

카오스 시퀀스를 이용한 웨이블릿-기반 디지털 워터마크

정희원 김 유 신*, 김 민 철*, 원 치 선*, 이 재 진*

Wavelet-based Digital Watermarking with Chaotic Sequences

Yu-shin Kim*, Min-chul Kim*, Chee-sun Won*, Jaejin Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 저작권 보호를 위한 디지털 워터마크 삽입방법에서 워터마크로 많이 사용하는 정규 가우시안 시퀀스를 카오스 시퀀스로 대체하고 그 성능을 비교하여 분석한다. 카오스 시퀀스는 만들기가 쉽고, 초기치의 변화에 따라 전혀 다른 시퀀스를 만들 수 있다. 본 논문에서 사용한 카오스 시퀀스는 Chebyshev map의 시퀀스 분포를 갖도록 Logistic map을 수정하였다. 실험방법은 원 영상을 웨이블릿 변환하여 카오스 시퀀스와 가우시안 시퀀스로 워터마킹한 후 여러 가지 영상처리와, 반복적인 실험의 결과로 나타난 유사도의 분포를 측정, 비교하였다. DCT-기반 워터마킹 시스템의 결과와 마찬가지로 카오스 시퀀스는 일반적인 신호처리에 있어서 가우시안 시퀀스 못지 않게 강하다. 또한 연속적인 반복 실험에 의한 유사도 편차가 가우시안의 경우보다 작고, 손실 압축에 있어서는 가우시안 시퀀스 보다 좋은 성능을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, as a digital watermark, we propose to use a chaotic sequence instead of the conventional Gaussian sequence. It is relatively easy to generate the chaotic sequence and is very sensitive to the change of initial value. The chaotic sequence adopted in this paper is a modified version of logistic map to give the sequence distribution of Chebyshev map. In the experiments, we applied the Gaussian sequence and chaotic sequence to wavelet coefficients of images to compare the similarity distribution. The results show that, as in the DCT-based watermarking system, the chaotic sequence is robust for various signal processing attacks. Moreover, the similarity variance is smaller than the Gaussian sequence for iterative experiments. It also shows a better performance for compression errors than the Gaussian sequence.

I. 서 론

인터넷을 통한 멀티미디어 데이터의 수요가 급격히 증가함에 따라 불법복제로부터 저작권을 보호하기 위한 노력이 필요하게 되었다. 현재까지 디지털 영상매체에 대한 저작권보호 기술로 가장 주목받고 있는 것이 워터마크(watermark) 방법이다^[1]. 일반적

으로 워터마킹 기법에서 많이 쓰이는 워터마크 시퀀스로서 Pseudo-Noise 시퀀스(sequence)중에서 m-sequence를 많이 쓰고 있다^[2]. 이는 자기상관함수 ACF(auto-correlation function)의 특성이 좋고 백색 잡음 같은 성격을 갖지만, 그 신호가 부분적으로 상관(correlation)되었을 경우 상호상관(cross-correlation)되는 부분에서는 큰 스파이크가 발생하며, 가끔 워터마크 시퀀스로 사용하기에 불충분한 시퀀스를

* 동국대학교 전자공학과 (adam@cakra.dongguk.ac.kr)

논문번호 : 99375-0913, 접수일자 : 1999년 9월 13일

* 본 연구는 학술진흥재단의 '98 자유공모과제 연구비에 의해 수행되었음.

생성한다. 반면 카오스 시퀀스는 생성하기가 쉬우며, 생성된 카오스 시퀀스는 가우시안 시퀀스보다 상관도가 적다. 또한 ACF의 특성이 좋고 랜덤한 잡음 같지만 결정적(deterministic)이며, 각종 변형을 가하여도 그 특성을 유지하는 장점을 가지고 있다^[2]. DCT (discrete cosine transform)를 기반으로한 NEC의 대역확산 방법^[3]을 이용한 워터마킹에서는 카오스 시퀀스가 가우시안 시퀀스보다 좋은 성능을 보였다^[4]. 이에 본 고에서는 원 영상을 웨이브릿 변환하여 워터마크 시퀀스로 정규 가우시안 시퀀스와 modified logistic map^[5]에 의해 생성된 카오스 시퀀스를 정지영상에 삽입 후 각종 변형을 가하면서 유사도의 변화를 비교하였다.

본 논문은 워터마크의 정의와 워터마크가 갖추어야 할 요건들을 2장에서 간단히 소개하고, 3장에서는 카오스 시퀀스의 생성 방법과 성질에 대하여 설명한다. 4장에서는 웨이브릿 변환과 워터마크의 삽입 방법 및 유사도(similarity) 측정 방법을 알아본다. 5장에서는 실제로 카오스 시퀀스를 워터마크로 사용하였을 때, 여러 가지 공격에 대한 실험을 하였으며, 그 결과를 6장에서 정리하였다.

II. 워터마크의 정의 및 갖추어야 할 요건

워터마크란 영상이나 음성 등의 신호에 특정한 코드나 패턴 등을 삽입하는 기술을 말하며, 이 워터마크의 삽입 여부 및 변조 여부를 측정함으로써 원래 신호의 위조나 도용이 이루어졌나를 검사하거나 저작권 보호의 방법으로 사용되고 있다. 워터마크 삽입 방법은 공간영역과 주파수 영역에서 삽입하는 방법으로 나눌 수 있으며, 이 두 가지 방법중 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 방법이 훨씬 효율적이라고 할 수 있다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 원영상을 DCT, FFT(Fast Fourier Transform) 또는 Wavelet 변환을 하여 워터마크를 삽입하는 대역확산을 이용한 방법이다^[6]. 대역확산 기법에서는 현대역 신호를 이보다 큰 대역폭에 걸쳐서 보냄으로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 아주 작은 양이 된다. 이와 같이 워터마크를 영상의 대역폭 내의 각 주파수 성분에 확산시킴으로써 워터마크가 존재하는 위치가 불분명해지고 더욱 강인한 워터마크를 삽입할 수 있다. 워터마크를 효과적으로 사용하기 위하여 요구되는 특성은 여러 가지가 있으나 기본적으로 다음의 두가지 조건을 만족해야 한다^[3].

- 1) 비가시성 (Invisibility) : 디지털 영상에 삽입된 워터마크를 육안으로 확인 할 수 없어야 하고 워터마크로 인하여 영상의 화질이 저하되어서는 않된다.
- 2) 강인성 (Robustness) : 워터마크가 삽입된 영상에 여러 가지 형태의 변형을 가해도 자신의 소유권을 분명히 주장할 수 있도록 소유자가 삽입한 워터마크가 존재해야 한다

III. 카오스 시스템

시 불연속 신호를 표현할 수 있는 가장 간단한 형태는 1-차원 맵으로 다음과 같다.

$$X_{k+1} = r(X_k) \tag{1}$$

여기서 $X_k = r^k(X_0) \in R, 0 < X_k < 1$ 이며, 초기 조건을 주어 $\{X_k; k=0,1,2,3 \dots\}$ 를 발생시키며, $r(\cdot):[0,1] \rightarrow [0,1]$ 구간의 값을 갖는 비선형 맵이다. 단순하고 가장 많이 알려진 카오스 맵은 Logistic map으로 식 (2)와 같이 정의된다^[2].

$$X_{k+1} = \mu X_k(1 - X_k) \tag{2}$$

위에서 X_k 는 $[0,1]$ 의 구간에서 정의되며, μ : bifurcation parameter 는 $0 \leq \mu \leq 4$ 사이의 값을 갖는다. 만약 $\mu = 4, 0 < X_0 < 1 (X_0 \neq 0.5)$ 일 경우 생성된 카오스 시퀀스는 주기성을 가지지 않으며 수렴하지도 않는다. 또한 초기 값(X_0)과 bifurcation parameter: μ 에 매우 민감하여, 초기조건을 조금만 바꾸어 여러 카오스 시퀀스를 발생시켰을 경우 이 신호들은 전혀 다른 시퀀스가 된다. 즉 각각의 신호에 대한 자기상관값은 높고, 그 신호들의 상호상관은 거의 영이 된다. 따라서 초기 값을 조금만 바꾸어도 상관성이 없고 랜덤한 잡음처럼 보이는 결정적(deterministic)인 카오스 시퀀스를 생성할 수 있다. 또 다른 맵은 차수를 변수로 갖는 Chebyshev map^[2]으로 식 (3)과 같이 정의되며, 생성된 시퀀스 X_k 는 $[-1,1]$ 구간에서 정의된다.

$$r(X_{k+1}) = \cos(\pi(\cos^{-1}X_k)) \tag{3}$$

그리고 logistic map역시 변수치환을 하여 Chebyshev map 구간의 값 $[-1,1]$ 을 갖도록 할 수 있으며 이는 식 (4)의 modified logistic map으로

표현할 수 있다.

$$X'_{k+1} = 1 - \lambda X'_k{}^2 \quad (4)$$

여기서 λ : bifurcation parameter는 $0 \leq \lambda \leq 2$, 초기 값은 $-1 \leq X'_0 \leq 1$ 의 값을 갖는다. 이 modified logistic map과 Chebyshev map은 topological conjugacy^[5]를 형성하여 같은 시스템으로 간주할 수 있으며, $\lambda=2$ 이고 $-1 < X'_0 < 1$ 일때 두 맵의 확률 밀도 함수(PDF) 역시 같으며 아래의 식으로 정의 된다^{[2][5]}.

$$\rho(x) = \begin{cases} \frac{1}{\pi\sqrt{1-x^2}} & -1 < x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

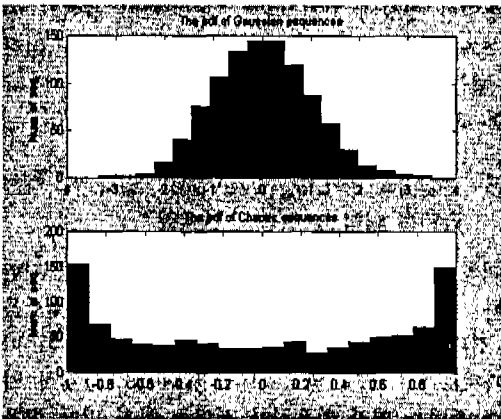


그림 1. 가우시안 시퀀스와 카오스 시퀀스 분포

가우시안 시퀀스를 대체하기 위한 카오스 시퀀스의 장점을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 생성이 쉽다 : 카오스 시퀀스를 생성하기 위해서는 오직 초기 값과 bifurcation parameter 만 알고 있으면 된다.
- 2) 초기조건에 민감하다 : 카오스 시퀀스는 초기 값을 약간만 바꾸어도 가우시안 시퀀스보다 상관관계가 적은 전혀 다른 시퀀스를 생성한다.
- 3) 노이즈처럼 보인다 : 생성된 카오스 시퀀스는 같은 값을 발생시키거나 주기성을 가지지 않으며, 초기조건이 조금만 틀려도 전혀 다른 시퀀스를 생성하기 때문에 초기조건을 모르는 상태에서 바라본 카오스 시퀀스는 노이즈처럼 보이 지만 실제로는 초기 조건에 의해 생성되는 결정적 신호(deterministic signal)이다.

IV. 웨이브릿 변환과 워터마크 삽입 방법

웨이브릿 변환은 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성(locality)을 갖는 웨이브릿 기저함수(wavelet basis)의 선형결합으로 표현하는 것이다^[6]. 웨이브릿 기저함수는 기본 웨이브릿(mother wavelet)이라는 웨이브릿 함수를 각각의 신호 특성에 맞게 선택하여, 이를 천이(transition)하고 확장(dilation)하여 얻어진 함수이다. 영상을 웨이브릿 변환하면 그림 2와 같이 서로 다른 단계의 다해상도 부밴드 신호, 즉 저주파 성분(LL)과 방향성용 가지는 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분(LH,HL,LL)으로 분해된다.

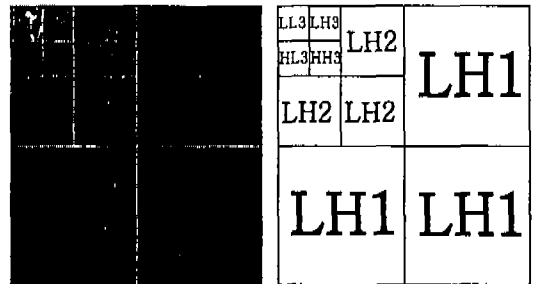


그림 2. 3단계 웨이브릿 변환

대역확산 방법에 의한 워터마크 삽입 및 추출 방법은 그림 3과 같이 표현된다. 삽입하고자 하는 워터마크를 실수 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 라 하고 I 는 워터마크를 삽입하고자 하는 원 영상을, 그리고 원 영상을 주파수 영역으로 변환 후 선택된 주파수 성분을 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ 로 구성이 된다. 워터마크 W 를 V 에 삽입하여 V' 를 얻을 수 있고, 워터마크가 포함된 영상 I_w 를 얻을 수 있다. 그림 3의 (b)에서 I_r 는 워터마크가 삽입된 영상 I_w 가 의도적인 공격이나 신호 처리 과정을 거친 후 변화된 영상을 의미한다. 변화된 영상으로부터 원 영상에 내장되어 있는 워터마크를 추출하기 위해서는 삽입 과정과 마찬가지로 I_r 의 주파수 값 V'' 들을 추출한 후 원 영상 I 의 주파수 값인 V 와 비교하여 그 차이가 되는 W'' 를 구하여야 한다. W'' 는 원래의 워터마크 W 가 변화된 형태가 되며 식 (6)에 의하여 이 두 값들 간에 상관관계(correlation)를 측정함으로써 영상에 내장되어 있던 워터마크의 유효성을 검사하는 것이다.

$$\text{Sim} \delta (w, w'') = \frac{w'' \times w}{\sqrt{w'' \times w''}} \quad (6)$$

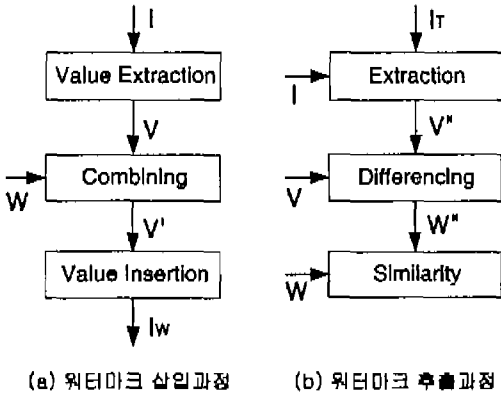


그림 3. 워터마크 삽입 및 추출과정

만일 $Sims(w, w')$ 의 값이 임계치 보다 크게 되면 두 워터마크가 동일한 것으로 인정이 되어 영상의 유효성이 입증되는 것이며, 임계치 보다 적게 되면 유효하지 않은 영상으로 판별이 되는 것이다. Cox^[3]의 논문에서는 임계치를 $\delta = 6$ 으로 정해 소유권의 유효성을 판별하였으며, 이 때의 유사도 오차 확률 $P_{error} = 9.82 \times 10^{-12}$ 로 매우 낮다.

V. 실험 및 실험 결과

본 논문에서는 256*256 lena 영상을 Haar 웨이브렛을 이용 DWT한 후 3단계 부밴드 신호 중 LH3, HL3의 절대치를 취한 주파수 계수중 가장 큰 1000개의 계수 값에 $v_i = v(1 + \alpha x)$ 식을 이용해 정규 가우시안 시퀀스와 modified logistic map에 의해 생성된 카오스 시퀀스를 정규화 하여 워터마크를 삽입하였다. 이때 사용되는 워터마크 시퀀스의 개수는 영상의 사이즈를 기준으로 화질과 강인성을 고려하여 영상 사이즈의 1.5~2%에 해당하는 개수이며^[3], 스케일 변수 α 는 0.1로 하였다. 모든 결과는 각각 1,000번씩 반복 실험한 것에 대한 결과 값이다.

1. 노이즈(Noise)에 대한 강인성 실험
워터마크가 삽입된 영상에 또 다른 시퀀스의 노이즈(Ga-가우시안, Cha-카오스)를 삽입 후 유사도를 비교한다.

2. 확대 및 축소에 대한 강인성 실험
워터마크가 들어간 영상을 1/2로 축소 한 후 다시 원래의 크기로 복원하여 유사도를 측정한다.

3. 클리핑(clipping)에 대한 강인성 실험
워터마크가 삽입된 영상의 중앙부분(전체 크기의 1/2)을 잘라 내어 원 영상의 중앙부분에 삽입한 후 유사도를 측정한다.

4. 결투전(collusion)에 대한 강인성 실험
동일한 영상에 각기 다른 워터마크가 들어간 영상 5개를 만든 후, 이 영상들의 각 픽셀 값을 더하여 평균값을 구한 다음, 단일 영상을 만든 후 유사도를 측정한다.

5. 손실압축(JPEG, Wavelet 압축)에 대한 강인성 실험 및 유사도 변화량

위의 실험에서 워터마크 시퀀스로 가우시안 시퀀스와 카오스 시퀀스를 사용하여 여러가지 실험을 한 결과, DCT-기반 워터마킹 시스템의 결과^[4]와 마찬가지로 웨이브렛 영역에서의 워터마크 삽입시 카오스 시퀀스 역시 가우시안 시퀀스 못지 않게 좋은 성능(표 1)을 나타냈다. 또한 표 2와 표 3에서 알 수 있듯이 손실압축에 대한 실험에서 임계치 $Sims = 6$, $Sims = 7$ 이하로 떨어지는 횟수에 있어서, 압축률이 올라갈수록, JPEG 압축의 경우 가우시안 시스템이 카오스 시스템보다 최고 23배, 웨이브렛 압축의 경우 4배까지 많은 것을 볼 수 있다. 이는 카오스 시스템의 유사도 오차확률이 더욱 적다는 것을 의미하며, 소유권 분쟁이 발생할 경우 인증에 성공할 확률이 가우시안 시스템보다 높다고 말할 수

표 1. 각종 공격에 대한 유사도와 표준편차 (실험 1~실험 4)

워터마크	노이즈 삽입				확대 및 축소		클리핑		결투전	
	가우시안		카오스		가우시안	카오스	가우시안	카오스	가우시안	카오스
	Ga	Cha	Cha	Ga						
평균 유사도	20.29	20.61	20.46	20.22	5.55	6.46	16.43	16.87	25.52	26.97
평균 PSNR	44.22	44.18	44.34	44.31	24.44	24.24	46.48	46.44	44.32	44.53
유사도 표준편차	0.8242	0.8329	0.5301	0.5794	0.9991	0.6094	0.8095	0.3388	0.2921	0.1774
PSNR 표준편차	0.6163	0.1499	0.1929	0.2941	3×10^{-9}	3×10^{-9}	0.4605	0.2184	0.3097	0.1776

표 2. JPEG 압축에 대한 유사도와 표준편차 (실험 5)

압축률(배)	가우시안 시스템				카오스 시스템			
	10	15	20	25	10	15	20	25
평균 유사도	20.54	14.33	8.68	7.14	20.6	14.16	8.93	7.18
평균 PSNR	31.09	28.11	27.17	26.48	30.09	29.11	27.18	26.49
유사도 표준편차	0.894	0.91	0.8482	0.9153	0.4786	0.7060	0.8014	0.8428
PSNR 표준편차	0.0035	0.0033	0.0042	0.0048	0.0031	0.0035	0.0042	0.0047
유사도7 이하(개)	0	0	23	437	0	0	1	417
유사도6 이하(개)	0	0	0	103	0	0	0	87

표 3. 웨이브릿 압축에 대한 유사도와 PSNR 성능 비교 (실험 5)

ZERO 마스킹(%)	가우시안 시스템					카오스 시스템				
	50	80	90	92	93	50	80	90	92	93
평균 유사도	31.16	30.94	14.65	9.17	7.8	31.16	30.93	15.1	9.1	7.85
평균 PSNR	45.78	36.13	31.32	29.94	29.31	45.75	36.14	31.32	29.95	29.31
유사도 표준편차	0.716	0.7233	0.8351	0.9733	0.976	0.03	0.0482	0.69	0.8154	0.859
PSNR 표준편차	0.088	0.0018	0.0091	0.0262	0.027	0.0062	0.0017	0.0043	0.0055	0.017
유사도7 이하(개)	0	0	0	8	212	0	0	0	4	129
유사도6 이하(개)	0	0	0	1	32	0	0	0	0	8

있다. 또한 가우시안 시스템을 카오스 시스템과 같이 시퀀스 범위를 [-1,1]로 한정(truncation) 하여 실험을 하였을 경우, 임계치 이하로 떨어지는 경우의 수가 10%~30%정도 감소할 하지만, 한정하기 전에 임계치 $\delta = 7$, $\delta = 6$ 이하로 떨어지는 시드(seed)값을

갖는 시퀀스는 한정을 하여도 계속해서 임계치 이하로 떨어지기 때문에 워터마크 시퀀스로 사용하기에 불충분하다. 그리고 그림 4와 5에서 보듯이 각각의 공격에 대해 1,000번씩 실험을 한 후 구한 평균 유사도에 대한 표준편차가 가우시안 시스템이 전체적으로 높기 때문에 전체적인 유사도 측정에서 카오스 시스템이 보다 안정적이라고 할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 Chebyshev map의 시퀀스 분포를 갖도록 Logistic map을 수정한 카오스 시퀀스를 이용하여 저작권 보호를 위한 디지털 워터마크 방법을 제안하고 그 성능을 기존의 방법과 비교하여 분석하였다. 카오스 시퀀스는 만들기가 쉽고, 초기치의 변화에 따라 전혀 다른 시퀀스를 만들 수 있다. 원 영상을 웨이브릿 변환하여 카오스 시퀀스로 워터마크한 후 여러 가지 영상 처리와, 반복적인 실험의 결과로 나타난 유사도의 분포를 측정한 결과 일반적인 신호처리에 있어서 유사도와 PSNR은 가우시안 시퀀스를 사용하였을 경우처럼 강한 성능을 보였으며, 연속적인 반복 실험에 대한 유사도 편차는 가우시안의 경우보다 작고, 손실 압축에 있어서는 가우시안 시퀀스보다 좋은 성능을 보였다.

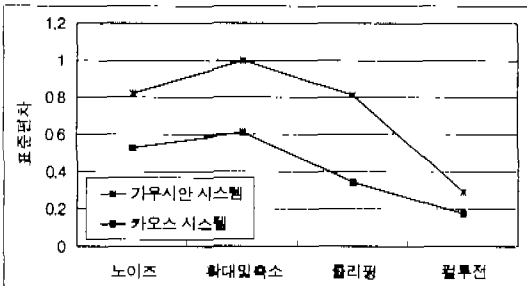


그림 4. 각종 공격에 대한 유사도 변화량 (실험 1~실험 4)

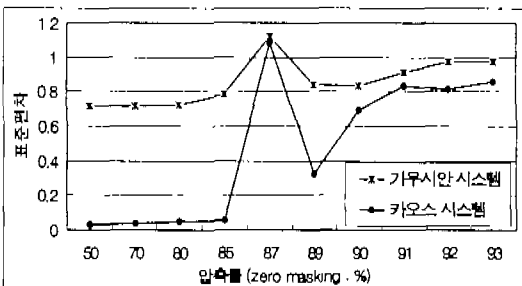


그림 5. 웨이브릿 압축에 대한 유사도 변화량 (실험 5)

