

초고속 가입자 접속기술 분석

Analysis of High-speed Access Technology to Subscriber

민재홍(J.H. Min)

기술기준연구팀 책임연구원

현재 국가별로 진행되고 있는 가입자 접속의 고속화 전략은 각 나라의 통신환경 및 서비스 수요에 따라 다양하게 추진되고 있다. 그러나 선로의 종류에 따라 구분하여 보면, 기존의 동선 전화선로를 이용하는 'xDSL 접속'과 새로운 광섬유 선로를 이용하는 '광 가입자 접속,' 그리고 무선주파수를 이용하는 '광대역 무선 접속(BWLL)' 등 세 가지 형태로 구분할 수 있다. 본 고는 이러한 초고속 가입자 접속기술 중 xDSL 기술의 개발현황과 표준화 진행을 분석하여 우리나라의 통신환경에 맞는 기술 방향을 제시하고자 한다.

I. 서론

초고속 정보통신망에 접속되는 단말장치는 그 통신망이 갖는 특성으로부터 정의되는 것이 아니라 제공하고자 하는 서비스의 형태에 따라 정의되며, 오늘날의 다양해진 정보서비스들은 자연스럽게 다양한 형태의 단말장치를 출현케 하였다. 단말장치의 접속은 가입자측으로부터 멀리 떨어져 있는 기간망 보다는 가입자의 주거지로 인입되는 지역망의 특성에 더 큰 영향을 받는다. 따라서 가입자 접속기술은 인입되는 선로의 재질과 형태에 따라 규정되며, 원하는 서비스의 종류와 수준에 따라 제공될 수 있는 것이다.

현재 국가별로 진행되고 있는 가입자 접속의 고속화 전략은 각 나라의 통신환경 및 서비스 수요에 따라 다양하게 추진되고 있다. 그러나 이들이 사용하는 선로의 종류에 따라 구분하여 보면, 기존의 동선 전화선로를 이용하는 'xDSL(x Digital Subscriber Line) 접속'과 새로운 광섬유 선로를 이용하는 '광 가입자 접속,' 그리고 무선주파수를 이용하는 '광대역 무선 접속(Broadband Wireless Local Loop: BWLL)' 등 세 가지 형태로 구분할 수 있다[1].

본 고는 이러한 초고속 가입자 접속기술 중에서 xDSL 기술의 개발현황과 표준화 진행을 분석하여 우리나라의 통신환경에 맞는 기술 방향을 제시하고, II장에서는 초고속 가입자 접속기술에 대하여 전반적으로 정리하고, III장에서는 동선을 이용한 초고속 가입자 접속기술 중 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)의 변조 및 코딩기술에 대하여 상세히 분석한다. 또한, IV장에서는 VDSL(Very high data-rate Digital Subscriber Line) 시스템의 구조와 신호방식에 대하여 분석하였다. 마지막으로 V장에서는 VDSL의 향후 기술개발 방향과 우리의 통신환경에 적당한 초고속 가입자 접속기술 방향에 대한 기반자료를 제시한다.

II. 초고속 가입자 접속기술

현재 진행되고 있는 가입자망의 고속화 전략은 국가마다 다소 다르게 추진되고 있으나 크게 다음과 같은 세 가지 형태로 구분할 수 있다.

첫째, xDSL은 기존에 구축되어 있는 동선과 케이블망을 이용하여 가입자 선로를 고속화하는 기술로,

광 가입자 선로가 구축되기 이전의 고속화 전략으로 주로 이용되고 있다. 둘째, 가입자 선로의 고속화를 위한 근본적 해결책으로 가입자 단말의 분기점까지 광섬유 선로를 구축하는 것을 전제로 한 광 가입자 접속이고, 마지막으로 일정 셀(cell) 지역을 대상으로 무선에 이용한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 구축되는 무선 가입자 접속기술로 24GHz~28GHz 대역의 무선주파수를 이용하는 BWLL 접속 방식이다[2].

이 장에서는 이러한 초고속 가입자 접속기술 중 기존의 동선을 이용하는 xDSL 접속의 원리와 개념에 대하여 집중적으로 취급하고 그 기술적 조건을 표준안 중심으로 논의하고자 한다.

1. xDSL 접속기술의 도입

DSL은 기존의 동선 전화선로를 통하여 가정이나 소규모 조직의 가입자에게 고속 디지털 정보를 제공하고자 하는 기술이다. xDSL은 DSL의 여러 가지 변형들 즉, ADSL, G.Lite(or DSL Lite), HDSL, IDSL, RADSL, SDSL, UDSL, VDSL 등을 포괄적으로 나타내는 용어이다[3].

2. xDSL 형식

디지털 데이터가 음성신호와 함께 코어교환망을 통과하지 않도록 하는 기본적 DSL 모뎀이 출현한 이래, 변조 및 코딩방식과 선로의 운영방식에서 다양한 개발이 이루어짐으로써 xDSL의 변형이 출현하였다[4].

가. HDSL(High Data-rate DSL)

DSL의 가장 오래된 변형으로 두 개 혹은 세 개의 전화선로를 통하여 T1/E1 신호를 전송하고자 하는 대칭형 접속방식이다. 따라서, 새로운 변조방식과 신호처리방식을 적용하여 T1/E1 전송을 해결한 기술이라고 볼 수 있다.

- 전송속도: 양방향 1.544Mbps/2.048Mbps

(12,000feet 이내)

- 사용회선: 2쌍 꼬임선(T1), 3쌍 꼬임선(E1)

나. SDSL(Symmetric Digital Subscriber Line)

근본적으로 HDSL의 단일선로 형태(single line version)라고 볼 수 있으며, 이 때문에 'Single line DSL'의 약자로 사용되기도 한다. 하나의 twisted-pair 선로를 통하여 POTS와 T1/E1을 동시에 제공한다. HDSL에 비하여 단일 전화선로를 설치하고 있는 대부분의 가입자를 수용할 수 있기 때문에 시장이 매우 넓다. 그러나, 전송거리는 다소 짧다.

- 전송속도: 양방향 1.544Mbps/2.048Mbps
(10,000feet 이내)
- 사용회선: 1쌍 꼬임선

다. ADSL

일반적으로 영상이나 멀티미디어에 편중되어 있는 웹 데이터를 전송하기 위해서는 넓은 대역폭을 필요로 하며, 가입자의 요구나 응답 데이터를 전송하기 위해서는 좁은 대역폭으로 충분한 경우가 많다. 따라서 CO로부터 가입자에게로 전송되는 방향의 대역폭은 충분히 설정하고, 가입자로부터 CO로 전송되는 방향의 대역폭은 좁게 하여 양방향의 전송속도를 서로 다르게 설정하는 접속방식을 ADSL 접속이라 한다.

라. VDSL

ADSL 이후 가장 선호되는 접속방식으로 한동안 ADSL과 공존하다가 우위를 점유할 것으로 예측된다. 기존의 xDSL용 변조방식으로 알려진 DMT(Discrete Multitone Technology) 등에 대한 효율성이 아직 입증되지 않았으며 표준화도 완료되지 않은 상태로, 여러 표준화기구들이 현재 VDSL에 대하여 집중적으로 연구하고 있다.

마. 기타 xDSL 접속기술

- G.Lite or DSL Lite: ADSL에 비하여 다소 느린 전

송속도를 가지나 가입자 단말에 ‘splitter’를 장착할 필요가 없고 CO로부터 분리된다. 전송속도는 하향 1.544Mbps~6Mbps, 상향 128kbps~384kbps이고, DSL 접속방식 중 가장 널리 사용될 전망이다.

- RADSL(Rate-Adaptive Digital Subscriber Line): 소프트웨어에 의하여 신호의 전송속도를 조정할 수 있는 ADSL 접속기술이다. 전송속도는 하향 640kbps~2.2Mbps, 상향 272kbps~1.088Mbps이다 [5-8].

III. ADSL 변조 및 코딩 기술

ADSL 모뎀의 구현을 위하여 주로 사용하고 있는 변조방식은 다음과 같다.

- DMT: ANSI T1/E1.4/98-007R4로 표준화 됨
- CAP/QAM(Carrier Amplitude & Phase/Quadrature Amplitude Modulation): ANSI T1/E1.4/97-104R2a로 표준화 됨

1. DMT ADSL 시스템

가. 채널의 구성과 경로

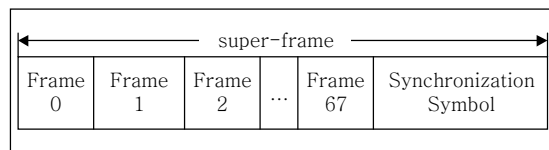
‘Data 채널’은 4개의 하향스트림 단방향(simplex) 채널과 3개의 양방향(duplex) 채널로 구성되고, <표 1>은 채널별 전송속도를 설명한다. 모든 논리적 Data 채널의 실제 전송속도는 32kbps의 배수로 설정되며, 많은 경우 하나의 하향 단방향 채널(AS0)과 단방향 모드로 설정된 하나의 상향 채널(LS0)만으로 구성된다. 그밖의 다른 채널들은 여러 가지 응용 분야에 따라 융통성 있게 설정되는 것이다.

나. 프레임 구조

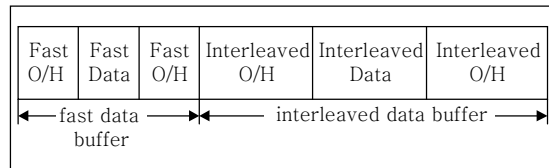
DMT ADSL 송수신기에서 논리적 채널의 결합/분리과정은 프레임에 의하여 이루어진다. 이 프레임 구조를 ‘super-frame’이라 하고, (그림 1)과 같이 68개의 데이터프레임(#0~#67)과 하나의 동기 심

<표 1> ADSL ‘Data 채널’과 그 전송속도

논리적 Data 채널	모드	허용 전송속도
AS0	Downstream simplex	0~8.192Mbps
AS1	"	0~4.608Mbps
AS2	"	0~3.072Mbps
AS3	"	0~1.536Mbps
LS0	Duplex	0~640kbps
LS1	"	0~640kbps
LS2	"	0~640kbps



(그림 1) DMT ADSL super-frame 구조



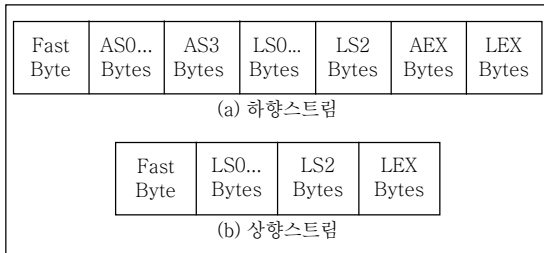
(그림 2) 일반적인 프레임 구조

볼로 구성되며, 한 프레임이 17ms 동안 전송된다.

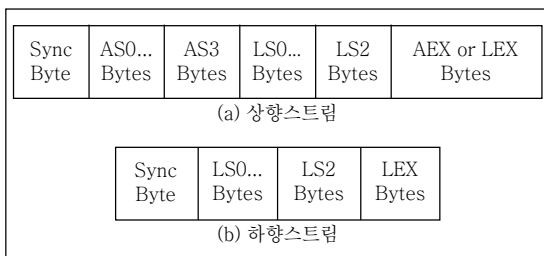
각 프레임은 ‘fast data buffer’와 ‘interleaved data buffer’의 내용이 동시에 전송된다. ‘fast data buffer’는 latency를 필요로 하는 데이터 통신에, ‘interleaved data buffer’는 RS 코드와 인터리브에 의해 burst 에러에 강한 전송로가 확보되어 데이터 전송에 이용된다. (그림 2)는 일반적인 데이터프레임 구조를 보여준다.

(그림 3)은 데이터프레임의 ‘fast data buffer’ 부분을 논리적 채널로 구분하여 상세히 나타낸 것이다 (<표 1> 참조). 또한, ‘fast data buffer’의 앞뒤에는 ‘overhead bytes’가 포함되어 있는데, 이들의 역할은 다음과 같다.

- Fast byte: ‘fast buffer’ 앞에 항상 있는 오버헤드로서, 프레임번호에 따라 네 가지로 사용된다.
- AEX(AS channel extra) byte: 적어도 한 개의 AS 채널이 fast path를 사용하는 경우에 fast buffer에 stuff 된다.



(그림 3) Fast data buffer의 세부구조



(그림 4) Interleaved mux data의 세부구조

- LEX(LS channel extra) byte: 적어도 한 개의 LS 채널이 fast path를 사용하는 경우에 fast buffer에 stuff 된다.

(그림 4)는 프레임의 ‘interleaved data buffer’ 부분을 논리적 채널로 구분하여 상세히 나타낸 것이다 (<표 1> 참조). 그림의 설명에서 interleaved path를 통하여 전달되는 데이터프레임을 ‘mux data frame’이라 지칭하고 있다. 앞에서 논의한 ‘fast buffer’에서와 마찬가지로 AEX 및 LEX byte를 포함하고 있다. AEX byte는 AS 채널이 interleaved path를 사용하는 경우에 존재하고 LEX byte는 LS 채널을 사용하는 경우에 존재한다.

그러나, fast buffer와는 달리 interleaved buffer는 ‘Sync byte’를 그 앞부분에 포함하고 있다. 이는 앞에서 설명한 ‘Fast byte’와 유사한 역할을 하나 한두 가지 다른 기능을 가진다.

다. CRC와 Scrambling

CRC(Cyclic Redundancy Check)는 하나의 super-frame이 전송되는 동안 모든 bit를 커버한다. 단, CRC의 검토를 받지 않는 것들은 FEC byte, 이전 CRC,

Sync frame(#68) 등이다. CRC는 FEC에 의하여 정정되지 않는 오류를 포함한 super-frame들이 얼마나 많은가에 따라 그 의미를 부여할 수 있다.

라. FEC와 Interleaving

스크램블러를 통과한 모든 데이터는 독립적인 FEC 블록으로 들어간다. 이는 전송로상에서 발생하는 오류를 독립적으로 정정하기 위한 제어체제로서, Galois field 256 Reed-Solomon 코드체계를 이용한다. FEC(Forward Error Correction) 블록을 통과한 interleaved path의 데이터는 송신측의 interleaver로 들어간다. DMT ADSL 시스템은 convolutional interleaving 기술을 사용한다. 인터리빙 깊이(depth of interleaving)는 64 이하의 2의 배수이며, GF(256)인 Reed-Solomon 코드를 사용하므로 byte 레벨로 동작한다.

마. Tone Ordering과 Constellation

데이터를 변조하기 위해서는 각 DMT bin(tone을 표시하는 복소수(complex value))을 나타내는 정확한 bit 수를 먼저 추출하여야 한다. 이와 같이 DMT bin을 추출하여 이들을 각 tone에 할당하는 과정을 ‘tone ordering’이라 한다. 또한, 추출된 각각의 bin에 대하여 복소수를 할당하여 신호점을 구성하는 과정을 ‘constellation 인코딩’이라 한다. Tone ordering을 위해서는 각 bin에 할당되는 bit 수를 반드시 알아야 하며, 그 bin이 분석될 때 training 과정에서 추출되어야 한다. 분석이 끝나면 ATU-C 및 ATU-R은 각 bin이 취급하는 bit 수를 계산한다. 이와 같이 계산된 bin당 bit 수를 ‘bi value’라 한다. ADSL의 bi value는 0 혹은 2~15로 결정되어야 한다.

바. 변조

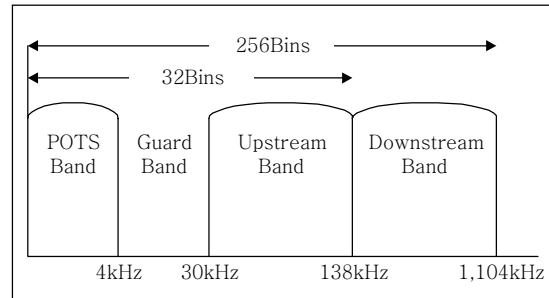
변조 블록은 DMT ADSL 송신부의 심장과 같다. ATU-C와 ATU-R은 모두 DMT 변조방식을 채택하고 있으나, IFFT 동작에 있어서의 point 수를 달리한다. ATU-C의 송신부 즉, 하향스트림 방향으로

는 256bins(512 real time-domain)의 IFFT를 채택하고 있다. bin의 중앙과 중앙 사이의 간격은 4.3125 kHz로 하여, 첫번째 중앙은 4.3125kHz로 하고 마지막 중앙을 1.104MHz로 설정한다. 이들 중 특별한 tone은 1.104MHz tone인데, 이를 Nyquist tone이라 부르며 데이터 전송에는 사용하지 않고 보통 0으로 설정한다. 또 하나의 특별한 tone은 DC term으로 이것 역시 0을 설정한다.

ATU-R의 송신부 즉, 상향스트림 방향으로 32 bins(64 real time-domain)의 IFFT를 채택하고 있다. 여기서도 tone 사이의 간격은 4.3125kHz로 하고, 그 범위를 4.3125kHz~138kHz로 설정하고 있다. DMT 변조의 융통성은 (그림 5)에 도시한 주파수 스펙트럼의 세 가지 영역을 고찰해 봄으로써 알 수 있다. 낮은 주파수대역에 설정된 POTS 영역은 기존의 음성통신을 위하여 설정된 것이다. 이 영역은 상향/하향스트림 신호에서 처음 7개 bins를 사용하지 않으므로 쉽게 설정된다.

중간 영역에 설정된 주파수대역은 상향스트림 신호가 점유하는 스펙트럼이다. 하향스트림 신호는 8~32에 해당하는 tone을 0으로 할당함으로써 이 대역을 열어줄 수 있다. 마지막으로 높은 영역에 설정된 주파수대역은 하향스트림 신호에 의하여 배타적으로 사용되는 스펙트럼이다. 상향스트림 신호는 이 영역을 열어주기 위하여 특별한 동작을 수행할 필요가 없다. 왜냐하면 상향스트림 신호는 138kHz 이하의 주파수를 갖는 bins를 사용하여 신호를 전송하기 때문이다.

이와 같은 형식의 DMT 동작을 FDM(Frequency Division Multiplex) DMT라 한다. 또 다른 형식의 DMT로는 EC DMT(echo-canceled DMT)가 있다. EC DMT에 있어서, 하향스트림은 30kHz 이상의 모든 tone에 대하여 신호를 전송한다. 이렇게 하면, ATU-R 출력이 30kHz~138kHz 영역에 대하여 겹치게 되는데, 이를 EC 기술로 상대방의 신호를 제거하여 해결하는 것이다. EC 모드는 FDM 모드에 비하여 하향스트림 전송속도를 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.



(그림 5) FDM-mode ADSL의 주파수 스펙트럼

사. 복조

DMT ADSL에 있어서의 복조는 변조의 원리로부터 그대로 구현될 수 있다. ATU-R에 있어서의 복조는 512개의 실수에 대하여 FFT 동작을 수행함으로써 이루어진다. 이 때, FFT 이전에는 32개의 cyclic prefix가 제거되어야 하며, FFT 이후에는 처음 256개의 복소 출력을 취하고 나머지 공역복소 출력을 버린다.

ATU-R이나 ATU-C 모두에 있어서, 주파수영역 등화(equalization)는 FFT 동작 이후에 수행된다. 이 과정은 단순히 각 bin에 대하여 복소곱셈을 수행함으로써 이루어진다.

아. 타이밍 추출

대부분의 ADSL 시스템에 있어서 ATU-C는 마스터가 되고 ATU-R은 그것을 복원한다. 이 때, ATU-R은 “loop-timed” 되었다고 한다. 이와 같은 loop-timing은 여러 가지 방식에 의하여 구현될 수 있으나 가장 흔히 사용되는 방법이 PLL(Phase Locked Loop)이다. 기본적으로 ATU-R은 2.208MHz의 표준화 클럭을 복원하여 이로부터 프레임 rate, super-frame rate, 상향스트림 전송 클럭 등 여러 가지 필요한 타이밍을 생성한다. 또한, 동기프레임을 이용하여 super-frame의 경계를 추출하는 것은 잘 알려진 사실이다.

자. DMT ADSL overhead

앞의 프레임구조에서 논의한 바와 같이, DMT

ADSL 시스템은 EOC, AOC 및 ib 등의 오버헤드 채널(overhead channel)을 포함한다.

- EOC(Embedded Operations Channel): ATU-C는 통신하는 동안 EOC를 이용하여 ATU-R의 정보를 추출하고 기록한다. 하나의 EOC 메시지는 전체 길이는 13bits 길이이고, 5개 항목으로 구성된다. EOC 메시지는 언제나 짝수 프레임번호의 'Fast byte'에서 시작하여 다음 홀수 프레임번호의 'Fast byte'로 계속된다.
- AOC(ADSL Overhead Channel): AOC는 하나의 bin으로부터 제거된 bit를 다른 bin에 부여하는 소위 'bit swapping'을 수행한다. AOC 메시지는 8-bit로 이루어진 헤더와 메시지의 형태에 따르는 부수적인 bytes로 구성된다.
- ibs(indicator bits): 모든 super-frame에 대하여 frame #1, #34, #35의 overhead byte를 이용하여 24개의 ibs를 보낸다. 이들 중 몇 개는 정확히 정의되어 있으며, 나머지는 향후에 사용하기 위하여 보류되어 있다. ibs는 이전 super-frame이 전송되는 동안 발생한 시스템의 이상(anomaly)을 지적한다. 이러한 시스템 이상에는 CRC error, FEC correction, loss of signal(LOS) 등이 있다[9].

2. CAP/QAM ADSL 시스템

오늘날 DMT 변조방식이 ADSL을 구현하는 일반적인 방식으로 인식되고 있으나, CAP와 QAM 방식들이 DSL을 개발하는 데 사용되었다.

가. 프레임 구조

CAP ADSL 프레임은 전체적으로 432bytes 길이로 구성되며, 이를 전송하는 데 요하는 시간은 CAP 신호의 전송속도(bit rate or baud rate)에 따라 변화한다. 또한, CAP ADSL에서는 super-frame이나 sync-frame이 존재하지 않으며, 그 대신 각 프레임이 동기 필드(sync field)로 시작되고 있음을 볼 수 있다. <표 2>는 이러한 CAP ADSL 프레임을 각 필드별로 설명하고 있다.

<표 2> CAP ADSL 프레임 구조

Field	Length	설명
Sync Word	7bits	7-bit Barker code. 1110010
FEBE	1BIT	이전 프레임의 전송중에 오류발생 여부
Data	424bytes	Data payload
Dying Gasp	1bit	전력손실이 검출되면 ATU-R이 이를 1로 set
Reserved	6bits	향후 정의를 위하여 보류
EOC	1byte	EOC information
Growth	3bytes	향후 정의를 위하여 보류
NTR	1byte	향후 NTR이 정의될 때를 위하여 보류
CRC-6	6bits	현 프레임에 대한 CRC checksum
RAI	1bit	Remote Alarm Indicator
RSVD	1bit	향후의 정의를 위하여 보류

QAM ADSL은 Reed-Solomon 프레임 구조에 근간을 두고 있고, 프레임 구조는 그 길이나 전송시간이 모두 변화한다. 여기서 특기할 만한 사항은 QAM RADSL Operations Channel(QROC)이다. 이 2-byte 필드의 처음 두 bit에 따라, 14bits의 EOC 정보나 2-byte QROC Opcode, 그리고 training이나 adaptation에 사용될 데이터를 전달한다. <표 3>에 QAM ADSL 프레임의 각 필드를 설명하였다.

<표 3> QAM ADSL 프레임 구조

Field	Length	설명
Sync Word	2bytes	Delineates frames. 0x3FOC
Uncoded Control	1byte	미래를 위하여 보류
QROC	2bytes	EOC 전송 혹은 송수신 파라미터 조정
Payload	119~235 bytes	Data payload
FEC Redundancy	16bytes	Reed-Solomon check bytes

나. Scrambler

CAP의 스크램블러는 최초 입력 데이터가 모두 '1'인 경우에 Lock 상태를 이루게 된다. 또한, DMT 및 QAM 스크램블링은 FEC(Reed-Solomon encoder) 이전에 이루어지는 반면, CAP 스크램블링은

FEC 이후에 동작한다. 한편, QAM 스크램블링은 CAP와 달리 training 과정이나 정상동작에 있어서 동일한 형태의 스크램블러를 사용한다. 그 대신, 상향/하향 스크램블러는 CAP에서 사용했던 생성다항식을 그대로 적용하는 자체동기형으로 구성된다.

다. FEC, Interleaving, Trellis 인코딩

CAP는 Reed-Solomon 컨벌루션 인터리버를 사용하며, 그 깊이는 변수이다. 그러나, 보통의 경우 4 RS codeword로 주어진다.

QAM 시스템도 깊이를 변화시킬 수 있는 인터리버를 사용하나 가능한 경우는 2, 4, 8, 16RS codeword이다. 또한 깊이 1도 허락되어 있어 인터리빙을 수행하지 않을 수도 있다. Trellis 인코딩은 CAP ADSL에는 적용되나 QAM ADSL에는 적용되지 않고, 인코더는 8-state, 2-dimensional 코드체계를 사용한다. CAP 심볼의 LSB 2-bit가 인코더로 인가되어 1-bit Trellis code가 출력되며, 이것은 원 정보의 LSB에 추가되어 전송된다.

라. 변조 및 복조

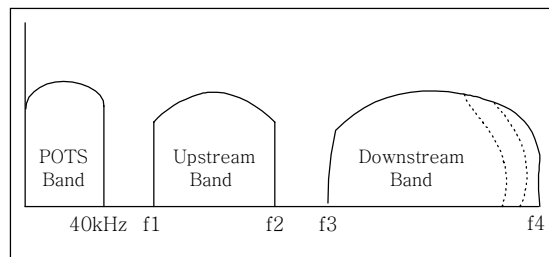
1) CAP ADSL 시스템의 변복조

CAP 변조기는 입력 데이터에 Constellation을 적용하여 I-채널(inphase channel)과 Q-채널(quadrature channel)로 분리한 후, 각 신호가 디지털필터에 인가되는 형식이다. 이 때, I/Q-채널의 두 디지털 필터의 임펄스 응답은 서로 Hilbert 변환 쌍을 이룬다. 따라서 이들은 서로 직교성(orthogonal)을 유지하게 되며, 이들의 출력이 결합하여 변조된 신호를 형성한다.

ADSL 시스템을 위한 CAP 변조기의 Constellation 크기는 8~256 범위의 2의 배수로 주어진다. 따라서, Trellis 인코더를 거쳐 변조기의 입력으로 들어가는 데이터는 3-bit(8-CAP)로부터 8-bit(256-CAP) 크기로 설정된다. 또한, CAP 변조기에는 Tomlinson Precoder가 설치되어 있다. 이는 CAP 수신기의 DFE(Decision Feedback Equalizer)와 동일한 기

능을 가진 것으로 Trellis 인코딩을 거친 데이터는 최초 이 Precoder로 인가된다. 바로 이 Precoder에서 초기화 과정의 training이 진행되는 것이다. 이러한 이유 때문에 만일 CAP 송신기에 Precoder가 설치되지 않으면 수신기에 반드시 DFE 필터탭(filter tap)이 설치되어야 한다. 상향스트림 수신기에는 적어도 3개의 필터탭이, 하향스트림 수신기에는 적어도 16개의 필터탭이 설치된다.

CAP에 있어서 POTS/상향스트림/하향스트림 채널을 분리하기 위해서는 FDM 방식을 사용한다. CAP는 Echo-Cancellation 기능을 정의하지 않는다. (그림 6)에 CAP ADSL의 주파수 할당 영역을 도시하였다. 또한, 그림에 주어진 파라미터들을 <표 4>에 상향스트림 및 <표 5>에 하향스트림을 제시하였다. 심볼률(symbol rate)과 Constellation 크기의 변화에 따라 다양한 전송속도를 제공한다.



(그림 6) CAP ADSL 시스템의 주파수대역 할당

<표 4> CAP 상향스트림 주파수 파라미터 할당

Symbol Rate (kBaud)	Start Freq. f1(kHz)	Stop Freq. F2(kHz)	Center Freq. (kHz)
85	35	132.75	83.9
136	35	191.4	113.2

2) QAM ADSL 시스템의 변복조

ADSL 시스템을 위한 QAM 변조기의 Constellation 크기는 4~256 범위의 2의 배수로 주어진다. 이들 중 4-QAM은 CAP 변조방식에서는 지원되지 않고 오직 QAM 변조에서만 사용하는 Constellation 크기이다. 이것은 QAM ADSL이 Trellis 인코딩을 사용하지 않고 대신에 Quadrant-differential 인코딩 기법을 사용하기 때문이다.

<표 5> CAP 하향스트림 주파수 파라미터 할당

Symbol Rate (kBaud)	Start Freq. f3(kHz)	Stop Freq. f4(kHz)	Center Freq. (kHz)
136	240	396.4	318.2
340	240	631	435.5
680	240	1022	631
952	240	1344.8	787.4
1088	240	1491.2	865.6

QAM ADSL에 있어서도 상향/하향스트림 주파수 대역을 분리하기 위하여 FDM 기법을 사용한다. 상향스트림 채널에 정의된 전송속도는 20, 40, 84, 100, 120, 136kBaud 등이며, 하향스트림 채널에 대해서는 40, 126, 160, 252, 336, 504, 806.4, 1,008kBaud 등이 할당되어 있다. 또한, 초기화 과정에서 설정되는 상향/하향스트림 주파수대역도 CAP에 비하여 매우 유동적이다. 일반적으로 상향스트림 채널은 30kHz ~ 138kHz 대역으로, 하향스트림 채널은 138kHz 이상의 대역으로 설정된다[9].

IV. VDSL

VDSL은 FTTN(Fiber To The Neighborhood)을 실현할 수 있는 접속기술로 가까운 장래에 보편화 될 전망이다. VDSL은 ADSL과 달리 대칭형/비대칭형 서비스를 제공하며, 광대역을 이용한 50Mbps 수준의 높은 전송속도로 동선의 짧은 거리를 서비스하고자 하는 가입자 접속기술이다.

1. VDSL 시스템

가. VDSL 망 구성

VDSL 망 구성은 전화국에서 가입자택내 근방에 위치한 ONU(Optical Network Unit)까지 광케이블을 접속하고, ONU에서 가입자택내까지를 기존의 전화선을 사용하는 방안이 가장 실용적인 대안이다. 각 ONU의 서비스영역은 집단거주지, 공단지역 및 연구단지 등 고속 데이터 전송패턴을 가지는 영역에

대하여 융통성 있게 설정할 수 있다.

나. VDSL 표준화 동향

현재 VDSL 표준화는 ANSI T1/E1.4, ETSI, DAVIC, ATM Forum, ADSL Forum 등 5개의 단체를 중심으로 연구되고 있다.

- ANSI T1/E1.4: 미국의 표준화기구인 ANSI는 T1/E1 그룹을 중심으로 VDSL에 관한 프로젝트를 시작하였다. 연구의 첫번째 목적은 시스템과 프로토콜의 정의에 포함될 기술적 요구조건을 추출하는 것이다.
- ETSI: ETSI는 VDSL에 관한 대규모 프로젝트인 'HSAS(High Speed Access Systems)'를 진행하고 있다. 그 초기 성과로는 2.3MHz 능동망 종단(active network NT) 및 Payloads에 관한 연구이다.
- DAVIC: DAVIC은 VDSL 연구의 선구자라고 할 수 있다. 1995년 12월에 발표한 사양에는 상향/하향스트림 데이터를 위한 Line 코드를 정의하였고 공유된 동선 전화선로에 TDMA 방식을 적용한 상향스트림 다중화방식을 제시하였다.
- ATM Forum: ATM Forum은 사설망의 UNI에 대하여 51.84Mbps로 전송할 수 있는 기술을 제안하였다. 또한, 가입자의 분포성향과 이들의 다양한 접속방식을 통한 ATM 서비스 공급방식에 대한 연구에 착수하였다.
- ADSL Forum: ADSL Forum도 VDSL 시스템을 연구하기 시작하였다. Line 코드나 송수신기 프로토콜은 T1/E1.4와 ETSI에, 상위 프로토콜은 ATM Forum과 DAVIC에 연구를 의뢰하고, 향후 예상되는 다양한 응용을 위한 VDSL의 망 형태, 프로토콜 및 시스템 구성 등을 연구하고 있다.
- VDSL Forum: 'VDSL Alliance'는 DMT 라인 코드에 기반한 VDSL에 대한 규격 작성을 함께하는 회사로 구성되었다. 또한, 'VDSL coalition'은 ANSI T1/E1.4에 제출된 규격제안서를 개발하기 위한 모임으로, 하향스트림에 대하여는 CAP/QAM 기반의 변조기술을 채택하고, 상향에 대한 방향은 아직까지 결정을 못하고 있다[10].

2. VDSL 시스템 요구조건

VDSL 시스템 요구조건은 아직 표준안으로 확정되지 않았으나 여러 가지 연구보고서와 시스템 개발 전략 등에 근거하여 그 동향을 파악할 수 있다.

가. 전송속도 및 전송거리

ADSL 시스템과는 달리 VDSL은 대칭형/비대칭형 데이터 전송을 허용하고 있다. <표 6>은 VDSL 시스템이 목표로 하는 비대칭형 서비스의 전송속도와 전송거리를 비교하여 나타낸 것이다.

<표 7>은 VDSL 시스템이 목표로 하는 대칭형 서비스의 전송속도와 전송거리를 비교하여 나타낸 것이다. 이들 대부분은 ATM 접속을 제공한다는 의도로 설정된 것이다.

<표 6> VDSL의 비대칭형 서비스 목표

거리 구분	하향스트림 전송 속도(Mbps)	상향스트림 전송 속도(Mbps)	전송거리 (kft)
Short	52	6.4	1
Medium	26	3.2	3
Long	13	1.6	4.5
Long	6.5	0.8	6

<표 7> VDSL의 대칭형 서비스 목표

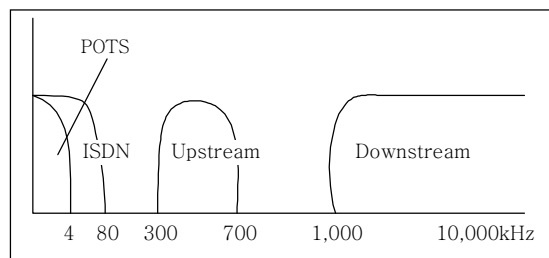
거리 구분	하향스트림 전송 속도(Mbps)	상향스트림 전송 속도(Mbps)	전송거리 (kft)
Short	26	26	1
Medium	13	13	3
Long	6.5	6.5	4.5

나. 주파수 할당

VDSL 시스템을 위한 주파수대역은 다른 xDSL 기술과의 호환성과 무선주파수 간섭(Radio Frequency Interference: RFI) 등을 고려하여 할당하여야 한다. (그림 7)에 VDSL 시스템의 기본 전력밀도스펙트럼(Power Spectra Density: PSD)을 도시하였다. 1.1 MHz~20MHz 대역에 대하여 -60dBm/Hz의 전력밀도스펙트럼을 기본적으로 확보하여야 하며, 이 대역을 스펙트럼의 유효영역으로 하고 나머지 대역은

sideband에 해당한다.

ADSL과 겹치는 주파수대역에 대해서는 다른 ADSL 시스템과의 혼신(crosstalk)에 의한 손상을 방지하기 위하여 스펙트럼 roll-off를 준다. 또한, 주어진 VDSL 대역을 사용하여 운영되는 POTS 혹은 ISDN의 연결을 위하여 splitter를 장착한다.



(그림 7) VDSL 시스템의 주파수대역 할당(예)

3. VDSL 변조방식

앞에서 설명한 VDSL 시스템 요구조건을 만족하는 여러 가지 변조방식들이 개발되었다. 이들을 그 특성에 따라 분류하면 다음과 같은 두 가지 범주로 구분할 수 있다.

- TDD: time-domain duplexing
- FDD: frequency-domain duplexing

가. TDD

TDD는 시간영역을 분할하여 두 지점 사이의 송수신을 Half-duplex 모드로 처리하는 접근방식이다. 하나의 모뎀이 전송하는 동안 상대방 모뎀은 수신하고, 약간의 시간간격을 두며 다시 반대방향의 전송을 수행한다. 따라서 TDD 접근방식에 있어서는 각 방향에 대하여 전체 주파수대역을 모두 전송에 할당할 수 있으므로 특별히 상향/하향스트림 주파수대역을 분리할 필요가 없다.

TDD를 이용하는 변조방식 중 가장 보편적인 것은 SDMT(Synchronous Discrete Multitone Technology)이다. 이것은 DMT ADSL 시스템과 근본적으로 동일한 시스템으로, 전송속도와 주파수대역을 달리

하는 이유로 FFT/IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 크기가 서로 다르며 송신기 출력을 gating 할 수 있는 기능이 첨가되어 있다. 대부분의 블록들이 DMT ADSL 시스템과 동일하지만, 각 블록의 구현은 VDSL 개념에 따라 이루어져야 한다.

- SDMT 변조기

SDMT 변조기는 Constellation 인코더로부터 256개의 복소수를 받는다. 이들의 값은 각 Constellation 점을 표시하며, 실수부는 cosine-wave의 크기를, 허수부는 sine-wave의 크기를 나타낸다. 따라서 변조를 위한 IFFT가 수행된다. 여기서 복소수 Z 는 그 공액복소수와 대칭성을 가진다. 따라서 IFFT의 출력으로는 512개의 시간영역 실수값이 나타난다. 이는 DMT ADSL 송신기의 하향스트림 채널에서와 동일한 과정이다.

- Cyclic Prefix 블록

변조기로부터 인가되는 512-point의 시간영역 복소수의 Prefix로 64 이하의 정수인 L 개의 샘플포인트를 첨가한다. 이러한 Cyclic Prefix를 첨가하는 것은 하나의 채널이 순환적을 완성하도록 하여 주파수영역에서 Equalization이 수행될 수 있도록 하는 것이다. 512개의 시간영역 샘플과 L 개의 Cyclic Prefix 샘플을 합쳐 하나의 SDMT 심볼을 구성하게 되는 것이다.

- RFI 제거회로

일반적으로 SDMT 수신기의 선단에는 RFI 제거회로를 둔다. 이는 근처의 무선기기로부터 발생할 수 있는 전파방해를 차단하기 위한 것이다. 일반적으로 이는 A/D 변환 이전에 설치되어 수신신호에 최소의 양자화 오류를 포함할 수 있도록 설계된다.

나. FDD

FDD 접근방식은 전송에 있어 ADSL 시스템을 구성하는 원리와 유사하다. 이는 상향스트림과 하향스트림에 별도의 주파수대역을 할당함으로써 Full-duplex 모드로 동작한다. 이 범주에 적용할 수 있는 변조방식은 CAP/QAM 및 DMT 등이 있다.

- CAP/QAM 변조를 이용한 FDD 시스템

CAP/QAM 변조방식을 이용한 VDSL 시스템의 기본구조는 주파수분할방식으로 ADSL 시스템의 그것과 유사하다. 그러나, VDSL 시스템에 있어서는 대칭형과 비대칭형 전송에 대하여 모두 구현해야 한다는 조건이 부여된다.

비대칭형 서비스에 있어서는, 1.12MHz~2.12MHz의 상향스트림 채널과 2MHz~18MHz의 하향스트림 채널에 대하여 적절한 전송속도와 Constellation 크기를 구현해야 한다. 한편, 대칭형 서비스에 있어서는, 1.12MHz~1.6MHz 및 11.30MHz~19.8MHz 등 두 가지 대역의 상향스트림 채널과 이들을 포함하여 2.4MHz~10.7MHz 등 세 가지 대역의 하향스트림 채널을 구현하여야 한다.

- DMT 변조를 이용한 FDD 시스템

DMT 변조를 이용한 FDD VDSL 시스템은 최근에 개발된 기술로 ‘Zipper’라 부른다. Zipper는 2,048개의 Tone을 사용하는 시간동기형 DMT 변조라고 할 수 있다. 각 부채널(subchannel)은 5.309kHz의 대역을 갖는다. 하나의 부채널은 상향스트림 전송이나 하향스트림 전송에 사용될 수 있으나 양방향으로는 사용될 수 없다[9].

V. 결론 및 향후 연구방향

국내 ADSL 장비 시장규모는 2000년까지는 약 240만 가입자에게, 2002년까지는 125% 증가한 550만 가입자에게 ADSL 장비가 보급될 전망이며, '99년부터 2000년 상반기에 공급한 총 130만 회선 중 국산은 31만 회선으로 국산보급률이 24%에 미치고 있다. 한편 국내 기술개발 현황은 현재 ADSL 장비의 부품 국산화율이 약 40% 수준이고, 일부 기업에서 U ADSL 칩셋을 개발하고 계속하여 2000년 11월까지 ADSL 핵심 칩을 개발중에 있다. 그리고, 차세대 DSL인 VDSL 모뎀 칩을 한국전자통신연구원에서 2000년 12월까지 개발할 예정이다.

따라서 ADSL의 경우는 외국 제품을 도입하여 시

협 설치 운용하거나 외국의 부품 제조 회사로부터 핵심 부품을 공급받아 일부 개발되어 시험 운용되고 있으나, ANSI 및 ETSI에서 표준으로 채택하고 있는 DMT 방식과는 달리 비표준인 CAP 방식으로 구성되어 있어, 제품간 상호호환성이 없는 등 국내 기반 기술이 매우 취약하다. 한편 HDSL 칩셋은 최근에 외국 업체에서 활발하게 개발중에 있으나, 아직 국제적인 기술표준이 미흡하고, 국내에서는 국내 기술표준이 마련되지 않은 상태에서 기존 T1/E1의 전송 시설이 없는 구간에서 시험 운용되고 있으나 제품간 상호호환성이 문제가 되고 있다.

VDSL 시스템은 기존의 전화선 가입자에게 고속 하향 데이터 전송서비스를 제공하기 위한 전송기술이다. 이 기술을 이용하여 FTTH로 가기 위한 중간자 역할을 하리라 예상된다. VDSL 시스템은 하향 13 Mbps~55Mbps, 상향 1.6Mbps~19.2Mbps의 전송속도를 초기에는 비대칭으로, 후에는 양방향 대칭 전송속도를 제공할 것이다. VDSL 기술의 문제점으로는 앞으로의 고속 상/하향 대칭 데이터 전송시의 방향을 제거하는 문제, 다양한 선로에 맞는 전송속도를 유지하는 문제, ADSL 보다 가격면에서 저렴해야 하는 문제점이 있고, 이 문제의 해결에 VDSL 기술의 성공여부가 달려있다.

xDSL 시장은 기술적 대안의 난립에도 불구하고 막대한 시장 잠재력으로 인해 평가는 낙관적이다. 그

러므로 경쟁력 있는 국산 xDSL 제품이 조기에 공급될 수 있도록 VDSL 등 차세대 DSL 기술개발을 추진하고, 개발결과를 국제표준화하고 국제표준화 흐름을 국내 통신망 정책에 조기 반영한다.

참고 문헌

- [1] 김재열, "초고속 통신망 구축기술," 한국통신학회지(정보통신), 제15권 제3호, 1998년 3월, pp. 33-44.
- [2] 한국전산원, 초고속 정보통신 정책동향 발전방향 연구, 1996년 12월.
- [3] "What is DSL and xDSL," www.whatis.com/dsl.htm
- [4] "xDSL Technology," www.tuketu.com
- [5] P. Warrior and B. Kumar, *xDSL Architecture*, McGraw-Hill, 2000.
- [6] K. Maxwell, "Growth of Copper Access Lines," www.adsl.com.
- [7] "General Introduction to Copper Access Technologies," www.adsl.com.
- [8] ADSL Forum System Reference Model, TR-001.
- [9] D.J. Rauschmayer, *ADSL/VDSL Principles, A Practical and Precise Study of Asymmetric Digital Subscriber Lines and Very High Speed Digital Subscriber Lines*, MacMillan, 1999.
- [10] J.M. Cioffi and S. Olcer *et al.*, *Very High-Speed Digital Subscriber Line*, IEEE Comm. Mag., Vol. 38, No. 5, May 2000, pp. 62-119.