

# 비동기식 Zipper 방식의 VDSL 모뎀에서 최소의 Cyclic Extension 구현 기법

\*위정욱, 양원영, 조용수

\*\*백중호, 유영환, 조진웅

\*중앙대학교 전자전기공학부

\*\*전자부품연구원

## A Minimum Cyclic Extension Scheme for Asynchronous Zipper –based VDSL Modems

\*Jung Wook Wee, Won Young Yang, and Yong Soo Cho

\*\*Jong Ho Paik, Young Hwan You, and Jin Woong Cho

\*Department of Electrical & Electronic Engineering, University of Chung-Ang, Seoul, Korea

\*\*Korea Electronic Technology Institute

[pette@ms.cau.ac.kr](mailto:pette@ms.cau.ac.kr)

### 요 약

본 논문에서는 비동기식 Zipper 방식의 VDSL(Very High Bit-rate Digital Subscriber Line) 시스템에서 cyclic extension 을 최소화 하는 기법을 제안하고, 전형적인 전화채널 환경 하에서 제안된 방식의 성능을 분석한다. Zipper 방식에서는 각 DMT(discrete-multitone) 블록에 cyclic prefix(CP) 와 cyclic suffix(CS)가 추가로 사용되는데, 여기서 CP 는 심볼간 간섭과 부채널간 간섭을 방지하기 위하여 삽입되며, CS는 upstream 과 downstream 부 반송파간의 직교성을 유지하기 위하여 추가되어 near-end crosstalk (NEXT)을 방지한다. 이 방식이 동기식 Zipper 방식으로 CS에 의해 NEXT를 제거하기 위해서는 한 binder 내의 모든 송신단의 동기를 맞추어야 한다. 그러나 비동기식 Zipper 방식은 다른 송신단과의 동기가 맞지 않아 CS가 NEXT에 아무런 영향을 주지 못한다. 본 논문에서는 CS를 사용하지 않는 비동기식 Zipper 방식의 VDSL 시스템을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 방식이 전형적인 채널환경 하에서 기존 Zipper 방식의 VDSL 시스템과 비교하여 비슷한 전송능력을 갖게 됨을 보인다.

### I. 서 론

최근 인터넷과 같이 고속의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증대함에 따라 기존의 전화선(copper twisted pair)을 사용하여 고속의 데이터를 전송할 수 있는 VDSL(Very High Bit-rate Digital Subscriber Line) 기술에 대

한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 이러한 VDSL 기술을 사용할 경우 근거리(300m-1500m)에서 최대 52 Mbps의 데이터를 전송할 수 있다. VDSL 시스템 설계 시 고려해야 할 중요한 문제 중의 하나는 near-end crosstalk(NEXT)의 제거이다. 같은 binder 그룹에서 서로 다른 방향의 데이터를 동시에 전송할 경우 발생하는 NEXT는 ADSL과 같이 단 방향으로 대부분의 데이터를 전송할 경우에는 크게 문제가 되지 않으나 VDSL 시스템 설계 시 이를 고려하지 않을 경우에는 전체 시스템의 성능이 크게 저하된다. 이 NEXT를 제거하기 위한 방법으로 upstream과 downstream을 시간대 별로 구분하여 전송하는 TDD(Time-Division Duplex) 방식과, 주파수 대역을 나누어 전송하는 FDD(Frequency-Division Duplex) 방식, FDD의 일종이나 필터를 사용하지 않는 Zipper 방식이 있다[1]. 현재는 TDD/DMT 방식인 SDMT(Synchronized DMT), FDD/DMT 방식인 Zipper, FDD/CAP 방식의 3가지 표준안이 제출 중이다. Zipper 방식은 DMT 심볼간의 간섭을 제거하고 부반송파간의 직교성을 유지하기 위한 cyclic prefix(CP) 외에, upstream과 downstream간의 직교성을 유지하여 NEXT의 영향을 없애주기 위한 cyclic suffix(CS)가 DMT 심볼의 뒷부분에 추가로 삽입된다[2]. 또 비동기식 Zipper 방식에서는 pulse shaping과 windowing을 통해 대역 밖으로 퍼지는 파워를 줄임으로서 NEXT와 RFI의 영향을 최소화 한다 [3].

본 논문에서는 최소의 cyclic extension을 사용한 비동기식 Zipper 방식의 VDSL 시스템을 제안하고, ANSI DSL standard group T1E1.4에서 제시한 VDSL test loop에

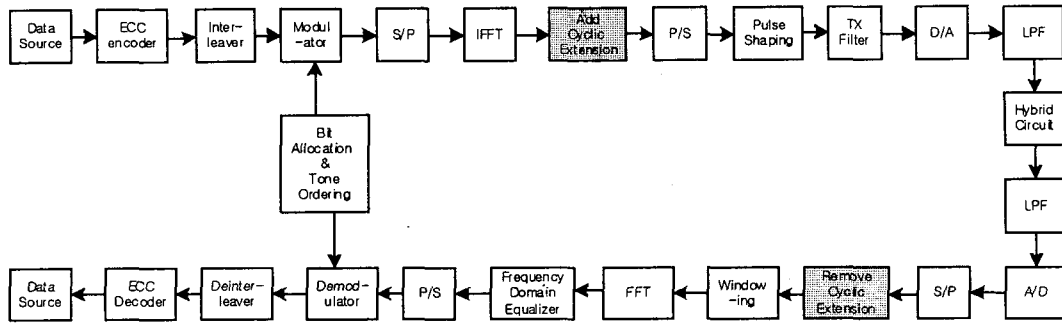


그림 1. Zipper 방식의 VDSL 시스템 블록도

AWGN, NEXT, FEXT(Far-End Crosstalk) 잡음[4] 등이 함께 존재하는 채널환경 하에서 기존의 방식과 비교하여 분석한다. II절에서는 기존의 CP와 CS를 사용하는 cyclic extension 방식에 대하여 검토한 후, CS를 사용하지 않는 비동기식 Zipper 방식의 VDSL 시스템을 제안한다. III절에서는 전형적인 VDSL 채널 환경 하에서 제안된 Zipper 방식의 성능을 모의실험을 통하여 분석하고 IV절에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

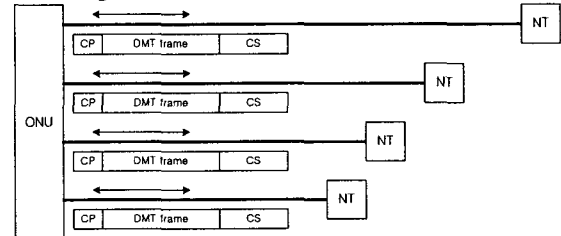
## II. 최소의 Cyclic Extension을 갖는 Zipper 방식의 VDSL 모델

본 절에서는 Zipper 방식의 VDSL 시스템에서 사용되는 기존의 cyclic extension 방식을 고찰하고, 보다 적은 cyclic extension을 사용하는 Zipper 방식을 제안한다.

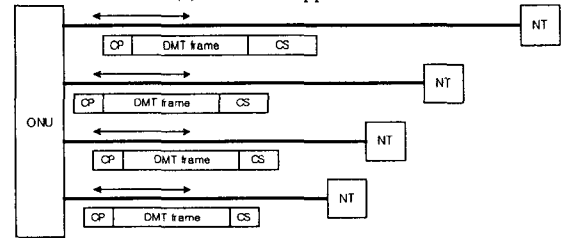
그림 1에 Zipper 방식의 VDSL 시스템 블록도를 나타내었다. Cyclic extension은 이전 블록과의 간섭을 피하기 위한 CP와, NEXT의 영향을 제거하기 위한 CS로 구성되어 있다. 이때 CS가 NEXT가 제거하기 위해서는 수신 신호와 NEXT 신호와의 직교성을 유지하여야 하며, 이를 위해 각 바인더내의 모든 송신단의 프레임 동기를 맞추어야 한다. 이러한 동기식 Zipper 방식에서 모든 송신단의 CS의 길이는 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 가장 긴 지연을 갖는 채널에 의해 결정된다. 이에 반해, 비동기식 Zipper 방식에서는 그림 2(b)에서 보듯이 하나의 송신단과 수신단의 동기만 맞추어 주고, CS의 길이 또한 각 채널마다 다르게 결정할 수 있다. 이 경우 수신신호와 NEXT의 직교성이 유지되지 않아, CS와는 관계없이 NEXT의 영향이 나타나게 된다. 따라서 비동기식 Zipper 방식에서는 pulse shaping과 windowing을 통해 이 영향을 줄여주게 된다.

CS는 NEXT뿐 아니라 반향도 제거해 준다. 반향 역시 NEXT와 같은 upstream 신호이므로 수신 신호와 직교하게 되어 CS에 의해 제거된다. 그림 3에서 보듯이 반향과 NEXT는 들어오는 경로만 다를 뿐 거의 유사하므로 pulse shaping과 windowing이 사용되는 비동기 모드에서 CS는 NEXT 뿐만 아니라 반향에도 큰 영향을 주지 못한다. 그림 4에 비동기식 Zipper 방식과 CS를 사용하지 않은 동기식 Zipper 방식을 예 들어 나타내었다. 비동기식 Zipper 방식에서는 서로 다른 송·수신단의 동기가 맞지 않아 그림과 같이 NEXT가 들어오게 된다.

이 신호는 직교성이 유지되지 않으나 pulse shaping과 windowing에 의해 NEXT의 영향이 최소화 되어 성능에



(a) 동기식 Zipper 방식



(b) 비동기식 Zipper 방식

그림 2. 동기식과 비동기식 Zipper 방식

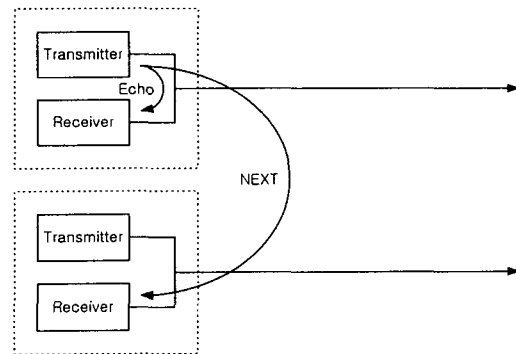


그림 3. 반향과 NEXT

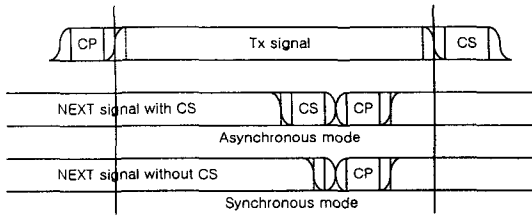


그림 4. 동기식과 비동기식 Zipper 방식에서 CS의 영향

큰 영향을 주지 못한다. 그리고 CS를 사용하지 않는 동기식 Zipper 방식의 예를 보면 지연 만큼의 CS 없이 다른 NEXT가 들어온 것을 볼 수 있다. 그러나 동기식 Zipper 방식에서 pulse shaping과 windowing을 사용하면 그림에서 보듯 비동기식 Zipper 방식과 거의 같아 수신 신호에 영향을 주지 못하게 된다. RFI의 영향을 최소화하기 위해 동기식 Zipper 방식에서 pulse shaping과 windowing을 사용한다면, 동기식과 비동기식 Zipper 방식 모두 CS의 사용이 NEXT의 제거에 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다.

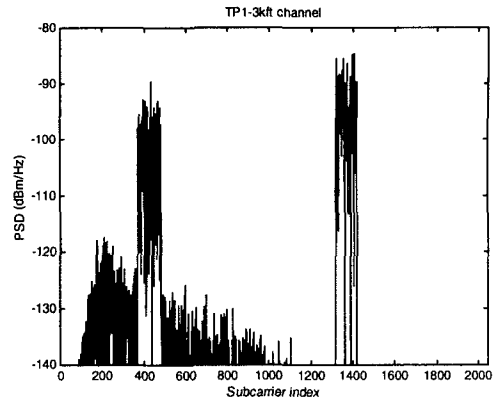
### III. 모의 실험

본 절에서는 제안된 cyclic extension을 사용한 Zipper 방식의 VDSL 모델의 성능을 모의실험을 통하여 기존의 방식과 비교하여 분석하고, 전형적인 전화채널 환경 하에서 제안된 방식을 사용한 동기식과 비동기식 VDSL 모델의 성능을 평가한다. 표 1은 모의실험에 사용된 VDSL 시스템 파라미터를 요약하여 보여준다. 기존방식의 경우, 채널의 늘어짐을 고려하여 CP의 길이를 100으로 하고 2000 m 채널을 기준으로 CS의 길이를 220으로 하였으며, 비동기식에서는 각 채널의 길이에 따라 지연이 다르기 때문에 주어진 채널의 지연에 따라 CS의 길이를 다르게 결정하였다. 제안된 방식에서는 CS 없이 CP만을 사용하였다. 또한, BER이  $10^{-7}$  을 만족하는 SNR-gap을 사용하였고, 잡음으로는 25-VDSL NEXT, 20-VDSL FEXT, 그리고 반향이 사용되었다. 전 절에서 보였듯이 CS가 없는 제안된 방식에서는 동기식과 비동기식의 차이가 없으므로 구분을 하지 않았다.

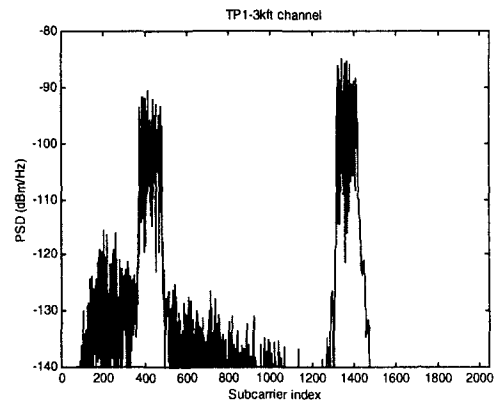
그림 5는 TP1 -3 kft 채널에서 동기식 Zipper 방식과 CS를 사용하지 않은 Zipper 방식에서 pulse shaping과 windowing의 유/무에 따른 잡음(AWGN, NEXT, FEXT)을 나타내었다. 그림에서 보면 pulse shaping과 windowing에 의해 동기식 Zipper 방식과 제안된 방식이 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그림 6은 기존의 동기식과 비동기식 Zipper 방식과 제안된 방식의 성능을 거리에 따라 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 CS가 없어도 전송속도에 영향을 주지 않는다.

그림 7은 -60 dBm/Hz의 upstream 신호가 손실없이 반향으로 들어왔을 경우를, 그림 8은 -60 dBm/Hz, -70 Bm/Hz, -80 dBm/Hz, -90 dBm/Hz의 반향에 따른 전송속도를 보여준다. 그림 7을 보면 pulse shaping과 windowing에 의해 대역 밖으로 퍼지는 누설이 감소하기는 하나 반향의 전력이 너무 높아 누설 또한 크게 되어 성능에 큰 영향을 주게 된다. 그러나 그림 8에 나타낸 바와 같

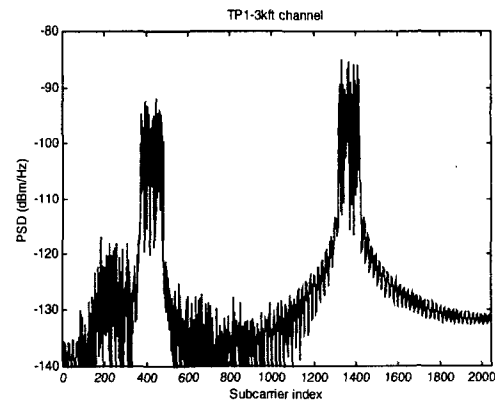
이 반향 신호의 전력이 송신 신호에 비해 20-30 dB만 감소되어도 성능에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있다.



(a) 동기식 Zipper 방식



(b) CS를 사용하지 않은 Zipper 방식 (pulse shaping과 windowing 사용)



(c) CS를 사용하지 않은 Zipper 방식 (pulse shaping과 windowing 사용 안함)

그림 5. TP1 -3 kft 채널에서 사용된 잡음

표 1. 모의실험에 사용된 VDSL시스템 파라메타

	기존 방식 (CP+CS)	제안된 방식 (CP)
No. of subcarrier	2048	2048
System margin	$\gamma_{margin} = 6\text{dB}$	$\gamma_{margin} = 6\text{dB}$
Coding gain	$\gamma_{code} = 3\text{dB}$	$\gamma_{code} = 3\text{dB}$
SNR-gap	$\Gamma = 9.8\text{dB}$	$\Gamma = 9.8\text{dB}$
Sampling frequency	22.08MHz	22.08MHz
Used bandwidth	300kHz ~ 11.04MHz	300kHz ~ 11.04MHz
Cable type	TP1	TP1
Length of CP	100 sample	100 samples
Length of CS	220 samples (2000m)	0 sample
Background noise	AWGN (-140dBm/Hz), NEXT, FEXT	AWGN (-140dBm/Hz), NEXT, FEXT

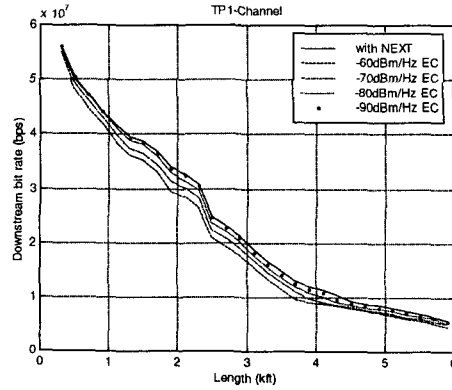


그림 8. 반향의 전력에 따른 전송속도

#### IV. 결론

본 논문에서는 최소의 cyclic extension을 갖는 Zipper 방식의 VDSL 시스템을 제안하였고, 전형적인 전화채널 환경 하에서 기존의 방식과 성능을 비교하였다. 기존의 방식에서는 CP외에 CS가 추가되어 NEXT와의 직교성을 유지시켜 수신단에서 NEXT의 영향을 제거한다. 그러나 비동기식 Zipper 방식에서는 직교성이 유지되지 않아 CS에 의한 NEXT의 제거가 불가능 하나 pulse shaping과 windowing을 통해 NEXT를 최소화 된다. 이는 CS의 사용이 무의미 함을 나타내며 모의실험을 통하여 확인하였다. 또한 동기식 Zipper 방식에서도 pulse shaping과 windowing을 사용하면 CS 없이도 NEXT의 영향이 최소화 되는 것을 확인하였다. 반향 역시 NEXT와 같은 upstream 신호 이므로 pulse shaping과 windowing에 의해 영향이 작아져 송신신호에 비해 20~30 dB만 감소 되어도 별다른 영향을 주지 못하게 된다.

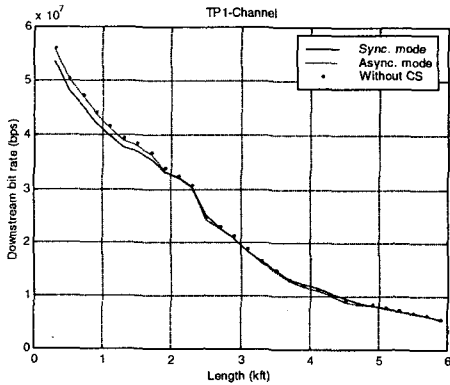


그림 6. 기존방식과 제안된 방식의 전송속도 비교

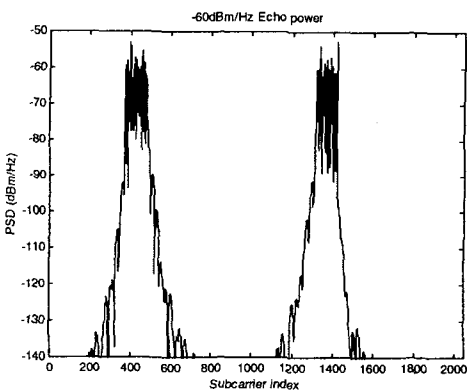


그림 7. -60 dBm/Hz 반향 잡음

#### [참고 문헌]

- [1] J. A.C. Bingham, *ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation*, John Wiley & Sons, 2000.
- [2] F. Sjöberg, M. Isaksson, R. Nilsson, P. Ödling, and S.K. Wilson, "Zipper: A Duplex Method for VDSL Based on DMT," *IEEE Tran. on Commun.*, vol. 47, no. 8, pp.1245-1252, Aug. 1999.
- [3] M. Isaksson, F. Sjöberg, R. Nilsson, P. Ödling, D. Bengtsson, and D. Mestdagh, "Pulse Shaping with Zipper - Spectral Compatibility and Asynchrony," ANSI T1E1.4/98-041, Austin, Texas, Mar. 1998.
- [4] ANSI, "Very-high-speed Digital Subscriber Lines - System Requirements, Technical Document," T1E1.4/98-043R8, Plano, TX, Nov. 1999.