

VDSL system에서 FEXT 제거 방안에 대한 연구

*김우정, 박준, 권이정, 송상섭
전북대학교 전자공학과

Study on FEXT cancel in VDSL system

*Woo-Jeong Kim, June Park, Yi-Jeong Kwon, Sang-Seob Song
Department of Electronics Engineering
Chonbuk National University

e-mail : trial76@hanmail.net

Abstract

VDSL(Very-high-rate Digital subscriber Line) have a severe FEXT(Far-End Crosstalk). This paper proposes FEXT cancelation scheme in VDSL system. The scheme is GDFE(Generalize Decision Feedback Equalizer) and Vectored-DMT (Discrete Multitone). Feedback part of GDFE decreases FEXT noise. Canceler and Precoder block a part of Vectored-DMT eliminate FEXT. After all, simulation result shows improvement of transmit and receive speed.

I. 서 론

현재 데이터의 전송량이 급증함에 따라 많은 고속화 기술이 제시 되고 있다. 기존에 사용되고 있는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 기술은 먼 거리에도 하향 8Mb/s 상향 840kb/s의 속도를 제공한다. 하지만 가입자 수를 늘리기 위해 실제로 제공되는 속도는 하향 2Mb/s 상향 160kb/s로 상당히 낮은 속도이다. 따라서 기존의 ADSL 기술로는 고품질의 멀티미디어 서비스를 받기에는 불충분하다. 따라서 짧은 거리에서 높은 속도를 제공하는 VDSL 기술이 현재 상용화 되고 있다. VDSL 가입자들은 52Mb/s의 하향 속도와 13Mb/s의 상향 속도를 제공받는다. 이는 더 나은 멀티미디어 서비스를 받기 위해 필요하다. VDSL 선로 부호 방식으로 QAM과 DMT(Discrete Multitone) 방식이 있

나 ANSI에서는 멀티캐리어 방식인 DMT방식을 표준으로 하고 있다. 멀티캐리어 방식 모델은 싱글캐리어 방식에 비해 하드웨어가 복잡하나, 성능이 우수하다.

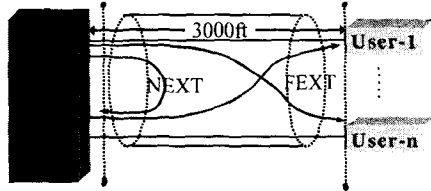


그림 1 . VDSL downstream

ADSL에 비하여 전송 거리가 짧은 VDSL은 대역폭을 늘림으로써 속도를 높일 수 있다. 인접선로에서 송신하는 신호가 영향을 미치는 신호인 NEXT(Near end crosstalk)는 FDD(Frequency Division Duplexing)방식으로 어느 정도 제거할 수 있기 때문에 그리 큰 영향은 미치지 못한다. 하지만 거리가 짧기 때문에 같은 바인더 내의 다른 선로에서 오는 신호인 FEXT가 심각한 영향을 미친다. 이런 FEXT의 영향으로 VDSL 시스템의 속도가 제한을 받게 된다. 이러한 noise를 제거하기 위하여 등화기가 사용된다. Cabinet 에서는 다른 사용자의 신호가 모이기 때문에 FEXT 신호를 제거할 수 있다. 하향 신호에서는 Cabinet에서 미리 왜곡을 주어서 송신하고 상향 신호에서는 사용자로부터 수신된 신호들 중 FEXT성분을 제거하여 원하는 신호를 얻을 수 있게 된다. FEXT를 효율적으로 제거한다면 훨씬 더 빠른 속도를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문에서는 이러한 FEXT를 제거하는 Vektored-DMT 방식에서의 GDFE를 제안하고 시뮬레이션 결과를 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 채널 모델

보통 xDSL 시스템의 수신신호 y 는 아래 식(1)과 같이 선로에서 송신할 때 감쇄하는 감쇄 특성인 Insertion Loss와 송신 signal의 곱과 채널중에 생기는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 기타 잡음의 합으로 표현이 된다.

$$y = Hx + n \quad (1)$$

아래 그림2는 사용자가 여러명(L)일때의 수신신호에 FEXT신호가 영향을 미치는 것을 그린 것이다.

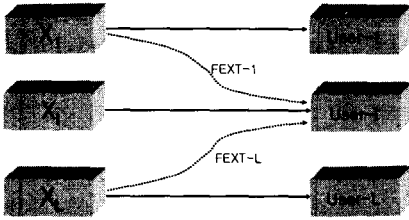


그림 2. i 번째 사용자의 수신 신호

위의 그림2에서 i 번째 사용자는 원래의 신호 x_L 과 같은 바인더 내의 다른 라인에서 들어오는 FEXT신호가 더해져서 수신된다. 전술한 바와 같이 FEXT신호는 근거리에서는 큰 잡음 원인으로 작용한다. 이는 식(2)와 같이 표현될 수 있다. 식(2)에서 원하는 신호인 $H_{i,i}x_i$ 외에 Crosstalk 성분인 $H_{1,i}x_1, H_{2,i}x_2, \dots, H_{L,i}x_L$ 등과 기타 잡음 n_i 이 더해진다.

$$y_i = H_{1,i}x_1 + H_{2,i}x_2 + \dots + H_{L,i}x_L + n_i \quad (2)$$

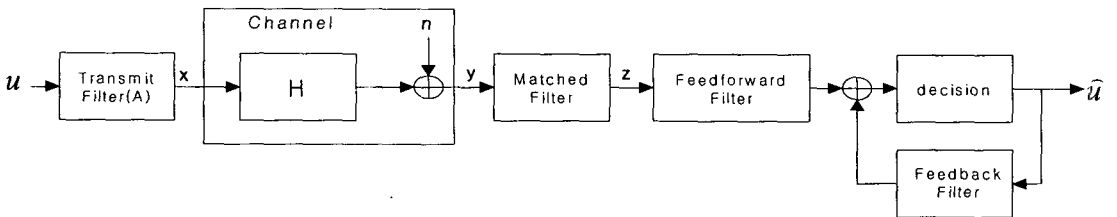


그림 3. Generalize DFE의 구조

2.2 Zero-forcing GDFE

일반적인 DFE구조는 그림3과 같다. 그림3에서 Transmit Filter matrix를 'A' 라고 하면 Matched filter는 A^*H^* 이다. 여기서 A^* 는 A의 vector transpose matrix이다.

그러면 그림3의 GDFE구조에서 z 는 다음과 같은 식(3)으로 표현될 수 있다.

$$z = A^*H^*HAu + A^*H^*n \quad (3)$$

(3)식에서 $A^*H^*HA = R_f$ 라고 하면

R_f 는 cholesky factorization을 통하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_f = G^*SG \quad (4)$$

여기서 G 는 upper triangular matrix이고 S 는 $N \times N$ diagonal matrix이다.

(3)식을 다시 써보면 다음과 같다.

$$z = G^*SGu + n' \quad (n' = A^*H^*n) \quad (5)$$

이 식은 다시 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S^{-1}G^{-*}z = Gu + n'' \quad (n'' = S^{-1}G^{-*}n') \quad (6)$$

$S^{-1}G^{-*}z = z'$ 라고 하면 (6)식은 다음과 같이 표현된다.

$$z' = Gu + n'' \quad (7)$$

그림3에서 \hat{u} 은 z' 를 decision한 값이므로

$$\hat{u} = \text{decision}(z') = \text{decision}(Gu + n'') = Gu,$$

$\hat{u} = Gu$ 라고 할 수 있다. 그리고 $u = R_f^{-1}z + n'$ 이다.

$$(R_f^{-1} = G^{-1}S^{-1}G^{-*})$$

$$\hat{u} = Gu = GR_f^{-1}z + Gn' = S^{-1}G^{-*}z + e$$

$$= z' + e, \quad (e = Gn') \quad (8)$$

$$\therefore z' = Gu - e \quad (9)$$

(9)식을 matrix로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} z'_{N-1} \\ z'_{N-2} \\ \vdots \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & g_{N-1,N-2} & \dots & g_{N-1,0} \\ 0 & 1 & \dots & g_{N-2,0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{N-1} \\ u_{N-2} \\ \vdots \\ u_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e'_{N-1} \\ e'_{N-2} \\ \vdots \\ e_0 \end{bmatrix}$$

G 행렬은 R_f 를 cholesky factorization하여 나온 upper triangular matrix이다. Upper triangular matrix이기 때문에 아래 신호부터 하나씩 decision 하

면 upper에 있는 noise 성분도 제거할 수 있다. 앞의 matrix 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{u}_0 &= sbs_0(z'_0) \\ \hat{u}_1 &= sbs_1(z'_1 - g_{1,0}\hat{u}_0) \\ \hat{u}_2 &= sbs_2(z'_2 - g_{2,1}\hat{u}_1 - g_{2,0}\hat{u}_0) \\ &\vdots \\ \hat{u}_{N-1} &= sbs_{N-1}(z'_{N-1} - \sum_{i=0}^{N-2} g_{N-1,i}\hat{u}_i) \end{aligned} \quad (10)$$

sbs_i 는 i 번째 symbol by symbol detection이다. \hat{u}_0 부터 detection 한 후에 \hat{u}_1 은 \hat{u}_0 성분을 제거하고 \hat{u}_1 을 찾을 수 있다. 이렇게 계속 해나가면 FEXT를 제거한 신호를 decision 할 수 있다.

2.3 Vectored-DMT block

그림 4에서 볼 수 있듯이 receiver 부분은 각 사용자가 보낸 신호가 Cabinet에서 수신된다. 채널을 통과하는 동안 다른 사용자가 사용하는 선로에서 FEXT가 첨가된다. 물론 AWGN이 있긴 하지만 크기가 작기 때문에 크게 고려되지 않는다. Cabinet에 수신된 신호는 Cabinet에서는 각 사용자가 보낸 신호를 알 수 있으므로 FEXT성분을 계산할 수 있다. Receiver부분은 톤수 신부와 Canceller부분으로 구성된다. Canceller 부분에서는 다른 사용자가 보낸 신호에서 FEXT성분을 뽑아내어 제거하는 역할을 한다.

그림 5는 Transmitter 부분이다. Transmitter는 채널을 통과 한 후에 Receiver부분에서 수신되는 FEXT성분을 신호에 더해서 송신한다. Precoder block에서는 DMT-Transmitter부분에서 전송할 각각의 톤에 대해 FEXT를 없애주는 역할을 한다.

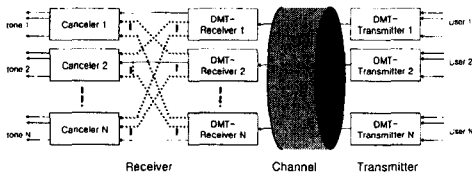


그림 4. Vectored-DMT system의 Receiver부분

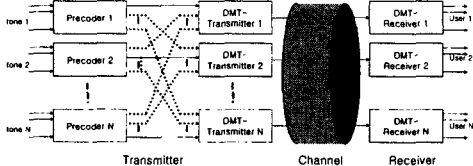


그림 5. Vectored-DMT system의 Transmitter부분

III. 시뮬레이션 환경 및 결과

3.1 VDSL 채널 환경

4-band VDSL은 2개의 Upstream과 2개의 Downstream 대역으로 이루어져 있다. 주파수 할당은 그림6과 같다.

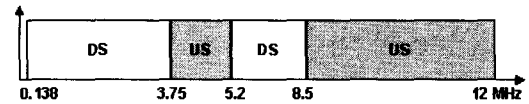


그림 6. VDSL band(998) 구분 주파수

각 주파수 대역에 따른 삽입손실은 아래 그림7과 같다. 아래 그림7은 VDSL downstream 일 때의 채널 특성을 나타낸 것이다. 여기에 Noise model 'A'를 첨가 하였는데 값이 작아서 거의 영향을 주지 않았다.[3]

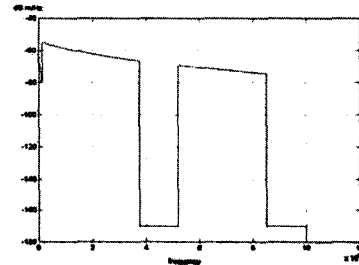


그림 7. VDSL(1000feet, downstream)전송특성

3.2 Simulation parameters

VDSL 시뮬레이션 요소는 다음 표1과 같다.

Number of DMT tones	2783
Tone width	4.3125KHz
Symbol rate	4KHz
톤당 bit수	15 bit
Source/load resistance	100 Ohm
Test loop	VDSL1, TP1
Total power	11.5dBm
SNR gap	15.8dB

표 1. simulation parameter

DMT방식으로 각 톤당 주파수가 4.3125KHz씩 할당되므로 총 톤의 개수는 2751개이며 나머지 수치는 VDSL Metallic interface를 참고하였다.[3]

3.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과(그림8)에서는 가장 아래 있는 선은 사용자가 두 명일 경우 FEXT의 영향을 받는 경우에 downstream 속도이다. 가장 위에 있는 선은 FEXT가 없을 경우에 전송속도이다. 다른 사용자가 없을 때는 속

도가 전송용량이 두 배정도 더 크다. 위에서 두 번째 선은 Vektored 방식을 적용하였을때 채널의 추정에러가 -20dB일때를 그린 선이고, 그 아래선은 추정 에러가 -10dB일때를 그린 선이다. 500feet에서 추정 에러가 적을때(-20dB)일 경우에는 속도가 61Mbps정도 나왔고 추정 에러가 클 때(-10dB)일 경우에는 속도가 45Mbps정도 나왔다(upstream시). 그림 9는 downstream 일 경우를 그린 것이다.

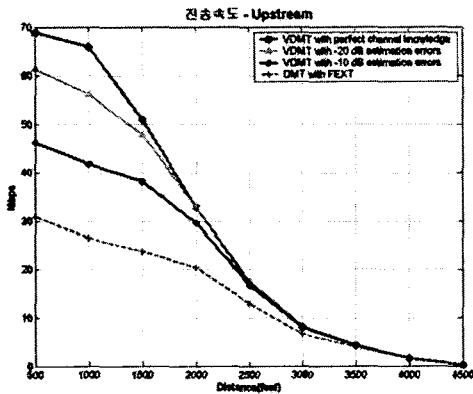


그림 8 . 거리에 따른 upstream속도비교

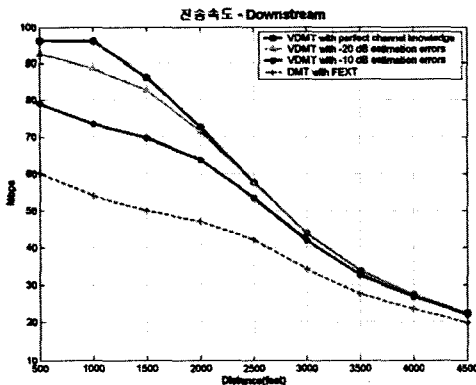


그림 9 . 거리에 따른 downstream속도비교

IV. 결 론

본 논문에서는 GDFE의 구조와 그를 이용하여 FEXT를 cancel하는 방법을 살펴보았다. 이를 FEXT에 큰 영향을 받는 VDSL system에 적용하여 효과적으로 FEXT를

제거한다면 동시에 많은 사용자가 송수신하여도 한명의 사용자가 사용하는 것처럼 높은 속도를 얻을 수 있다. 앞의 시뮬레이션 결과는 upstream과 downstream에 대하여 시행하였는데, upstream이나 downstream시에 그림 8,9와 같이 속도 향상이 있었다. 시뮬레이션 결과로 GDFE와 Vektored-DMT방식으로 FEXT를 제거하여 보다 높은 전송속도를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] George Ginis and John M. Cioffi, "Vectored-DMT: A FEXT Canceling Modulation Scheme Coordinating Users"
- [2] J.M. Cioffi and G.D. Forney, "Generalized decision-feedback equalization for packet transmission with ISI and gaussian noise," Chapter 4 of Communication, Computation, Control and Signal Processing (a tribute to Thomas Kailath), Editors: A. Paulraj, V. Roychowdhury, and C.Schaper, Boston MA: Kluwer, 1997.
- [3] "Very-high-speed digital subscriber line (VDSL) metallic interface, part 1: Functional requirements and common specification," T1E1.4 Contribution 2001-009R5, Editor: Q.Wang, Lisle, Illinois, February 18-21 2001 (available at <http://www.tl.org/>).
- [4] SKLAR "Digital communications" second edition ,PHPTR, 2002
- [5] A. Ruiz, J.M. Cioffi and S. Kasturia, "Discrete multiple tone modulation with coset coding for the spectrally shaped channel," IEEE Trans. Commun., Vol. 40, No. 6, pp. 1012-1029, June 1992.
- [6] George Ginis John M. cioffi, "Vectored-Transmission for Digital Subcarrier Line system"