

論文2003-40SD-4-8

DCT를 이용한 저면적 잡음 발생기

(Low Area Noise Generation System Using DCT)

金大翊*, 鄭鎮均**

(Dae-Ik Kim and Jin-Gyun Chung)

요 약

잡음 발생기는 주어진 특성을 갖는 잡음 신호를 생성하는데 사용되어진다. 최근의 연구에서 잡음 모델이 복잡한 PSD(Power Spectral Density)를 갖는 경우, DCT 기반 잡음 발생기가 기존의 잡음 발생기보다 우수한 성능을 보였다. 본 논문에서는 DCT를 사용한 저면적 잡음 발생기를 제안한다. 제안된 시스템은 DCT를 제외한 회로의 면적을 약 61~64% 정도 줄이며, 이와 더불어 41~56% 정도의 전력소모를 감소시킨다.

Abstract

Noise generation systems are used to generate noise signals with specified characteristics. In recent study, DCT-based noise generation system outperforms the conventional noise generation system when a noise model requires complicated PSD(Power Spectral Density) specifications. In this paper, we propose the area-efficient noise generation system based on DCT method. It is shown that the proposed system results in area reduction by 61~64% except DCT block. Furthermore, it achieves power reduction by 41~56%.

Keywords : DCT, 중심 극한 정리, 저면적

I. 서 론

모뎀을 비롯한 통신장비는 선로잡음이나 기타 잡음의 영향을 고려하여 시스템을 측정하고 평가해야 한다. 그러나 실제의 잡음 환경을 구현하고 측정하기란 매우 어렵고, 비용 또한 무시할 수 없는 경우가 많다. 따라서

통신 시스템을 측정할 때는 신호에 영향을 주는 요소들을 인위적으로 만들어 실제 전송되는 신호를 가정하게 되는데, 이때 요구되는 것이 잡음 발생기이다.

고속모뎀의 테스트에 사용하는 VDSL의 선로잡음은 AWGN, 누화, 라디오 잡음, 임펄스 잡음, 배경 잡음 등이 있다. 일반적으로 잡음 발생을 위해 Yule-Walker equation을 사용하여 디지털 필터를 구현할 수 있다^{1,2}. 그러나 일반적으로 천이 대역폭이 좁으며 요구되는 주파수특성이 주파수에 대해 빠르게 변화할 경우 이를 만족시키는 디지털필터를 구현하기는 어려우므로 이 방법을 이용하여 VDSL에 적용하기 위한 잡음발생기의 필터 계수를 구하면 VDSL의 잡음 스펙과 오차가 심하게 발생되어 잡음 신호로서 부적합한 경우가 있게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Yule-Walker equation을 이용하는 대신 중심 극한 정리(Central Limit Theorem)와 DCT(Discrete Cosine Transform)를

* 正會員, 麗水大學校 半導體應用物理學科
(Dept. of Semiconductor & Applied Physics, Yosun Nat'l Univ.)

** 正會員, 全北大學校 電子情報工學部
(Div. of Electronics & Information Engr., Chonbuk Nat'l Univ.)

※ 본 연구는 여수대학교 2002년도 학술연구과제지원비에 의하여 연구되었음

接受日字:2002年8月2日, 수정완료일:2003年3月20日

이용하여 잡음신호를 발생시킬 수 있는 알고리즘이 최근에 제안되었다^[3].

본 논문에서는 [3]에 제안된 잡음 발생기의 DCT 블록에서 발생되어 Mux에 입력되는 중복입력 신호를 이용하고, Adder Tree에서 수행되는 덧셈의 순서를 변화 시킴으로써 DCT 블록을 제외한 나머지 회로의 면적이 DCT 포인트 수에 따라 61~64% 정도 감소되어지는 새로운 구조를 제안한다. 또한, 새로 제안한 잡음 발생기의 구조가 면적과 불필요한 스위칭 동작을 감소시킴으로써 전력소모를 41~56% 정도 줄일 수 있음을 보인다.

II장에서는 기존의 잡음 발생기에 대하여 간략하게 설명하고, III장에서는 면적과 전력소모를 효율적으로 감소시키기 위하여 새로 제안한 잡음 발생기 구조에 대하여 기술하며, IV장에서 결론을 맺는다.

II. DCT 기반의 잡음발생기

1. 중심 극한 정리를 이용한 Gaussian 분포를 갖는 독립변수 발생기

일반적으로 통신시스템 측정에 사용되는 잡음신호는 Gaussian 분포를 가진다^[4]. Uniform 분포를 갖는 신호를 Gaussian 분포를 갖는 신호로 변환하기 위해 Box-Muller equation을 사용할 수 있다^[5]. 그러나 Box-Muller Equation은 sin, cos, log 함수를 계산하기

위한 ROM 테이블과 복잡한 곱셈기를 필요로 하기 때문에 하드웨어적으로 많은 면적을 차지하게 된다.

서로 독립인 M개의 독립변수(Random Variables) $X_i, i = 1, 2, \dots, M$ 가 주어지고 M이 충분히 클 경우, 이 신호의 합인 $X = X_1 + \dots + X_M$ 는 중심 극한 정리에 의하여 Gaussian 분포를 갖는 신호를 만들어낸다^[6].

<그림 1>은 uniform 분포를 갖는 M개의 독립변수를 발생시키기 위한 회로를 보여주고 있다. 여기에서 M개의 독립변수는 PN 시퀀스 발생기를 사용하여 발생시킨다. 실선을 입력으로 갖는 XOR 게이트는 32비트 쉬프트 레지스터를 이용하여 원시 다항식(primitive polynomial)을 발생시키기 위한 것이며, 점선을 입력으로 갖는 M개의 XOR 게이트는 서로 독립적인 uniform 분포를 가지는 신호를 만들어 내기 위한 것이다. 이때 XOR게이트에 입력되는 신호는 서로 자기 다른 패턴을 가져야 한다.

M개의 XOR 게이트의 출력은 M비트 쉬프트 레지스터 $R_M(0)$ 에 저장되고 M-clk 동안 레지스터 내에서 쉬프트되면서 Mux(0)의 선택신호로 사용된다. 그 후 $R_M(0)$ 의 데이터는 $R_M(1)$ 로 이동되고 XOR 게이트의 새로운 출력이 $R_M(0)$ 에 저장된다. $R_M(1)$ 의 데이터는 M-clk 동안 Mux(1)의 선택 신호로 사용되고 $R_M(2)$ 로 이동한다. 즉, $R_M(i)$ 의 데이터는 M-clk 동안 Mux(i)의 선택 신호로 사용되고 $R_M(i+1)$ 로 이동한다.

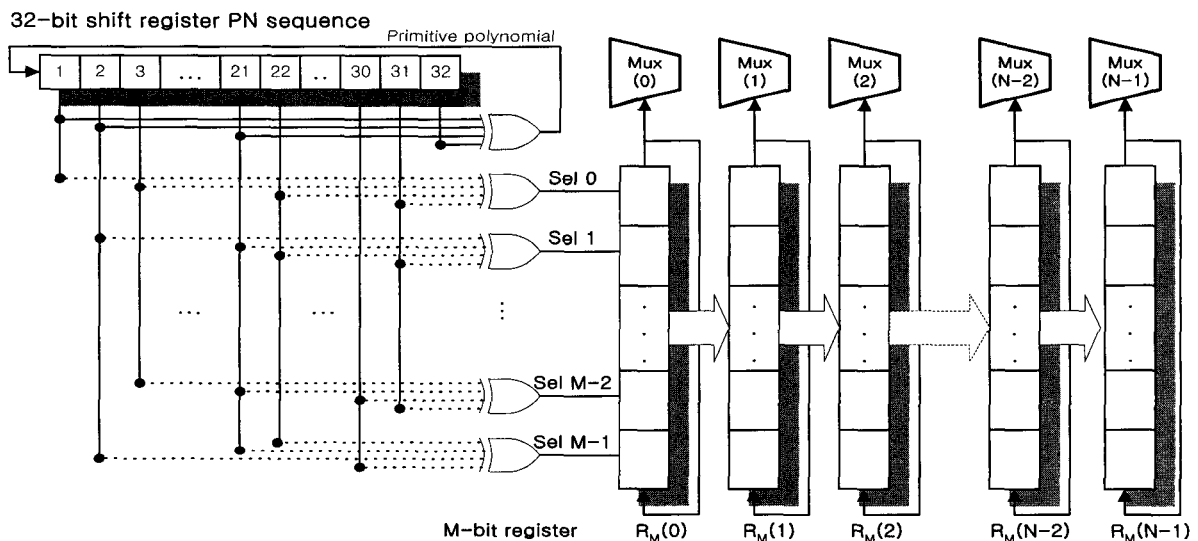


그림 1. PN 시퀀스 발생기를 이용한 Mux 선택신호 발생기
Fig. 1. Mux select signal generator using PN sequence generator.

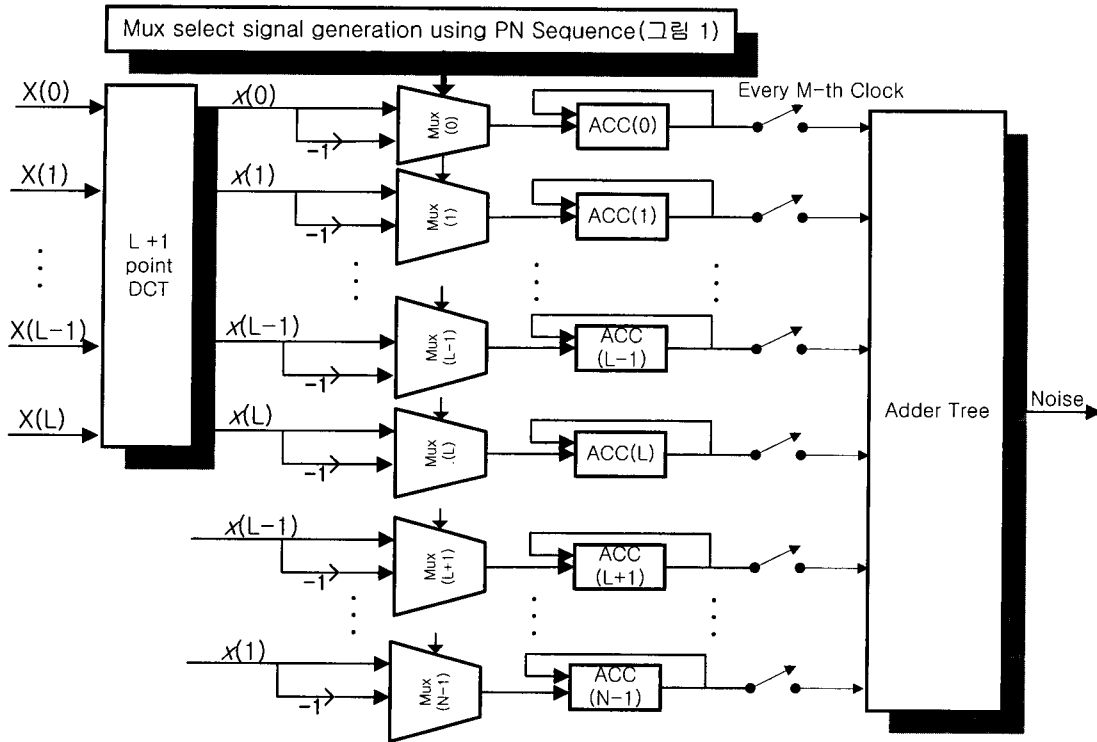


그림 2. DCT를 이용한 잡음발생기의 구조
Fig. 2. Noise generation block diagram using DCT.

2. DCT를 이용한 잡음 발생기

DCT를 이용한 잡음발생기의 구조는 <그림 2>와 같다. $(L+1)$ -point DCT를 이용한 잡음 발생 알고리즘은 다음과 같다 ($L = N/2$).

- ① 주어진 PSD (Power Spectral Density) 스펙으로 부터, $(L+1)$ 개의 샘플 $X(0), X(1), \dots, X(L)$ 을 구한다.
- ② $(L+1)$ 개의 샘플 값을 입력으로 하는 $(L+1)$ -point DCT를 취한다.
- ③ <그림 1>에서 발생된 N 개의 출력을 <그림 2>의 Mux 선택 신호의 입력으로 사용한다.
- ④ <그림 2>와 같이 N 개의 신호를 더하여 실수 값의 시간영역 신호를 얻을 수 있다.

<그림 2>에서 PSD=1을 갖는 PN 시퀀스 발생기는 32-bit 쉬프트 레지스터가 사용되었다. Mux의 선택신호는 <그림 1>에서 보여준 M 개의 4-input XOR 게이트를 사용하여 얻을 수 있다. Adder Tree 앞에 있는 스위치가 열려있는 동안, Mux 출력 값은 M -clk 동안

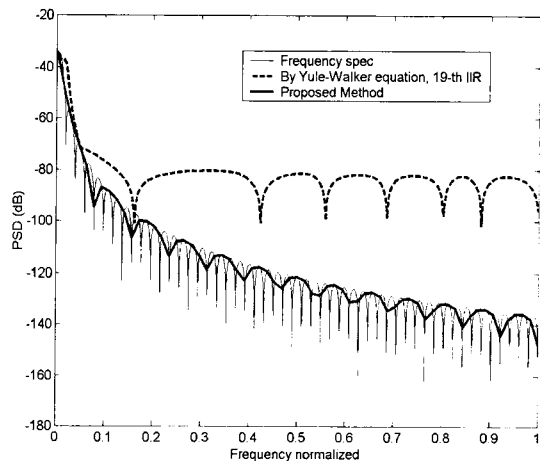


그림 3. Yule-Walker equation과 DCT를 이용한 알고리즘에서 얻은 HDSL에서 VDSL로의 누화잡음 신호의 PSD (Sampling frequency = 40 MHz)

Fig. 3. PSDs of the crosstalk noise signal from HDSL to VDSL obtained by the Yule-Walker equation and the DCT-based algorithm(sampling frequency=40MHz).

ACC(Accumulator) 블록 내에 누적된다. M-clk 후에 스위치가 연결되고 잡음 출력신호는 ACC 블록에 누적된 N개의 신호를 Adder Tree에서 합하여 얻게 된다.

PN 시퀀스는 '1'과 '0'의 논리 값으로 이루어져 있으므로, 잡음을 발생시키기 위해 복잡한 곱셈기를 사용하는 대신 단순한 Mux를 사용하여 곱셈을 수행할 수 있다. 반면에 Box-Muller equation을 사용하여 Gaussian 분포를 갖는 잡음 신호를 얻기 위한 시스템을 구성할 경우에는 복잡한 곱셈기를 사용해야 하기 때문에 효율성이 떨어지게 된다.

Yule-Walker equation과 33-point (N=64) DCT를 이용한 알고리즘을 사용하여 발생시킨 HDPSL과 VDSL 간의 누화잡음 신호의 PSD를 <그림 3>에 보였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 DCT를 이용한 알고리즘을 사용하는 것이 Yule-Walker equation을 이용하는 것보다 요구되어지는 PSD 스펙에 근접한 신호를 발생시킴을 알 수 있다.

III. 효율적인 면적감소를 위한 잡음발생기 구조

<그림 2>에서 Mux의 동작특성을 살펴보면, PN 시퀀스를 이용한 Mux 선택 신호가 '0'인 경우에는 DCT 블록의 출력 $x(j)$, $j = 0, 1, \dots, L-1$, L 가 선택되고 '1'인 경우에는 $-x(j)$ 가 선택되어진다. 따라서 Mux 선택 신호 발생기의 M-bit 쉬프트 레지스터에 저장되어 있는 '0'과 '1'에 따라 ACC 블록에서 M-clk 동안 덧셈과 뺄셈을 수행하게 된다. 이러한 동작을 수행하기 위해 메인클럭보다 M배 빠른 클럭신호를 사용하여 쉬프트 레지스터에 저장된 값을 순환시켜줘야 하며, 이 동작에 따라 Mux의 출력 신호가 결정되고 ACC 블록도 M배 빠른 클럭에 동기되어 동작되는 것을 알 수 있다. 따라서 M-clk 후, $ACC(i)$ 에서 발생하는 신호는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 ACC(i) &= x(j)R_M(i)_0 + x(j)R_M(i)_1 + \dots \\
 &\quad + x(j)R_M(i)_{M-2} + x(j)R_M(i)_{M-1} \\
 &= x(j) \sum_{k=0}^{M-1} R_M(i)_k, \quad i = 0, 1, \dots, \\
 &\quad N-1, \\
 &\quad \begin{cases} \text{if } i \leq L, j = i, \\ \text{if } i > L, j = N-i. \end{cases}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기에서, $x(j)$ 는 DCT 블록의 j번째 출력, $R_M(i)_k$ 는

$R_M(i)$ 쉬프트 레지스터의 k번째 레지스터 값이 '0'인 경우 '1'이고 '1'인 경우 '-1'이 된다.

잡음발생기의 최종출력은 <그림 2>에서 $ACC(i)$ 에 저장된 N개의 모든 신호들을 메인클럭 1-clk마다 식 (2)와 같이 Adder Tree 블록에서 동시에 더하여 얻게 된다.

$$Out(t) = \sum_{i=0}^{N-1} ACC(i)_t. \tag{2}$$

<그림 2>에서 $x(0)$ 과 $x(L)$ 을 제외한 $(L-1)$ 개의 $x(1), x(2), \dots, x(L-1)$ 은 각각 Mux(1)과 Mux(N-1), Mux(2)와 Mux(N-2), ..., Mux(L-1)과 Mux(L+1)의 입력신호로 사용되어 한 개의 DCT 출력이 동시에 두 개의 Mux 입력으로 인가됨을 알 수 있다.

어느 한 시점에서 Mux에 중복되는 입력을 고려하여 식 (1)을 이용하여 식 (2)를 전개하면 식 (3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 Out &= \\
 &x(1)[\{R_M(1)_0 + R_M(N-1)_0\} \\
 &\quad + \{R_M(1)_1 + R_M(N-1)_1\} + \dots \\
 &\quad + \{R_M(1)_{M-1} + R_M(N-1)_{M-1}\}] \\
 &+ x(2)[\{R_M(2)_0 + R_M(N-2)_0\} \\
 &\quad + \{R_M(2)_1 + R_M(N-2)_1\} + \dots \\
 &\quad + \{R_M(2)_{M-1} + R_M(N-2)_{M-1}\}] \\
 &\vdots \\
 &+ x(L-1)[\{R_M(L-1)_0 + R_M(L+1)_0\} + \\
 &\quad \{R_M(L-1)_1 + R_M(L+1)_1\} + \dots \\
 &\quad + \{R_M(L-1)_{M-1} + R_M(L+1)_{M-1}\}] \\
 &+ x(0)[R_M(0)_0 + R_M(0)_1 + \dots + R_M(0)_{M-1}] \\
 &+ x(L)[R_M(L)_0 + R_M(L)_1 + \dots + R_M(L)_{M-1}]
 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)에서 $x(0)$ 와 $x(L)$ 에 해당되는 식을 제외한 나머지 $x(1) \sim x(L-1)$ 에 해당되는 식을 살펴보면, $\{R_M(i) + R_M(N-i)\}$ 항은 <그림 2>의 Mux(i)와 Mux(N-i)에 대응되며, <그림 1>의 Mux 선택신호 발생기의 $R_M(i)$ 번째 쉬프트 레지스터와 $R_M(N-i)$ 번째 쉬프트 레지스터로부터 '0' 혹은 '1' 신호를 입력받게 된다. 따라서 Mux(i)와 Mux(N-i)의 선택신호로 인가되는 $R_M(i)$ 와 $R_M(N-i)$ 가 가질 수 있는 선택신호의 조합과 그 결과 값은 <표 1>과 같이 된다.

Mux의 선택신호가 '0'인 경우에는 $x(i)$ 와 $-x(i)$ 를 더하게 되고, '1'인 경우에는 $-x(i)$ 와 $x(i)$ 를 더하게 되어 결과 값은 0이 된다. 따라서 이 두 경우에는 ACC 블록에서 덧셈을 할 필요가 없다. 신호가 '00'일 경우에

표 1. 선택신호에 따른 Mux 출력
Table 1. Mux output according to select signal.

$R_M(i)$	$R_M(N-i)$	Mux(i) 출력
0	0	$2x(i)$
0	1	0
1	0	0
1	1	$-2x(i)$

는 $x(i)$ 를 두 번 더한 결과가 되므로 $2x(i)$ 를 Mux 입력신호로 사용할 수 있다. 마찬가지로 신호가 '11'인 경우에는 $-2x(i)$ 를 Mux의 입력신호로 사용할 수 있다. $2x(i)$ 와 $-2x(i)$ 는 회로구현 관점에서 살펴보면 $x(i)$ 와 $-x(i)$ 를 왼쪽으로 1비트 이동시킴으로써 간단하게 구현할 수 있다.

이러한 특성을 이용하여 공통된 $x(i)$ 의 입력을 갖는 두 개의 Mux(i)와 Mux(N-i)를 <그림 4>와 같이 선택신호에 따라 $2x(i)$, $-2x(i)$, 0을 출력하는 하나의 Mux 회로로 수정할 수 있다.

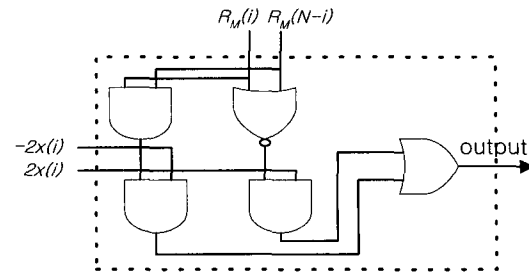


그림 4. 중복입력을 고려한 Mux 회로
Fig. 4. Modified Mux structure.

따라서 중복입력의 특성을 이용하여 <그림 2>에서 사용되었던 N개의 Mux와 ACC 블록 대신에 (L+1)개만의 Mux와 ACC 블록을 이용하여 똑같은 동작을 수행시킬 수 있다.

또한, 하드웨어 면적을 좀 더 감소시키기 위해 식 (3)을 살펴보면, 메인클럭보다 M배 빠른 M-clk를 사용하여 $x(0) \sim x(L)$ 에 해당되는 (L+1)개의 ACC(0) ~ ACC(L) 출력신호를 개별적으로 동시에 발생시켜 Adder Tree에서 (L+1)개의 모든 ACC 출력신호를 합

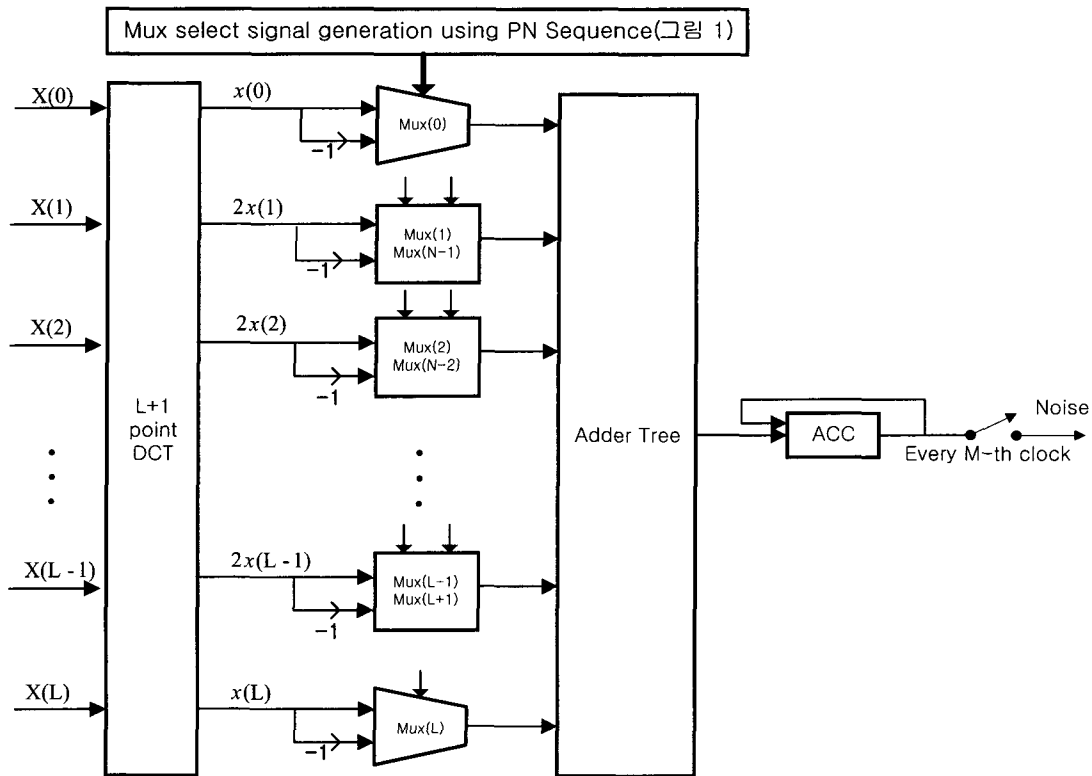


그림 5. 제안된 잡음 발생기의 구조
Fig. 5. The proposed low area structure of noise generation system.

산하여 하나의 잡음발생 출력을 발생시키게 된다. 그러나 <그림 1>에서 발생하는 N개의 0번째 레지스터에서 발생하는 Mux 선택신호를 사용하여 (L+1)개의 Mux 출력 값을 발생시켜 ACC 블록에서 덧셈을 수행하고 그 결과 값을 저장시킨 후에 N개의 1번째 레지스터에서 발생하는 Mux 선택신호를 사용하여 (L+1)개의 Mux 출력 값을 발생시켜 ACC 블록에 저장된 값과 덧셈을 수행한 후 다시 결과 값을 저장하도록 한다. 이러한 동작을 M-clk 동안 M-1번째 레지스터까지 수행한다. 따라서 식 (3)을 이용한 Mux에 연결된 (L+1)개의 ACC 블록을 모두 없애고 Adder Tree 블록 뒤에 한 개의 ACC를 사용하여 면적을 좀 더 감소시킨 잡음 발생기를 구현할 수 있다.

Mux에 대한 중복입력 특성과 Adder Tree에서의 덧셈의 순서 변환을 적용하여 <그림 5>와 같은 구조를 제안하였다. <그림 5>를 살펴보면, Mux는 모두 (L+1)개만을 사용하였으며, 식 (3)에서의 Mux에 대한 중복입력을 고려하여 Mux(0)와 Mux(L)을 제외한 (L-1)개의 Mux는 <그림 4>의 수정된 회로를 적용하였다. 또한 ACC 블록에서의 덧셈 순서를 변화시킴으로써 (L+1)개의 ACC 블록을 Adder Tree 뒷단에 하나의 ACC 블록으로 대체시켰음을 알 수 있다. <그림 2>의 기존의 잡음 발생기 구조와 비교를 해보면, (L-1)개의 Mux와 (N-1)개의 ACC 블록을 감소시켰다.

<표 2>와 <표 3>은 기존의 구조(<그림 2>)와 본 논문에서 제안된 잡음발생 구조(<그림 5>)에서 DCT 블록을 제외한 회로의 면적과 전력을 비교한 것이다. 각각의 회로는 VHDL로 코딩하였으며, Synopsys CAD tool을 이용하여 회로 합성과 전력소모에 대한 계산을 수행하였다. 여기에서 사용된 target library는 Synopsys에서 제공하는 class library이다.

<표 2>와 <표 3>을 살펴보면, 기존의 구조에 비해 제안된 잡음 발생기의 구조가 면적에서 61~64% 정도 줄었으며, 전력소모 측면에서는 41~56% 정도로 감소되었다. 제안된 구조가 기존의 구조에서 사용된 (L-1)개의 Mux와 (N-1)개의 ACC 블록을 줄임으로써 저면적을 갖게 되었다. 그러나 제안된 구조에서 critical path가 Adder Tree 블록까지 길어지게 되어 전력소모가 면적 감소 비율에 비해 조금 낮은 감소 수치를 보였다.

표 2. 구조별 면적 비교 (Gate 수)

Table 2. Area results of Synopsys simulation (number of gates).

DCT point 수	16	32	64
구 분			
기존의 구조	16316	32465	64143
제안된 구조	6316	12207	23143
감소율(%)	61.3	62.4	63.9

표 3. 구조별 전력 비교 (uW)

Table 3. Power results of Synopsys simulation (Power : uW).

DCT point 수	16	32	64
구 분			
기존의 구조	234.1793	453.7214	869.5307
제안된 구조	139.4519	233.2723	381.5276
감소율(%)	40.5	48.6	56.1

IV. 결 론

본 논문에서는 DCT를 이용한 잡음 발생회로의 면적을 감소시키기 위한 구조를 제안하였다. 제안된 잡음 발생기는 DCT 블록에서 발생되어 Mux의 입력으로 인가되는 신호의 중복성과 회로의 마지막 단을 이루는 Adder Tree에서 수행되는 덧셈의 순서를 변화시킴으로써 DCT 블록을 제외한 나머지 회로의 면적을 61~64% 정도 감소시킬 수 있었다. 또한 면적의 감소와 불필요한 스위칭 동작을 줄임으로써 전력소모를 DCT 포인트 수에 따라 41~56% 정도 감소시켰다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Chow, *Finite-length equalization for multi-carrier transmission systems*. Ph.D Thesis, Stanford University, 1992
- [2] J. L. Dixon, J. S. Yeomans, and J. M. Goldthorp, "NEXTNOISE—a programmable noise generating system for testing wire-based loop transmission systems," *Proceedings of the Globecom' 93*, pp. 1319~1324, Nov. 1993.
- [3] K. Tae, D. Kim, and J. Chung, "Noise

- Generation System Using DCT," *IEICE Trans. on Communications*, Vol. E84-B, No. 9, pp. 2697~2700, Sept. 2001.
- [4] J. Cioffi, "Very-high-speed digital subscriber lines system requirements," *Committee T1-telecommunications*, Nov. 1998.
- [5] A. Papoulis, *Probability, Random Variable, and Stochastic Processes*. McGraw-Hill Inc., 1991.

 저 자 소 개

金大翊(正會員) 第34卷 C編 第8號 參照

2002년 9월~현재 여수대학교 반도체응용물리학과 전
임강사

鄭鎮均(正會員)

현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수