

CDMA 송신 트레이닝 키트 설계에 관한 연구

정회원 최수열,* 신승식**

A Study on the Design of a CDMA Transmission Training Kit

Su-Yeol Choi*, Seung-Sik Shin** *Regular Members*

요 약

본 연구에서 우리는 전기/전자/통신 엔지니어들이 CDMA 기술을 쉽게 구현할 수 있도록 CDMA 송신 트레이닝 키트를 설계하였다. 제안하는 송신 트레이닝 키트는 랜덤한 원래의 데이터 신호를 발생시키는 데이터 발생기와 주파수 분할 다중 접속의 반송파 신호에 해당하는 PN 코드를 만드는 PN 코드 발생기, 그리고 이 두 발생기의 출력을 직접적으로 확산시키는 직접 확산 변조기로 구성되었다. 즉, 우리는 일반적인 5비트 쉬프트 레지스터를 사용함으로써 데이터 발생기를 설계하였고 1,023 비트를 갖는 PN 코드를 만들기 위하여 10비트 쉬프트 레지스터를 사용하여 PN 코드 발생기를 설계하였다. 실험에서 10비트 쉬프트 레지스터는 한 쌍의 5비트 쉬프트 레지스터로 대체하였다. 또한 우리는 배타적 논리합으로 원래의 정보 신호와 PN 코드를 연결하는 직접 확산 변조기를 설계하였다. 최종적으로 변조기의 출력 파형은 제안한 시스템의 타당성을 보여주었다.

Key Words : CDMA, PNcode, Carrier Signal, Direct Spread Spectrum

ABSTRACT

In this study, we designed a CDMA(Code Division Multiple Access) transmission training kit so that electrical/electronics/communication engineers could realize easily CDMA technique. This transmission training kit was constructed with the data generator that generated the random original data signal(original signal), and the PN(Pseudo-random Noise) code generator that made PN code corresponding to a carrier signal at FDMA(Frequency Division Multiple Access) and the direct spread spectrum modulator that had spreaded directly the output signal from those two generators. That is, we designed the data generator circuit by using the regular 5's shift register and the PN code generator by using the 10's shift register for the purpose of making the PN code with 1,023 bits. In the experiment, the 10's shift register was substituted for a pair of 5's shift register. We also designed the direct spread spectrum modulator connecting the original data signal and the PN code by the exclusive logic sum. Finally, the output waveform of the modulator showed the validity of this training system.

1. 서 론

1.1 연구 목적

전기/전자/통신 분야의 급속한 발전에 따라 우리가 사용하고 있는 핸드폰에 적용된 CDMA 방식은 많이 익숙한 단어이다. 또한, CDMA 방식을 채택한 이동통신

화 가입자 수가 일반 유선전화 가입자 수를 훨씬 넘어 서고 있다. 이에 본 논문에서는 전기/전자/통신 분야 공학도나 산업체 종사자들에게 CDMA 기술을 쉽게 이해시키기 위하여 CDMA 기본 개념에 맞춰 회로도를 설계하여 제시하고, 제시한 회로설계에 따른 실험 결과를 통하여 시스템의 타당성을 검증하였다.

※ 본 논문은 2010년도 서일대학 연구비에 의해 연구되었음.

* 서일대학 정보전자과 (semisan@seoil.ac.kr), ** 동양미래대학 전기과, 서일대학 정보전자과 (manmind@paran.com)

논문번호: 10049-1129, 접수일자: 2010년 11월 29일

1.2 연구 내용

제안하는 CDMA 송신 트레이닝 키트는 크게 원신호의 정보 데이터를 발생시키는 데이터 발생기, 반송파(Carrier)에 해당하는 PN코드를 발생시키는 PN코드 발생기, 대역확산(Spread Spectrum)을 위한 대역확산 변조기로 구성하였다.^{[5][6]} 즉, 정보 데이터는 원래의 사용자 데이터로서 임의의 디지털 정보로 간주하여 신호를 만들어 사용할 것이며, 이 정보 데이터 신호를 발생시키기 위해서 5비트 쉬프트 레지스터를 사용하였다. 또한 PN 코드 발생기는 아날로그 변조 방식에서 반송파(carrier signal) 역할을 하는 PN 코드를 발생시키는 장치로서, 주파수 분할 다중(FDM)화 할 때 반송파의 주파수를 분할하는 것처럼 CDMA 방식에서는 이 PN 코드를 원래의 신호에 분할하여 변조한다. 또한, PN 코드는 사용자의 원래 데이터 신호(Original signal), 즉 데이터 발생기로부터 나온 원 신호보다 비트율이 커야 하므로 10단 쉬프트 레지스터를 사용하여 PN코드를 발생시켰다. 대역확산을 위한 확산 변조는 직접 확산 변조방식을 사용하였으며 이를 실현 하기 위하여 Exclusive OR 게이트로 설계하였다. 즉, 제안한 송신 트레이닝 키트 시스템의 직접 확산 변조기는 사용자의 원신호에 해당하는 정보 데이터와 PN 코드 발생기에서 발생된 PN코드를 Exclusive-OR 게이트 처리하여 변조하였다.

II. CDMA 원리

CDMA 방식은 FDMA 또는 TDMA 처럼 반송파 신호를 주파수나 시간적으로 분할하여 다중 접속하는 것이 아니고 반송파 신호에 해당하는 PN코드, 즉 확산코드를 분할하여 다중 접속하는 방식이다.^{[1-4][10]} CDMA 방식을 이해하기 위하여 그림1과 그림 2에

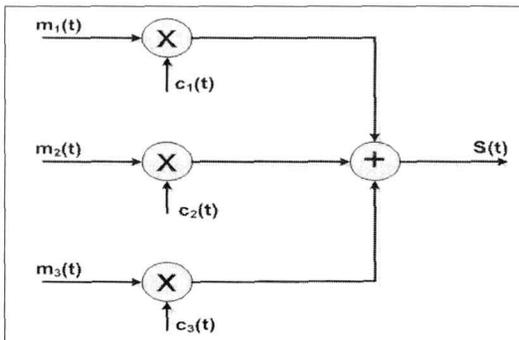


그림 1. CDMA 송신 기본 블록도

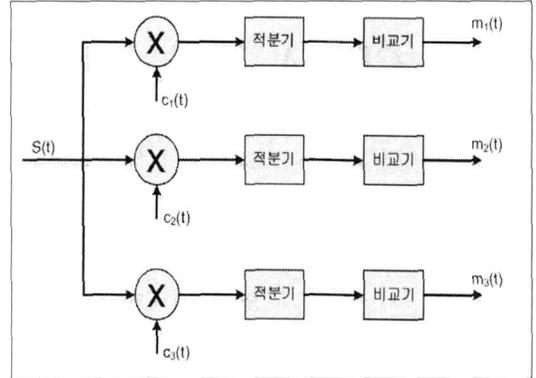


그림 2. CDMA 수신 기본 블록도

CDMA 원리의 기본 블록도를 나타내었다.

그림 1에서 $m_1(t)$ 와 $m_2(t)$, $m_3(t)$ 는 세 명의 다른 사용자가 각기 다른 메시지를 전송하고자 할 때의 메시지 신호를 모델링한 신호이다. 이들 세 명의 메시지 신호는 다음과 같다고 가정을 하자.

$$\begin{aligned} m_1(t) &= [+1 \ -1 \ +1] \\ m_2(t) &= [+1 \ +1 \ -1] \\ m_3(t) &= [-1 \ +1 \ +1] \end{aligned} \tag{1}$$

이 세 명의 사용자 메시지 신호에 확산코드를 분할하여 송신한 신호, 즉 서로 다른 PN코드를 곱한 신호는 각각 $m_1(t)c_1(t)$, $m_2(t)c_2(t)$, $m_3(t)c_3(t)$ 라 할 수 있다. 여기서 PN코드는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} c_1(t) &= [-1 \ +1 \ -1 \ +1] \\ c_2(t) &= [-1 \ -1 \ +1 \ +1] \\ c_3(t) &= [-1 \ +1 \ +1 \ -1] \end{aligned} \tag{2}$$

이들 PN코드는 (1) 상호상관이 매우 작거나 '0'이어야 하고, (2) 각 코드열은 1과 -1의 수가 같거나, 또는 그 차이가 1이하가 되어야 한다. (3) 각 코드에 대하여 각 코드의 차수(코드의 길이)로 나눈 내적은 1이 되어야 한다는 조건을 만족시켜야 한다[3][5-9]. 이러한 PN 코드의 조건을 식(2)에 표현한 PN코드를 예로 들어 설명하면 다음과 같다.

1) c_1 과 c_2 의 상관관계를 살펴보기 위해 상호 상관 식 $R_{xy}(0) = x^T y$ 를 적용하면,

$$\begin{aligned} c_1 c_2^T &= (-1)(+1) + (+1)(-1) \\ &+ (-1)(+1) + (+1)(+1) = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

으므로 상호상관이 0이다. 즉, c_1 과 c_2 는 서로 직교하여 서로 간섭을 일으키지 않는다. 이와 같은 상호 상관식을 적용하여 PN코드 c_1 과 c_2 , c_3 의 상관관계를 구하면 모두 0이 나타나 서로 간섭을 일으키지 않음을 알 수 있다.

- 2) 각 코드열의 1과 -1의 부호수는 서로 같으며,
- 3) 각 코드의 차수는 4이고, 내적은 다음과 같이 구할 수 있으므로 $c_1c_2^T$ 의 결과는 4이고,

$$c_1c_1^T = (-1)(-1) + (+1)(+1) + (-1)(-1) + (+1)(+1) = 4 \quad (4)$$

- 4) 이 내적을 차수 4로 나누면 1이 된다.

마찬가지로 $c_2(t)$ 와 $c_3(t)$ 에 대한 내적을 차수로 나누면 1이 됨을 알 수 있다. PN코드는 이러한 특징을 갖도록 설정해야 한다. 따라서 모델링 한 위의 식(2)는 PN코드의 특징에 적합함을 알 수 있다. 이제 다시 그림1, 2에 나타난 CDMA 블록도에 입각하여 CDMA 원리를 살펴보면, $m_1(t)$ 와 $c_1(t)$ 를 승산하는 과정에 있어서 $m_1(t)$ 의 1비트 구간에 대해 PN코드 4비트를 곱하면 그 결과는 표 1과 같이 표현할 수 있다.

$m_1(t)c_1(t)$ 는 첫 번째 메시지가 대역확산 된 신호로서 각 메시지 신호 $m(t)$ 는 PN코드 $c(t)$ 에 의해 확산된

표 1. 메시지 1의 경우 승산표

$m_1(t)$	+1				-1				+1			
$c_1(t)$	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
$m_1(t)c_1(t)$	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1

표 2. 메시지 2의 경우 승산표

$m_2(t)$	+1				+1				-1			
$c_2(t)$	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
$m_2(t)c_2(t)$	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1

표 3. 메시지 3의 경우 승산표

$m_3(t)$	-1				+1				+1			
$c_3(t)$	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1
$m_3(t)c_3(t)$	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1

다. 메시지 신호 $m_2(t)$ 와 $m_3(t)$ 에 대해 PN코드 $c_2(t)$ 와 $c_3(t)$ 를 승산한 결과는 표 2, 표 3과 같다.

이러한 방법으로 대역확산된 위의 세 개의 메시지 신호 $m_1(t)c_1(t)$, $m_2(t)c_2(t)$, $m_3(t)c_3(t)$ 는 식(5)과 같이 $S(t)$ 라는 신호로 합성된다.

$$S(t) = m_1(t)c_1(t) + m_2(t)c_2(t) + m_3(t)c_3(t) \quad (5)$$

이 때, $S(t)$ 의 결과는 다음과 같다.

$$S(t) = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

여기서 $S(t)$ 는 단일 주파수 대역에서 송신된 혼합 신호이다. 메시지 신호의 주기를 T 라 할 때 PN 코드의 chip 속도는 메시지 비트 속도의 4배이다. 따라서 대역 확산된 메시지의 대역폭을 원래의 메시지 대역폭으로 나눈 것을 처리이득 또는 확산계수라 하며, 여기서는 4또는 6dB가 된다. 만일, 전송과정 동안 에러가 없으면 동기가 완벽하게 이루어지고, 전력 제어가 이루어져 입력된 신호의 개별 전력이 일정하다고 가정한다면 그림 1에 나타난 방법으로 원래의 신호를 복원할 수 있다. 즉 $S(t)$ 신호에 수신시스템에서 확산 신호로 사용한 PN코드와 동일한 PN코드를 수신시스템에서 승산하고, 적분 과정과 비교기를 거침으로써 원래의 메시지 신호 $m_1(t)$, $m_2(t)$, $m_3(t)$ 를 복원할 수 있다. 이와 같은 방법으로 수신신호 $S(t)$ 와 PN코드를 각각 승산한 결과는 표 4와 같다.

표 4의 승산된 신호를 4비트씩 적분하면 표 5와 같

표 4. 수신신호 $S(t)$ 와 PN코드의 승산결과

$S(t)c_1(t)$	+1	-1	+1	+3	+1	-1	-3	-1	+1	+3	+1	-1
$S(t)c_2(t)$	+1	+1	-1	+3	+1	+1	+3	-1	+1	-3	-1	-1
$S(t)c_3(t)$	+1	-1	-1	-3	+1	-1	+3	+1	+1	+3	-1	+1

표 5. 승산신호의 4비트 단위 적분결과

$S(t)c_1(t)$	+1	-1	+1	+3	+1	-1	-3	-1	+1	+3	+1	-1
K_1	+4				-4				+4			
$S(t)c_2(t)$	+1	+1	-1	+3	+1	+1	+3	-1	+1	-3	-1	-1
K_2	+4				+4				-4			
$S(t)c_3(t)$	+1	+1	-1	+3	+1	+1	+3	-1	+1	-3	-1	-1
K_3	-4				+4				+4			

은 K값을 얻게 된다.

적분과정을 거친 신호 K에 결정임계값을 적용한 비교기의 출력 $m'(t)$ 는 원래의 메시지 신호 $m(t)$ 와 동일함을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} m'(t) &= +1 \quad K > 0 \\ m'(t) &= -1K < 0 \end{aligned} \quad (6)$$

지금까지 설명한 CDMA 원리는 기본적으로 전력 제어 및 동기가 정확히 이루어졌다는 가정에서 설명이 가능하다. 만일 전력제어가 올바르게 이루어지지 않고, 동기가 불충분하다면 이와 같은 전개는 불가능하다. 또한 PN 코드에 있어서 상호상관이 '0'이거나 매우 작아야 한다고 전제하였으나, 실제로 부분 상관이 일어나는 경우도 고려해야 한다. 여기서 코드의 상호상관이 '0'이라는 것은 앞서 설명한 바와 같이 코드가 서로 직교함을 의미하며, $R_{xy}(0) = x^T y$ 로 정의된다.^{[3][7][8][9]}

표 6. 임계값 K를 적용한 비교기 출력 $m'(t)$

$m_1(t)$	+1	-1	+1
$m_2(t)$	+1	+1	-1
$m_3(t)$	-1	+1	+1

III. CDMA 송신 트레이닝 키트 설계

CDMA 기본 원리를 이용하여 CDMA 송신트레이닝 키트를 제작하기 위해서는 CLOCK 발생을 위한 소스윈이 필요하며 이에 따른 시스템 초기화 장치를 설계해 주어야 한다. 이러한 간단한 초기화 장치는 10MHz 크리스탈 오실레이터를 분주시키고, Reset 회로를 설계함으로써 가능하다.

3.1 Reset 회로와 분주 회로의 제작과 출력파형

그림 3은 Reset 회로로서 쉬프트 레지스터의 PreSet 단자를 ON/ OFF 하고, 시스템을 Reset하기 위하여 설계하였다.

그림 4는 크리스탈 오실레이터의 발진 주파수를 분주하기 위한 회로로서 Data 발생기나 PN 코드 발생기에 클럭을 인가하기 위하여 제작하였으며 모의실험 결과는 아래의 그림 5와 같다.

또한, 그림 6은 회로를 제작하여 디지털 오실로스코프로 그 결과 파형을 나타낸 것으로서 1kHz의 신호

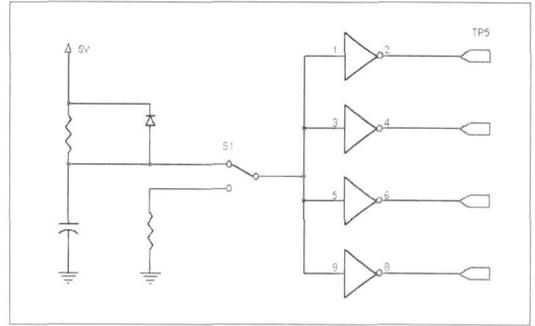


그림 3. Reset 회로

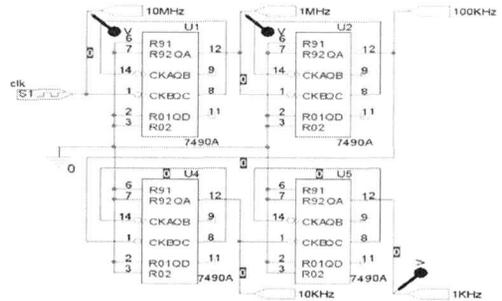


그림 4. 분주회로

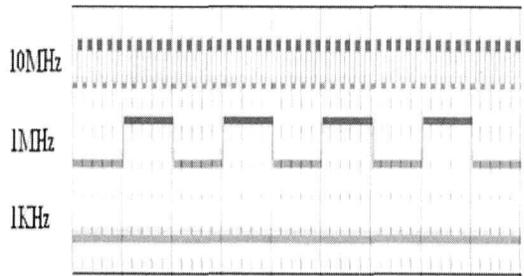


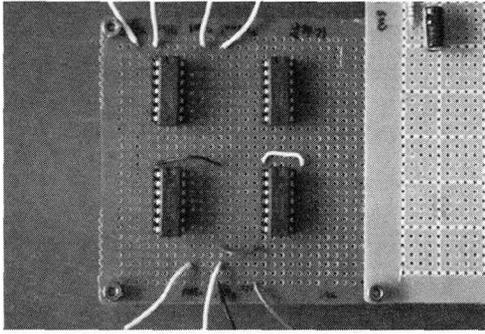
그림 5. 분주 회로 모의실험

파형을 캡처했다.

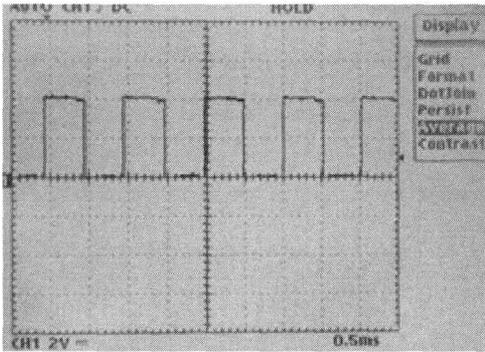
3.2 DATA 발생기의 제작과 출력파형

Data 발생기는 임의의 정보 신호 Data를 생성하기 위해 설계한 회로로서 5비트 쉬프트 레지스터를 이용하여 QB 및 QE 출력단을 X-OR하여 피드백함으로써 임의의 난수 DATA가 생성되도록 하였다. 그림 7은 Data 발생기 회로도 를 나타낸다.

그림 7에서 CLOCK은 이전 단계에서 설계한 10MHz의 오실레이터를 1kHz로 분주하여 클럭으로 사용하였고, PreSet 단자는 Reset회로를 이용하여 스위칭이 가능하도록 구성하였다. 이때 데이터 발생 출력은 그림에서 Data Gen.이라고 명기한 10번 핀이다. 그림 8

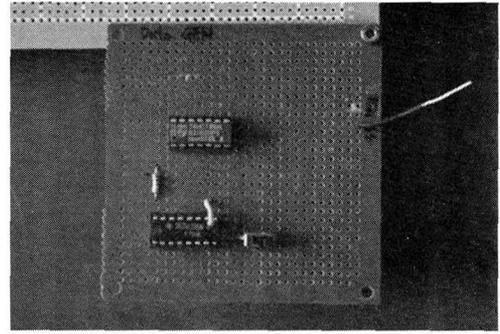


(a) 분주 회로의 제작

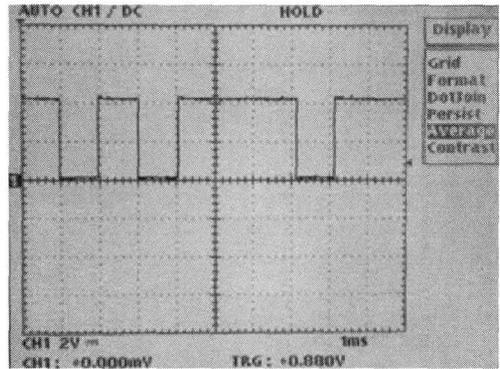


(b) 분주 회로의 출력 파형

그림 6. 분주 회로의 제작과 출력 파형



(a) Data 발생기의 제작



(b) Data 발생기의 출력 파형

그림 9. Data 발생기의 제작과 출력 파형

의미한다. 그림 9는 데이터 발생기를 만능기판에 제작하여 오실로스코프로 측정한 결과 파형이다.

3.3 PN Code 발생기의 제작과 출력파형

PN 코드 발생기는 그림 10과 같이 10단 쉬프트 레지스터 두 개를 결합하였으며, 하나($G_1(x)$)는 3과 10승 항에서 피드백 탭을 가지며, 또 하나($G_2(x)$)는 2, 3, 6, 8, 9, 10승 항에서 피드백 탭을 갖는다. 각 탭의

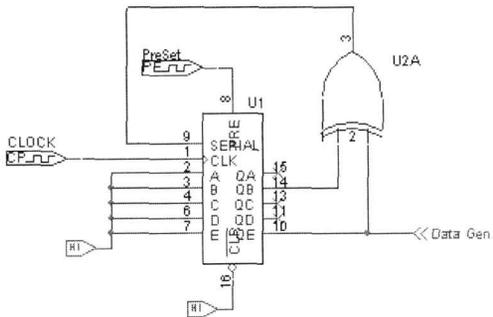


그림 7. 난수 Data 발생 회로도

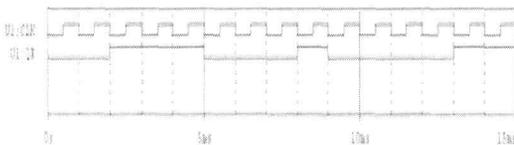


그림 8. Data 발생기 모의실험

은 그림 7에 나타난 Data 발생기 회로의 모의실험 결과로서, 파형은 1kHz의 클럭 파형이며, 밑의 파형은 Data Gen.의 파형으로서 임의의 데이터 발생 파형을

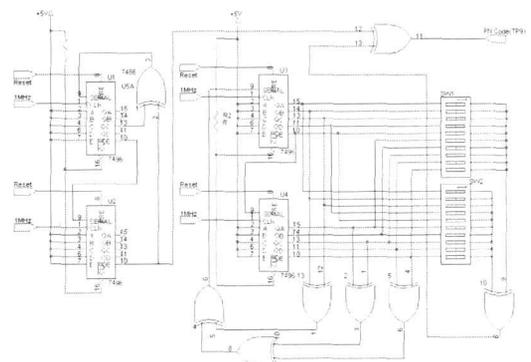
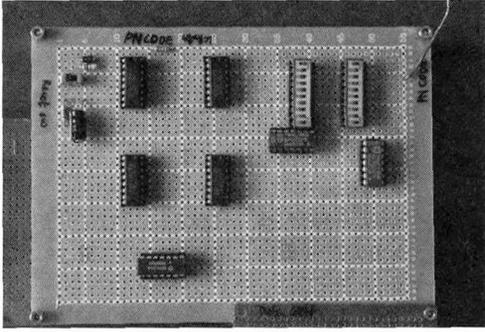
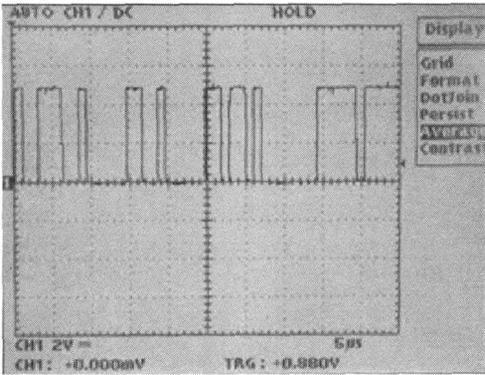


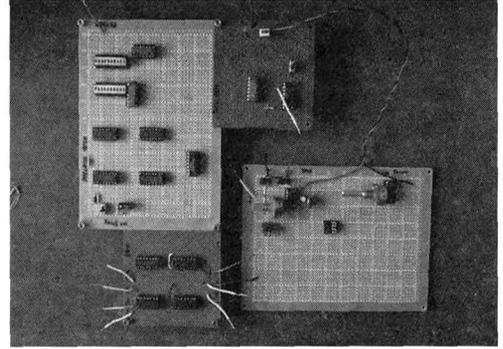
그림 10. PN 코드 발생기 회로도



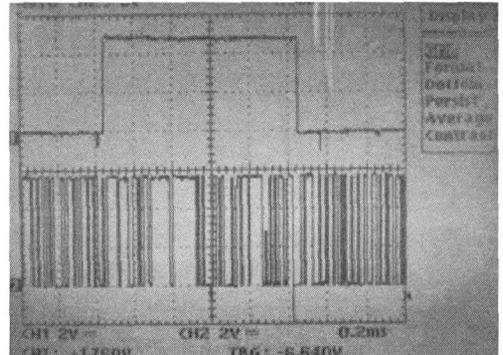
(a) PN 코드 발생기의 제작



(b) PN 코드 발생기의 출력 파형



(a) 대역확산 변조기의 제작



(b) 데이터발생기와 PN 코드발생기의 출력 파형

그림 11. PN 코드 발생기의 제작과 출력 파형

위치를 다항식으로 표현하면 식(7)과 같다.

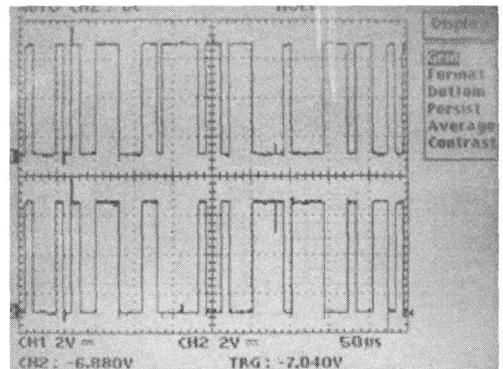
$$\begin{aligned}
 G_1(x) &= 1 + x^3 + x^{10} \\
 G_2(x) &= 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

그림 10과 같은 PN코드 발생기의 코드 길이는 $2n-1(n=10)$ 에 의해 1,023비트가 되며, 비트율은 1.023Mbps로써 1ms 주기를 갖는다. PN 코드 발생기를 제작한 만능기판과 출력은 그림 11과 같다.

3.4 대역확산 변조기의 제작과 출력파형

대역확산 변조기는 그림 9의 Data 발생기의 출력과 그림 11의 PN 코드 발생기의 출력을 배타적 논리합을 시킴으로써 구성할 수 있는데 대역확산 변조파형은 그림 12와 같다.

그림 12의 (b)에서 위의 파형은 데이터 발생기의 출력이며 아래 파형은 PN 코드 발생기의 출력이다. 또한 그림 (c)에서 위의 파형과 아래 파형은 각각 PN 코드와 대역확산 변조 파형을 나타낸다. 즉, 데이터 발생 파형과 PN 코드 파형을 Exclusive-or 게이트한 파형이 대역확산 파형이며 그림12의 (c)를 보면 파형



(c) PN 코드와 대역확산 변조기의 출력 파형

그림 12. 대역확산 변조기와 출력 파형

이 반전되는 것이 나타난다. 이는 데이터 발생 파형과 PN 코드가 서로 배타적 논리합에 의한 결과임을 보여 주고 있음을 나타낸다.

VI. 결 론

본 논문에서는 CDMA 원리에 기초하여 CDMA 송신 트레이닝 키트 회로를 제안하였고, 그 결과 파형을 제시하였다. 이미 핸드폰에 널리 상용화 되어 있는

CDMA 기술을 실습용으로 Kit를 제작하려는 목적으로 본 연구를 시작하였으며, 기존에 나와 있는 송신 Kit의 가격이 400만원 정도하는 것을 감안하면 본 연구에서는 매우 저렴하게 제작할 수 있어 상당한 경제적 효과를 볼 수 있다고 사료된다.

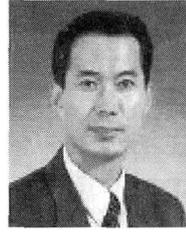
향후 보완할 사항으로는 일반적으로 CDMA 변조 방식에서 사용하고 있는 2차 변조 회로, 즉 BPSK 변조회로를 시스템에 추가하여 구현해야 할 필요성이 있다. 또한 제작한 송신시스템의 정확한 성능을 증명하기 위해서 수신 시스템을 개발하여 수신시스템에서 원래의 신호를 정확히 복원하는 것을 확인해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] K.S.Gilhousen, et al., "On the capacity of a cellular CDMA system", IEEE Trans. on VT, VOL. 40, pp. 303~312, May. 1991
- [2] Pickholtz, et al., "Theory of spread-spectrum communications - a tutorial", IEEE Trans. on Comm., VOL.30,no.5, May.1985
- [3] M.K. Simon, et al., "Spread Spectrum Communications, vol.I", Computer Science Press, 1985
- [4] 김선영 외 6인, "CDMA 이동통신을 위한 PN 코드의 성능분석", 한국전자통신연구원, 전자통신 동향분석, 1997.7
- [5] R.C.Dixon, Spread Spectrum System, Wiley, 1984
- [6] CDMA Digital CAI Standards Spec., Qualcomm Inc, 1991
- [7] Prasad, Ramjee., "CDMA for wireless personal communications", Artech House, 1996
- [8] 대한전자공학회, "CDMA 통신", 청문각, 1998
- [9] 옥윤철, "CDMA", 진한도서, 2003
- [10] 신승식 외 1인, "교육용 CDMA 송신시스템 설계". 디지털산업 정보학회, 디지털산업정보학회 2008 추계학술대회, 2008.11.22

최 수 열 (Su-Yeol Choi)

정회원



1984년 8월 한양대학교 전자공학
학과 졸업
1993년 2월 연세대학교 전기공학
전공 (공학석사)
2000년 2월: 동아대학교 전자
공학과 (공학박사)
1986년1월~1991년2월 쌍용양
회공업(주) 기술부 근무

1991년 3월~1994년 2월: 동도공업고등학교 전자과
교사

1994년 3월~2011년 2월 현재 서일대학 정보전자
과 교수

<관심분야> 음성인식, 신경회로망, 퍼지, 유전알고
리즘, 로봇제어

신 승 식 (Seung-Sik Shin)

정회원



1997년 2월 숭실대학교 대학원
전기공학과 졸업 (공학석사)
2004년 8월 숭실대학교 대학원
전기공학과 졸업 (공학박사)

1997년 1월~2000년2월 (주)제
니스테크선임연구원

2000년~2004년 인덕대학 정
보통신전공 겸임교수

2004년~2008년 서일대학 정보전자과 겸임교수

2003년 2월~2009년 12월 나뭇기술 선임연구원

2009년 3월~2011년 2월 현재: 동양미래대학 전기
과 전임강사, 서일대학 정보전자과 외래교수

<관심분야> 제어시스템, CDMA