

HVPM 모델을 이용한 카오스 동기화 (Chaotic Synchronization of Using HVPM Model)

여 지환* 이 익수**
(Ji-Hwan Ryeo* Ik-Soo Lee**)

요 약 본 논문에서는 복잡한 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 HVPM(Hyperchaotic Volume Preserving Maps) 모델을 이용한 카오스 동기화 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 HVPM 모델은 3차원 이산시간(discrete-time) 연립 차분방정식으로 구성되어 있으며, 비선형 사상(maps)과 모듈러(modulus) 함수를 사용하여 랜덤한 카오스 어트랙터(attractor)를 발생시킨다. Pecora와 Carroll은 최근 카오스 시스템이 카오스 신호를 이용하여 동기화가 가능하다고 보고하였다. 따라서 본 논문에서는 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 HVPM 모델간의 동기화를 위하여 결합동기(coupled synchronization) 알고리즘을 제안하였다. 모의실험에서 카오스 시스템과 하이퍼카오스 신호를 결합하여 카오스 동기화 현상을 확인할 수 있었다.

Abstract In this paper, we propose a new chaotic synchronization algorithm of using HVPM(Hyperchaotic Volume Preserving Maps) model. 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. Pecora and Carroll have recently shown that it is possible to synchronize a chaotic system by sending a signal from the drive chaotic system to the response subsystem. We proposed coupled synchronization algorithm in order to accomplish discrete time hyperchaotic HVPM signals. In the numerical results, two hyperchaotic signals are coupled and driven for accomplishing to the chaotic synchronization systems. And it is demonstrated that HVPM signals have shown the chaotic behavior and chaotic coupled synchronization.

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 시도가 활발히 진행되고 있다.[1]-[4]

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[5] 등은 카오스 암호시스템의 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 이상이 양의 값을 갖는 하이퍼카오스(hyperchaos) 시스템을 사용해야 신호의 안전성을 더욱 보장할 수 있다고 한다.[6]

*대구대학교 정보통신공학부
**포항1대학 정보통신과

한편, 주파수확산(SS; spread spectrum) 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.

최근에는 카오스 시스템간의 카오스 동기화 (chaotic synchronization)와 이를 이용한 카오스 통신에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[3]-[4] 카오스 시스템은 동일한 카오스 시스템일지라도 초기값의 작은 변화가 즉각적인 큰 변화를 일으키므로 카오스 동기화는 불가능한 문제로 간주되어 왔다. Pecora와 Carroll[1] (PC)은 동일한 카오스 시스템을 구동시스템 (drive system)과 응답시스템 (response system)으로 분리했을 경우, 안정한 응답 부시스템의 모든 리아푸노프 지수 (Lyapunov exponents)가 음의 값을 가질 때, 구동시스템에서 카오스 신호로 구동하면 응답시스템의 카오스 신호가 자기 동기화 (self-synchronization)를 이룬다는 중요한 알고리즘을 발표했다.[1]-[2] 또한 Oppenheim 등[2]은 3차원 아날로그 Lorenz 회로에서 카오스 동기화 기법을 이용하여 송·수신간의 비회통신 (secure communication)이 가능하다는 것을 증명했으며, Cuomo 등은 카오스 신호가 여러 분야에 적용될 수 있음을 제안하였다.[2] 기존의 PC 동기화[1] 기법은 아날로그 카오스 신호간의 동기화로서 획기적인 방법이지만, 안정한 응답 부시스템을 찾아야 하므로 모든 카오스 시스템에 적용하기가 곤란하다. 또한 완전히 동일한 구동 및 응답시스템을 만드는 것이 어렵고, 외부의 잡음에 의해 송·수신간에는 동기여러가 생겨 정보신호의 정확한 복구가 불가능하다는 단점을 가진다. 실제 카오스 시스템의 카오스 동기화를 이용한 통신 실험에서는 두 시스템의 파라미터 불일치, 채널잡음 및 불가피한 동기여러 등으로 인하여 정확한 신호의 복원이 불가능하다는 단점이 있다. 그리고 하이퍼카오스 시스템의 카오스 동기화는 제한적으로 이용되고 있다.[6]-[7]

제안한 HVPM 모델의 하이퍼카오스 신호는 독립적으로 이용이 가능하지만, 일반적으로 유용성과 응용성을 가지려면 하이퍼카오스 신호간의 동기화 방법이 동시에 개발되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 방법으로 카오스 동기화가 불가능한 HVPM 모델간의 카오스 동기화를 위하여 새로운 이산시간 결합동기 알고리즘을 제안하였다. 결합동기 기법은 기존의 카오스 시스템을 동기화시킬 수 있을 뿐만 아니라, PC 동기기법으로 카오스 동기화가 불가능한 HVPM 시스템을 동기화시킬 수 있었다.

실험결과에서 구동 및 응답시스템의 파라미터가 동일한 경우, 초기값이 다르더라도 카오스 동기화가 가능했으며, 완전히 동일하지 않은 파라미터 상태에서도 동기화가 가능함을 확인할 수 있었다. 이것은 카오스 신호 정보 신호를 썩어 전송하더라도 송신측의 카오스 신호를 수신측에서 정확히 복구할 수 있다는 것을 증명한다. 또한, 구동 시스템에서 카오스 신호들과의 조합으로 결합한 카오스 신호와 정보신호를 마스킹 (masking)하면, 응답시스템에서 의도된 측정자가 전송된 복잡한 하이퍼카오스 신호를 역마스킹하기가 더욱 어렵게 되어, 신호의 보안성이 증가된다는 장점을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 2장에서 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 제안한 HVPM 모델을 간략히 설명하고, 3장에서 제안한 결합동기 알고리즘과 결합동기 알고리즘을 이용하여 모의실험한 결과와 응용성을 설명하고자 한다.

2. HVPM 모델

이산시간에 대한 카오틱 사상(chaotic map)은 n 차 비선형 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 $x(e)=(e1\text{mod}[k], e2\text{mod}[k], \dots, en\text{mod}[k])$ 를 사용하면 위상공간에서 영역 $[-ki, ki]$ 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.[8] 여기서 f 는 모듈러 함수이며, h 는 N형의 연속적인 시그모이드(sigmoid) 비선형함수와 선형함수의 대수함으로 표현이 된다.

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

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

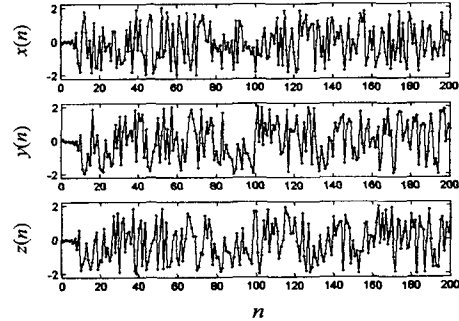
$$\begin{aligned} a(t+1) &= h(a(t)) \\ &= k_1 \{a(t)\} - k_2 \left\{ \frac{2}{1 + e^{-a(t)/\epsilon}} - 1 \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

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 α , β , γ , δ , ρ , σ 등과 모듈러 함수의 파라미터 k_1 , k_2 , ϵ , 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.

제안한 HVPM 모델을 컴퓨터를 이용하여 비선형 동력학의 신호처리 기법을 바탕으로 카오스 동적상태를 수치 해석하였다. 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 1에서와 같으며 제한된 영역에 방향성을 갖지 않는 복잡한 하이퍼카오스 시간파형이 된다.

그리고 일반적인 카오스 신호의 특징은 초기값에 민감한 특성을 보이며, 신호의 예측이 불가능하게 된다. 모의 실험에서 제안한 HVPM 모델의 각 상태의 값을 10⁻⁴의 차이로 하여 신호가 반복 계산 후에 출력되는 두 카오스 신호는 대략 19번의 반복 계산 후에는 즉각적으로 다른 파형을 발생시켰다.



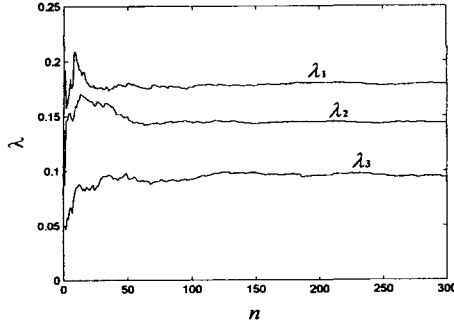
<그림 1> 하이퍼카오스 신호의 시간파형

<Figure 1> The time waveform of hyperchaotic signals

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.

본 논문에서 제안한 카오스 모델이 하이퍼카오스 신호를 발생시키는 지 증명하기 위하여 리아푸노프(Lyapunov) 지수값을 도입하였다.[8] 리아푸노프 지수는 초기값들이 정상상태에서 어떠한 영향을 미치는가 하는 정도를 측정하는 것으로, 보통 지수의 값이 영 이하일 때에는 안정된 주기 상태가 된다. 리아푸노프 지수 값이 양의 값일 때에 카오스 상태로 간주할 수 있으며, 지수값의 두 개 이상이 양의 값을 가질 때를 하이퍼카오스 시스템 (hyperchaotic system) 이라 한다. 제안한 HVPM의 카오스 매핑은 단순한 미분방정식이 불가능하므로, 발생된 카오스 시간파형의 데이터를 분석하여 일반적인 비선형 카오스 신호처리 기법인 리아푸노프 지수값 λ_1 , λ_2 , λ_3 을 계산하였다. 모의실험 결과, 카오스 영역에서 구한 리아푸노프 지수값은 <그림 2>에서와 같으며, 3개의 지수값이 양의 값을 가지므로 HVPM 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 2> HVPM 신호의 리아푸노프 지수
 <Figure 2> The Lyapunov exponent of HVPM signal

3. 결합동기 알고리즘

최근 카오스 제어를 위한 방법들이 많이 제안되어 상당한 연구가 진척되었다. Pecora와 Carroll은 하나의 카오스 시스템을 두 시스템 즉, 구동 및 응답시스템으로 분리한 후, 응답시스템에서 특정 부시스템의 리아푸노프 지수가 음수인 경우에 구동시스템에서 카오스 신호로 구동하여 응답 부시스템에 인가했을 경우, 두 시스템간에는 카오스 동기화가 이루어진다는 것을 증명했다.[1]-[2]

본 논문에서는 기존의 PC 동기제어로 카오스 동기화가 불가능한 HVPM 시스템에 동기화가 가능하도록 결합동기(coupled synchronization) 알고리즘을 제안하여 이산 시간 카오스 동기화를 증명하고자 한다. 결합동기 방법은 구동시스템에서 하나의 카오스 구동신호와 다른 카오스 신호들을 새롭게 조합하여 결합시킨 스칼라 구동신호를 만들어 구동하고, 응답시스템에서는 구동시스템에서 결합된 복잡한 카오스 신호를 응답시스템의 출력값으로 다시 새롭게 결합하여 응답시스템을 구동시켜 카오스 동기화를 수행한다.

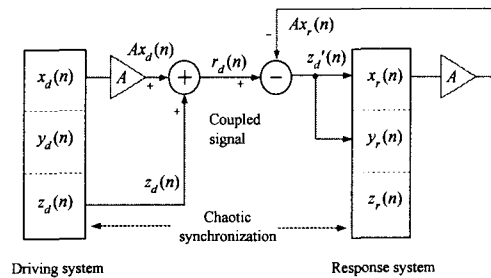
기존의 PC 방법에서는 응답 부시스템에서 CLE를 체크하여 음의 값이 되면 동기화가 가능하고, 그렇지 않으면 동기화가 불가능하게 되는 단점을 가진다. 따라서 PC 동기방법은 카오스 동기화가 불가능한 카오스 시스템이 존재하게 된다. 그러나 제안한 결합동기 알고리즘을 적용하면 PC 동기방법과 같이 응답 부시스템의 안정성을 체크하는 것은 동일하지만, 결합된 구동신호의 값은 쉽게 구동시스템에서 조절이 가능하므로, 임의의 안정한 응답 부시스템을 구성할 수 있다. 즉, PC 동기제어에서 동기화가 불가능한 카오스 시스템조차도 결합동기 알고리즘을 적용하면, 카오스 동기화가 가능한 시스템 구성을 할 수 있는 장점을 가진다.

HVPM 모델의 구동 및 응답시스템은 다음의 식 (4) 과 식 (6)에서와 같으며, 결합동기를 위한 구성은 식 (5)에서와 같다. 여기서, $r_d(n)$ 의 값은 결합된 구동신호이며, 구동시스템에서 A 의 값을 변화시켜 동기 및 비동기 제어가 가능하도록 구성하였다. 또한 결합동기 알고리즘을 신호의 흐름에 따라 구동시스템에서 응답시스템까지의 알고리즘 흐름도는 <그림 3>에서와 같다.

$$\begin{aligned} x_d(n+1) &= f[ax_d(n) + \beta z_d(n)] \\ y_d(n+1) &= f[\gamma y_d(n) + \delta z_d(n)] \\ z_d(n+1) &= f[\rho x_d(n) + \sigma y_d(n)] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} r_d(n) &= z_d(n) + Ax_d(n) \\ z_d'(n) &= r_d(n) - Ax_r(n) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_r(n+1) &= f[ax_r(n) + \beta z_d'(n)] \\ y_r(n+1) &= f[\gamma y_r(n) + \delta z_d'(n)] \\ z_r(n+1) &= f[\rho x_r(n) + \sigma y_r(n)] \end{aligned} \quad (6)$$



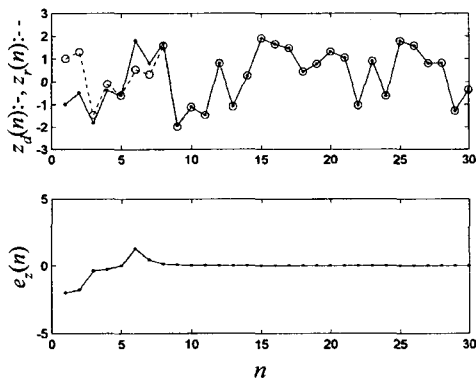
<그림 3> 결합동기 구성도
 <Figure 3> The configuration of coupled synchronization.

모의실험에서는 HVPM 모델에서 하이퍼카오스 신호 간의 카오스 동기화를 위하여 제안한 결합동기 알고리즘을 모의실험 하였다. 실험에서 식 (6)의 응답시스템에서 $x_r(n)$ 과 $y_r(n)$ 의 부시스템을 구성했으며, 응답시스템에서 새롭게 변형한 $z_d'(n)$ 신호를 사용하여 카오스 동기화를 수행했다. 여기서 카오스 신호를 결합할 때, A 의 값을 조절함으로써 동기 또는 비동기 상태를 만들 수 있다. 예를 들면 A 가 0이면 부시스템의 자코비안 행렬의 고유치가 $3/2, 1/2$ 이므로, z 평면에 응답시스템이 불안정하게 된다. 즉, A 가 0인 경우는 기존의 PC의 방법과 동일한

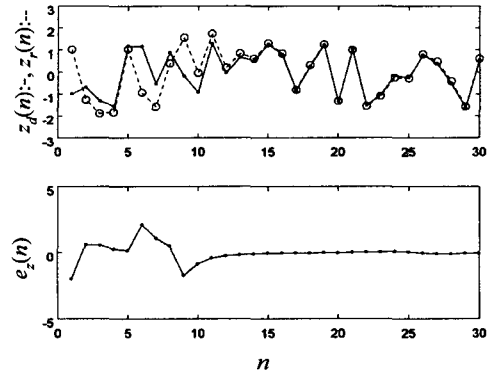
것으로, 동기화를 수행하면 카오스 동기화가 되지 않는다는 것을 알 수 있다. A 가 $-3/2$ 이면 자코비안의 고유치가 $0, 1/2$ 이 되어, 안정된 응답 부시스템이 된다.

다음의 <그림 4>에서는 카오스 동기화가 진행됨을 나타낸 것으로 $z_d(n)$ 신호는 구동시스템에서 HVPM의 신호이며, $z_r(n)$ 신호는 응답시스템에서 HVPM 신호를 표시한 것이다. 또한 $e_z(n)$ 신호는 구동 및 응답시스템간의 동기여러를 표시한 것으로 카오스 동기화가 진행되면, 이상적으로 영의 값을 갖게 된다. 카오스 동기화가 수행될 때, 초기상태에서 일시적으로 초기값이 다르므로 큰 차이를 보이지만, 시간이 지남에 따라서 동기화가 급속히 진행됨을 알 수 있다. 이러한 초기의 동기여러 신호는 실제 동기과정에서 큰 문제를 발생시키지 않는다. 또한 초기값의 차이가 작으면 작을수록 과도기적인 동기여러는 줄어들게 된다. 이것은 카오스 동기화가 계속적으로 수행됨을 나타낸다.

그리고 구동 및 응답시스템에서 HVPM의 파라미터 값과 결합동기에서 제어하는 파라미터 값의 변화에 따른 동기화 정도를 실험한 결과를 <그림 5>에서 나타내었다. A 의 값에 1% 변화가 있을 때 카오스 동기화 정도를 나타낸 것이다. 실험결과에서와 같이, 어느 정도의 파라미터의 변화에서도 카오스 동기화는 수행되며, 이것은 시스템 구현시의 환경의 변화에 덜 민감한 카오스 시스템을 구현할 수 있는 장점이 된다.



<그림 4> 카오스 신호의 동기 상태
<Figure 4> The synchronization of hyperchaotic signal.



<그림 5> 파라미터 A 값의 변화에 대한 동기 상태
<Figure 5> The synchronization state to variation of parameter A .

4. 결론

본 논문에서는 복잡한 하이퍼카오스 신호를 발생시키며, HVPM 모델을 이용하여 HVPM 모델을 카오스 동기화를 수행하기 위하여 결합동기 알고리즘을 제안하였다. 기존의 PC 알고리즘에서 동기화가 불가능한 카오스 시스템을 동기제어가 가능하도록 하였다. 기존의 PC 동기기법에서는 동일한 카오스 시스템을 구동 및 응답시스템 분리시킨 후, 안정한 부시스템을 찾아내는 반면, 제안한 결합동기 알고리즘은 안정한 부시스템이 되도록 구동시스템의 여러 가지 카오스 출력을 결합하여 구동함으로써 응답시스템이 불안정하더라도 안정한 시스템으로 되어 카오스 동기화가 가능하도록 하였다. 또한 결합된 구동신호는 단순한 카오스 신호가 아닌 여러 상태의 하이퍼카오스 신호가 조합되어 결합됨으로써 복잡한 카오스 구동신호가 되어, 구동신호의 비화도 및 보안성을 높이는 장점을 가질 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T. L. Carroll and L. M. Pecora, "Synchronizing chaotic circuits," IEEE Trans. Circuits System., vol. 38, no. 4, pp. 453-456, 1991.
- [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] U. Parlitz, S. Ergezinger, “Robust communication based on chaotic spreading sequences,” Physics Letters A 188, pp.146–150, 1994.

[4] J. Kraus, J. A. Nossek, T. Tang and L. O. Chua, “Evaluation of a continuous valued chaotic spreader used in a chaotic digital code-division multiple access((CD)2MA system,” Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 10, no. 8, pp. 1933–1950, 2000.

[5] K. M. Short, “Steps toward unmasking secure communications,” International journal of Bifurcation and Chaos, Vol.4, No.4 pp.959–977, 1994.

[6] 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.

[7] M. Brucoli, L. Carnimeo, and G. Grassi, “A method for the synchronization of hyperchaotic circuits,” Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 6, no. 9, pp. 1673–1681, 1996.

[8] 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.



이 익 수 (Ik-Soo Lee)

1991년 경북대학교 전자공학과
졸업

1994년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(석사)

2000년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(박사)

1996년 ~ 현재 포항1대학 정보통신과 조교수

관심분야 : 회로 및 시스템설계, 카오스 및 지능, 시스템
제어, 카오스응용



여 지 환 (Ji-Hwan Ryeo)

1975년 경북대학교 전자공학과
졸업

1977년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(석사)

1992년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(박사)

1982년 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

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