 가능하고, 영상 전원이 끊어져도 음성 전화 서비스가 가능하다. 세번째, DMT 기술은 CAP

기술보다 노이즈에 강하고 압축률이 좋은 것으로 평가되어 1993년 3월 ADSL의 표준 선로 코딩 기술로 결정되었다. (그림 2)의 DMT 방식의 ADSL은 다중 반송파 변조 시스템으로서 1993년 ANSI(American National Standards Institute)의 T1E1.4에서 ADSL의 인터페이스로서 DMT를 기본으로 하기로 합의된 후, 1994년 AT&T의 CAP 및 QAM 기술을 능가하는 ADSL 표준으로 제정된 기술로서 대역간 식별을 위해 주파수 분할 및 부호 분할을 사용하기 때문에 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이라고도 한다.

본 고에서는 ADSL 전송 기술 가운데 노이즈에 강하고 압축 효율이 좋은 DMT ADSL 기반의 시스템에 관하여 기술한다. 2장에서 통과 대역 DMT ADSL 시스템을 살펴본 다음 DMT 동화기 구조를 제안하며, 3장에서는 DMT ADSL 시스템의 성능 예측 모델을 고찰한다. 그리고, 4장에서는 일반 전화 선로를 이용하여 가입자에게 주문형 비디오 서비스를 위한 서비스 범위, 망 구조 및 공중망 서비스를 하기 위한 ATM 비연결형 서비스 망 구조를 제시하고, 끝으로 5장에서 결론 및 향후 전망을 서술한다.



(그림 1) CAP-based ADSL System



(그림 2) 통과대역 ADSL 시스템

I. DMT ADSL 시스템 등화기 구조

2.1 DMT ADSL 채널모델

ADSL은 임펄스 노이즈 영향을 감소시키고, ISDN-BRA와 스펙트럼 양립성을 제공하기 위한 통과대역(passband) 시스템으로 이 통과대역 ADSL 시스템 [1]은 낮은 반송파 주파수를 이용한 반송파 변조 방식을 이용하고 전송되어온 신호를 먼저 등화한 후에 복조하는 구조이며, 복소수 등화(complex equalization)를 위하여 위상 분할 장치(phase splitter)를 필요로 한다. 또한, 개별(separated) 주파수 대역을 점유하고, 고속 전방향(down stream) 채널과 저속 역방향(up stream) 채널로 구성되어 동일 선로 쌍에서 운용되며 내부 회선에 전송된 비간섭 신호를 효과적으로 분리한다. 통과대역 시스템은 디지털 대화형 비디오 시스템과 전화 신호를 가입자 전송 경로를 통해 즉시 비트로 전송하는 기본 대역 ADSL과 거의 유사한 성능을 갖기 때문에 시뮬레이션에 제안된 DMT ADSL 시스템의 기본대역 파라미터를 사용한다.

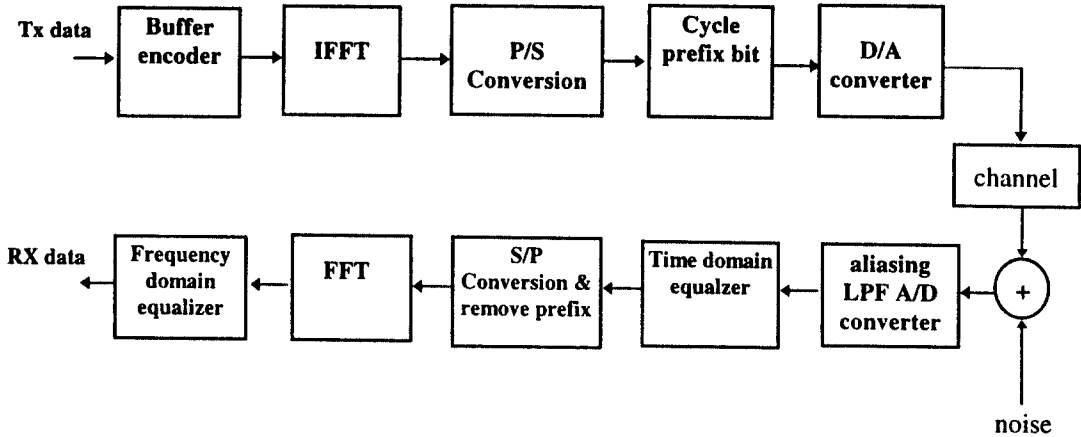
전방향 채널 전송장치의 블록도는 (그림 2)의 구조와 같으며, matched filter와, precursor 및 postcursor ISI를 제거하기 위하여 무한 탭 전방향 및 역방향 필터를 갖는 최적 DFE(Decision Feedback Equalizer)로 구성된다. 통과 대역 신호와 필터는 전송된 통과 대역 신호의 반송 주파수에 관하여 복소수 기본대역(complex baseband) 개념으로 표시되고, 수신장치 입력의 방해 성분은 NEXT, FEXT 및 AWGN으로 구성된다.

전송 채널의 주파수 대역을 다수의 부채널로 분할하여 각 부채널에 데이터를 할당하여 전송하는데, 효율적으로 구현하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform) 방법을 이용한다. 각 부채널은 선형 특성이 전체 부채널에 걸쳐서 대략적으로 선형이 되므로 각 부채널에 있는 펄스 오염(pulse smearing)이 최소화되고, 각 부채널에 할당되는 데이터 비트 수는 원하는 비트 수 만큼 전송 특성에 따라 초기화 과정에서 정의되며 이 비트 할당은 신호 및 잡음 레벨 등 환경 변화에 따라 동작중에도 변화할 수 있다. 사용 가능한 주파수는 20KHz ~ 1.104MHz이고 반송 주파수는 기본 주파수(4KHz)의 2배이며 가장 낮은 반송파는 POTS(Plane Ordinary Telephone Service)와의 간섭을 피하기 위하여 변조하지 않는다. 망으로의 상향 대역

은 반대 방향에 비해 낮은 대역을 사용하며, 하향 대역은 반향 제거기를 사용할 경우 접질 수 있다.

2.2 DMT ADSL 시스템 구성

(그림 3)은 DMT ADSL 시스템의 구성[2]으로서, 채널과 노이즈는 FIR 필터로 설계된다. DMT 변조 방식은 ADSL을 위한 최상의 기술로 알려져 있다. 고속 데이터 전송시 ISI를 최소화하기 위한 등화기는 시불변 등화기(time invariant equalizer)대신 적응필터를 적용한다. 실제 디지털 필터링을 수행하는 대부분의 경우는 유한장(finite-length)의 실현이므로 유한장 디지털 필터의 특성, 특히 유한장에 기인하는 특성의 열화를 고려할 필요가 있으며, 유한 주기의 임펄스 응답 특성을 구하기 위하여 전방향 FIR 필터가 제안된다. DMT ADSL 트랜시버는 symbol formation(encoder), IFFT(Inverse-FFT), parallel to serial conversion, CP(Cycle Prefix), D/A converter로 전송장치를 구성하고, A/DC, time domain equalizer, serial to parallel conversion, FFT, 주파수 영역 등화기로 수신장치를 구성한다[1]-[3]. 전송 성능을 향상하기 위하여 비대칭 반향 제거기(asymmetric echo canceller)와 트렐리스 코딩이 양측 종단에 사용되고, 선형 등화기는 전송채널 지연왜곡을 억제하기 위해서 사용되며, 주파수 영역 채널 등화기는 각 부채널 별로 데이터를 할당하여 전송하므로 채널의 위상 왜곡을 보상해 주기 위해 각 부채널 별로 1 탭 복소수 LMS(1 tap complex Least Mean Square) 적응 필터를 사용하여 부채널 constellation을 정상화하는데 사용된다. 여기서 LMS 알고리즘은 필터 계수를 변경하기 위하여 DSP(Digital Signal Processing) 형태로 구현된다. DMT 시스템에서 UTP의 채널 임펄스 응답의 constraint length()는 DMT ISI의 원인이 되며 이 때문에 CP가 추가된다. 유한장 DMT에서는 부채널이 유한 개수이기 때문에 반복적으로 전송되는 모든 비트 블록에 CP를 추가하면 데이터 전송은 블록의 시작에 첨가된 색인을 찾아 시작하고 전송된 데이터 블록은 서로 간섭하지 않게 된다. 초기화 동안 모든 적응 회로와 부채널 비트 할당을 준비되도록 하고, 샘플링 속도, 보레이트(baud rate) 및 DFT 크기는 하드웨어 용량 및 시스템 지연을 최소화하도록 설계되어야 한다. ADSL 시스템에서는 비트 에러를 줄이기 위해 FEC 방법이 적용된다.



(그림 3) DMT 기반 ADSL 시스템

시간 영역 등화(time domain equalization) 전과 후 부채널 SNR의 해석에 근거하여 설계된 DMT 시스템의 성능은 노이즈 신호에 대한 자체 부채널 신호에 의해 결정되고, 가드 주기 효과에 의해 수정된다. 따라서 DMT 트랜시버의 성능은 식(1)에 의해 계산된다.

$$R = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{256} \log_2 \left(1 + \frac{SNR_n}{9.55} \right) \quad (1)$$

여기서, SNR_n 는 부채널 신호 대 노이즈 전원 비율이고, T는 수정된 보레이트이다. FFT 크기가 512, 샘플링 속도가 2.2MHz, 샘플링 포인트의 가드 주기가 32인 경우, T는 식(2)에 의해 계산된다.

$$T = \frac{2.2 \times 10^6}{512 + 32} = 4.044 \text{ Hz} \quad (2)$$

엘리어싱(aliasing) 효과는 대역의 높은 주파수 종단에서 부채널의 SNR을 가장 크게 줄이기 때문에, 부채널 SNR을 계산할 때 원래의 채널과 노이즈 주파수 응답을 이용하여 샘플링 엘리어싱 영향을 제거한다.

2.3 DMT 시스템 성능평가모델

DMT 시스템은 FDM을 이용하여 전송장치를 한

세트의 주파수 색인(index) 부채널로 나누어 효과적으로 변복조하는 것을 특징으로 하며, 직교성을 갖도록 변조 벡터 IDFT와 복조 벡터 DFT는 각각 식(3), (4)와 같다. 변복조 과정은 FFT 알고리즘을 이용하여 효율적으로 수행한다.

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j \frac{2\pi n m}{N}} \quad (3)$$

$$0 \leq m \leq N-1$$

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{+j \frac{2\pi n m}{N}} \quad (4)$$

$$0 \leq m \leq N-1$$

채널 출력 노이즈는 AWGN을 포함하며, 각 부채널의 SNR은 식(5)와 같이 계산된다.

$$SNR_n = \frac{\epsilon_x |H_n|^2}{\sigma^2} \quad (5)$$

여기서 \mathcal{E}_x 는 신호 에너지, $|H_n|^2$ 은 채널 PSD(Power Spectral Density), 그리고 σ^2 은 백색 노이즈 에너지(white noise energy)이다. 심볼은 $\mathcal{E}_x |H_x|^2 = 1$ 로 일반화되며 따라서 $SNR_n = \frac{1}{\sigma^2}$ 로 근사화된다. 한 블록 심볼에 전송된 총 비트 수는 전체 부채널의 비트 수의 합으로 표시되며 다음 식(6)에 의해 계산된다. 여기서, N 은 총 부채널 수, Γ 는 SNR 간격(gap)이다. 시스템 성능 이득은 식(7)에 의해 계산되고, SNR이 큰 경우, 근사식 (8)에 의해 계산된다.

$$b_{tot} = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{SNR_n}{\Gamma} \right) \quad (6)$$

$$M_{sys} = \Gamma \left\{ \left[\prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{SNR_n}{\Gamma} \right) \right]^{\frac{1}{N}} - 1 \right\} \quad (7)$$

$$M_{sys} \approx \left[\prod_{n=1}^N SNR_n \right]^{\frac{1}{N}} \quad (8)$$

10^{-7} BER(Bit Error Rate)을 만족하는 시스템 이득(M_s)은 다음 식(9)에 의해 계산되고, 이 식은 DMT ADSL 시스템의 성능 평가^{[2], [4]}에 사용된다

$$M_{sys} = 10 \log_{10} \left(\frac{SNR_M}{\frac{R_b}{2^N} - 1} \right) - 9.8 (dB) \quad (9)$$

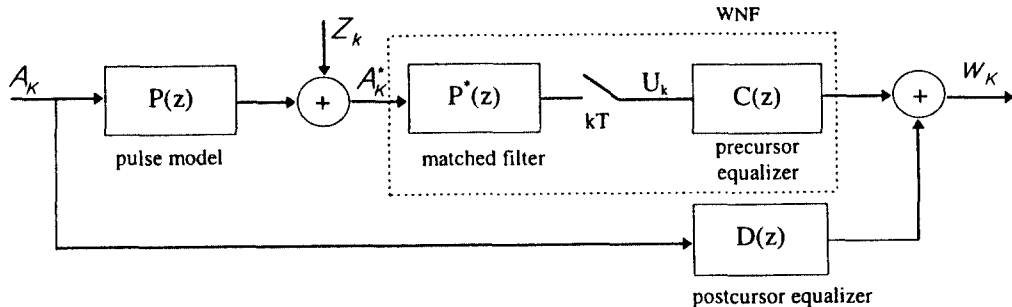
여기서, R_b 는 블록 심볼당 목표 비트 속도로서 ADSL 시스템에서 10^7 이 요구되고, N 은 총 부채널 수이다.

2.4 DMT 등화기 구조

2.4.1 시간 영역 등화기

고성능 통신시스템에서는 여러 방지 코딩(error prevention coding)이 거의 항상 사용되고 있고, 코딩을 위해서 MLSD(Maximum Likelihood Sequence Detector)를 사용할 필요없이 ISI가 존재하는 데서 채널 용량에 접근할 수 있기 때문에 실제로 MLSD는 ISI를 제거하는데 잘 사용하지 않고, 대신 수행이 간편한 등화기를 사용한다. DFE 채널 모델은 MMSE-DFE 채널 모델과 ZF-DFE 채널 모델을 고려할 수 있는데, 두 채널 모델은 causal하고 monic하기 때문에 케환루프를 포함한 같은 구조로 설계가 가능하다. 다만, MMSE 등화기는 MSE 기준이 슬라이서(slicer) 입력에서 노이즈 변화가 더욱 커지므로 이를 위해 이 슬라이서 입력에서의 노이즈 변화를 감소시키는데 비해, ZF 기준은 ISI를 0가 되게 한다. 본 고에서는 DFE 출력에서 노이즈 변화를 최소화하고, 채널 코딩없이 훌륭한 성능을 제공하며, 수행이 간편한 (그림 4)와 같은 통과대역 ZF-DFE 채널 모델[1]을 제안한다. 이 채널 모델은 변조가 등화 이후에 수행되는 통과 대역 등화기이다. 점선의 WNF 구조는 전방향 필터로서 MMSE 노이즈 예측 필터와 선형 ZF 등화기 또는 all pass filter로 해석한다.

심볼의 길이는 데이터의 최대 허용 지연범위 이내 이어야 한다. 채널 임펄스 응답의 길이가 허용 심볼 길이에 비해 무시할 수 없을 때 변조 전에 시간 영역 등화기에 수신된 신호를 통과시켜 임펄스 응답을 단



(그림 4) 통과 대역 ZF-DFE

축시키고, 단축한 길이 만큼의 CP를 샘플 전송 신호의 각 블록에 추가시키면 된다. 등화 응답의 MMSE를 위하여 주파수 영역에서 적응(adaption)하고 시간 영역에서 윈도우(windowing)한다. 데이터 속도가 높을 경우 $N+1$ 로 표시되는 블록 길이(FFT 크기)가 길어지며, 블록 길이가 길어지면 실수와 허수간 노이즈 변화의 차이가 적어지고 큰 성능 열화없이 각 주파수 대역의 실수 및 복소수에 에너지를 동일하게 할당할 수 있으므로 실제 채널에서는 충분히 클 필요가 없다. 이 채널의 constraint length는 수신 측에서 버리게 된다. 이 방법은 시간 영역에서 LMS 알고리즘을 이용하고, DFE를 사용하여 CP 길이에 대한 채널 응답을 감소시켜 ISI 및 ICI(Inter-Channel Interference)를 완화시키고, 다중 경로의 왜곡을 방지한다.

A_k 는 데이터 심볼의 전송 시퀀스, $p(z)$ 는 등가 불연속 시간 필터이며 복소수를 발생하는 전체 샘플 임펄스 응답, $P^*(z)$ 는 MMSE prediction error filter로서 matched filter, kT 는 sampler이다. $C(z)$ 는 precursor equalizer로서 FIR 필터이며 $D(z)$ 는 postcursor equalizer이다. Z_k 는 가산성 노이즈(additive white noise)로서 누화화 AWGN을 포함한 수신 노이즈이다. matched filter, sampler 및 precursor는 직렬 연결되어 WMF(Whitening Matched Filter)를 구성한다. $C(z)$ 는 ISI가 있을 때 $t=0$ 의 matched filter 응답에 대하여 대칭성을 갖기 때문에 precursor ISI이며, precursor ISI는 postcursor equalizer에 의해 제거된다. 여러 값은 $W_k = A_k D(z) - C(z) U_k$ 이다. $D(z)$ 는 M 탭을 갖는 causal 필터이다.

무한장 필터를 갖는 이상적 ZF-DFE 채널 모델의 출력 여러값은 식(10)에 의해 계산되고, $C(z)$, $D(z)$ 는 각각 식(11), (12)에 의해 계산된다.

$$W_k = A_k D(z) - U_k C(z) \tag{10}$$

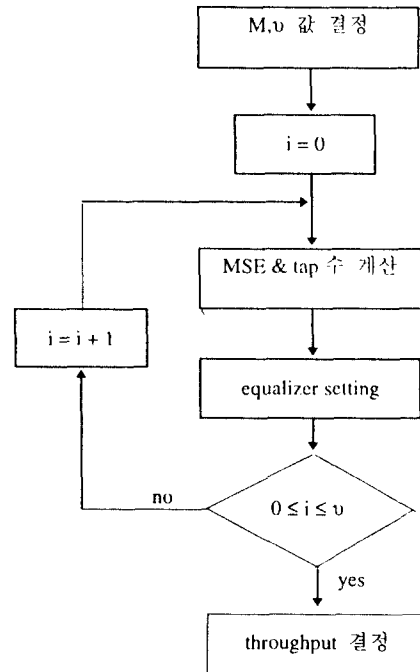
$$A_k^* = A_k P(z) + Z_k$$

$$C(z) = \sum_{m=-(N-1)}^0 C_m z^{-m} \tag{11}$$

$$D(z) = \sum_{m=1}^M D_m z^{-m} \tag{12}$$

여기서, N 은 전방향 계수, Z 는 샘플링 속도에 따른 복소수 지연(complex delay) 변수, $D(z)$ 는 채널과 등화기의 결합 특성이다. M 은 precursor 등화기 계수 값이다.

(그림 5)는 DMT 시스템을 위한 최적의 등화기를 결정하는 알고리즘[5]이다. 먼저, 전송된 심볼 레벨수(M)와 다항식의 차수(u) 값을 결정한 다음, + 또는 - 의 여러 채널 입력 신호에 대해 $i \geq u$ 번째 까지 반복적으로 MSE와 탭 수를 계산하고 여러 시퀀스를 계산하여, 가장 작은 MSE값 2개를 결정하고 등화기에 저장하여, 가장 높은 성능을 결정한다.



(그림 5) DMT 등화기 최적화 알고리즘

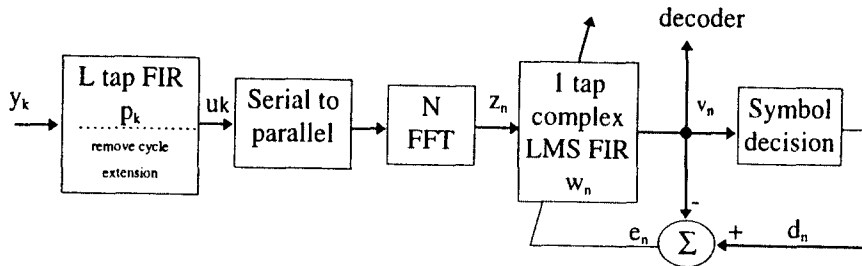
2.4.2 주파수 영역 등화기^[6]

주파수 영역 등화기는 수신장치 채널 위상을 보상해 주기 위한 것으로 (그림 6)과 같은 구조가 제안되며 L 탭 전방향 등화기로 샘플 채널 출력을 처리하여 ISI를 개선한다. N번의 FFT가 등화기 출력에서 수행되고 출력은 1탭 적응 필터와 복소수의 곱 즉, $Z_n = W_n \times N$ 으로 표시된다. FFT 출력은 식 (13)과 같이 복호화되고, 여러 값은 식 (14)와 같고 표준 LMS 알고리즘에 의해 식 (15)와 같이 된다. μ_n 은 각 부채널의 스텝 크기이다.

$$V_n = W_n \cdot Z_n \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (13)$$

$$e_n = d_n - V_n \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (14)$$

$$W_n \leftarrow W_n + 2\mu_n e_n z_n^* \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (15)$$



(그림 6) 주파수 영역 등화기

Ⅲ. DMT ADSL 시스템 성능 모델

3.1 ADSL 가입자 루프 모델

가입자 루프는 전화국(central office)으로 부터 집중 가입자 지역까지 링크를 제공하는 피더 케이블(feeder cable), 이 피더에서 여러 분배 케이블을 통해 여러 지역의 잠재적 가입자 지역으로 연결되는 분배 케이블(distribution cable), 그리고 여기서 다시 UTP를 이용하여 가입자 데내에 연결되는 데내 인입선로(drop wire)로 구분된다. 가입자 선로 루프의 대표적인 표준으로서 CSA 전송 채널은 보통 20 ~ 50페어의 UTP들로 구성되는 전화 케이블에 각기 다른 서비스들의 신호 즉, ADSL, HDSL, ISDN 및 T1 반송파 신호들이 혼재하는데, 인접한 루프의 신호에 의해 ADSL 루프에 ISI(Intersymbol Interference), 동일 케이블 다발 내에서 인접한 루프로 부터 커플링 누화 노이즈, 스위칭 및 기계장치 등의 전기적 임펄스성 노이즈, 브리지 탭으로 부터 반사된 신호뿐 만 아니라 선로 상에서 게이지가 변경될 때 발생하는 불완전한 하이브리드의 결합으로 인한 반향 노이즈, ADC(A/D Conversion)의 양자화 노이즈 및 송수신 장치의 열잡음 같은 전자 노이즈, 근접 전원에 의해 유도된 고조파 노이즈와 60Hz 유도성 노이즈 등의 현상이 발생한다. 유도성 노이즈는 보통 60Hz에서 일정 수준의 전달함수를 갖는 HPF으로 모델링한다. 이

가운데 T1 반송파에 의한 NEXT가 가장 심각하여 DMT 기반ADSL 시스템에 의해 6Mb/s 신호를 전송할 때 루프에 NEXT가 존재하면 모든 미국 표준에서 지정하는 성능 규격을 만족하지 못하게 된다. 따라서 가입자 루프에서 ADSL 시스템을 운용하기 위해서 T1의 유무에 따라 ADSL 시스템에서 30 ~ 40dB 레벨까지[2] 반향을 줄일 수 있는 반향 제거와 4dB 정도의 코딩 이득을 제공하는 트렐리스 코딩을 적용하거나, T1이 있는 가입자 루프에서 24 및 26 게이지 와이어를 적용한 피더 케이블 및 루프 플랜트에서 6.75Mb/s를 넘는 대역폭이 90% 이상 만족하기 위해서는 하향 비트 속도를 줄이거나, 2Km 또는 3Km 이하의 준 CSA 루프를 적용한다[3].

3.2 ADSL 가입자 전송 손실 모델

ADSL 성능 시뮬레이션은 CSA 지역 non-DLC(Digital Loop Carrier) 루프 통계에 근거하여 수행되고, 모든 T1 구조에 대해 데이터 베이스로 수행되며 전화 음성 서비스 품질을 보충하기 위하여 대표적으로 최대 루프 저항 1,500Ω(직류 저항), 전화 종단 소스 저항 100Ω, 전송 전력 20dB이 가정된다. 가입자 선로 루프에는 여러 디지털 시스템이 있을 수 있고, ADSL 전송장치는 특정 노이즈 환경에 따라 선택적이기 때문에 ADSL 시뮬레이션은 NEXT와 FEXT 소스가 조합된 환경이어야 한다.

Bellcore 권고^{[7], [8]}에 따르면, ADSL 대역에서 반향 제거없이 FEC와 트렐리스 코딩을 수행한 ADSL-3 시스템에서 노이즈 환경으로서 T1 NEXT가 없는 경우에는 CSA 시험 루프에서 10-HDSL NEXT disturber, 10-ADSL FEXT disturber 및 ADSL 대역 내 대역 배경 노이즈 레벨로서 -140dBm/Hz가 제안되는 AWGN 루프의 결합으로 구성하였으며, T1 NEXT가 있는 경우에는 DA(Distribution Area) 시험 루프에서 24-ISDN BRA NEXT disturber, 24-T1 NEXT disturber 및 AWGN 루프의 결합으로 구성하거나, mid-CSA 루프로 하였다. T1 NEXT 모델에서는 ADSL 수신장치와 T1 중계기의 분리를 감안한 5.5dB의 평균 손실이 포함되고, 10dB의 인접 바인더 그룹 증가 손실로 모델링된다. Bellcore는 49-DSL NEXT disturber, 49-HDSL NEXT disturber를 시뮬레이션을 위한 루프로 사용할 것을 권고하고 있다.

3.3 누화(crosstalk) 모델

가입자 선로 케이블에 유도되는 손상 모델은 누화로 작용하는 disturber의 개수가 N일 때를 가정할 때 식(16)이 된다.

$$|H_{NEXT}(f)|^2 = K_{NEXT} f^{1.5} PSD_{disturber} \quad (16)$$

여기서, K는 결합 계수이고, $\frac{1}{1.134 \times 10^{13}} \cdot \left(\frac{49}{N}\right)^{0.6}$ 이다. 50쌍 케이블의 경우에 결합 계수 KNEXT는 약 10^{13} 이다. 누화 노이즈는 샘플링 속도가 증가할 때 높은 주파수에서 더욱 심각해지고 이와 함께 SNR이 감소하는데, 샘플링 속도를 낮추어 SNR을 높인다고 해서 충분한 비트 에러 속도를 확보할수는 없다.

ADSL 전력 밀도는 식(17)과 같이 백색 노이즈 전력 밀도(AWGN)로 모델링되며, 뒤에 식(18)과 같은 전달함수를 갖는 FIR 필터를 둔다^[9]. 여기서, σ^2 은 백색 노이즈의 변화이고, f_s 는 샘플링 주파수이다.

$$|H(f)|_w^2 = \frac{\sigma^2}{f_s} \quad (17)$$

$$H(f)_{FIR} = 1.737 \sqrt{\frac{f_s}{f_0}} \left| \frac{\sin \frac{\pi f}{f_0}}{\frac{\pi f}{f_0}} \right| \quad (18)$$

여기서, $f_0 = 80\text{KHz}$.

케이블 내에 존재하는 T1 반송파 신호로 인한 인접 채널에 대한 신호 간섭을 적게 하지 않으면 하향 속도를 줄이거나 CSA 운용 범위를 단축시켜야 하기 때문에, 전화 선로와의 정합을 위하여 HPF를 사용하고 고주파 차단을 위해 LPF를 사용한다. 이는 식 (19)와 같이 3MHz에서 3dB 점을 갖는 4차 butterworth LPF과, 식 (20)과 같이 40KHz에서 3dB 점을 갖는 HPF를 가정하여 모델링한다^[9].

$$|H_s(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left[\frac{f}{f_{3dB}} \right]^6} \quad (19)$$

$$|H_T(f)|^2 = \frac{f^2}{f + f_{3dB}^2} \quad (20)$$

FEXT는 인접 전송장치로 인한 누화의 영향으로 정의되며, FEXT손실 모델은 채널 손실(j), 루프 길이(l), 주파수(f)로 구성되며, FEXT의 전력 밀도는 $|H(f)|_{FEXT}^2 = |H(f)|^2 \text{ klf}$ 과 같이 계산되고, 여기서 $k = 8 \times 10^{-20}$ 결합계수 이다.

DMT ADSL의 성능 시뮬레이션의 정확성은 채널, 노이즈 모델 및 성능 평가 모델링에 좌우된다고 할 수 있다. 시스템 성능은 변조 및 대역폭 할당 방법에 의해 결정되며 상관 계수로서 무부하(nonloaded) 플랜트의 양단에서 심각한 루프 손실을 갖는 복잡도(complexity), 플랜트에서 기타 서비스를 위한 고유의 양립성(compatibility), 대역 임펄스성 노이즈가 있다. 본 DMT ADSL 성능 평가 모델링은 40KHz 이하에서 주로 발생하는 임펄스 노이즈에 의한 영향은 고려하지 않고, 임펄스 노이즈 영향을 최소화하는데 효과적인 3 ~ 8%의 FEC(Forward Error Correction) 코드를 할당하지 않는다.

루프 조건은 최근 Bellcore의 연구 결과에 따라 반향 제거없이 FEC와 트렐리스 코딩을 수행하여, T1 NEXT가 있는 노이즈 환경의 경우 24-ISDN-BRA NEXT disturber 및 24-ADSL NEXT disturber가 존재하는 루프 조건에서 성능 평가를 위한 모델링을 하고, T1 NEXT가 없는 노이즈 환경으로서는 10-HDSL NEXT, 10-ADSL FEXT disturber 및 AWGN 이 존재하는 루프 또는 준 CSA 및 DA 루프 조건에서 모델링한다.

망 대역폭은 총 7,264Mb/s에 대해 수행한다. 하향 속도는 최소 6,312Mb/s(DS2)를 사용하고, 실제 시스템 필요를 만족하기 위해서 수행할 수 있는 제어 채널로서 160Kb/s, 384Kb/s, 784Kb/s 및 1.6Mb/s 가운데 384Kb/s를 사용하며, 2B+D ISDN을 위한 160Kb/s, 전이중(full duplex) 현대역 화상 전화 응용을 위한 Ho(384Kb/s), 프레임 오버헤드 기능을 위한 24Kb/s로 구성한다.

노이즈 모델은 T1 NEXT 간섭 조건에서 성능을 평가하기 위하여 mid-CSA 시험 루프에서 24-ISDN BRA NEXT, 24-ADSL FEXT, AWGN이 존재하는 최악의 조건에서 시뮬레이션한다. 노이즈 환경은 반향 제거가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대해 앞에서 서술한 채널 및 간섭 모델을 근거로 하여 제안된 DMT ADSL 성능 예측 방법을 이용하여 수행한다. 반향 제거가 있는 경우에는 낮은 주파수 보호 대역이 가정되고, 없는 경우에는 최저 주파수로 120KHz를 감안한다. 전송 전력은 총 20dBm이고, 6dB 성능 마진을 구하기 위해 비동기 반향 제거 기술과 최저 2dB의 성능 이득 및 4dB의 트렐리스 코딩 이득을 포함하며, -140dBm/Hz의 노이즈(flat background noise)를 수신 신호에 포함한다.

보정 절차를 간단히 하기 위해 노이즈 및 루프 모델은 FIR 필터로 선택하고, 노이즈 모델의 정확도를 위해 식(21)과 같이 전달 함수 단위를 dB 손실 또는 dBm/Hz의 전력 스펙트럼 밀도로 측정한다.

$$F_{dB} = 20 \log v \sqrt{\frac{2,000}{Z_L f_s}} \text{ dBm/Hz} \quad (21)$$

여기서, V는 전송 전압, Z_L 는 부하 임피던스, f_s 는 샘플링 주파수이다.

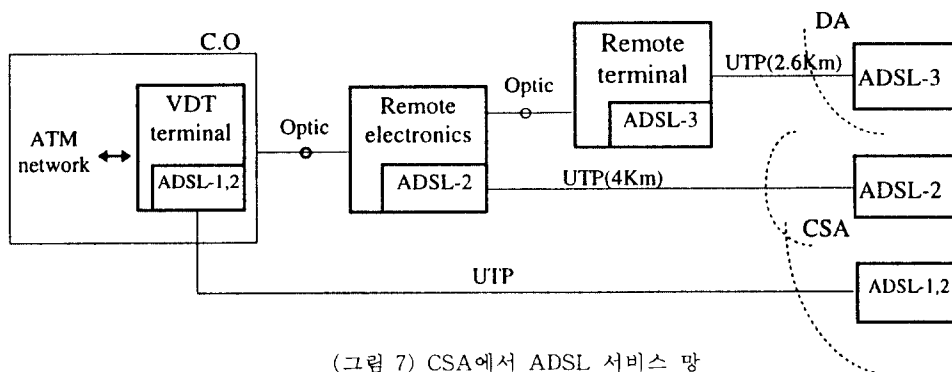
샘플링 속도는 단말 모델의 DSP 속도에 의해 제한되며 무선 주파수 간섭을 피하기 위하여 2.048MHz를 사용한다. 블록 길이는 데이터 속도에 최소 영향을 갖는 범위가 128 ~ 1,024 수준이지만 블록 길이가 길면 디코딩 지연(decoding delay)이 발생하고 DMT 시스템의 임펄스성 노이즈를 줄이는데 면역을 갖게 하므로 512채널을 최적 수준으로 많이 사용한다. 보호 주기는 32 샘플 포인트로 하는데, 이는 512개의 부채널로 나눌 때 각 부채널이 2KHz를 점유하는 것으로, 최대 부채널 중심 주파수는 $512 \cdot 2 = 1,024\text{KHz}$ 가 되고 따라서 최적 부채널을 위한 검색은 $f_i = 2i \text{ KHz}$ 의 반송 주파수에서 실시된다.^{[3],[9]}

광섬유 전송 회선을 사용한 시험 지그 환경에서는 가입자에게 만족할 만한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 광섬유 전송 회선(optic fiber)의 비트 율을 10^{-12} 으로 가정하면, ADSL 시스템 에러 확률 10^{-7} 을 만족시키는 등가 수준으로서 10^{-12} 을 만족시키도록 성능 시뮬레이션되어야 한다.

IV. ADSL 서비스

4.1 서비스 범위

ADSL은 가입자에게 비대칭 서비스를 제공하는데 최근에는 가입자에게는 MPEG-2의 3 ~ 10Mb/s의 속도로 광대역 비디오 서비스를 제공하고 가입자에서 망쪽으로는 16Kb/s ~ 640Kb/s의 저속 제어 신호를 지원하도록 개선되는 등 전화 회사로 하여금 가장 짧



(그림 7) CSA에서 ADSL 서비스 망

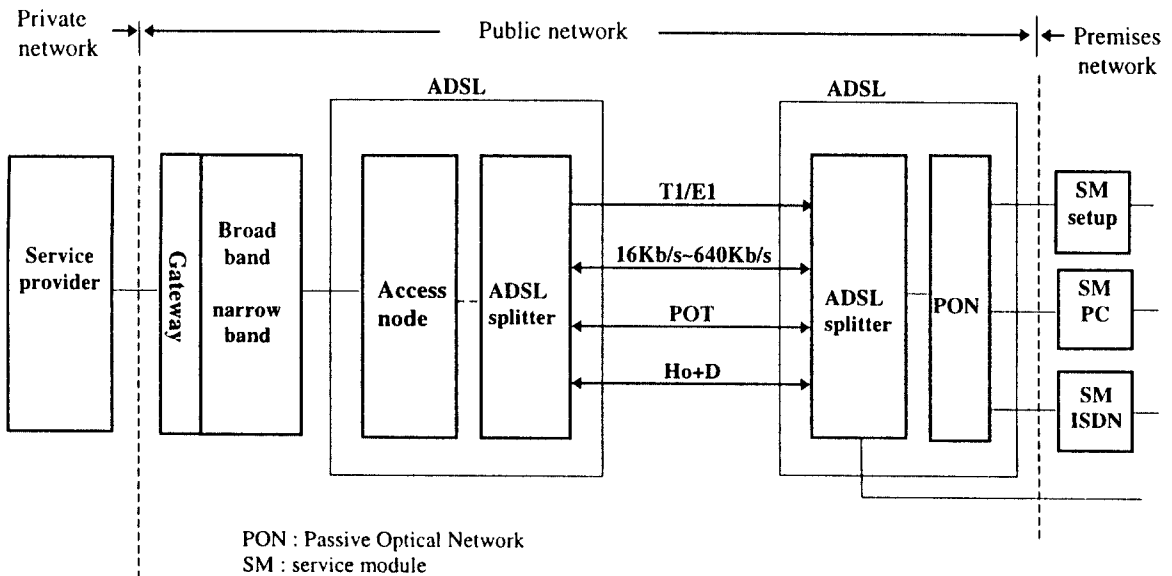
은 시간 내에 광대역 접속 망의 실현을 가능하게 했고, 현재 가입자 가정까지 UTP 기반으로 설치되어 대화형 광대역 응용을 위한 커다란 가능성을 갖고 있다. ADSL 시스템은 가입자 루프 양단에 설치되며, ADSL 접속 망 기술은 점대점 스위치 기반 망 기술이므로 데이터 속도에 부합하는 ATM 물리 계층 인터페이스의 정의가 필요하기는 해도 ATTH 구조의 실현이 쉽다. DAVIC (Digital Audio Visual Council) 규격에서는 요구(on-demand) 기반 위에서 서버와 셋톱 박스(set top box)간의 연결을 제공하기 위해서 MPEG-2 신호의 종단간(end-to-end) ATM 전송을 지향하고 있으며, 핵심 망(core network)은 ATM 기반의 다중 및 교환을 가정하고 있다. DAVIC(Digital Audio Visual Council)에서 ADSL 가입자 액세스 망 요구 사항은 다루지 않고 있으며, (그림7)은 CSA루프에서 50Mb/s 이상 전송 가능한 새로운 ADSL 표준으로 제안된 후 ANSI WG T1E1.4에서 제안한 ADSL-3를 포함하는 가입자 서비스 망 구조이다.

(그림 8)은 ADSL Forum에서 통신 업체와 장비 업체들에 의해 제시된 ADSL 시스템 서비스 망 구조^[10]이다. 기본적으로 전화국으로 부터 가입자 연결, 과금 관리 서비스 제공, 초기 화면 제공 및 가입자 어드레스를 변환 및 연결과 같은 기능들이 서버에 제공된

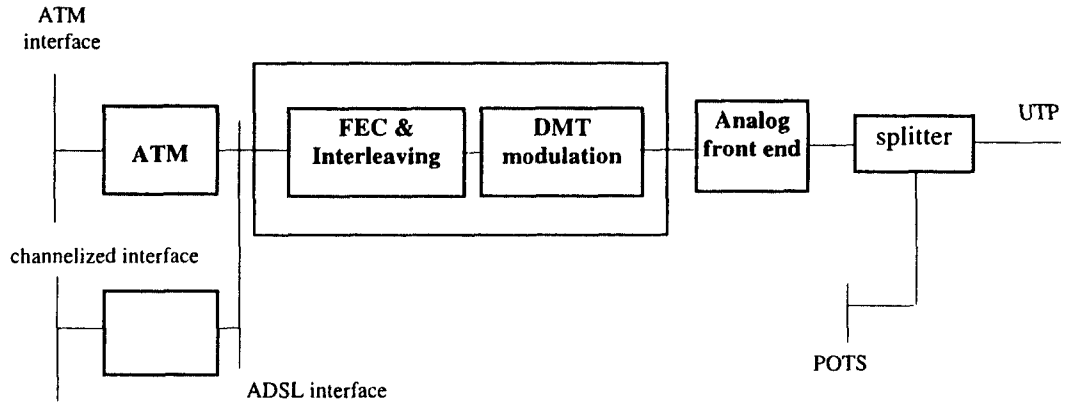
다. 15Mb/s 채널과 저속 제어 채널은 MPEG 비디오 디코더, 고속 패킷 하드웨어 또는 CD-오디오 하드웨어 등 다양한 서비스 모듈 등이 접속될 수 있고 기본대역 비디오 신호, 패킷 프로토콜 또는 오디오 신호 형태로 출력된다. 그리고 POTS 채널은 가입자 전화, 자동응답 팩시밀리, 애널로그 모뎀 등에 연결된다.

설치되는 위치에 따라 ADSL 시스템이 플랜트 내부에 설치되는 구조에서는 ADSL 및 셋톱 박스(set-up box) 가입자가 부담하여야 하고, 전화기와 ADSL 수신기가 병렬로 브리지되어 ADSL 신호의 감쇄가 생기기 때문에 ADSL에서 별도의 수동 필터에 의해 전화선을 분리할 필요가 있으며 이를 위해 음성 대역 및 ADSL 신호간에 4 ~ 20KHz 가드 대역을 제공하는 수동 필터가 필요하다.

ADSL 시스템이 플랜트 외부에 설치되는 구조에서는 망 전송 성능 향상이 용이하고, 가입자 서비스 인터페이스가 우선 제공되므로 가입자 장비 대체를 최소화할 수 있으며, 가입자 PC에 접속되는 경우 리모트 제어 모듈 기능을 PC 내부에 구현 가능하고, 상용 전원 공급 시설이 필요하고 셋톱 박스에서 POTS가 분리되며, 대내 노이즈 환경으로 부터 디지털 채널 점지 효과가 있다. 그 밖에 원격 단말을 통한 ADSL 시스템 구조를 고려할 수 있는데 공통 제어장치를 두어 다수 ADSL과 오버헤드 방법으로 통신한다. 오버



(그림 8) ADSL 시스템 서비스 망 구조



(그림 9) ADSL 시스템에서 제공하는 인터페이스

헤드는 시스템 동기화 유지 보수를 용이하게 하며 전송 성능과 경보 조건은 수집되어 운용 시스템으로 보내진다. POTS 서비스는 디지털 루프 사업자 원격 단말의 채널 유닛에 플러그-인되고, 저속 데이터 채널은 ADSL에서 집선된 후 원격 단말의 데이터 채널 유닛에 접속되며, 스캐너 또는 비디오 카메라 화일같은 비교적 큰 데이터의 전송을 용이하게 하기 위해서 64Kb/s 이상의 속도가 제안된다. 1.5Mb/s 신호는 직접 광 다중화기의 DS1에 보내진다. (그림9)에 ADSL 시스템에서 제공되는 인터페이스를 나타내었다.

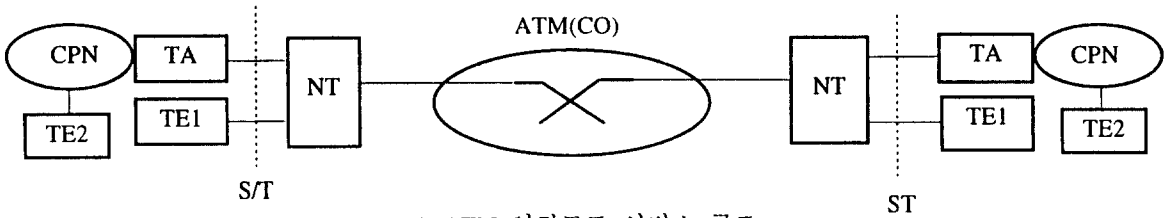
4.2 ATM 비연결형(connectionless) 서비스^[11]

DAVIC에서는 액세스 망에 대한 전송을 위하여 ATM 전송방식과 ATM/MPEG 혼합 방식을 제안하였으며, 전자는 서버로부터 가입자까지 디지털 정보 서비스를 ATM 형태로 전송하고, 후자는 서버에서 액세스 망 입력까지 ATM 형태로 전송하고 액세스 망에서 가입자까지 ATM 형태를 MPEG 전송 패킷으로 바꾸어 전송한다. 어떤 방식을 채택하느냐에 따라 구성 장비에 크게 영향을 끼치겠지만 다양한 서비스를 수용하는 측면에서 확장성이 용이하지 못한 후자의 방법보다 전자의 방법이 제안된다.

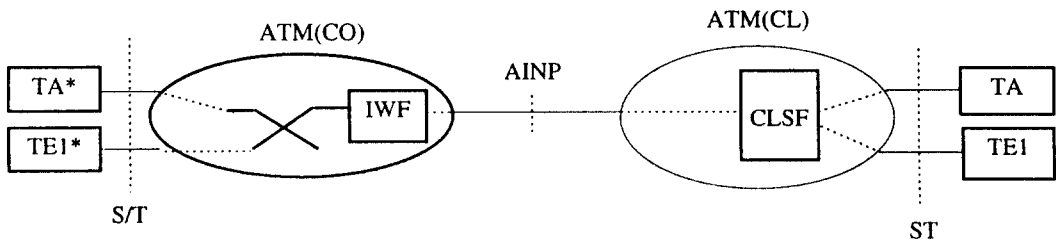
ATM 망에서 데이터 통신, 분산 처리 및 분산 데이터 베이스 같은 고성능 응용 서비스를 위하여 LAN간 연동에 비연결형 서비스 방식이 많이 사용된다. 이를 위해서 ATM 비연결형 서비스의 UNI(User-Network Interface) 프로토콜이 규정되는데 기존 및

ATM 비연결형 프로토콜간 결합에 따라 ATM 망에 적용되는 단말은 기본 비연결형 프로토콜의 ATM 비연결형 모드 TA, ATM 비연결형 프로토콜의 ATM 비연결형 모드 TE1, 기존 및 이들간 혼합 단말이 사용되고 이 단말에 의해 비연결형 서비스 종류가 구분된다.

(그림 10)에 ATM 기반 공중 서비스 망을 제시하였다. (그림 10A)의 경우 ATM(CO) 모드 서비스가 UNI에서 제공되므로 ATM 셀은 ATM 스위칭 시스템을 통하여 한 UNI로부터 상대측 UNI까지 VCI를 통해 투명하게 연결된다. (그림 10B)는 ATM(CL)과 ATM(CO) 망간 서비스 구조로서 ATM(CO) 모드 서비스에서 동작하는 IWF(Interworking Function)와 결합되고, IWF의 어드레스는 ATM(CO)의 요구에 의해 신호처리가 이루어지며, IWF와 TE1/TA 사이의 신호 연결은 ATM 비연결형 프로토콜에 의해 이루어진다. (그림 10C)는 ATM 비연결형 모드 서비스에서 어드레싱 및 라우팅 관점의 구조이다. CL/CO 식별 기능이 ATM 셀 헤드에 있어야 하고 이를 위해 VCI를 할당한다. ATM 비연결형 서비스 셀이 TE1/TA에서 발생하고, TE1/TA가 UNI에서 연결되며, E.164에 의해 CLSF에 라우트되어 ATM에 접속된다. ATM과 LAN 연동에 MAC(Medium Access Control) 프로토콜이 사용된다. (그림 10D)의 경우 ATM 비연결형 모드 서비스를 UNI에서 사용하는 방법으로서 ATM 스위칭 시스템은 ATM 부계층 기능을 수행하고 CLSF가 비연결형 ATM 선택 계층 기능을 수행, 목적지 TE1/TA에 비연결형 셀을 라우팅한다.

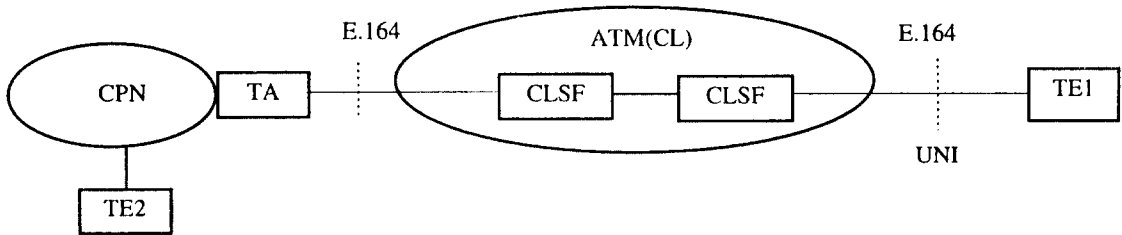


A. ATM 연결모드 서비스 구조

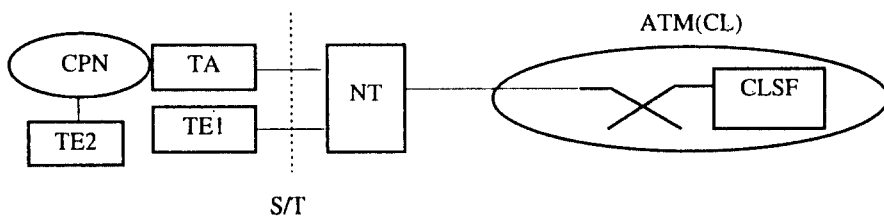


: The TA1/TE1 and the TA1*/TE1 are different each other.

B. ATM 연결모드 서비스 구조

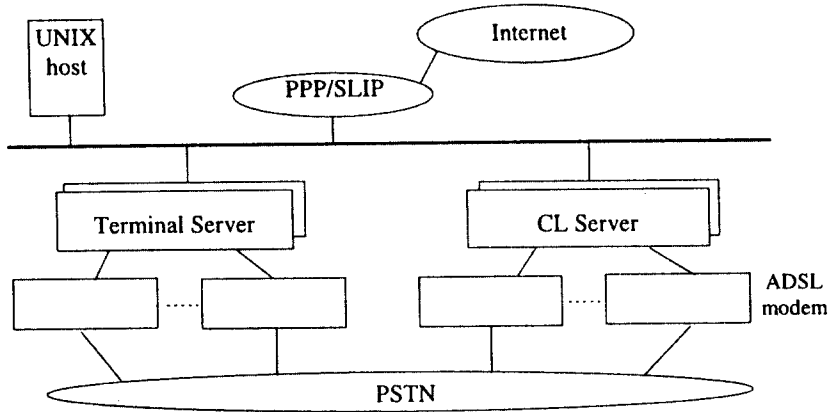


C. ATM 연결 모드 서비스 구조



D. ATM 비연결 모드 서비스 구조

(그림 10) ATM 서비스 구조



(그림 11) 전화선에 의한 공중망 가입자 접속

(그림11)은 전화회선에 의한 가입자 접속을 나타내며 SLIP/PPP(Serial Line Interface Protocol/Point to Point Protocol)을 이용하여 접속한다. 즉, 가입자가 모뎀을 통하여 인터넷에 접속하는 동안 임의의 IP 어드레스를 사용자 PC에 할당하여 LAN과 동일한 형태로 서비스된다. 가입자 PC에 직접 연결하므로 개인 가입자 형태로 서비스된다.

V. 결론 및 향후 전망

본 고에서는 ADSL 서비스를 위한 DMT ADSL 시스템에 관하여 시스템이 필요로 하는 설계 요구조건, 노이즈 변화에 유연한 성질을 갖는 DMT 동화기 모델의 설계를 포함하여 우수한 성능 얻기 위한 시스템 설계, 성능 예측을 위한 시뮬레이션 모델 및 서비스 망을 고찰하였으며, 이를 통하여 보다 나은 ADSL 시스템 설계를 위한 방향을 살펴보고자 하였다. 본 고의 ADSL 시스템은 채널이 1 ~ 4 채널로 제한되고 영상 품질 한계, 처리 시간 지연, 영상 분배를 위한 교환기 설치, 통신 망 연동, 장치 비용의 고가 등 여러 문제점이 있으나, 향후 DAVIC에서는 가입자 서비스 품질을 만족하기 위해서 제한된 주파수를 가지고 다수의 가입자로 부터 발생하는 요구 신호를 실시간으로 처리하도록 하나의 통신 채널을 다수 가입자가 공유하는 TDM/TDMA 전송방식을 고려하고 있어 향후 ADSL 분야는 이러한 문제점들이 개선될 전망이다.

주문형 비디오 서비스를 위하여 고려되는 접속 망으로서 HFC(Hybrid Fiber Coaxial) 망, FTTH/FTTB(Fiber To The Home/Building) 망, fiber 망, 그리고 이 밖에 무선 또는 위성 망을 이용한 서비스 망이 있으나, 여기서는 UTP를 이용한 방식을 살펴보았다. 이는 개별 가입자 서비스 또는 루프 조건에서 RF(Radio Frequency) 간섭 최소화, 셋톱 박스없이 기존 애널로그 광대역 서비스 가입자 수용, 채널간 간섭, 누화 노이즈 최소화 등에 관한 개선으로 양질의 실시간 비디오 서비스 및 다양한 부가 서비스를 제공한다면 초고속 정보망이 완전히 구축되는 2015년 시점까지는 타 서비스 망에 비해 상대적으로 경제적인 서비스가 될 것이기 때문이다.

[참고문헌]

- [1] Edward A. Lee and G. Messerschmitt, DIGITAL COMMUNICATION Kluwer Academic Publisher, 1994.
- [2] Chow, J. C. Tu, J. M. Cioffi, A Discrete Multitone Transmitter System for HDSL Applications, IEEE JSAC, vol. 9, No. 6, pp.895~908, Aug. 1991.
- [3] Walter Y. Chen and David L. Waring, Applicability of ADSL to Support Video Dial Tone in the Copper Loop, IEEE Commun. mag., pp.102~109, May 1994.
- [4] Kamran Sistanizadeh, Peter S. et. al, Multitone Transmission for ADSL lines(ADSL), IEEE INFOCOM, 1993.

[5] Jacky S. Chow, John M. A Cost-Effective Maximum Likelihood Receiver for Multi-carrier System pp. 948~952, ICC 92.

[6] Jacky S. Chow, John M. Cioffi, John A.C. Bingham, Equalizer Training Algorithms for Multicarrier Modulation Systems, pp.761~765, IEEE, 1993.

[7] Results of Crosstalk Margin Tests on the Amati DMT ADSL Transmitter Performed at Bellcore, T1E1.4/93-282, 1993.

[8] Impulse Noise Test Plan with Simultaneous Crosstalk, T1E1.4/93-283, 1993.

[9] LECHLEIDER, An Adaptive Impulse Noise Canceler for Digital Subscriber Lines, pp. 36~39, IEEE INFOCOM, 1993.

[10] ADSL Forum, ADSL Forum Network Purview and System Reference Model, ADSL Forum TR-001.

[11] Shun-ichi Iisaku, Masami Ishikura, ATM network architecture for supporting the connectionless service, IEEE INFOCOM 90, pp.796~802, 1991.

김진태

- 1980년 2월 : 인하대학교 전자공학 (학사)
- 1982년 8월 : 인하대학교 전자공학 (석사)
- 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학 (박사)
- 1988년~1989년 : University of Missouri Kansas City 방문 연구원
- 1979년~현재 : 한국전자통신연구원 신호서비스 연구실 실장
- 관심분야 : 신호 및 서비스 시스템

양충렬

강석열

- 1983년 : 건국대학교 전자공학과 (학사)
- 1989년 : 미국 제너럴다이내믹스(GDLS)사 파견연구원
- 1986년~92년 : (주)현대정공 기술연구소
- 1992년~현재 : 한국전자통신연구원
신호서비스연구실 선임연구원
- 1997년~현재 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (석사과정)
- 관심분야 : 통신 및 제어

- 1973년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업
- 1982년~87년 : 한국과학기술원 전산학과 (석사)
- 1992년~현재 : 한국과학기술원 전산학과 (박사과정)
- 1980년 8월~현재 : 한국전자통신연구원
ATM 기술 연구부장, 책임연구원
- 관심분야 : B-ISDN/ATM 교환분야