

## 비선형 매핑회로를 이용한 HVPM 모델의 구현

### Implementation of HVPM Model Using Nonlinear Mapping Circuit

이익수\* · 여지환\*\*

Ik-Soo Lee and Ji-Hwan Ryeu

\* 포항1대학 정보통신과

\*\* 대구대학교 정보통신공학부

#### 요 약

본 논문에서는 복잡한 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 HVPM(Hyperchaotic Volume Preserving Maps) 모델의 회로를 제안하고, 보드상에서 구현하고자 한다. 제안한 HVPM 모델은 3차원 이산시간(discrete-time) 연립차분방정식으로 구성되어 있으며, 비선형 사상(maps)과 모듈러(modulus) 함수를 사용하여 랜덤한 카오스 어트랙터(attractor)를 발생시킨다. 이러한 HVPM 모델을 하드웨어로 구현하기 위하여 연산 부분은 연산증폭기를 사용하고, 매핑(mapping) 부분은 N형 함수와 비교기를 사용하여 설계한다. 특히, N형의 비선형 함수는 CMOS 전달특성과 선형증폭기의 출력특성을 조합하여 독특하게 구현하였다. 구현한 보드상의 실험에서 카오스 시스템 파라미터 값에 대응하는 가변저항기를 조절하여 비주기적인 하이퍼카오스 신호를 발생시킴을 입증하였다. 또한 출력된 카오스 신호들간의 오실로스코프 사진에서 위상공간(phase space)의 동적응답은 랜덤한 어트랙터를 발생시킴을 확인할 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose a new analog circuit of HVPM(Hyperchaotic Volume Preserving Maps) model for generating the complicated hyperchaotic signals and implement the chaotic signal generation circuit on the board level. The proposed chaotic equation, that is, HVPM model which consists of three dimensional discrete-time simultaneous difference equations and shows uniquely random chaotic attractor using nonlinear maps and modulus function. It is designed of a analog circuit to implement the hardware system which is built of math blocks using operational amplifiers and mapping blocks using N-type nonlinear circuits and comparators. Specially, we develop the N-type nonlinear circuit that consists of CMOS and linear amplifier transfer characteristic property. In the hardware experimental results, we demonstrate the generation of nonperiodic chaotic signals with changing the variable resistor corresponding to chaotic system parameters. And, we prove the patterns of random chaotic attractor on oscilloscope traces with the plot of phase spaces.

**Key Words** : 카오스 시스템, 하이퍼카오스, HVPM 모델, 비선형 매핑회로, 랜덤 카오스 어트랙터

#### 1. 서 론

카오스 신호는 다양한 동적(dynamic) 특성을 보이며, 예측이 불가능한 랜덤신호를 발생시킨다. 특히, 초기상태에 민감한 특징을 가지며, 신호의 주파수를 분석하면 광대역 전력 스펙트럼(broadband power spectrum) 분포를 나타낸다.

이러한 특징에도 불구하고, 최근에는 카오스 시스템 간의 동기화(synchronization) 알고리즘들이 많이 제안되었고, 이것을 비화통신 및 암호통신에 적용하려는 시도

가 활발히 진행되고 있다[1, 2].

카오스 신호를 이용한 변조통신은 카오틱 캐리어(chaotic carrier) 또는 파라미터(parameters) 변조기법을 이용하여 정보신호를 카오스 신호와 마스킹(masking)하여 통신을 한다. 그러나 기존의 단순한 카오스 신호는 안전한 시퀀스(secure sequence)로 직접 사용할 수 없다. 의도된 측정자가 카오스 정보를 획득하면 쉽게 재구성(reconstruction)할 수 있다. Short[3] 등은 카오스 암호 시스템의 구성들은 안전하지 않으며, 역마스킹(unmasking)의 예측기법을 이용하면 신호를 복호할 수 있다고 하였다. 일반적으로 카오스 동적현상의 경우는 위상공간에서 전형적인 패턴이나 사상 또는 어트랙터(attractor)가 나타나므로 신호를 역마스킹하는데 도움을 주며, 카오스 신호의 상관(correlation) 함수 값이 긴시간에 낮은 값을 갖는 경우는 신호를 예측하는데 더욱 유리하다고 알려져 있다. 그리고 단순한 카오스 시스템은 양의 값을 갖는 한개의 리아푸노프 지수를 가지므로 두개

접수일자 : 2000년 11월 18일

완료일자 : 2001년 01월 15일

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구의 지원으로 수행되었습니다.

이상이 양의 값을 갖는 하이퍼카오스(hyperchaos) 시스템을 사용해야 신호의 안전성을 더욱 보장할 수 있다고 한다.[4]

한편, 주파수확산(SS; spread spectrum)[5] 통신기술의 핵심은 확산 시퀀스(spreading sequence) 또는 PN(pseudo-noise) 시퀀스에 기인한다. 그러나 기존에 사용되는 PN 시퀀스는 종류와 크기가 다양하지 않으며, 주기성이 있다는 것이 단점으로 암호화 시스템 응용될 때에는 문제점이 발생된다. 또한 간섭을 줄이고, 통신성능을 향상하기 위해서는 PN 시퀀스가 좋은 상관특성을 가져야 하며, 빠른 PN 코드의 획득을 위하여 회로구현이 가능해야 하고 고도의 안전성(security) 등을 가져야 한다. 이러한 이유로 카오스 시스템은 기존의 주파수확산 시스템의 단점을 보완할 수 있다.

먼저 카오스 시스템은 다양한 PN 시퀀스의 발생이 쉬우며, 비주기적인 신호의 특징으로 인하여 신호의 보안성을 높일 수 있는 장점을 가진다. 그리고 보안통신에서 비밀키(secret key)로 사용할 수 있는 시스템 파라미터들을 변화시켜 다양한 동적상태로 변화시킬 수 있다. 이렇게 함으로써 임의의 아날로그 및 디지털 카오스 시퀀스를 사용하여 복잡하면서도 랜덤한 PN 시퀀스를 발생시킬 수 있다.

종래에 카오스 신호를 발생시키는 회로는 카오스 방정식에 따라 다양하게 구현이 가능하며, 비선형 전달함수 소자, 수동소자 및 능동소자 등을 사용하여 구성할 수 있다. 또한 출력신호에 따라서는 이산시간 및 연속시간의 형태 또는 전압 및 전류의 형태 등에 따라 다양하게 제안되었다.

Yamakawa[6]는 2차원 카오스 방정식을 제안하여 연산증폭기의 비선형회로, 지연회로(delay circuit), 샘플 및 홀드회로(sample and hold circuit)를 사용하여 이산시간 카오스 신호를 발생시키는 회로를 칩으로 구현하였다. Chua<sup>[7]</sup>는 저항, 인덕터, 커패시터 및 비선형 저항 등의 수동소자를 사용하여 3차원 연속시간 Chua 발진기를 제안하여, 카오스 신호의 발생 원리와 다양한 카오스 어트랙터의 발생을 증명하였다.

본 논문에서는 기존의 보안통신이나 주파수확산 시스템에 사용되는 단순한 PN 시퀀스의 단점을 극복하기 위하여 복잡한 하이퍼카오스 신호를 도입하여 전개하였다. 기존의 카오스 시스템이 위상공간에서 나타내는 전형적인 단순한 카오스 어트랙터를 개선하기 위하여 단계별 모듈러(modulus) 함수를 도입하여 랜덤한 카오스 어트랙터 패턴을 갖는 3차원 이산시간 HVPM 모델을 제안한다. 그리고 HVPM 모델을 N형 비선형 회로의 조합으로 모듈러 회로를 설계하고, 연산증폭기를 사용하여 아날로그 회로로 보드상에 구현하여 하이퍼카오스 신호의 발생을 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안한 HVPM 모델을 설명하고, 모의실험으로 하이퍼카오스 신호발생을 확인한다. 3장에서는 HVPM 모델을 아날로그 회로로 설계하고, 구현한 보드상의 실험을 설명하고자 한다.

## 2. HVPM 모델

이산시간에 대한 카오틱 사상(chaotic map)은  $n$ 차 비

선형 함수를 선형사상으로 하여 계속적인 순환 피드백(recursive feedback)으로 카오스 신호를 발생시킬 수 있다. 이때 핵심적인 메커니즘은 팽창(stretching)과 축소(folding) 변환의 계속적인 반복 연산에 의한 것이다. 본 논문에서는 기존의 카오스 시스템이 갖는 단순하면서도 전형적인 카오스 어트랙터를 개선한 랜덤한 카오스 어트랙터 패턴을 형성하기 위하여 위상공간에서는 지역적인 VP(volume preserving)를 이루고, 계속적인 비선형 변환함수로는 모듈러 함수를 사용하여 출력신호간의 방향성을 갖지 않는 랜덤한 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 차분방정식을 제안한다.

비선형 변환  $L$ 은 팽창함수(EF; expansion function)가 되며,  $e(n+1)=Le(n)$ 에 의해 이산시간 카오스 신호를 발생시킨다. 또한 접힘함수(FF; folding function)는  $x(e)=\{e_1 \bmod[k], e_2 \bmod[k], \dots, e_n \bmod[k]\}$ 를 사용하면 위상공간에서 영역  $[-k_1, k_1]$ 에 제한된 시퀀스가 발생된다. 따라서 다음의 식 (1), (2) 및 (3)을 3차원 이산시간 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 차분 연립방정식을 HVPM(hyperchaotic volume preserving maps)으로 정의하였다.<sup>[8]</sup> 여기서  $f$ 는 모듈러 함수이며,  $h$ 는 N형의 연속적인 시그모이드(sigmoid) 비선형함수와 선형함수의 대수함수로 표현이 된다.

$$\begin{aligned} x(n+1) &= f[ax(n) + \beta z(n)] \\ y(n+1) &= f[\gamma y(n) + \delta z(n)] \\ z(n+1) &= f[\rho x(n) + \sigma y(n)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$Y = f(X) = \begin{cases} h(X+p) & \text{for } X < 0 \\ h(X-p) & \text{for } X \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a(t+1) &= h(a(t)) \\ &= k_1 a(t) - k_2 \left\{ \frac{2}{1 + e^{-a(t)/\epsilon}} - 1 \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

모듈러 함수  $f$ 의 변환은  $X$  신호를 비교한 후,  $X$ 의 신호에  $\pm p$  상수를 더하고,  $h$ 함수의 출력값을  $Y$ 로 한다. 식 (1)에서의 3개의 연립 차분방정식은  $x(n)$ ,  $y(n)$ ,  $z(n)$  값의 선형조합으로 단순하여 구성할 수 있으며, 이것은 카오스 시스템의 카오스 동기화를 고려하여 구성하였다.

카오스 시스템의 시스템 파라미터, 즉  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \rho, \sigma$  등과 모듈러 함수의 파라미터  $k_1, k_2, \epsilon, p$  등은 카오스 상태를 변화시킬 수 있는 변수들로서 이러한 파라미터를 변화시켜 다양한 동적응답을 구할 수 있다. 그리고, 각각의 입력  $n$ 시간, 즉 이산시간에 연립방정식을 수행한 후, 모듈러 함수를 통과시켜 순환루프의 출력으로  $n+1$ 시간의 하이퍼카오스 신호를 발생시킨다. 그림 1에서는  $p$ 값을 2 및  $k_1$  값을 1로 정한 모듈러 함수  $f$ 를 나타내었다.

그리고, 각각의 입력  $n$ 시간, 즉 이산시간에 연립방정식을 수행한 후, 모듈러 함수를 통과시켜 순환루프의 출력으로  $n+1$ 시간의 하이퍼카오스 신호를 발생시킨다. 그림 1에서는  $p$ 값을 2 및  $k_1$  값을 1로 정한 모듈러 함수  $f$ 를 나타내었다.

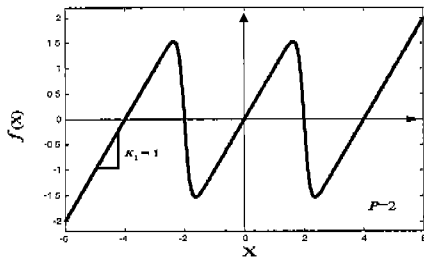


그림 1. 모듈러 함수  
Fig. 1. The function of modulus

제안한 HVPM 모델을 컴퓨터를 이용하여 비선형 동역학의 신호처리 기법을 바탕으로 카오스 동적상태를 수치해석하였다. 식 (1)에서 식 (3)에 적용한 시스템 파라미터로는  $\alpha=-4/3$ ,  $\beta=1.0$ ,  $\gamma=1/3$ ,  $\delta=1.0$ ,  $\rho=1.0$ ,  $\sigma=1.0$ ,  $p=2.0$ ,  $k_1=1.0$ ,  $k_2=2.0$ ,  $\epsilon=0.1$  등의 값을 정하고, 모의실험한  $x(n)$ ,  $y(n)$ ,  $z(n)$  등의 출력신호는 그림 2에서와 같으며 제한된 영역에 방향성을 갖지 않는 복잡한 하이퍼카오스 시간파형이 된다.

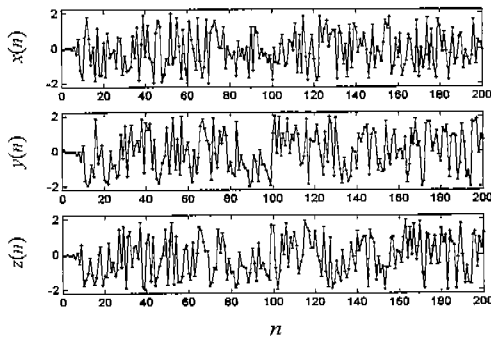


그림 2. 하이퍼카오스 신호의 시간파형  
Fig. 2. The time waveform of hyperchaotic signals

그리고 일반적인 카오스 신호의 특징은 초기값에 민감한 특성을 보이며, 신호의 예측이 불가능하게 된다. 모의 실험에서 제안한 HVPM 모델의 각 상태의 값을  $10^{-4}$ 의 차이로 하여 신호가 반복 계산 후에는 즉각적으로 다른 파형을 발생시켰다. 따라서 이러한 카오스 시스템에서는 무수한 초기값의 선택과 더불어 다수의 시스템 파라미터들은 랜덤한 시퀀스 발생에서 랜덤 시드(seed)로 처리하여 수많은 비주기의 랜덤신호를 얻을 수 있다.

그림 3에서는 3차원 위상공간에서 1000개의 카오스 출력상태를 도시한 것으로 체적의 위상공간을 불규칙하게 채우는 랜덤한 카오스 어트랙터의 패턴을 보인다. 이것은 기존의 전형적인 카오스 어트랙터와는 달리 일정한 패턴을 형성하지 않는 복잡한 하이퍼카오스 상태가 되어 신호를 예측하기가 어렵게 된다는 것을 나타낸다. 또한 발생된 카오스 상태의 시간파형을 주파수 스펙트럼으로 분석하면 신호의 주파수는 넓은 대역에 전력이 분포하여 잡음신호의 주파수와 같이 균일한 광대역 스펙트럼 형태를 가진다. 이러한 신호는 통신시스템

에 반송파(carrier)로 사용될 경우에 정보신호의 주파수 분포를 전송대역에 확산시키는 주파수확산통신에 사용될 되어 확산부호로 응용할 수 있을 것이다.

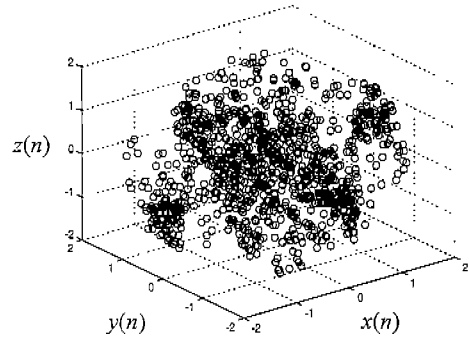


그림 3. 3차원 랜덤한 카오스 어트랙터  
Fig. 3. The three dimensional plot of random chaotic attractor

본 논문에서 제안한 카오스 모델이 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 지 증명하기 위하여 리아푸노프(Lyapunov) 지수값을 도입하였다. 리아푸노프 지수는 초기값들이 정상상태에서 어떠한 영향을 미치는가 하는 정도를 측정하는 것으로, 보통 지수의 값이 영 이하일 때에는 안정된 주기상태가 된다. 리아푸노프 지수 값이 양의 값일 때에 카오스 상태로 간주할 수 있으며, 지수 값의 두 개 이상이 양의 값을 가질 때를 하이퍼카오스 시스템(hyperchaotic system)이라 한다. 제안한 VPM의 카오스 매핑은 단순한 미분이 불가능하므로, Sawada<sup>[8]</sup> 알고리즘을 기반으로 발생된 카오스 시간파형의 데이터를 분석하여 리아푸노프 지수값을 계산하였다. 모의실험 결과, 카오스 영역에서 구한 리아푸노프 지수 값은 그림 4에서와 같으며, 3개의 지수값이 양의 값을 가지므로 VPM 시스템을 하이퍼카오스 시스템이라 할 수 있다.

일반적으로 하이퍼카오스 시스템을 구성하려면 카오스 시스템을 연결하여 복잡하게 구성하여야 하지만, 본 논문에서 제안한 HVPM 모델은 단순한 모듈러 함수를 사용하여 이산시간에 대하여 복잡한 하이퍼카오스 시스템이 되는 장점을 가진다.

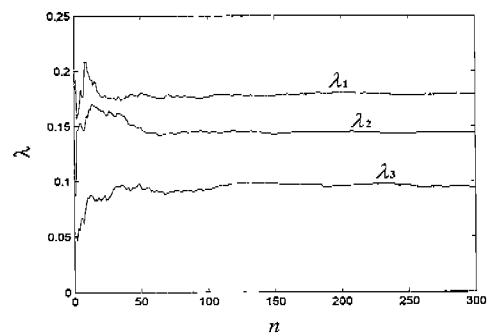


그림 4. HVPM 신호의 리아푸노프 지수  
Fig. 4. The Lyapunov exponent of HVPM signal

### 3. HVPM 모델의 회로구현

카오스 신호를 발생시키는 아날로그 회로로는 카오스 방정식에 따라 비선형 전달함수 소자, 수동소자 및 능동소자 등을 사용하여 비선형회로로 구성할 수 있다. 출력형태로는 이산시간 및 연속시간으로 또는 전압 및 전류의 형태 등에 따라 다양하게 구현할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 HVPM 모델이 3차 이산시간 연립 차분방정식으로 표현되므로, 출력상태로는 이산시간 및 전압의 형태로 카오스 발생회로를 설계하였다.

HVPM 모델을 회로로 구현하기 위하여 식 (1)의 구성은 3차원 시스템이므로 그림 5에서와 같이 1차원 비선형회로 블록을 3개로 구현하여  $x(n+1)$ ,  $y(n+1)$ ,  $z(n+1)$  등의 출력을 발생시키도록 설계하였다. 1차원 비선형회로 블록은 우선 이산시간의 동작을 위하여 입력력단에 샘플 및 홀드회로를 구성하고, 매핑회로(mapping circuit) 블록은 다시 연산회로(math circuit)와 모듈러회로(modulus circuit) 블록으로 나누어 회로를 설계하였다.

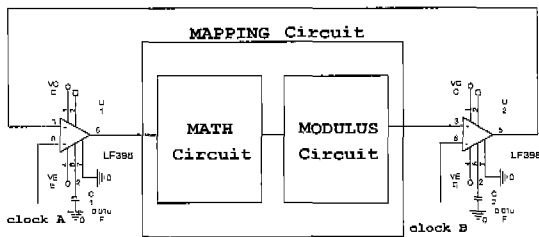


그림 5. 1차원 비선형회로 블록도  
Fig. 5. The block diagram of one dimensional nonlinear circuit

매핑회로에서 HVPM 모델의 연립방정식 부분의 계산을 위하여 연산회로 블록에서는 가감산기 연산증폭기 회로로 LF353을 사용하였다. 그리고 랜덤패턴을 형성하기 위하여 그림 1에서와 같은 모듈러회로 블록을 구현하기 위하여  $x$ 축의 영점을 기준으로 좌우측 대칭인 N형의 전달특성을 갖는 회로 블록 먼저 설계하고, 이것을 좌표 이동시켜 독특하게 모듈러회로를 설계하였다. N형 비선형 함수의 회로구현을 위하여 그림 6에서와 같이 시그모이드(sigmoid) 함수 구현을 위하여 칩 4007 내부의 CMOS 인버트 전달특성 및 피드백 저항으로 제한하였으며, 연산증폭기의 선형특성과 조합하여  $N(x)$  출력함수 회로를 설계하였다.

그리고 HVPM 모델의 동적특성은  $h(X)$  함수의 기울기  $\epsilon$ 에 의해 민감한 특성을 나타내므로, 피드백 저항  $R_f$ 을 조정하여 급격한 기울기에서 완만한 기울기까지의 가변이 가능하도록 하였다. 또한 구성된 N형 비선형함수의 회로를 비교기와 4066의 아날로그 스위치를 사용하여 HVPM 모델에서의 모듈러 함수를 회로로 구현하였다. 또한 HVPM 모델을 전자회로로 구현하는데 있어, 여러 가지 시스템 파라미터들의 독립적인 가변이 가능하도록 변수값은 가변저항기를 사용하였고, 전체적으로 IC 칩으로 구현을 쉽게 하기 위하여 아날로그 회로로 설계 및 구현하였다.

구현한 HVPM 모델의 아날로그 회로를 보드상에서 각종 카오스 시스템 파라미터들을 가변저항의 값으로 조절하여 실험을 행하였다. 그림 7에서는 N형 비선형함수의 입력에 정현파 입력을 가하여 출력파형을 오실로스코프를 사용하여 전달특성을 나타낸 것이다.

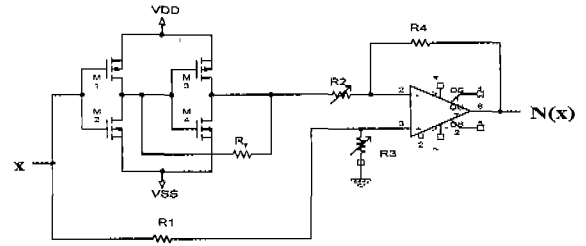


그림 6. N형 비선형함수의 전자회로도  
Fig. 6. The electronic circuit of N-type nonlinear function

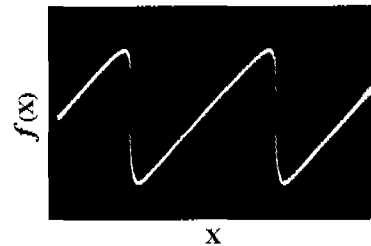


그림 7. 모듈러회로의 전달특성  
Fig. 7. The transfer characteristic of modulus circuit

그림 1에의 모듈러 함수와는 조금 다르게 오프셋(offset) 값을 갖지만, 전체적으로 그림1과 같이 정확한 출력을 보임을 알 수 있었다.

그림 8에서는 HVPM 모델을 구현한 회로에서 출력된 하이퍼카오스 출력  $z(n)$ 의 시간파형을 측정된 사진이다. 그림에서와 같이 구현한 카오스 회로의 이산시간 출력은 제한된 영역에서 비주기적인 카오스 파형을 계속 발생시키는 것을 알 수 있다. 이러한 하드웨어에서 출력된 카오스 신호는 소프트웨어 프로그램으로 계산된 것이 아니므로 진정한 랜덤신호가 된다. 따라서, 출력된 하이퍼카오스 신호를 데이터베이스 하면 안전한 시퀀스가 된다. 그리고 HVPM 모델은 기존의 카오스 시스템과는 달리 하이퍼카오스 신호를 발생시키며 랜덤한 카오스 어트랙터를 보인다. 따라서 구현한 회로에서도 그림 9서와 같이 2차원의  $xy$  위상공간에서 전공간을 채우는 랜덤한 카오스 어트랙터를 보임을 확인할 수 있다.

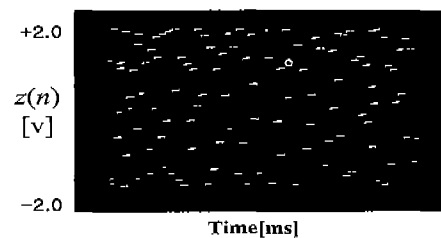


그림 8. HVPM 모델 회로의 출력파형  
Fig. 8. The circuit waveform of HVPM model

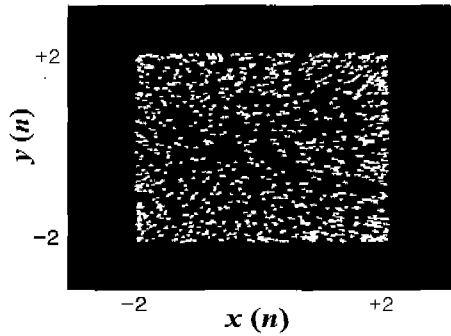


그림 9. 랜덤한 카오스 어트랙터의 OSC 사진  
Fig. 9. The OSC trace of random chaotic attractor

하드웨어로 제작한 후, 보드상에서 실험한 카오스 발생회로에서의 출력값은 아날로그 값이므로 실제 데이터로 사용될때에는 ADC( analog digital conversion) 회로를 통해야 한다. 따라서 그림 10에서는 디지털값으로 변환한  $z(n)$  의 신호를 도시한 것이며, 그림에서와 같이 제한된 영역에서 복잡한 하이퍼카오스 신호를 발생시킬 수 있다.

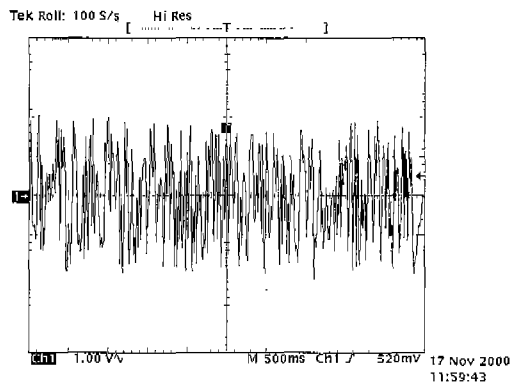


그림 10. 디지털값으로 변환된  $z(n)$  신호  
Fig. 10. The  $z(n)$  signals of digital value with ADC circuit

#### 4. 결론

본 논문에서는 복잡한 하이퍼카오스 신호를 발생시키며, 랜덤한 카오스 어트랙터 패턴을 형성하는 HVPM 모델을 제안하고, HVPM 모델을 아날로그 전자회로로 구현하여 보드상에서 하이퍼카오스 출력을 실험하였다. N형 모듈러회로를 설계하여 3차원 이산시간의 다양한 하이퍼카오스 신호를 발생시켰으며, 하드웨어로 구현한 회로에서도 다양한 시스템 파라미터를 가변저항기를 조절하여 모의실험과 같은 하이퍼카오스 출력신호를 증명하였다. 앞으로 제안한 HVPM 모델과 구현한 랜덤한 카오스 신호발생기의 신호를 사용한 카오스 동기화 및 비화통신 시스템에 응용하여 성능평가 및 상품화 연구가

진행되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] U. Parlitz, S. Ergezing, "Robust communication based on chaotic spreading sequences," *Physics Letters A* 188, pp.146-150, 1994.
- [2] K. M. Cuomo and A. V. Oppenheim, "Circuits implementation of synchronized chaos with applications to communications," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 71, No. 1. pp.65-68, 1993.
- [3] K. M. Short, "Steps toward unmasking secure communications," *International journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.4, No.4 pp.959-977, 1994.
- [4] T. Kapitanoak and L. O. Chua, "Hyperchaotic attractors of unidirectionally coupled Chua's circuits," *Int. J. Bifurcation and Chaos*, vol. 4, no. 2, pp. 477-482, 1994.
- [5] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling and L. B. Milstein, "Theory of spread-spectrum communications-A tutorial," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-30, No.5, pp. 855-884, May 1982.
- [6] T. Yamakawa, T. Miki, and E. Uchino, "A chaotic chip for analyzing nonlinear discrete dynamical systems," *Proc. 2nd International Conference on Fuzzy logic & Neural Networks(Iizuka, Japan)*, pp. 563-566, 1992.
- [7] L. O. Chua, "Global unfolding of Chua's circuit," *IEICE Trans. Fundamentals*, E76-A, no. 5, pp. 704-734, 1993.
- [8] M. Sano and Y. Sawada, "Measurement of the Lyapunov spectrum from a chaotic time series," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 55, no. 10, pp. 1082-1085, 1985.
- [9] Lee Ik-Soo, Kim Hyeong-Rag, Lee Dong-Rok and Sohng Kyu-Ik, "HVPM에 의한 카오틱 신호발생기와 카오틱 랜덤 시퀀스 특성," *韓國通信學會論文誌*, 제24권 제6T호 pp. 116-124, 1999.

#### 저자 소개



이 익 수 (Ik-Soo Lee)

1991년 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
1994년 : 경북대학교 대학원  
전자공학과 졸업(석사)  
2000년 : 경북대학교 대학원  
전자공학과 졸업(박사)  
1996년 ~ 현재 : 포항1대학 정보통신과 조교수

주관심분야 : 회로 및 시스템설계, 카오스 및 지능시스템 제어, 카오스응용



**여 지 환 (Ji-Hwan Ryeo)**

1975년 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
1977년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)  
1992년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)  
1982년 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

주관심분야 : 반도체소자 및 회로설계, 카오스 및 퍼지회로, 신경회로망 설계