

VDSL용 잡음 발생 알고리즘

태기철, 신승철, 정진균, 송상섭

전북대학교 정보통신공학과

Tel : (0652) 270-2466 / Fax : (0652) 270-2461

VDSL Noise Generation Algorithm

Ki-Cheol Tae Seung-Cheol Shin Jin-Gyun Chung Sang-Seob Song

Dept. of Electronics & Information Engr., Chonbuk Nat'l Univ., 561-756

E-mail : jgchung@vlsi.chonbuk.ac.kr

Abstract

VDSL noises should be used for testing and evaluation of VDSL systems. In DMT systems for ADSL, noises are generated using IIR filters obtained from the Yule-Walker equations. However, this method cannot be directly applied to VDSL environments. In this paper, an DCT-based VDSL noise generation algorithm is proposed.

I. 서론

고속모뎀의 테스트에 사용하는 VDSL(Very high speed Digital Subscriber Line)의 선로 잡음에는 그림 1에서와 같이 NEXT(Near-end Crosstalk Noise), FEXT(Far-end Crosstalk Noise), Background Noise, WGN, AM RF, HAM RFI, Impulse Noise등이 있으며 이 중 NEXT와 FEXT의 crosstalk noise 영향이 가장 크다[1]. ADSL의 NEXT, FEXT 테스트를 위한 잡음 발생을 위해 기존에는 Yule-Walker equation을 사용하였다[2]. 그러나 1.1Mbps 까지 사용하는 ADSL에 비해 20Mbps대역까지 사용하는 VDSL의 경우 Yule-Walker equation을 이용하여 필터 계수를 구한다면, VDSL 잡음 스펙과의 오차가 심하여 잡음 신호로서 부적합한 경우가 발생한다. 본 논문에서는 Yule-Walker equa-

tion을 이용하는 대신 DCT를 이용하여 잡음신호를 발생시키는 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 II절에서는 Yule-Walker equation을 이용하여 필터계수를 구하는 방법을 요약하고 VDSL에 적용시의 예를 보인다. III절에서는 IFFT 및 DCT를 이용한 잡음 발생 알고리즘을 소개한다. IV절에서는 Yule-Walker equation을 이용한 방법과 본 논문에서 제안한 방법과의 시뮬레이션 결과를 비교 분석한다.

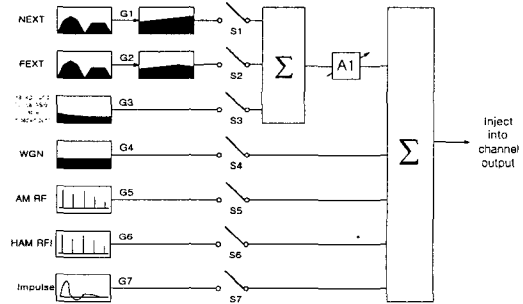


그림1. 잡음 발생기와 측정을 위한 구성도.

Fig.1. Noise generators and composition of noise for measurement.

II. Yule-Walker equation을 이용한 잡음 발생

광의의 정상 랜덤과정 (wide-sense stationary random process) $w(n)$ 이 전력 스펙트럼 밀도(power

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구과제(97-0100-3) 지원으로 수행되었습니다.

spectral density)가 σ_w^2 인 백색잡음 (white noise) 신호 일 때 그림2(a)와 같은 시스템 구성에서 출력 $x(n)$ 은 광의의 정상 랜덤 과정이며, $x(n)$ 의 PSD는 다음과 같이 정의된다.

$$\Gamma_{xx}(f) = \sigma_w^2 |H(f)|^2 \quad (1)$$

역으로 PSD가 $\Gamma_{xx}(f)$ 인 $x(n)$ 을 $1/H(z)$ 인 시스템에 입력 값으로 주면 출력은 백색잡음 신호가 된다. 이때 $1/H(z)$ 를 noise whitening 필터라고 한다. 그림2와 같이 stationary stochastic process $x(n)$ 은 white noise sequence $w(n)$ 이 IIR 필터 $H(z)$ 를 통과한 출력으로 표현 가능한데 이를 Wold representation 이라 한다 [3]. 정상 랜덤과정 $x(n)$ 의 전력 스펙트럼 밀도가 다음과 같이 주어진다고 하자.

$$\Gamma_{xx}(z) = \sigma_w^2 \frac{B(z)B(z^{-1})}{A(z)A(z^{-1})}, \quad r_1 < |z| < r_2 \quad (2)$$

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=0}^{\infty} a_k z^{-k}} \quad (3)$$

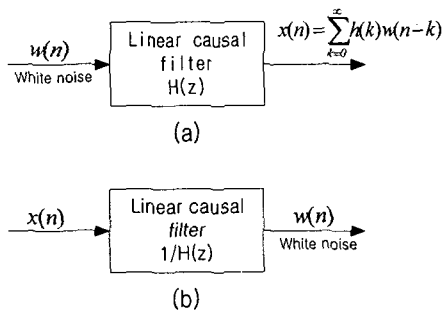


그림2. 신호 발생을 위한 필터. (a) 백색잡음에 의한 랜덤 프로세스. (b) 역 필터.

Fig.2. Filters for generator. (a) The random process $x(n)$ from white noise. (b) The inverse filter.

식(3)의 $H(z)$ 의 계수 a_k, b_k 를 Yule-Walker equation을 이용하여 구할 수 있다. 그림3은 샘플링 주파수가 64kHz 인 경우에 Yule-Walker equation 방법으로 NEXT필터를 구현한 것이며, NEXT 필터를 이용하여 구현 잡음의 주파수 스펙트럼이 요구 스펙과 거의 일치함을 알 수 있다. 그림4는 HDSL이 VDSL의 누화 소스로서 작용할 때의 영향을 고려하기 위한 샘플링 주파수가 40MHz일 때의 시뮬레이션 결과이다[4]. 그림4에서 보는바와 같이 Yule-Walker equation 방법으로는 VDSL용 HDSL PSD_{disturbance} filter를 설계 할 수 없다.

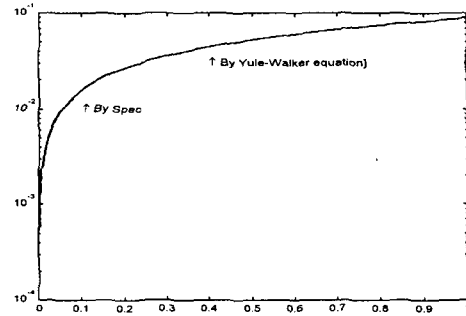


그림3. Yule-Walker방식에 의한 NEXT필터 설계. Fig.3. NEXT Filter Design by Yule-Walker equation.

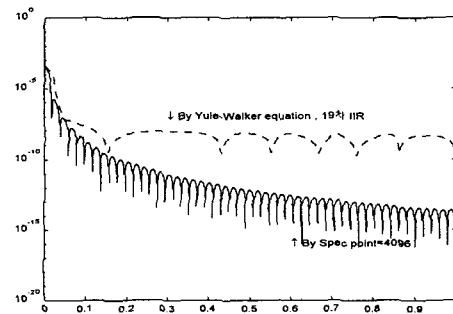


그림4. VDSL용 HDSL잡음신호 발생 필터. Fig.4. HDSL noise signal filter using VDSL.

III. DCT를 이용한 잡음 발생

본 절에서는 II절에서의 문제 해결을 위해 IFFT를 이용한 방법을 먼저 고려한 후 DCT를 이용한 방법을 제안한다.

A. IFFT를 이용한 알고리즘

IFFT를 이용한 알고리즘은 주어진 주파수 스펙트럼을 만족하는 필터를 디자인하여 시간영역 신호를 얻은 대신 주어진 스펙을 $(N/2+1)$ -point에서 샘플하여 real 시간 영역 신호를 갖도록 N -point IFFT를 수행하는 것이다. N -point IFFT를 이용하여 얻은 시간영역 신호가 real값을 갖기 위해서는 다음 조건을 만족해야한다.

$$X(k) = X(N-k)^* \quad (4)$$

따라서, 주어진 주파수 스펙의 샘플값 $X(0), X(1), \dots, X(N/2)$ 들을 식(4)를 만족하도록 배열한 후 N -point IFFT를 수행하면 주어진 특성을 만족시키는 real 시간 영역 신호 $x(n)$ 을 얻을 수 있다.

PSD가 1인 PN발생기의 구조는 그림 5와 같으며 출

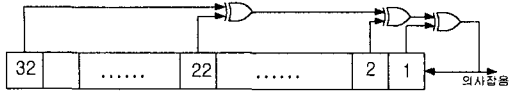


그림5. 의사잡음 발생 블럭도.

Fig.5. Pseudo noise generation block diagram.

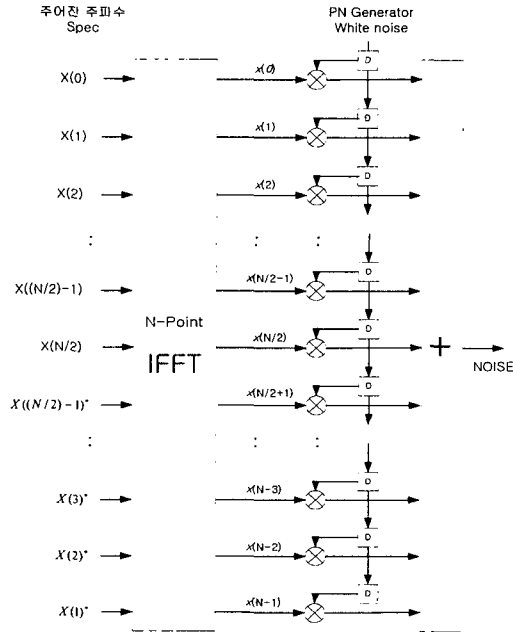


그림6. IFFT를 이용한 VDSL용 잡음 발생 블럭도.

Fig.6. VDSL noise generation block diagram by IFFT

력신호를 1은 +1로 0은 -1로 대체시킨다. $x(n)$ 과 PSD가 1인 의사 잡음 신호와의 컨볼루션을 취하여 최종 시간영역 신호를 구할 수 있으며 전체시스템의 구성도는 그림6과 같다.

이상을 종합하여 주어진 주파수 스펙 $X(0), X(1), \dots, X(N/2)$ 을 만족시키는 real 시간영역 신호를 생성하는 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 주어진 PSD 스펙으로부터 $N/2+1$ 포인트 샘플을 하여 $X(0), X(1), \dots, X(N/2)$ 의 값을 구한다.
 - ② $X(k) = X(N-k)^*$ 를 만족하도록 $X(k)$ 값을 설정한 후 N -point IFFT를 수행한다.
 - ③ ②로부터 구한 N 개의 신호에 의사잡음 신호를 그림6과 같이 곱한 후 모두 더하여 최종 시간영역 신호를 구한다.
- 위의 ③에서 의사잡음신호는 +1 또는 -1값만을 가지

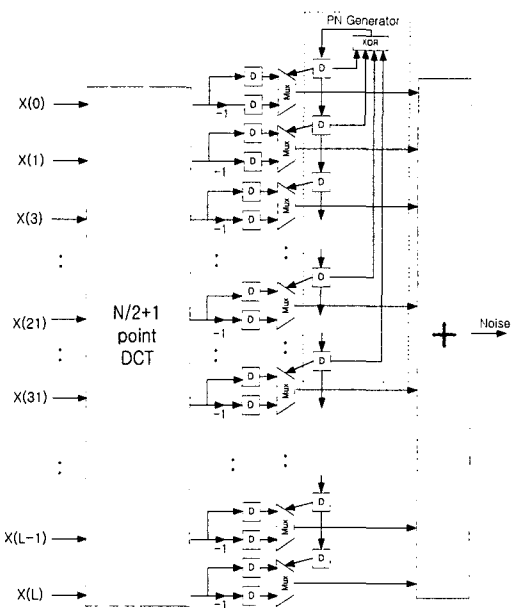


그림7. DCT를 이용한 VDSL용 잡음 발생 블럭도.

Fig.7. VDSL noise generation block diagram by DCT.

는 시간영역 신호이므로 실제로는 곱셈기를 사용할 필요가 없다.

B. DCT를 이용한 알고리즘

그림6에서 $X(k)$ 는 모두 실수이므로 $X(N/2-k) = X(N/2+k)$, $k=1, 2, \dots, N/2-1$ 가 된다. 따라서 $N/2=L$ 이라고 할 경우 다음의 관계가 성립한다[5].

$$Lx(n) = \sum_{k=0}^L \alpha_k X(k) \cos \frac{\pi}{L} kn$$

$$\alpha_k = \frac{1}{2}, \quad k=0, L$$

$$\alpha_k = 1, \quad \text{for } k \neq 0, k \neq L \quad (5)$$

따라서, N -point IFFT 대신 그림7과 같이 $(N/2+1)$ -point의 DCT를 이용한 효율적인 구현이 가능해진다. 그림7과 같이 그림5의 Shift Register 32개로 구성된 의사잡음 신호발생기를 내부에서 처리해 줌으로서, PN 발생기의 0을 -1로 대체시킬 필요가 없어진다. N -point IFFT의 경우 $(N/2) \log_2 N$ 의 complex 곱셈기가 필요하지만, $(N/2+1)$ -point의 DCT의 경우 $(N/4) \cdot \log_2 N/2$ 의 real 곱셈기만 필요하다. 따라서, $N=2^n$ 인 경우 IFFT를 사용한 경우에 비해 $N/4(3\alpha+1)$ 개의 real 곱셈기가 절약된다.

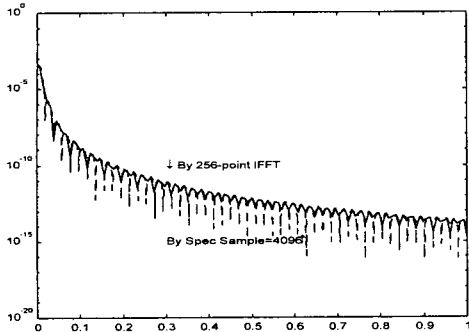


그림8. IFFT 알고리즘에 의한 VDSL용 HDSL잡음 신호의 주파수 특성.

Fig.8. Designed HDSL noise by IFFT algorithm.

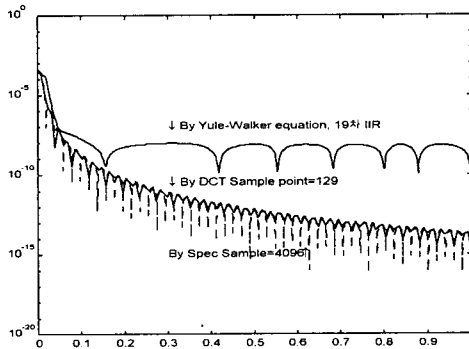


그림9. DCT 알고리즘에 의한 VDSL용 HDSL잡음 신호의 주파수 특성.

Fig.9. Designed HDSL noise by DCT algorithm.

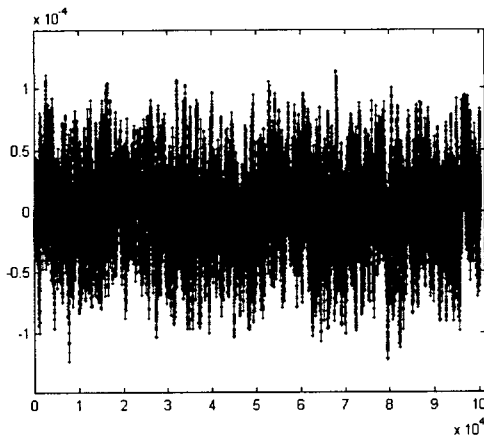


그림10. DCT 알고리즘을 이용한 VDSL용 HDSL의 시간영역 잡음.

Fig.10. HDSL time domain signal by DCT algorithm.

IV. 시뮬레이션 결과

그림8은 IFFT알고리즘을 이용한 VDSL용 HDSL잡음 신호의 주파수 특성이다. 그림9는 DCT알고리즘을 이용한 잡음 신호 주파수 특성이고 그림10은 VDSL용 HDSL의 시간영역 잡음신호이다. 그림4와 그림8, 그림9를 비교함으로써 제안한 방법이 Yule-Walker equation방법보다 이상적인 값에 훨씬 근접하는 신호를 생성할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

제안한 방법이 기존의 방법보다 오차가 적은 VDSL용 잡음신호를 생성할 수 있음을 보였다. IFFT와 DCT를 사용하는 알고리즘을 제안하였으며, DCT를 사용함으로써 더욱 효율적인 구현이 가능함을 보였다. 또한 PN발생기를 PN신호와 DCT변환된 신호와의 콘볼루션 과정에 포함시킴으로써 효율적인 구현이 가능함을 보였다.

Reference

- [1] J. Cioffi, "Very-high-speed Digital Subscriber Lines-System Requirements", Committee T1-Tele communications, Nov. 30. 1998
- [2] Chow, Jacky S., "Finite-Length Equalization for Multi-Carrier Transmission Systems", Ph.D Thesis, Stanford University, 1992
- [3] J. J. Proakis, C. M. Rader, F. Ling, C. L. Nikias, *Advanced Digital Signal Processing*. Macmillan New York, 1992
- [4] "TS 101 270-1 v1.1.2", ETSI 6, pp.17-39, 1998,
- [5] Douglas F. Elliott, *Digital Signal Processing*. Academic Press, Inc. 1986