

論文2002-39CI-1-8

멀티미디어 통신망 VDSL 시스템의 전송속도 분석

(Analysis of Data Rate for Multimedia Network VDSL System)

朴仁政*, 梁根模*, 吳勝祿*

(In-Jung Park, Keun-Mo Yang, and Seung-Rok Oh)

요 약

본 논문에서는 ADSL, ISDN, HDSL과 같은 이종의 DSL이 VDSL과 함께 케이블 다발내에 존재할 때 발생하는 누화 환경과 노이즈가 있는경우의 VDSL 시스템 성능을 분석하였다. 기존의 연구를 토대로 ANSI 표준문서와 FSAN의 제안서를 참조하여 VDSL관점에서 ANSI DSL Standard Group T1E1.4에 제시된 VDSL Test Loop를 사용하였다. 이론적인 속도를 내는 방식과 DMT을 적용한 방식에 대한 전송 속도를 측정하였다. 또한 누화 잡음에 대한 영향을 평가하기 위해 이종의 DSL을 포함하는 FSAN "Noise model A" 와 "Noise mode F"를 사용하였으며, WGN과 25개의 VDSL에 대한 self-NEXT, self-FEXT를 고려하였다. VDSL 전송 능력 실험을 위해 Matlab tool을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. 실험을 통하여 VDSL 시스템의 전송 속도를 감소시키는 주된 요소로 동일 케이블 다발에 이종의 DSL 선로가 존재할 때에 발생하는 누화에 의한 영향을 확인하였다. 또한 Noise Model F를 적용한 경우가 Noise Model A를 적용한 경우 보다 더 큰 속도 저하가 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, data rate of VDSL system was analyzed in noise and crosstalk environment. For this paper, Matlab tool was used to analyze the performance of VDSL system. Various "VDSL Test Loop" are used which is suggested by ANSI DSL Standard group T1E1.4. Many parameters, "Noise Model A", "Noise Model F", duplex method VDSL-998 which is suggested FDD plan by ANSI is used. The most of conditions for simulation are followed to the ANSI Standard "Spectrum management". Lots of data have been obtained according to the different conditions of the test loops. The result shows that the data rate of VDSL system is decreased due to the other DSL signals in the same cable bundle. And also there was more reduced data rate in case of Noise Model F than that of Noise Model A.

I. 서 론

DSL 기술의 한 종류로 동선을 이용하여 이론상

* 正會員, 檀國大學校 電子컴퓨터工學部

(Department of Electronics and Computer, Dankook University)

※ 이 연구는 2001년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

接受日字:2001年8月6日, 수정완료일:2001年1月4日

VDSL(Very high-bit-rate Digital Subscriber Line)은 asymmetric(비대칭) 전송시 최대 52Mbps까지 전송할 수 있는 초고속 통신망에 사용되는 기술이다.^[2~3] VDSL 시스템은 제한된 거리와 RF발생 그리고 동일 케이블다발에 ADSL, ISDN, HDSL등 다른 이종의 DSL 서비스가 발생시키는 누화 잡음에 대한 문제가 있다.

본 논문은 VDSL 시스템에서 발생될 수 있는 속도 저하에 대한 요인을 분석하기 위해 기존의 유사 연구에 대하여 살펴본다. 기존 논문에서도 DSL 전송 능력 분석으로 ADSL관점에서 이종 DSL(ISDN, HDSL)을 포함시켜

전송 속도가 분석되었으며 VDSL은 포함되지 않았다. 또한 VDSL 전송 능력 평가를 위해 20개의 VDSL FEXT, HAM 조건 하에서 test loop 1y의 short, medium, long인 경우로 나누어 분석하였고 VDSL test loop 5, 6, 7을 이용하였으나 복잡한 형태의 noise model을 적용하여 비교 분석하지는 않았다.

본 논문에서는 기존의 연구를 토대로 ANSI 표준문서와 FSAN의 제안서를 참조하여 VDSL과 이종의 DSL이 같은 케이블 다발내에 존재할 때 VDSL 전송 능력을 평가한다. VDSL관점에서 ANSI DSL Standard Group T1E1.4에 제시된 VDSL Test Loop를 사용하며, 현재 표준화 진행중인 이론적인 속도를 내는 방식과 DMT을 적용하여 이에 따른 전송 속도를 측정하였다. 또한 누화 잡음에 대한 영향을 평가하기 위해 이종의 DSL을 포함하는 FSAN "Noise model A"와 "Noise mode F"를 사용하고, WGN과 25개의 VDSL에 대한 self-NEXT, self-FEXT를 고려한다.^[4,6]

II. VDSL의 잡음원

잡음원에 대한 외부의 요소로는 impulse noise, WGN(White Gaussian Noise),이종의 DSL 시스템의 영향 등이 있고, 내부의 요소로는 NEXT(Near-end crosstalk), FEXT(Far-End crosstalk)와 같은 누화잡음, 브리지드 탭(BT)에 의한 영향등 다양한 형태로 나타나고 있다^[6]. 이는 채널의 신호 감쇄를 유발하여 전송속도를 떨어뜨리는 주요한 요인이 된다. 한편 WGN(White Gaussian Noise)은 -140dBm/Hz로 규정하는데 그 크기가 미약하여 영향을 거의 주지 않는다. 그림 1은 누화잡음, BT 및 RFI 등의 복합된 잡음원의 주파수 특성을 보여 주고 있다.

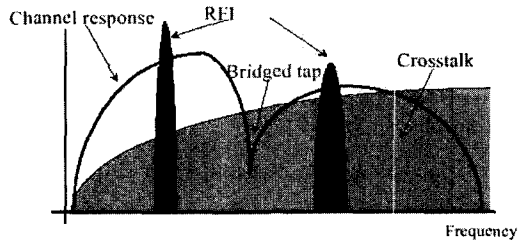


그림 1. 잡음원 crosstalk, BT 및 RFI의 주파수 특성
Fig. 1. Frequency Response for crosstalk, BT, and RFI in noise source.

1. 임펄스 잡음

임펄스 잡음은 짧은 시간(최장 500 μ s의 지연)의 강한 에너지이며 UTP (Unshielded Twist Pair)선을 사용할 경우 번개나 dimmer, hair dryer에 의하여 발생하는 충격잡음은 정상적인 신호를 일시적으로 무력하게 할 수 있다. Impulse noise는 예측하기가 불가능할 정도로 발생되므로 안전하지 못한 VDSL 시스템은 경우에 따라 정상적인 서비스를 못하게 하는 장애 요소가 된다. 일반적으로 DSL 시스템에서는 impulse noise의 영향을 완화하기 위해 시스템에 6dB정도의 여유를 둔다.

2. 누화잡음

하나의 선로로부터 원하지 않은 신호가 다른 선로에 영향을 주는 것을 선로 누화(crosstalk) 또는 누화 신호라고 한다. VDSL 시스템에서는 두 근단누화(NEXT)와 원단누화(FEXT) 두 종류의 누화에 대해서 설명할 수 있다. 또한 누화 신호의 종류는 크게 동질 누화 신호(self crosstalk)와 이질 누화 신호(alien crosstalk)로 나누어진다^[3,5]. 동질 누화 신호는 같은 전송 방식과 주파수 대역을 사용하는 전송 시스템으로부터 흘러 들어오는 누화 신호

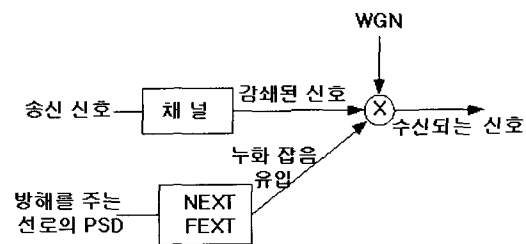


그림 2. 잡음원을 고려한 케이블의 입출력 신호
Fig. 2. IN/OUT signal considered noise source of cable.

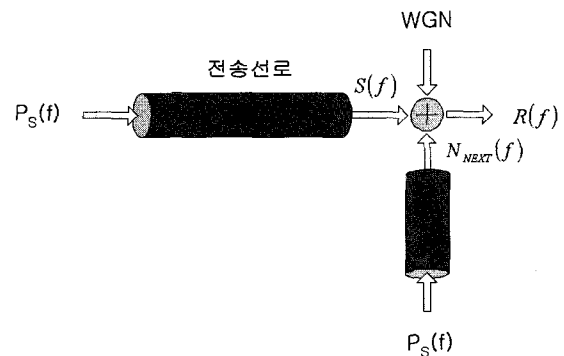


그림 3. 잡음원을 고려한 케이블의 입출력 신호 모델
Fig. 3. IN/OUT model considered noise source of cable.

를 말하고 이질 누화 신호는 이와 다른 전송방식 또는 주파수 대역을 사용하는 전송 시스템으로부터 흘러 들어오는 신호를 말한다.^[7] 그림 2는 유럽식 케이블에서 나타나는 선로간의 NEXT와 FEXT가 나타날 수 있는 케이블이고 그림 3은 이에 대한 모델이다.

수신되는 신호 $R(f)$ 와 신호대 잡음비 $S(f)/N(f)$ 는 식 1과 식 2로 주어진다.

Power Spectral Density(PSD, 전력 스펙트럼 밀도)는 정보를 포함한 신호가

전송채널을 통해 송출될 때 주파수 영역에 얼마나 많은 전력(power per unit bandwidth)을 분포되어 있는지를 보여준다. 신호와 잡음은 PSD로 표현되고 decibel milliwatts per Hertz(dBm/HZ)로 표시된다.

$$R(f) = S(f) + N(f) \quad (1)$$

$$N(f) = WGN + N_{NEXT}(f)$$

$$N_{NEXT}(f) = P_S(f) \cdot X_{NEXT}(f)$$

$$\frac{S(f)}{N(f)} = \frac{P_S(f) \cdot |H(f)|^2}{N(f)} \quad (2)$$

식 3과 식 4는 NEXT, FEXT에 대한 PSD에 대한 식이다.

$$PSD_{NEXT} = PSD_{disturber} \cdot K_{next} \cdot (N/49)^{0.6} \cdot f^{1.5} \quad (3)$$

$$PSD_{FEXT} = PSD_{disturber} \cdot K_{fext} \cdot |H(f)|^2 \cdot (N/49)^{0.6} \cdot d \cdot f^2 \quad (4)$$

- N : 누화를 주는 이웃 TP의 개수(Number of crosstalk) ($N < 50$)
- d : 전송선로의 길이(Length of Loop in feet)
- $H(f)$: 전송선로의 전달함수(Transfer function)
- f : 주파수(frequency, Hz)

3. 브리지드 탭

기존에 사용되던 종단처리 되지 않은 선로를 사용할 때 신호 전송에 문제가 생긴다. 이때 만약 선로 길이가 보내는 신호의 1/4 파장에 해당되는 길이라면 선로의 끝에서 신호가 전달되어 반사되어 되돌아온다. 신호의 전체 파장은 1/2이 됨으로 반사되어 오는 신호 중 일부는 그 위상이 반전되어 원 신호를 방해하여 채널에 notch를 발생시켜 신호의 감쇠를 초래한다. 이렇게 사용되지 않는 선로는 loop에 병렬로 연결되어있고 종단처리를 하지 않은 개방 회로 상태로 있는데 이것을 Bridged Tap(BT)이라 한다.

그림 4의 BT에 대한 그림에서 d_1 , d_2 와 d_{BT} 를 같

은 종류의 선로를 사용하고 신호와 부하의 임피던스가 특성 임피던스에 동일하다면 이때의 삽입 손실은 식 5과 같이 주어진다.

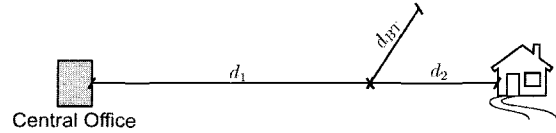


그림 4. 브리지드 탭의 형태
Fig. 4. Line model with bridged tap.

$$T_{LL}(f) = \frac{e^{-\alpha d_1 + d_2}}{1 + \frac{1}{2} \tanh \gamma d_{BT}} \quad (5)$$

여기서 d_{BT} 는 원 선로에서 연결되어 있는 BT segment의 길이이고 d_1 은 CO에서 BT까지 그리고 d_2 는 BT에서 가입자까지의 길이이다.

VDSL은 높은 주파수 대역을 사용하는 시스템인데 Short BT들에 의한 영향이 상당히 심각하기 때문에 (예를 들어, Bridged Tap의 길이가 약 3~30m (10~100ft)인 경우 선로 감쇄 즉, notch가 약 30dB 정도로 추가된다^[4]. VDSL 시스템 설치 시에는 BT를 제거해야 한다.

III. 실험 환경

1. 시뮬레이션 툴 및 환경

본 논문에서는 VDSL 전송 능력을 측정하기 위해 ANSI DSL Standard Group T1E1.4에 제시된 VDSL test loop를 기본으로 사용하였다. line code 방식에 대한 적용은 이론에 따라 계산하는 방식인 “VDSL-theo”과 DMT를 적용한 “VDSL-DMT”에 따른 전송 속도를 측정하였으며, 보다 복잡한 VDSL 시스템의 구성에 대한 실험을 위해 FSAN “Noise Model A”와 “Noise Model F”, WGN 및 25개의 VDSL에 대한 self-NEXT, self-FEXT를 고려하였다.^[8]

본 논문의 실험을 위해 “Telecommunications Research Center Vienna”에서 제공하는 “xDSL simulation tool 2.01”을 사용하였으며, 이 프로그램은 Matlab 환경하에서 사용된다. 이 시뮬레이션을 본 논문에 적용하기 위해 다음 사항을 적용하였다. 사용되는 선로로는 ANSI의 표준에 근거하여 작성된 소스를 사용하였다. 이 소스는 선로의 감쇄에 대한 특성값이 입력되어 있다. 중요한 환경 요소 중 duplexing 방법은 FDD를 사용하였고, spectral

plan으로 ANSI 규격인 998을 사용하였다. 또한 VDSL-DMT에 사용되는 매개 변수로 Shannon gap은 5.6dB, SNRref는 9.8dB, xtalk_margin은 6dB, signal_margin은 0dB, coding_gain은 4.2dB, SNRmax = 48dB(11*3 + (SNR ref + xtalk_margin - coding gain), Maximum Power는 11.5 dBm, Efficiency Loss는 10.00%, BER = 10^{-7} , Sample rate는 35.328MHz, 부채널당 대역폭은 4.3125KHz, 사용된 부채널 수는 4096개, ZL = ZS = 130 ohm, 그리고 WGN은 -140 dBm/Hz이다.

2. 시험 선로

본 논문에서 사용되는 VDSL 전송 채널의 시험 모델은 그림 5에 예시한 바와 같이 ANSI T1E1.4 DSL Standard Group에서 제안하고 있는 VDSL 시스템의 시험과 평가를 위한 "VDSL Test Loop"이다^[4,6]. Test loop VDSL 1은 TP1 (0.4 mm; 26-AWG)와 TP2 (0.5 mm; 24-AWG)를 적용하며 short range는 1000ft(457.2m), medium-range는 3000ft(914.4m), long-range는 4500ft(1,376m)를 나타내고 있다. 본 논문의 실험에는 VDSL test loop 1의

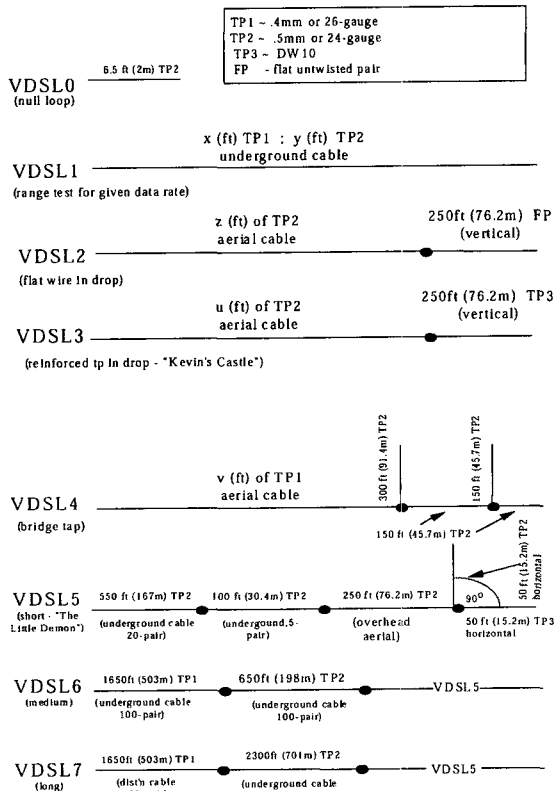


그림 5. ANSI 표준형 VDSL 시험 루프
 Fig. 5. VDSL Test Loop (ANSI).

TP2만을 기준 선로로 적용하여 3종류의 선로를 사용하였으며, VDSL 5부터 VDSL7까지는 이중 심선의 영향을 고려한 VDSL test loop 3 종류, 총 6개가 사용되었다.

3. 잡음 모델

그림 6는 VDSL 시스템에 영향을 주는 노이즈와 누화 잡음에 대한 그림이고 본 논문에서 사용되는 잡음원들이다.

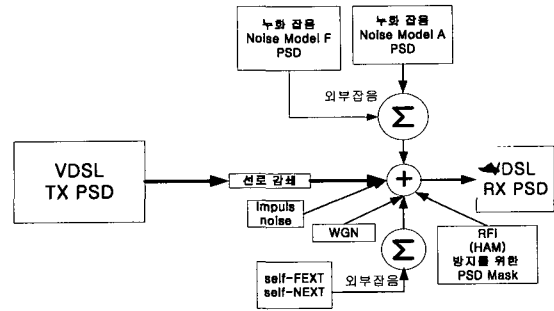


그림 6. VDSL 시스템의 잡음원
 Fig. 6. Noise Source for VDSL system.

VDSL 전송 능력에 주된 영향을 끼치는 누화 잡음으로는 내부 누화 잡음과 외부 누화 잡음으로 나누어서 실험하였다. 이를 위해 본 실험에서는 25개의 VDSL의 내부 누화 잡음으로써 self-FEXT는 전송 PSD에 대해 -45 dBm(1MHz 기준) 만큼 작고, self-NEXT는 -50dBm 만큼 작은 신호를 이용하였다. 또한 WGN은 -140dBm/Hz 로써 주파수에 대해 일정한 값계 하였다.

두 종류의 외부 누화 잡음을 생성하기 위해, ANSI에서 제시한 Noise Model A와 Noise Model F를 이용하여 실험하기로 하였다. Noise Model F는 FTTEex과 이중의 DSL로 이루어지고 Noise Model A는 FTTCab과 이중의 DSL로 이루어진다. 각 경우는 그림 7에서 예시된 Exchange(전화국)와 Cabinet(ONU)와의 거리 L1와 L2 및 L3에 대해 반영되는 즉, 거리에 대해 잡음에 종속되는 PSD를 갖는 VDSL 시스템환경이다. 누화 잡음으로 VDSL 시스템들에 의한 self-crosstalk과 VDSL을 제외한 DSL 시스템으로부터 유입되는 alien-crosstalk이 있다. NEXT 잡음은 이중의 DSL이 L1구간을 지나면서 ONU에서는 거리에 대해 NEXT-O와 FEXT-R 신호가 감쇄를 할 것이며 이때 L1(26-AWG)은 3281ft (1km)로 고정하였으며, L2는 ANSI VDSL test loop에 따르며, L3는 0km이다. 외부 누화 잡음 표본인 Noise Model A는 FTTCab 구조에 10개 정도의 통신 선로를 갖고 full rate ADSL을 포함한 VDSL 시스템을 가지는 복합적인 구조

이다. 이때 LT는 Cabinet(ONU)에 위치한다. VDSL 시스템 외의 다른 시스템의 잡음에 의해 VDSL 신호는 감쇄된다. 이때 이종의 DSL으로는 10개의 ADSL, 16개의 ISDN, 4개의 HDSL을 가정하였으며 이에 대한 LT와 NT에서의 noise PSD는 ANSI에서 제시한 값을 사용하였다.

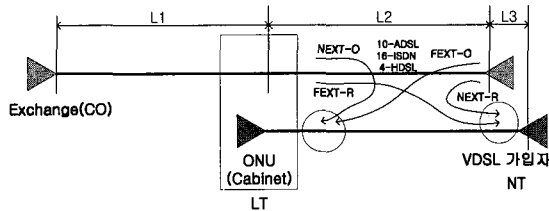


그림 7. 잡음모델 F
Fig. 7. Noise Model F.

그림 8은 또 하나의 외부 누화 잡음 표본인 Noise Model F로써 FTTEx 구조에 수 십개의 전송 선로와 이종의 DSL 시스템과 함께 VDSL 시스템을 위한 선로가 전화국으로부터 같은 케이블에 공존하게 된다. 이때 LT는 전화국(Exchange/CO)에 위치하게 된다. 이때 이종의 DSL로는 10개의 ADSL, 16개의 ISDN, 4개의 HDSL 및 2개의 T1을 가정하였으며 이에 대한 LT와 NT에서의 noise PSD는 ANSI에서 제시한 값을 사용하였다.

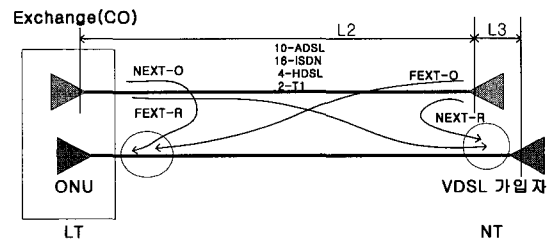


그림 8. 잡음모델 F
Fig. 8. Noise Model F.

IV. 결과 및 검토

이 장에서는 III장에서 보여준 실험 환경에 따라 다음과 같이 2 종류의 실험을 수행하였다.

1. 이론치와 DMT Line code에 따른 전송 속도 측정 및 각각 외부의 누화 잡음 환경인 Noise Model A와 Noise Model F에 대한 전송 속도 측정
2. VDSL-DMT에 대해 이종의 DSL에서 발생하는 누화 잡음원과 RFI의 영향을 받지 않기 위해 HAM 주파수 대역에 notch를 형성하여 VDSL 전송 속도를 측정

첫번째 실험은 두 종류의 "VDSL-theo"와 VDSL-DMT에 대해 누화 잡음을 가하지 않은 경우에 이론치와 DMT간의 성능을 측정 비교하였고, 또한 누화 잡음 요소인 Noise Model A와 Noise Model F에서의 전송속도를 측정하였다.

외부의 간섭을 고려하지 않은 경우, 이론적인 VDSL 전송방법에 대해 DMT를 사용한 VDSL의 전송속도가 평균적으로 97%에 달했다.

표 1. 누화환경에서 VDSL 시스템의 전송 속도 비교

Table 1. VDSL system Data rate with cross-talk. (단위 : Mbps)

X-talk		None X-talk		Noise Model A		Noise Model F		
		Theory	DMT	Theory	DMT	Theory	DMT	
Loop 1 (TP2)	S	DS	36.11	36.03	32.69	32.30	24.60	23.72
		US	16.31	16.19	16.13	15.84	15.51	15.31
	M	DS	29.43	29.41	26.03	25.20	9.86	5.32
		US	9.14	8.10	9.08	7.47	3.56	1.37
	L	DS	18.64	17.69	15.43	14.29	1.21	0.35
		US	2.83	2.54	2.81	2.28	0.03	0.00
	Loop 5	DS	40.00	39.85	36.54	36.14	27.55	26.88
		US	19.10	18.89	18.84	18.33	18.14	17.21
	Loop 6	DS	23.64	22.58	19.81	17.72	2.07	0.52
US		4.72	4.53	4.79	4.03	0.23	0.00	
Loop 7	DS	12.60	12.23	9.25	8.50	0.12	0.00	
	US	0.26	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	

TP 2 : type y, 0.5 mm (24-AWG) 심선
Loop 5, 6, 7의 전체 길이 : 289.56m, 990.6m, 1493.52m

두 번째 실험은 VDSL-DMT 시스템에 대해 VDSL test loop 1, TP2, short, medium, long와 loop 5, 6, 7에 대해 모든 실험 조건을 사용하였다. 즉, 이종의 DSL에서 발생하는 누화 잡음을 적용하기 위해 Noise Model A와 Noise Model F를 이용하고, RFI의 영향을 받지 않게 하기 위해 KARL-HAM band와 겹치는 VDSL band에 notch를 형성한 PSD를 이용하여 측정된 전송 속도를 비교 검토하였다.

VDSL-DMT를 적용하고 외부의 간섭이 있는 경우와 없는 경우의 전송 속도를 비교할 때, 외부의 간섭이 없는 경우에 대해 downstream과 upstream을 포함한 전체 평균 전송 속도에 대해 첫째 RFI 방지를 위해 notch 형성한 PSD를 사용하고 Noise Model A를 적용한 경우 평균

86.96%에 달하고, 둘째 RFI 방지를 위해 notch 형성한 PSD를 사용하고 Noise Model F를 적용한 경우 평균 43.18%로 됨을 확인하였다.

특히 Noise Model F를 적용한 경우가 Noise Model A를 적용한 경우 보다 더 큰 속도 저하가 있음을 확인하였다.

표 2. VDSL-DMT에 잡음원이 인가됐을 때의 전송속도 비교

Table 2. VDSL-DMT Data rate with Noise source. (단위 : Mbps)

Test Loop	X-talk	None X-talk	Noise Model	Noise Model	
		및 none RFI	A 적용	F 적용	
Loop 1 (TP2)	S	DS	36.23	32.28	23.20
		US	16.19	15.84	15.24
	M	DS	29.41	24.78	5.52
		US	8.10	7.46	1.37
	L	DS	17.69	14.07	0.35
		US	2.54	2.25	0.00
Loop 5	·	DS	39.85	36.14	26.58
		US	18.89	18.33	17.13
Loop 6	·	DS	22.58	17.52	0.52
		US	4.53	4.01	0.00
Loop 7	·	DS	12.23	8.40	0.00
		US	0.00	0.00	0.00

IV. 결 론

본 논문은 노이즈와 누화 환경에 대한 VDSL 시스템의 전송 능력을 분석하였다. VDSL 서비스와 이종의 DSL 서비스가 동일 케이블 다발에 공존할 때 VDSL의 전송 속도를 저하시키는 누화 환경을 밝혀내었다.

본 논문에서는 노이즈와 누화 환경에 따른 VDSL 시스템의 전송 능력을 평가하기 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 이를 위해 Line code 방식 VDSL-theo와 VDSL-DMT을 적용하였다. 사용된 선로 모델로는 ANSI에서 제공되는 VDSL Test Loop 1, TP2, Short, Medium, Long과 loop 5, 6, 7를 사용하였다. 그리고 외부의 누화 잡음원으로 ANSI에서 발표된 FSAN "Noise model A"와 "Noise mode F"을 적용하였으며 또한 WGN을 적용하였다. 내부의 누화 잡음으로 25개 VDSL에 대한 self-NEXT, self-FEXT를 고려하였다. VDSL-DMT를

적용하고 외부의 간섭이 있는 경우와 없는 경우의 전송 속도를 비교할 때, 외부의 간섭이 없는 경우에 대해 downstream과 upstream을 포함한 전체 평균 전송 속도에 대해 첫째 RFI 방지를 위해 notch 형성한 PSD를 사용하고 Noise Model A를 적용한 경우 평균 86.96%에 달하고, 둘째 RFI 방지를 위해 notch 형성한 PSD를 사용하고 Noise Model F를 적용한 경우 평균 43.18%로 됨을 확인하였다. 결론적으로 위의 결과를 통해 VDSL 시스템이 기존의 DSL이 설치되어 있는 케이블 다발에 추가로 설치될 때 이종의 DSL이 VDSL 시스템에 영향을 주어 전송 속도가 감소함을 확인하였다.

보다 이상적인 VDSL 시스템의 전송 능력을 평가하기 위해서는 보다 다양한 선로 조건이나 국내 실정에 맞는 선로를 이용하거나, 실제 VDSL 서비스를 대상으로 전송 능력 평가가 수행되어야 하겠지만, 본격적으로 상업적인 서비스를 하기 전에 가능한 다양한 VDSL 망의 형태를 미리 구상하고 이를 시뮬레이션하여 네트워크의 상태를 예측하는데 본 연구의 의미가 있다고 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 강규민, 임기홍, "VDSL 가입자 전송기술 개발 및 표준화 동향", 한국통신학회지, 제 16권 10호, pp.1214-1226, 1999년 10월
- [2] 멀티미디어 통신기술(xDSL 중심) 워크샵 프로시딩, 대한전자공학회 멀티미디어연구회, 1999년 11월 11일-12일
- [3] 초고속 멀티미디어 통신네트워크 "ADSL 및 VDSL 기술 강좌", 한국xDSL포럼, 2001년 2월 19일-20일
- [4] ANSI T1E1.4/2001-009R3 "Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line(VDSL) Metallic Interface, Part1:Functional Requirements and Common Specification", Feb 19-23, 2001.
- [5] 전원기, 조용수 외, "DMT방식의 xDSL 모델 기술", 한국통신학회지, 제 16 권 10 호, pp.1239-1257, 1999년 10월
- [6] ANSI T1E1.4/2000-013R4 "Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line(VDSL) Metallic Interface, Part3 : Technical Specification for a Multi-Carrier Modulation Transceiver", November 13-17, 2000.

[7] John W.Cook, et al. BT Laboratories, "The Noise and Crosstalk Environment for ADSL and VDSL Systems", IEEE Communications Magazine, pp. 73-78, May 1999.

[8] FSAN VDSL Workshop, Lucent, "VDSL Coalition Proposal on Transmission Method", Boston October 7-8, 1998.

저 자 소 개



朴 仁 政(正會員)

1948년 1월 28일생. 1974년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1980년 8월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1986년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1977년 6월~1979년 2월 대한통신공업주식회사, 1981년 3월~현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 교수, 1988년 10월~1989년 7월 미국 Bowling Green 주립대학 객원교수. 1996년 1월~현재 대한전자공학회 이사. 1999년 1월~2000년 12월 대한전자공학회 멀티미디어연구회 위원장. 2000년 7월~현재 한국xDSL포럼 의장. 멀티미디어 기술사회 이사. 주관심 분야는 멀티미디어 신호처리, 통신망, 인터넷방송/TV 등임



梁 根 模(正會員)

1969년 4월 25일생, 1994년 3월 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 3월~1998년 10월 (주)오에이 전자 근무. 2001년 8월 단국대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 주관심분야는 xDSL(VDSL), Network(VoIP, VoDSL), Embedded Systems 등임



吳 勝 祿(正會員)

1957년 11월 4일생. 1980년 한양대학교 전기과 학사(공학사). 1988년 Polytechnic University(New York) 전기 전자과 (공학석사). 1994년 Michigan State Univ. 전기 전자과 (공학)박사. 1988년~1990년, 1994년~1995년 한전 전력 연구원 근무. 현재 단국 대학교 전자 공학과 조교수. 연구 관심 분야: xDSL 관련 신호처리, xDSL 응용