

카오스 발생회로를 이용한 음성비화통신 제어시스템

Speech Secure Communication Control System Using Chaos Generation Circuit

여 지 환*, 이 익 수**
Ji Hwan Ryeo*, Ik Soo Lee**

요 약

본 논문은 카오스 발생회로(chaos generation circuit)를 설계 및 구현하고, 카오스 회로들간의 카오스 동기화(chaos synchronization) 알고리즘을 기초로 하여 카오스 변조통신을 구성하여 음성비화시스템의 구현에 관하여 실험적으로 검증했다. Pecorra와 Carroll은 카오스 신호로서 카오스 시스템을 구동하면 카오스 동기화가 가능하다고 발표했다. 이러한 제어기법은 카오스 신호의 마스킹과 복원 알고리즘의 등장을 초래했다. 본 연구는 카오스 신호를 발생하기 위하여 상태변수 기법을 이용하여 로렌쯔(Lorenz) 카오스 발생회로를 하드웨어로 구현했다. 수치 실험 및 보드상의 실험에서 카오스 회로는 카오스의 動的특성을 나타냈으며, 카오스 발생회로들간의 카오스 동기 제어를 이루었다. 음성비화를 위한 카오스 신호의 변조는 카오스 신호에 음성신호를 가산하여 송신하며, 광대역(spread spectrum)의 카오스 변조통신(chaotic modulation communication)에서 음성정보는 수신시스템의 카오스 부시스템에서 카오스 신호를 빼내어 신호를 복원한다. 보드상에서 하드웨어로 구현한 카오스 변·복조 통신시스템을 구성하여 음성신호의 비화통신에 카오스 지능제어기법을 적용하였다.

ABSTRACT

Speech secure communication system which is implemented with chaos generation circuits based on the chaos synchronization phenomena in chaotic modulation communication is described and experimentally demonstrated. Pecora and Carroll have shown that it is possible to synchronize chaotic systems by sending a chaotic driving signal. The way of chaos control has led to a concept known as signal masking and recovery algorithm. We implemented Lorenz chaos generation circuit using state variable method in order to generate chaos signals. In the numerical and experimental results, chaotic circuits have shown the chaotic behavior and chaotic synchronization. The chaotic masking signal for secure communication which is added speech signal to chaos signal is transmitted to a receiving subsystem as modulated signal in spread-spectrum chaos communication and the speech information is recovered by subtracting it from received masking signal to synchronized chaotic signal. Lastly, we applied the chaotic modulation and recovery system to a speech secure communication using chaos intelligent control on board experiment.

*대구대학교 전자공학과 교수

**포항전문대학 전자통신과 전임강사

I. 서 론

기존의 제어기법은 선형적인 수학적 모델링에 기초한 이유로 인하여 비선형적인 문제에 좋은 성능을 발휘 못했다. 그러나 최근 여러 가지의 지능적 알고리즘의 도입으로 기존의 제어기 보다 우수한 결과를 보이고 있다. 신경회로망(neural network)은 학습, 연상 기억, 결합극복 등의 병렬 분산적 정보처리 능력으로 문자 및 음성인식 등에 응용되고 있으며, 퍼지(fuzzy) 제어는 불분명하고 애매모호한 정보를 인간과 유사하게 추론하는 전문가 시스템에 적용되고 있다. 또한 자연생태계의 적용 매카니즘에 기초한 확률적 탐색 알고리즘인 유전알고리즘(genetic algorithms)은 분류 및 최적화 문제에 효과적이다. 최근에는 동력학시스템에서 카오스(chaos) 이론의 도입으로 비선형적이며 복잡한 문제를 간단히 표현하거나, 불규칙적인 확률적 변동을 공학적으로 적용하는 연구도 활발히 진행되고 있다.

자연계에서 카오스 현상은 널리 보이며, 일반적이라 할 수 있다. 그러나 카오스 시스템은 초기값에 매우 민감하며, 카오스 어트랙트(chaos attractor)는 무한개의 불안정 주기궤도(unstable periodic orbit)로 상태공간에 표현된다. 이러한 특징은 바람직하지 않으며 제어하기 어려운 것으로 간주되어 왔다. 최근의 카오스 제어(chaos control)^[1]는 새로운 개념으로 등장했으며, 물리, 공학, 화학, 의학, 수학 등의 분야에 많은 흥미를 불러 일으키고 있다. 몇 년 전 OGY^[2]는 처음으로 카오스 궤도를 주기궤도로 제어하는 실험을 행했다. 그러나 OGY 기법은 카오스 상태에서 원하는 제어를 하려면 계속적인 계산과 제어를 요구한다. 또한 Pyragas^[3]는 연속적인 피드백제어 개념을 도입하여 불안정 카오스 상태를 원하는 주기상태로 제어하는 실험을 행했다.

최근 카오스 시스템간의 동기화에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 카오스 시스템은 동일한 카오스 시스템일지라도 초기값의 작은 변화가 즉각적인 큰 변화를 일으키므로, 카오스 동기화는 어려운 문제로 간주되어 왔다. Pecorra와 Carroll^[4,5]은 카오스 시스템을 구동시스템(drive system)과 안정한 응답시스템(response system)으로 분해했을 경우, 응답 부시스템에서 모든 Lyapunov 지수가 음의 수치를 가질 때 구

동시스템에서 어떤 신호를 구동하면 카오스적인 자기동기화(self-synchronization)를 이룬다는 것을 보고했다. Cuomo와 Oppenheim^[6,7]은 카오스 신호의 분석 및 합성기법의 유용한 측면을 이용하면 여러분야에 적용될 것이라 지적했다. 카오스 신호는 전형적으로 광대역(spread spectrum)^[8-10]의 주파수 특성을 가지며, 잡음과 같이 예측하기 어려운 신호이다. 이러한 특징은 광대역 주파수 통신시스템에 적용될 수 있으며, 문자 또는 음성정보의 마스킹 기법을 이용하여 비화통신시스템을 구성할 수 있다.

본 연구에서는 카오스 동기화를 이루기 위한 카오스 발생회로, 즉 로렌쯔(Lorenz) 카오스 발생회로(chaos generation circuit)를 설계 및 구현하고, 카오스 동기화 제어기법을 이용하여 음성비화통신시스템을 구성하였다. 본 비화시스템에서는 카오스 신호의 주파수 대역이 음성신호의 대역보다 크며, 음성신호의 크기가 카오스 신호보다 작더라도 카오스 동기화 알고리즘을 이용하면 음성신호를 복원한다는 것을 실험했다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 로렌쯔 시스템에 기초하여 카오스 발생회로의 구현에 관해 기술했으며, III장에서는 구동 및 응답의 로렌쯔 카오스 발생회로를 이용하여 실험적으로 카오스 동기화를 이루었다. IV장에서는 카오스 변조통신을 이용하여 음성비화 통신시스템을 구성하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 카오스 발생회로

본 연구에서 도입한 카오스 수식은 기존의 로렌쯔 연속 미분방정식이며, 다음과 같은 수식은 비선형적인 항, 즉 xy , xz 의 곱의 항이 있는 3차원 로렌쯔 시스템이다.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \sigma(y-x) \\ \frac{dy}{dt} &= \gamma x - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 σ , γ , b 는 시스템 변수이며, 양수의 값이 된다. 그림 1은 카오스 현상을 발생시키는 로렌쯔 수식을

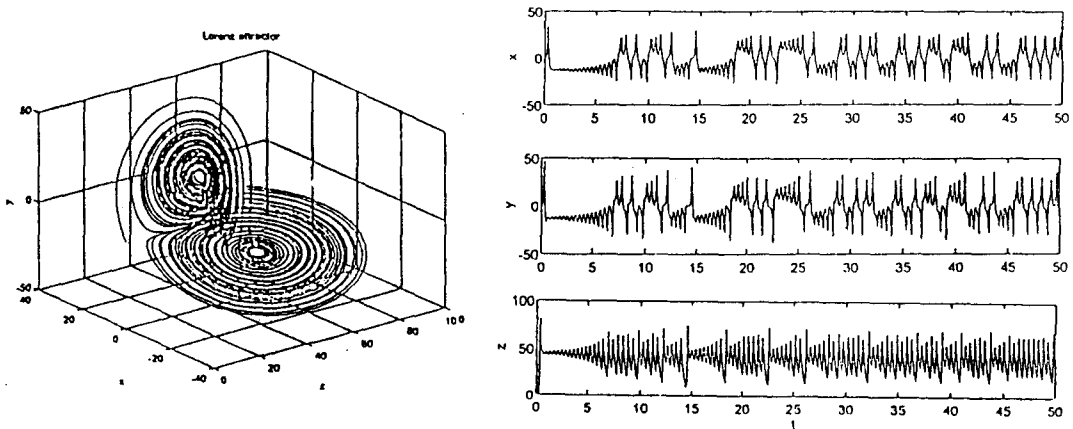


그림 1. 로렌즈 어트랙트 및 시간파형
Fig. 1 The chaotic attractor and time waveform of Lorenz.

수치해석한 것으로, 카오스 어트랙트 및 시간파형을 나타낸 것이다.

위의 식 (1)을 직접 전자회로로 구현하는 것은 각각의 상태변수들이 전원 전압의 범위를 초과하므로 곤란하다. 따라서 아날로그 전자회로 구현을 위하여 각각의 상태변수를 $u=x/10$, $v=y/10$ 및 $w=z/20$ 로 치환하였으며, 각각의 시스템 변수의 값은 $\sigma(16)$, $\gamma(45)$, 6) 및 $b(4.0)$ 로 정하였다. 전자회로로 구현될 로렌즈 카오스 발생회로의 수식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \sigma(v-u) \\ \frac{dv}{dt} &= \gamma u - v - 20uw \\ \frac{dw}{dt} &= 5uv - bw \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 아날로그 전자회로 소자를 이용하여 설계 및 구현한 로렌즈 카오스 발생회로는 그림 2와 같다.

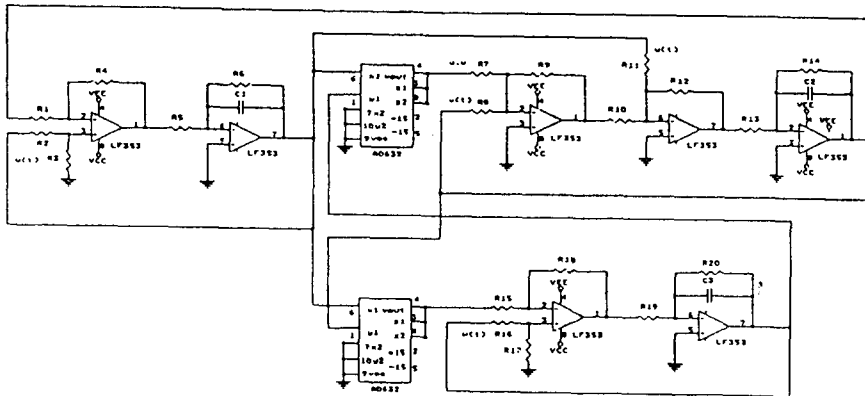


그림 2. 로렌즈 카오스 발생회로도
Fig. 2 The electronic circuit of Lorenz based chaotic circuit.

연산증폭기(operational amplifier) 및 관계된 회로들은 각 상태의 가산, 감산 및 적분을 행하며, 아날로그 곱셈기(analog multiplier)는 로렌즈 시스템에서의 비선형 부분, 즉 uw , uv 를 계산하도록 설계했다. 각 연산증폭기와 아날로그 곱셈기는 광대역 특성의 LF398과 0.5% 에러를 갖는 AD632를 사용했다. 각각의 시스템 변수의 값은 가변저항기로 구성했으며, 다음의 식 (3)은 로렌즈 카오스 발생회로에서의 동적상태의 회로변수 방정식을 구한 것이다.

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{1}{R_5 C_1} \left[\frac{R_4}{R_1} v(t) - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \left(1 + \frac{R_4}{R_1} \right) u(t) \right] \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{R_{19} C_3} \left[\frac{R_{12}}{R_{11}} u(t) - \frac{R_9}{R_8} \frac{R_{12}}{R_{10}} v(t) \right. \\ &\quad \left. - \frac{R_9}{R_7} \frac{R_{12}}{R_{10}} u(t) w(t) \right] \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{1}{R_{19} C_3} \left[\frac{R_{18}}{R_{15}} u(t) v(t) - \frac{R_{17}}{R_{16} + R_{17}} \left(1 + \frac{R_{18}}{R_{15}} \right) w(t) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

구현한 카오스 발생회로에서 사용한 저항 및 커패시터 각각의 소자값은 다음과 같다. $R_1, R_2, R_3, R_4, R_7, R_{10}, R_{12}, R_{15}, R_{16}, R_{18} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 25 \text{ k}\Omega$, $R_8 = 200 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{11} = 43.84 \text{ k}\Omega$, $R_{13} = 20 \text{ k}\Omega$, $R_{17} = 66.5 \text{ k}\Omega$, $R_{19} = 80 \text{ k}\Omega$, $C_1, C_2, C_3 = 47 \text{ nF}, 10 \text{ nF}, 1 \text{ nF}$. 식 (3)에서 적분되는 시간, 즉 변환 스케일이 중요한 문제가 되지만, 본 회로에서는 C_1, C_2 및 C_3 을 공통으로 사용하므로 쉽게 각각의 상태 변환시간을 쉽게 바꿀 수 있다. 또한 시스템 변수, 즉 σ, γ 및 b 를 각각 $R_5(\sigma), R_{11}(\gamma)$ 및 $R_{17}(b)$ 의 가변저항기를 사용하여 독립적으로 가변이 가능하도록 설계했다. 그리고 실험의 회로에서 사용한 시간변환 스케일(rescaling time)은 2500을 사용했다.

구현한 로렌즈 카오스 발생회로를 보드상에서 실험한 오실로스코프 사진은 다음의 그림 3과 같다. 그림에서 보면 컴퓨터로 수치해석한 것과 같이 상태변수 공간상에서 제한된 영역속에서 같은 경로를 반복하지 않는 다양한 카오스 어트랙트와 시간파형을 볼 수 있다.

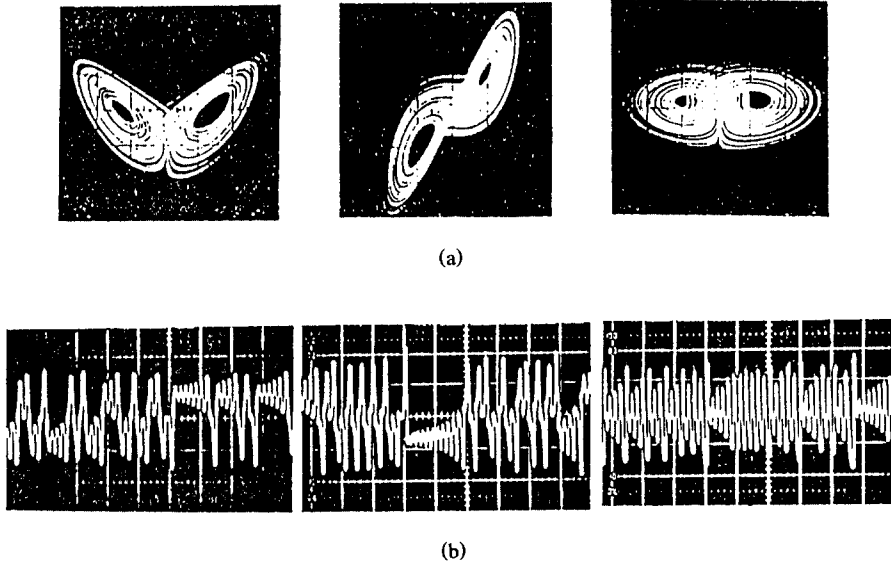


그림 3. 로렌즈 회로에서의 카오스 어트랙터 및 시간파형
Fig. 3 The chaotic attractors and time waveform obtained Lorenz chaotic circuit.

Ⅲ. 카오스 동기화 제어기법

최근 카오스 상태의 제어를 위한 방법들이 많이 제안되고 있으며, 특히 카오스 동기제어에 상당한 연구가 진척되었다. 본 연구에서는 Pecora와 Carroll^[4]의 카오스 동기화 개념을 도입하였다. Pecora와 Carroll은 그림 4와 같이 하나의 카오스 시스템을 두 시스템으로 분리한 후, 응답시스템(response system)의 리아푸노프 지수(Lyapunov exponent)가 음수인 경우 구동시스템(drive system)에서 카오스 신호를 구동하여 응답시스템으로 인가했을 경우 두 시스템간에는 카오스 동기화가 이루어진다는 것을 발표했다. 본 연구에서는 식 (3)을 기초로 u_d 구동 (v_r, w_r) 응답시스템 및 v_d 구동 (u_r, w_r) 응답시스템의 구성이 가능하며, Jacobian 매트릭스의 고유치가 음수이므로 카오스 동기화가 이루어진다. 본 연구에서 동기화 시스템의 구성은 u_d 구동 (v_r, w_r) 응답시스템으로 정했으며, 각각의 시스템 변수의 값은 $\sigma(16)$, $\gamma(45.6)$, 및 $b(4)$ 으로 고정했을 경우의 부시스템 즉 응답시스템의 리아푸노프의 값이 $(-3.95, -16.0)$ 와 같았다. 실험에서는 우선 로렌즈 카오스 수식을 4차 Runge-Kutta 방법으로 해석하여 카오스 동기화를 실험했으며, 제작한 로렌즈 카오스 발생회로에서도 카오스 동기화 실험을 보드상에서 행하여 검증할 수 있었다.

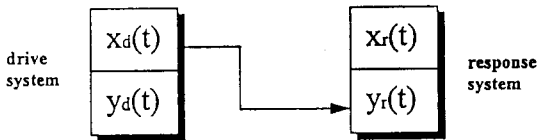
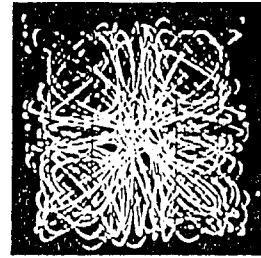


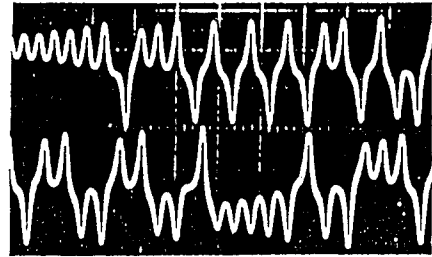
그림 4. 카오스 동기제어 블록도
Fig. 4 The block diagram of chaos synchronization control.

그림 5는 보드상에서 두개의 카오스 발생회로를 사용하여 구동과 응답시스템을 구성하지 않고, 분리된 상태에서 동기화 실험을 행한 것이다. 초기치의 값이 극히 같더라도 두시스템이 시간에 따라 다른 상태의 응답을 보인다. 그림 6은 그림 4와 같이 구동 및 응답시스템을 구성한 경우에 카오스 동기화 현상을 나타낸 것이다. 두시스템의 초기값이 달라도 즉각

적으로 카오스 동기화를 수행하게 된다. 기울기 1, 즉 45°의 xy 축의 오실로스코프의 사진은 x축의 구동시스템과 y축의 응답시스템이 같다는 것을 나타낸다. 위의 실험에서 사용한 로렌즈 시스템은 변수들의 값은 구동 및 응답시스템이 같다. 만일 두시스템의 시스템 변수의 값이 다르면 카오스 동기화가 파괴된다는 것을 실험에서 알 수 있었다. 특히 최근의 연구에서는 카오스 동기화가 수행될 경우의 카오스 시스템은 잡음에 매우 둔감하다는 것이 또한 발표되고 있다.

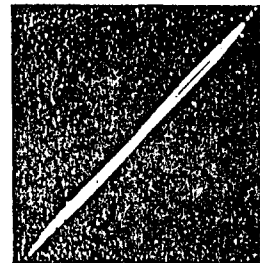


(a)

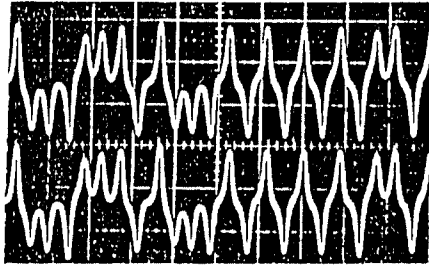


(b)

그림 5. 분리된 카오스 시스템에서의 비동기화
Fig. 5 The non-synchronization of separated chaotic circuits.



(a)



(b)

그림 6. 구동 및 응답 카오스 시스템에서의 동기화
Fig. 6 The synchronization of drive and response chaotic circuits.

IV. 음성비화 통신시스템

카오스 시스템은 신호처리, 발생, 합성 등의 분야에 상당한 잠재력을 제공하고 있으며, 특히 최근의 통신, 센서 및 신경컴퓨터 등에 실제 적용이 되고 있다^{8,9)}. 카오스 주파수 변조통신 방식은 카오스 신호가 잡음과 같이 예측이 불가능하며 넓은 주파수 대역을 갖는 광대역 신호이므로, 광대역 통신시스템과 같이 잡음 억제 및 간섭의 영향을 줄이는 이점¹⁾등을 가지고 있으며 비화 및 암호통신에 적당하다. 따라서 레이더 또는 수중 음파의 정보신호에 카오스 신호를 변조하여 카오스 광대역 통신에 많은 유용성을 제공해 주고 있다¹⁾.

본 연구에서는 음성신호를 암호화하는 비화통신시스템을 구현하는데, 카오스 변조 기법을 사용하여 음성비화를 하드웨어적으로 실험했다. 기본적인 메커니즘은 다음의 수식 전개와 같다¹⁾.

$$\frac{dx}{dt} = g(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = h(x, y) \quad (4)$$

식(4)는 카오스 시스템을 구동 및 응답의 카오스 시스템으로 분리한 경우이며, 구동 즉 송신시스템에서 음성신호를 섞어서 전송하게 된다.

$$\frac{dx}{dt} = g(x, y) + s(t), \quad \frac{dy}{dt} = h(x, y) \quad (5)$$

$s(t)$ 는 음성정보를 나타내며, $x(t)$ 는 변조되는 카오

스 전송신호가 된다. 여기서 $x(t)$ 신호는 잡음과 같이 마스킹되어 전송되므로 어떠한 내용인지 보통의 수신자는 모르게 된다. 따라서 원하는 수신자는 다음과 같은 카오스 동기화 현상을 바탕으로 한 수신 메커니즘을 이용하여 정보를 복원하게 된다. 수신시스템은 다음과 같다.

$$\frac{dz}{dt} = h(x, z), \quad r(t) = \frac{dx}{dt} - g(x, z) \quad (6)$$

전송된 $x(t)$ 신호에서 수신시스템에서 $z(t)$ 의 부시스템의 리아푸노프 지수가 음수가 되도록 구성하여 $y(t)$ 및 $z(t)$ 부시스템은 카오스 동기화를 행하게 되며, $r(t)$ 는 음성신호 $s(t)$ 를 복원하게 된다.

$$r(t) = \frac{dx}{dt} - g(x, z) \rightarrow \frac{dx}{dt} - g(x, y) = s(t), \quad \text{for } t \rightarrow \infty \quad (7)$$

위의 분석에서 구동시스템(전송부) 및 응답(수신부) 시스템 간에 음성비화통신시스템을 구성하게 된다.

V. 실험 및 고찰

광대역 통신방식은 간섭의 영향을 줄이며, 정보의 비밀보안을 위하여 민간 및 군사용으로 도입되었다. 카오스 신호는 광대역 신호이므로 이러한 이유로 광대역 통신에 사용이 가능하다. 본 연구에서는 구현한 로렌즈 카오스 발생회로를 송신측에서의 비화통신을 위한 부호화기로 사용했으며, 수신기 측에서는 카오스 동기화 알고리즘을 이용하여 수신된 신호로부터 카오스 동기화를 아날로그 전자회로적으로 구현하여 음성정보를 실시간으로 복원하는 실험을 보드상에서 행했다. 그림 7은 전체적인 블록 다이어그램이며 각각의 신호, 즉 음성과 카오스 신호의 가산과 감산의 부분은 연산증폭기를 이용하여 구성하였다. 그림 8은 보드상의 실험에서 얻은 결과이며, 위의 신호는 원래의 음성정보를 4KHz 저역필터를 통과한 음성정보를 나타낸 것이며, 아래의 오실로스코프 사진은 진폭이 큰 카오스 신호 위에 진폭이 작은 음성신호가 섞인 송신측에서의 카오스 변조신호를 나타낸 것이다. 그림 9의 위의 신호는 전송전의 송신측에서의 음성신호를 나타낸 것이며, 아래의 그림은 비화시스템을 통하

여 복원된 음성신호를 나타낸 것이다.

특히 가산 형태의 마스킹 기법에서의 신호의 전송과 복원 효율은 카오스동기화를 위하여 변조되는 카오스 신호에 비하여 음성신호의 크기가 작아야 한다. 또한 복원했을 경우에 카오스 동기화 때문에 생기는 에러는 필수 불가결한 것이며, 이러한 에러를 줄이려면 가능한 두개의 카오스 시스템이 동일해야 한다. 또한 시스템의 변수들, 즉 σ , γ , b 는 카오스 동기화를 수행하여 비화통신을 행하는데, 만일 시스템의 변수들이 다르면 정보를 복원할 수 없게 된다. 따라서 이러한 시스템 변수의 값은 비화통신에서 암호 및 복호를 위한 키(key)로서 사용될 수 있다. 비화시스템의 안전은 시스템 변수의 민감성, 즉 키의 변화의 민감성에 의존한다. 실험에서 살펴본 음성비화통신시스템의 특징은 다음과 같다.

- 1) 본 비화시스템은 시스템 구성이 간단하며, 저렴하게 구현이 가능하다.
- 2) 음성신호가 카오스 신호보다 상당히 작으므로 도청하여도 정보를 알 수 없다.
- 3) 송신신호는 잡음과 같으며, 광대역주파수 변조하므로 정보의 손실 또는 노출없이 안전하다.
- 4) 본 시스템은 아날로그 음성신호에 상당한 복원 효율을 가지며 신뢰성이 높다.
- 5) 카오스 시스템은 시스템 변수에 민감하므로, 시스템 변수값을 조정하여 암호의 키로서 사용이 가능하다.
- 6) 본 시스템은 아날로그 시스템이지만, 디지털 시스템에도 확장이 가능하다.

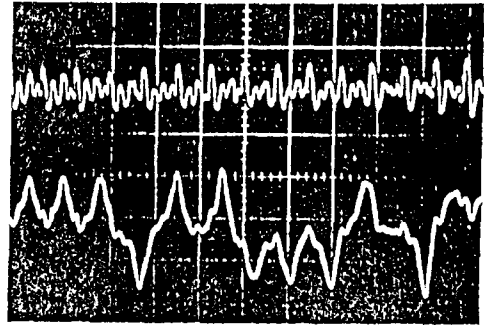


그림 8. 음성신호와 마스킹 신호
Fig. 8 The information beared masking signal.

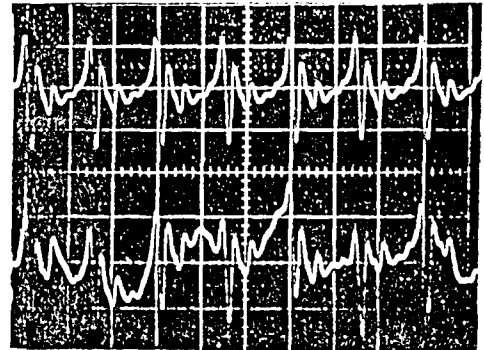


그림 9. 전송한 음성신호와 복원된 음성신호
Fig. 9 The original and recovery speech waveforms.

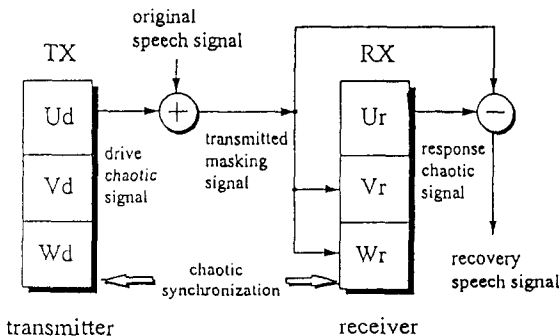


그림 7. 음성비화통신의 전체 블록도
Fig. 7 The block diagram of speech secure communication.

VI. 결 론

본 연구에서는 먼저 로렌즈 시스템을 참조하여 카오스 발생회로를 아날로그 전자회로로 구현하였으며, 두개의 카오스 회로 이용하여 카오스 동기화를 수행했다. 그리고 보드상에서 카오스 동기화 알고리즘을 적용하여 음성비화시스템을 구현하여 실험했다. 실험결과에서 카오스 제어를 통한 비화통신 방법으로 음성신호에 대하여 카오스 동기화 에러로 인하여 컴퓨터 시뮬레이션에서는 95% 이내에서 복원능력을 보였으며, 제작한 보드상의 실험에서 하드웨어에서 90% 이내에서의 복원을 실험할 수 있었다.

앞으로 직접 비화전화기 시스템에 적용이 가능할

것이다. 일반 통신에서의 왜곡, 잡음이 존재하는 통신 채널, 주파수 폭의 제한, 지연통신채널, 주파수 대역의 시분할 방식에 의한 간섭 등이 존재한다. 따라서 이러한 조건하에서 음성비화시스템의 성능을 실험해야 한다. 또한 카오스 발생회로의 IC 칩 구현은 고속도 통신 및 카오스 동기화 에러를 줄이는데 많은 기여를 할 것이며, 다양한 카오스 발생회로는 카오스 시스템에 필수적인 요소가 될 것이다.

후 기

이 논문은 95년도 대구대학교 학술비 지원하에 수행된 논문임

참 고 문 헌

1. G. Chen and X. Dong, "From chaos to order," *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 3, No. 6, pp. 1363-1409, 1993.
2. E. Ott, C. Grebogi, and J. A. Yorke, "Controlling chaos," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 64, No. 11, 1196-1199, 1990.
3. K. Pyragas, "Continuous control of chaos by self-controlling feedback," *Phys. Rev. A* 170, 421-428, 1992.
4. Louis M. Pecorra and Thomas L. Carroll, "Driving systems with chaotic signals," *The American Physical Society*. Vol. 44, No. 4. pp. 2374-2383, 1991.
5. Thomas L. Carroll and Louis M. Pecora, "Synchronizing chaotic circuits," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, Vol. 38. No. 4. 453-456, 1991.
6. A. V. Oppenheim, G. W. Wornell, S. H. Isabelle, and K. M. Cuomo, "Signal processing in the context of chaotic signals," *Proc. 1992 ICASSP*, Vol. 4. 117-120.
7. K. M. Cuomo and A. V. Oppenheim, "Circuits implementation of synchronized chaos with applications to communications," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 71, No. 1. 65-68, 1993.
8. K. S. Halle, C. W. Wu, M. Itoh, and L. O. Chua, "Spread spectrum communication through modulation of chaos," *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 3, No. 2, 469-477, 1993.
9. H. Dedieu, M. Peter, and M. Hasler, "Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits," *IEEE Trans. on circuits and systems II*. Vol. 40, No. 10, Oct., pp. 634-641, 1993.
10. R. L. Pickholtz and D. L. Schilling, "Theory of spread-spectrum communications-A tutorial," *IEEE Trans. on communications*, Vol. COM-30, No. 5, May, pp. 855-884, 1982.
11. U. Parlitz and S. Ergezingler, "Robust communication based on chaotic spreading sequences," *Phys. Rev. A* 188, 146-150, 1994.
12. L. O. Chua, L. Kocarev, K. Eckert, "Experimental chaos synchronization in Chua's circuit," *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 2, No. 3, 705-708, 1992.
13. T. Kapitaniak, L. O. Chua, and G. Zhong, "Experimental synchronization of chaos using continuous control," *Int. J. Bifurcation and Chaos*, Vol. 3, No. 2, 483-488, 1994.
14. Leon O. Chua, "Global unfolding of Chua's circuit," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E76-A, NO. 5, 704-734, 1993.
15. Y. C. Doh, I. S. Lee, and H. S. Chung, "Ciphering system using chaotic synchronization," *The 11th Korea, Japan, and China Joint Seminar*, 83-91, 1994.
16. Ik-Soo Lee and H. S. Chung, "Speech private communication system using chaos generation circuits," *The Proceeding of 95 FAN*, 168-175, 1995.



여 지 환(Ji Hwan Ryeo) 정회원

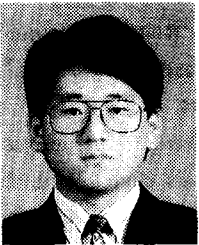
1975년:경북대학교 전자공학과
(공학사)

1977년:경북대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)

1992년:경북대학교 대학원 전자
공학과(공학박사)

1982년~현재:대구대학교 정보
통신공학부 교수

주관심분야:반도체소자 및 회로설계, 카오스회로 퍼
지회로, 신경회로망설계



이 익 수(Ik Soo Lee) 정회원

1991년:경북대학교 전자공학과
(공학사)

1994년:경북대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)

1996년:경북대학교 대학원 전자
공학과(공학박사)

1996년~현재:포항전문대학 전자
통신과 전임강사

주관심분야:신경컴퓨터, 퍼지제어, 유전알고리즘 카
오스공학 및 지능망시스템