

직접 확산 스펙트럼통신을 위한 Chaotic Sequence의 상관특성

正會員 金 南 善 正會員 韓 榮 烈

The Correlation Characteristics of Chaotic Sequence for Direct Sequence Spread Spectrum Communication

Nam Sun Kim, Young Yearl Han *Regular Members*

ABSTRACT

This paper presents the correlation characteristics of chaotic signal generated by discrete-time dynamical state equation. The correlation characteristics of analog chaotic signal are analyzed and those of the binary chaotic sequence of this signal are also investigated. The correlation characteristics of the chaotic sequence generated by varying the initial value and gain gives results good enough to be used for DS/CDMA system.

By this methods, the binary chaotic sequences can be used for allocating the spreading sequence for users in the direct sequence spread spectrum communication system.

요 약

본 논문에서는 불연속 동적 상태방정식에 의하여 발생된 케오틱신호(chaotic signal)의 상관특성을 분석하였다. 발생된 아날로그 형태의 케오틱신호의 상관특성을 분석하며 이 신호를 2치화 한 이진 케오틱시퀀스의 상관특성도 분석한다. 초기값 및 이득에 의해 발생된 케오틱시퀀스의 상관특성을 통하여 실제 DS/CDMA 시스템에 적용하기 위한 결과를 보여준다. 이와같은 방법을 통하여, 발생된 이진 케오틱시퀀스가 직접확산 스펙트럼통신에서 사용자에게 확산부호를 할당할 수 있는 근거를 제시한다.

I. 서 론

순수 학문분야에서 발생한 혼돈이론(chaos theory)

은 현재 여러분야에서 광범위하게 응용되기 시작하였다. 이러한 연구는 현재 기초적인 이론을 축적하는 단계에서 응용분야로 발전하는 과정에 있다고 말할 수 있다. 즉 물리학, 생물학등의 분야를 벗어나 인공 지능, 신경회로망에 접목하려는 시도가 활발히 이루

漢陽大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic Communication Engineering
Haynag University

論文番號 : 9463
接受日字 : 1994年 2月 28日

어지고 있으며 암호, 데이터 압축 및 자동제어등의 분야에서도 연구가 활발히 진행중이다. 현재 국내 시장에서도 혼돈이론을 적용한 상품이 등장하고 있으며 그 응용분야에 대한 장래를 예측할 수 없다.

혼돈(chaos)이란 것은 매우 복잡하고 불규칙적인 움직임으로 발미암아 예측이 불가능한 상태를 뜻한다. 이와같이 아무렇게나 움직이고 행동하는 것처럼 보이는 불규칙한 현상에 내재된 일정한 규칙이나 법칙을 해석하고 밝혀내는 것이 혼돈이론이다. 이러한 혼돈현상은 결정적 비선형 동적시스템(non-linear dynamical system)으로 부터 생성되는 복잡하고 잡음과 같은 현상을 말하며 다음과 같은 비선형 동적시스템을 관찰 하므로써 얻어질 수 있다[1][2].

$$X_{n+1} = \mu \cdot f(X_n) \quad (1)$$

식 1 은 함수 $f(\cdot)$ 에 의해서 현재상태가 다음상태로 매핑(mapping)되는 불연속 동적시스템(discrete-time dynamical system)의 상태방정식이다. 이러한 방정식에 의해서 발생된 신호는 이득(μ ; gain) 및 초기값(X_0 ; initial condition)에 의해 영향을 받으므로 무수한 많은 신호를 발생시킬 수 있는 장점을 가질 수 있다. 또한 초기조건에 민감한 의존성으로 인해, 발생된 신호들은 랜덤(random)특성을 가지며 서로 상관되지 않고 결정적인(deterministic) 특성을 지니고 있다[3][4]. 이렇게 발생된 상관되지 않은 신호들을 확산통신에서 확산부호로 이용할 수 있다면 사용자에게 확산부호를 할당할 수 있을 것이다.

직접확산 스펙트럼(direct-sequence spread-spectrum) 통신은 동일한 주파수 대역과 동일한 중심주파수를 가지고 여러사람이 동시에 통신할 수 있는 방식이다. 사용자들에게 각기 다른 확산부호(spreading sequence)를 할당하며 각 사용자쌍은 서로 같은 확산부호를 가지고 확산(spreading) 및 역확산(despreading)을 할 수 있어 통신이 가능하다[3][4]. 확산부호의 자기상관(auto-correlation)함수 및 상호상관(cross-correlation)함수는 확산 스펙트럼시스템에서 매우 중요한 역할을 한다. 부호는 우선 발생하기 쉽고 자기 상관함수값이, 지연이 0일때는 높고 그외에서는 영에 가까운 값을 가지며 상호상관함수의 값도 모든 지연에 비해 낮은 상관값을 갖는 것을 택하여야 한다. 그래야만 상관기를 사용할 경우 동기를 이루기 쉽고 데이터를 1비트(bit)의 시간간격으로 역확산시켜 적분기를 통해 복조할때 복조가 쉽게 이루어진다.

Heidari-Bateni[5]는 발생된 케오틱신호(chaotic signal)를 DS/SS시스템에 적용한 예를 보여주고 있다. 여기서 Haidari-Bateni는 케오틱신호를 확산부호로 사용할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 또한 Heidari-Bateni[6]는 사용자의 정보신호에 따라 다른 이득을 갖는 아날로그 케오틱신호를 이용하여 통신이 가능함을 보였다. 여기서 사용한 케오틱신호는 아날로그형태를 갖는다. 이와같이, 발생된 케오틱신호는 이진값을 갖지 않는 아날로그신호라는 점에서 종래의 부호와 크게 구별된다. 이러한 신호를 디지털 통신에서 확산부호로 사용하기 위해서 아날로그 신호를 이진값(binary value)으로 변환하는 과정이 필요하다. 만약 이렇게 변환된 시퀀스들이 종래의 부호들과 유사한 상관특성을 갖는다면 케오틱시퀀스(chaotic sequence)는 많은 사용자들 위해 좋은 확산부호로 사용할 수 있을 것이다.

본 논문은 발생된 이진 케오틱시퀀스가 확산통신에서 확산부호로 사용할 수 있는 가능성을 제시하는데 그 목적이 있다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 혼돈발생계로 잘 알려진 일차원 LOGISTIC MAP에 의해서 케오틱신호를 발생시켜 신호를 해석하며 발생된 신호를 이용하여 두개의 이진값을 갖는 시퀀스를 얻는다. 또한 3절에서는 발생된 아날로그 케오틱신호와 이진 케오틱시퀀스의 상관특성을 조사한다. 마지막으로 4절에서 결론을 맺을 것이다.

II. 이진 케오틱시퀀스

케오틱신호를 발생시키는 일차원 MAP에는 TENT MAP, CUT, MAP, LOGISTIC MAP 등 여러종류가 있지만 본 논문에서는 LOGISTIC MAP에 의해서 발생하는 신호들을 대상으로 한다. 즉 다음과 같은 순환(recursive) 형태를 갖는 방정식에 의하여 케오틱신호를 발생시킬 수 있다.

$$X_{n+1} = \mu \cdot X_n \cdot (1 - X_n), \quad (\mu \text{는 정수}) \quad (2)$$

식 2는 그림 1과 같은 순환루프(recursive loop)를 형성한다.

그림 1은 상태 X_n 과 X_{n+1} 의 관계를 나타내며 주어진 이득과 초기값에 의하여 연속적으로 무수히 많은 점(point) $X_n(n=0, 1, 2, \dots)$ 이 발생된다. 이러한 신호 X_n 는 불연속 시스템의 궤도(orbit)라 부르며 이때 이득과 발생되는 신호가 갖을 수 있는 범위는 다음과

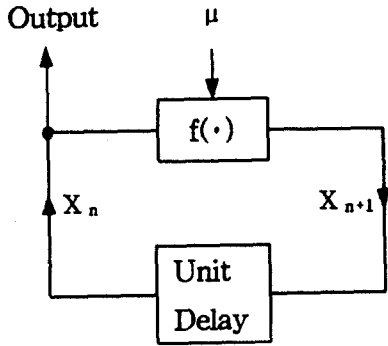


그림 1. 재귀 루프(recursive loop)

같다.

$$\begin{cases} 0 < \mu \leq 4 \\ 0 < X_n < 1 \end{cases} \quad (3)$$

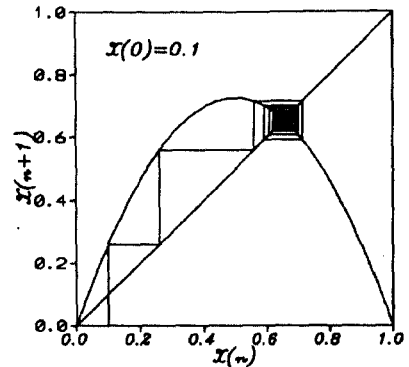
또한 식 2에 의해서 발생하는 신호는 초기값 및 이득에 의해서 신호의 특성이 달라진다[1][2][7-10]. 즉 동일한 초기값이 주어졌다고 할지라도 주어지는 이득에 따라 발생하는 신호는 서로 상이한 특성을 나타낸다. 여기서 표 1은 이득값에 따른 신호들의 특성을 요약하고 있다. 또한 그림 2는 동일한 초기값을 가지고 이득에 따라 발생하는 신호가 갖는 X_n 과 X_{n+1} 의 관계와 n 번 순환한 후에 신호의 형태를 보여주고 있다.

표 1. 이득에 따른 X_n 의 특성

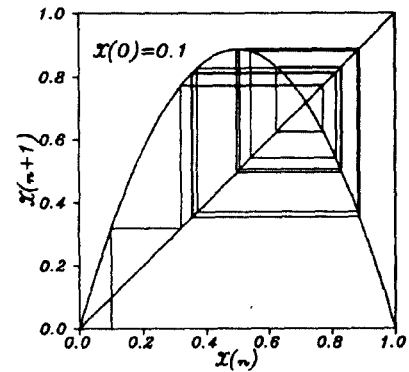
이득(μ)	X_n 의 특성
$0 < \mu < 1$	"0"에 수렴
$1 \leq \mu < 3$	임의의 한개의 값으로 수렴
$3 \leq \mu \leq 3.57$	2^m 주기를 갖음
$3.57 \leq \mu \leq 4$	주기성을 갖지 않으며 수렴하지도 않음

표 1에서 한개의 값으로 수렴하여 안정상태를 가지는 것을 attracted point라 하며 이득에 따라 2^m 주기가 증가하는 것을 period doubling이라 한다. 결과적으로 $0 < \mu < 3.57$ 구간에서는 충분한 순환후에 안정상태(steady state)에 도달하는 것을 알 수 있다.

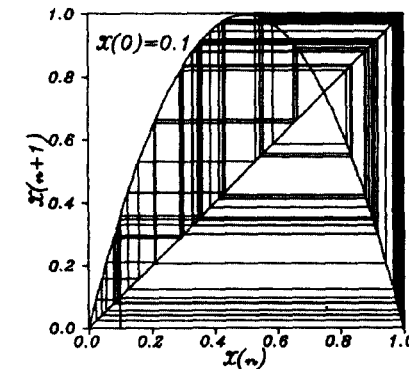
이와같이 이득에 따라 발생하는 신호의 특성을 그



(a) $\mu = 2.9$



(b) $\mu = 3.55$



(c) $\mu = 3.99$

그림 2. X_n 과 X_{n+1} 의 관계

림 3에서 보여주고 있으며 분기곡선(bifurcation curve)이라 한다.

여기서 이득이 3.57~4 범위의 값을 가지며 발생된

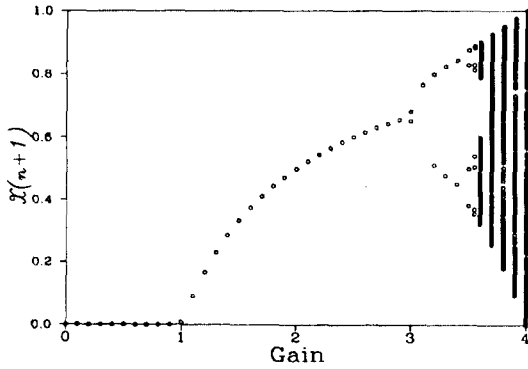


그림 3. 분기 곡선

신호들은 임의의 값으로 수렴하지 않고 주기성도 갖지 않는 잡음과 같은 랜덤한 특성을 나타내는 신호이며 이것을 케오틱신호라 부른다. 본 논문에서는 고정된 이득을 갖는 다음 식을 이용해서 해석한다.

$$X_{n+1} = 4 \cdot X_n(1 - X_n) \quad (4)$$

케오틱신호의 또다른 중요한 특성은 초기조건에 매우 강한 의존성(sensitive dependence of initial condition)을 나타낸다는 것이다. 즉 처음에는 매우 근접한 초기값을 갖는다고 할지라도 몇번의 순환 후에는 완전히 다른 특성을 갖는 신호가 발생된다는 것이다. 그림 4는 이러한 특성을 보여주고 있다. 동일한 이득을 가지고 초기값을 0.1에서 0.00003 차이로 할당하는 4개의 신호가 10번의 순환 후에 나타나는 형태를 보여주고 있다.

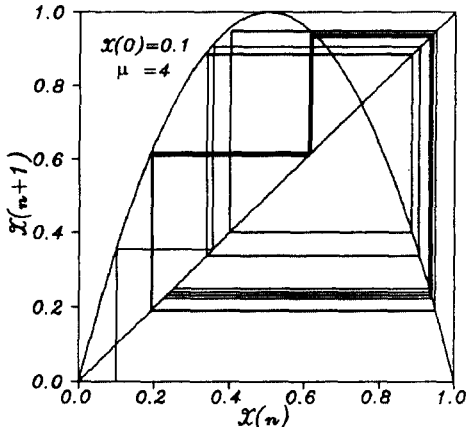


그림 4. 초기조건의 의존성

이러한 많은 성질을 갖는 케오틱신호의 특성을 열거하면 다음과 같다.

- ① 발생하기 쉽다.
- ② 초기조건 및 이득에 따라 무수히 많은 신호를 발생시킬 수 있다.
- ③ 초기조건의 민감한 의존성을 통해 상관되지 않고 잡음과 같지만 결정적인 신호를 발생시킬 수 있다.
- ④ 초기값 및 이득이 규정되지 않으면 예측 불가능하기 때문에 전송의 비도가 증가한다.

그림 5는 식 4를 이용하여, 초기값을 0.00001의 차이를 두어 발생시킨 두 신호가 50번 순환된 형태를 보여주고 있다.

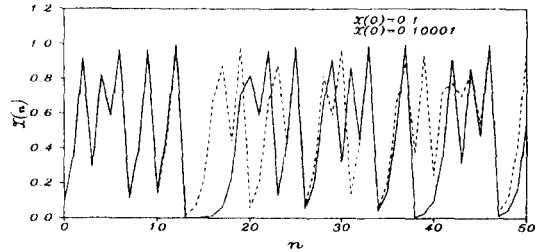


그림 5. 근접한 초기값을 할당한 두 신호의 변화

또한 이와 유사한 특성을 갖는 또다른 순환방정식은 다음과 같으며 근접한 초기값으로 발생되는 신호의 형태는 그림 6에 나타내었다.

$$X_{n+1} = \frac{\mu}{4} \cdot \sin(\pi X_n) \quad (5)$$

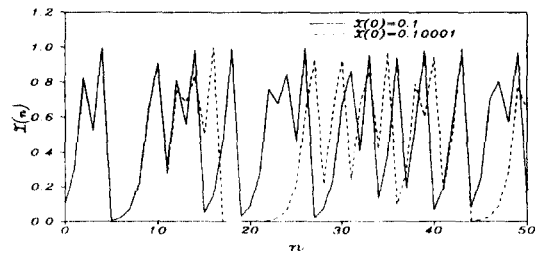


그림 6. 근접한 초기값을 할당한 두 신호의 변화

그림 5와 6을 통해서, 처음 몇번의 순환 후에 두 신호들은 완전히 상관되지 않은 것을 알 수 있다.

그러나 이러한 신호들을 발생시키기 위해서는 매우 정확한 계산과정이 필요하다. 만일 정밀한 계산과정이 이루어지지 않다면 랜덤한 성질이 없어지는 것은 물론 주기성을 갖는 등 본래의 혼돈특성을 잃게 된다. 이러한 문제점은 케오틱신호를 실제 여러 분야에 응용하지 못하게 하는 중요한 사항이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 임의의 소수점으로 계산된 아날로그 케오틱시퀀스를 가지고 2치화를 하였다. 유한 소수점으로 계산을 행함으로써 임의의 주기성은 가지지만 반복주기 전의 신호들을 이용함으로써 혼돈특성을 그대로 이용할 수 있다. 이런 2치화는 다음과 같다.

$$X_n = \begin{cases} -1 & \text{for } 0 < X_n < \frac{1}{2} \\ +1 & \text{for } \frac{1}{2} < X_n < 1 \end{cases} \quad (6)$$

식 6을 이용하여 아날로그 케오틱신호는 이진 잡음 부호계열로 변화됨을 알 수 있으며 변환된 이진 시퀀스의 형태를 그림 7에 보여주고 있다. 여기서 시퀀스의 길이는 50이며 초기값은 0.1로 주었다.

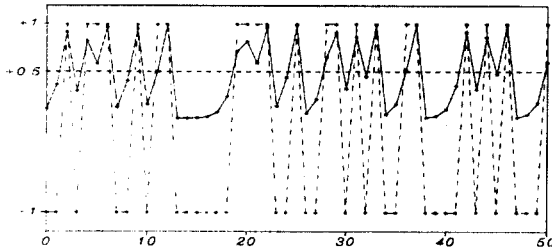


그림 7. 아날로그 케오틱신호의 2치화

III. 케오틱시퀀스의 상관특성

현재 확산 대역통신에서 전송 대역폭을 늘리기 위해 PN 계열의 시퀀스를 사용하고 있다. 이때 사용하는 확산부호는 자기 상관함수의 값이 zero-dealy 일때는 높으며 그 이외의 값에서는 0 값에 가까운 특성을 가지며 상호 상관함수의 값은 모든 지연시간에 비해 낮은 상관값을 갖는 것을 택하여야 한다. 이러한 특성을 케오틱시퀀스가 갖는다면 케오틱시퀀스를 확산부호로써 사용할 수 있을 것이다.

초기값을 다르게 하여 발생된 케오틱신호를 이용하여 상관특성을 구해보자. 식 1과 2를 통하여 $f(x) = \mu \cdot x(1-x)$ 가 되며 $X_{n+1} = f(X_n)$ 이 된다[9]. 상관함수를 $C(m)$ 이라 하면

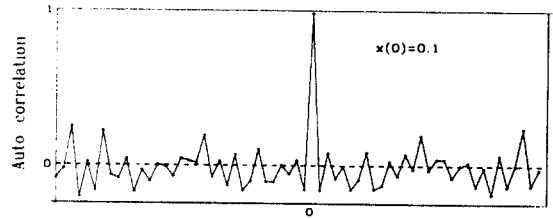
$$C(m) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \tilde{X}_{i+1} \tilde{X}_i \quad (7)$$

로 쓸 수 있다. 여기서

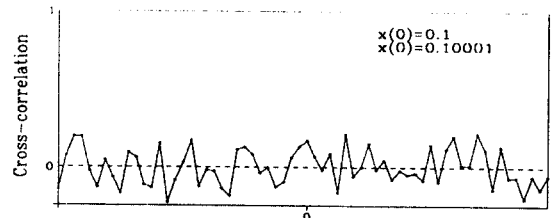
$$\tilde{X}_i = f^i(X_0) - \bar{X}$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f^i(X_0)$$

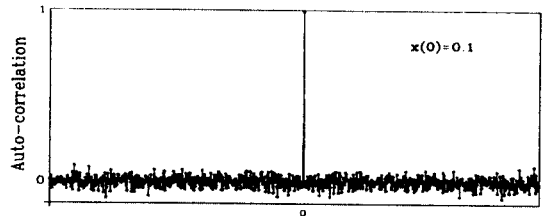
이다. 다음 그림은 동일한 이득과 근접한 초기값으로 발생된 케오틱신호의 길이를 64 및 1000으로 자른 신호의 정규화된 자기상관 및 상호상관 함수값을 보여 주고 있다.



(a) auto-correlation(N=64)



(b) cross-correlation(N=64)



(a) auto-correlation(N=1000)

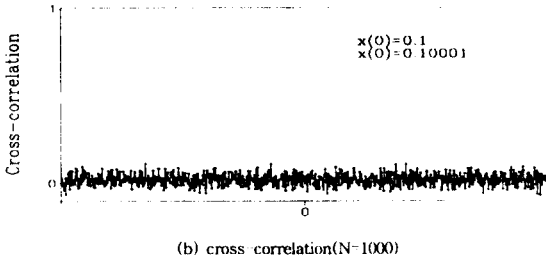


그림 8. 자기 상관함수(a), 상호 상관함수(b), $\mu = 4$.

이와같이 신호의 점(point)이 증가함에 따라서 자기 상관 및 상호상관 특성이 종래의 PN 계열의 상관특성과 거의 유사함을 알 수 있다.

그러나 이와같은 계산은 정확하게 이루어져야 한다는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제는 실제 통신 분야에서 케오틱신호를 사용하지 못하게 하는 사항이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 식 6을 이용하여 이진로그 케오틱신호를 2치화하여 상관특성을 조사하였다. 이렇게하여 발생된 이진 케오틱시퀀스의 자기상관값은 그림 9와 같다.

다음은 동일한 이득 하에서 초기값을 0.0025의 차를 두고 할당된 4개의 시퀀스를 이진수로 바꾸어 각각 자기 상관특성 및 상호 상관특성을 조사하였다. 이것은 매우 근접한 초기값으로 할당된 시퀀스를 사

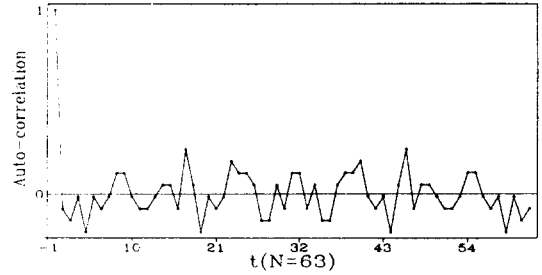


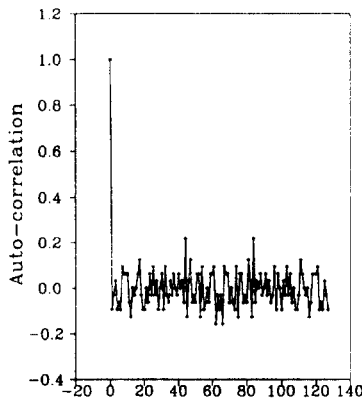
그림 9. $\mu = 4$, $N = 63$, $X_0 = 0.1$ 인 이진 케오틱시퀀스의 자기상관값

이에서 상관특성을 알아보려는 예이며 여기서 시퀀스의 길이는 128로 하였다.

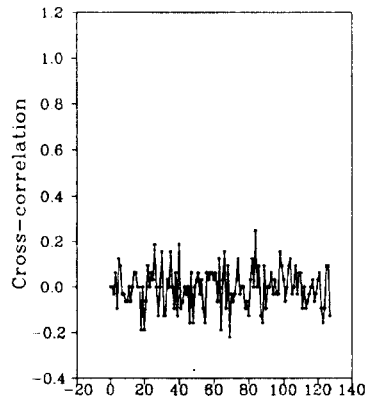
- 케오틱시퀀스 1 : $\mu = 4$, $X_0 = 0.1$
- 케오틱시퀀스 2 : $\mu = 4$, $X_0 = 0.1025$
- 케오틱시퀀스 3 : $\mu = 4$, $X_0 = 0.105$
- 케오틱시퀀스 4 : $\mu = 4$, $X_0 = 0.1075$

즉 4개의 시퀀스를 발생한 후, 임의의 한개의 시퀀스를 기준으로 하여 4개의 시퀀스중 한개의 시퀀스를 선택하여 상관함수값을 구한 것이다. 여기서 X_1 과 X_2 는 상관함수값을 계산하기 위해 선택된 두개의 시퀀스이다.

그림 10은 시퀀스 1을 기준으로 한 것이다. 그림 (a)는 0.1의 초기값을 갖는 시퀀스 1과 0.1의 초기값을 갖는 시퀀스 2인 두 시퀀스의 상관값을 구한 것이다. 결과적으로 이것은 시퀀스 1의 자기 상관함수값이 된다. 또한 그림 (b)는 0.1의 초기값을 갖는 시퀀스 1과



(a) $X_{10} = 0.1$, $X_{20} = 0.1$



(b) $X_{10} = 0.1$, $X_{20} = 0.1025$

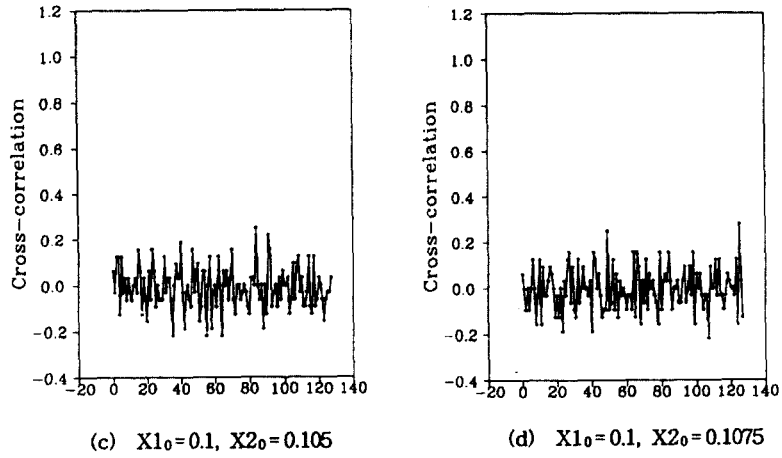


그림 10. 시퀀스 1을 기준으로한 상관특성

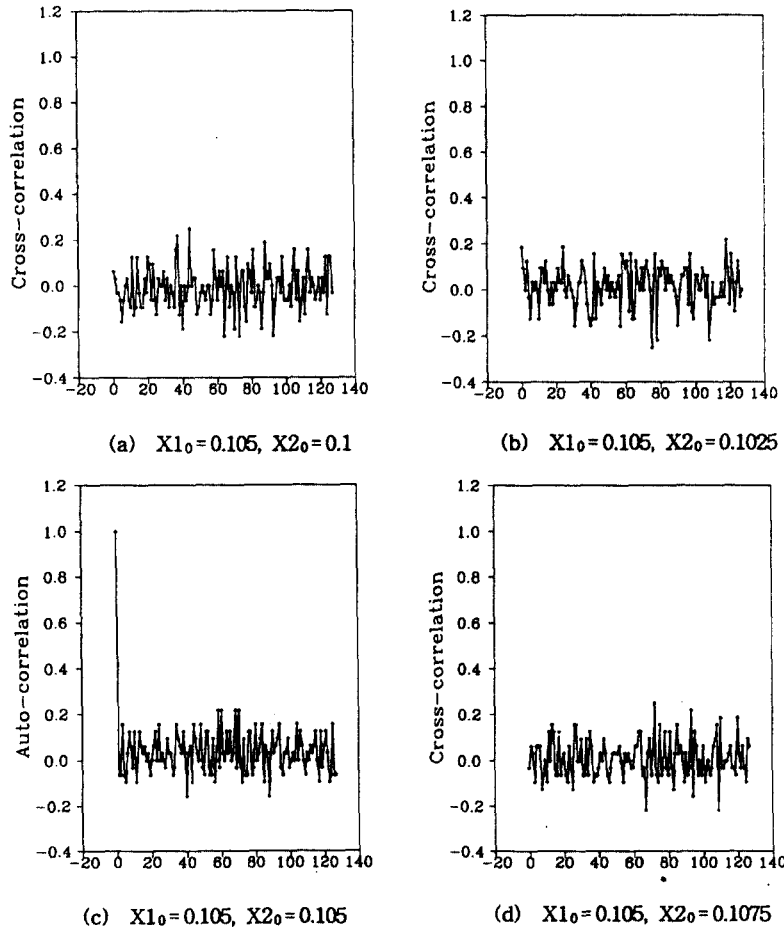


그림 11. 시퀀스 3을 기준으로한 상관특성

0.1025의 초기값을 갖는 시퀀스 2를 가지고 상관값을 구한 것이며 이것은 시퀀스 1과 시퀀스 2의 상호 상관 함수값이 된다. 이와같은 방법에 의해서 시퀀스 1과 시퀀스 3, 4의 상호 상관함수값은 그림 (c)와 (d)에 각각 표시되어 있다.

마찬가지 방법으로, 그림 11은 시퀀스 3를 기준으로 한 것이다. 여기서 (c)는 시퀀스 3의 자기 상관함수 값이며 나머지 (a), (b), (d)는 각각 시퀀스 3와 시퀀스 1, 2, 4들과의 상호 상관함수값이 된다.

다음은 이와같은 시뮬레이션 결과를 이용하여 일반적인 m 시퀀스와 비교한다. 일반적인 m 시퀀스의 자기상관함수는 다음으로 표시된다.

$$R(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ -\frac{1}{N} & \tau \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

또한 m 시퀀스들의 짝들에 대한 상호상관함수 값은 3개의 값, 4개의 값 또는 여러개의 값들을 가질 수 있지만 m 시퀀스의 preferred pair와 같은 특별한 쌍에 의해서 발생된 Gold 코드의 상호 상관값은 다음의 3개의 값을 갖는다.

$$\begin{cases} -\frac{1}{N} t(n) \\ -\frac{1}{N} \\ -\frac{1}{N} [t(n)-2] \end{cases} \quad (9)$$

여기서

$$t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{(n+1)/2} & \text{for } n \text{ odd} \\ 1 + 2^{n/2} & \text{for } n \text{ even} \end{cases}$$

$$N = 2^n - 1$$

이다. 이와같은 상호상관값을 이진 케오틱시퀀스가 같은 상호상관값과 비교하기 위하여 3개의 값중 두개의 값(상한값과 하한값)만을 비교한다. 즉

$$\begin{cases} (+) \text{ Maximum: } \frac{1}{N} [t(n)-2] \\ (-) \text{ Maximum: } -\frac{1}{N} t(n) \end{cases} \quad (10)$$

표 2. Gold시퀀스와 케오틱시퀀스의 상호상관값 비교
① N = 63인 경우

Cross-correlation value					
Gold sequence		Chaotic sequence			
		X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.1025	X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.105	X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.1075	
(+) Maximum	0.238	(+) Maximum	0.238	0.175	0.207
(-) Maximum	-0.27	(-) Maximum	-0.333	-0.206	-0.237

② N = 255인 경우

Cross-correlation value					
Gold sequence		Chaotic sequence			
		X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.1025	X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.105	X1 ₀ = 0.1 X2 ₀ = 0.1075	
(+) Maximum	0.122	(+) Maximum	0.184	0.153	0.168
(-) Maximum	-0.129	(-) Maximum	-0.160	-0.145	-0.176

우리는 이상의 상관특성에 관한 시뮬레이션 결과로서, 아날로그 케오틱신호와 이진 케오틱시퀀스의 자기 상관 및 상호 상관특성이 종래의 PN 계열의 상관특성들과 거의 유사함을 알 수 있다. 또한 아날로그 케오틱신호의 상관특성과 함께 이진 케오틱시퀀스의 상관특성도 우수한 것을 알 수 있다.

결과적으로 주어진 동일한 이득하에서 매우 근접한 초기값을 갖는 신호들이 갖는 상관특성은 우수하기 때문에 많은 신호를 발생시킬 수 있음을 알 수 있으며 이러한 케오틱시퀀스를 대역 확산통신 시스템에서 확산부호로 사용할 수 있을 거라고 예측할 수 있을 것이다.

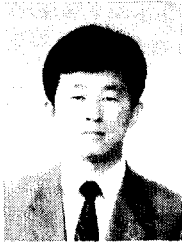
IV. 결 론

본 논문에서는 상관되지 않은 특성을 갖는 확산부호를 얻기 위해서 혼돈이론에 기본을 둔 케오틱신호를 사용한다. 발생된 케오틱신호는 이득 및 초기값이 규정되지 않으면 예측이 불가능하다는 것 등 많은 우수한 특성들을 갖고 있다. 이러한 신호를 디지털통신 분야에 실제적으로 적용하기 위하여, 아날로그 케오틱신호를 이진 케오틱시퀀스로 변환하였으며 변환된 시퀀스의 상관특성을 조사하였다. 시뮬레이션 결과로서 이진 케오틱시퀀스의 자기상관 및 상호상관 특성은 PN계열의 상관특성과 거의 유사함을 알 수 있다. 또한 시퀀스의 길이가 길어질수록 이상적인 상관특성에 근접함을 알 수 있다.

본 논문에서는 현재 각 분야에서 활발히 연구되고 있는 케오틱신호에 대하여 살펴 보았다. 이러한 결과로 이진 케오틱시퀀스를 대역확산 통신 시스템에서 확산부호로 사용할 수 있을 것이며 초기값 및 이득에 따라 상관되지 않는 많은 신호를 발생시켜 많은 가입자의 수요에 대처할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 케오틱시퀀스가 실제로 적용하기 위해서는 정확한 부호의 발생방법등에 대한 많은 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. H. O. Peitgen, D. Saupe, "Chaos and Fractals-New Frontiers of Science," Springer-Verlag, New York, Inc. 1992.
2. K. E. Lonngren, "Notes to Accompany a Student Laboratory Experiment on Chaos," IEEE Trans. on Education, Vol. 34, No. 1, Feb. 1991.
3. J. K. Holmes, *Coherent Spread Spectrum System*, New York, Wiley, 1982.
4. R. E. Ziemer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, 1985.
5. G. Heidari-Bateni and C. D. McGillem, "Chaotic Sequences for Spread Spectrum: An Alternative to PN-Sequences," ICWC '92, pp. 437-440.
6. G. Heidari-Bateni, C. D. McGillem and M. F. Tenorio, "A Novel Multiple-address Digital Communication System using Chaotic Signals," IEEE ICC '92.
7. A. R. Murch, R. H. T. Bates "Colored Noise Generation Through Deterministic Chaos," IEEE Trans. on Circuit and Systems, Vol. 37, No. 5, May 1990.
8. G. L. Baker, J. P. Gollub, "Chaotic Dynamics-an introduction," Cambridge Univ. Press, 1990.
9. H. G. Schuster, "Deterministic Chaos-An introduction," VCH, 1989.
10. S. Oishi and H. Inoue, "Pseudo-Random Number Generators and Chaos," Trans. IECE Japan, E65, pp. 534-541, Sept. 1982.



金南善 (Nam Sun Kim)

1991년 8월 : 한양대학교 전자통신
학과 졸업(공학석사)

1992년 3월 : 현재 한양대학교 전
자통신학과 박사과정



韓榮烈 (Young-yeal, Han)

1960년 2월 : 서울대학교 전자
공학사

1976년 5월 : 미주리주립대학교
대학원 공학석사

1979년 5월 : 미주리주립대학교
대학원 공학박사

1980년~현재 : 한양대학교 전자통신공학과 교수

1980년~1991년 : 본학회이사, 상임이사

1991년~현재 : 본학회 회장