

論文 2003-40SD-6-4

결합변환 상관기의 위상특성을 이용한 광 암호화 시스템

(Optical Security System Based on the Phase Characteristic of Joint Transform Correlator)

朴世駿*, 徐東煥**, 金秀重**

(Se-Joon Park, Dong-Hoan Seo, and Soo-Joong Kim)

요약

본 논문에서는 전통적인 JTC와는 달리 입력평면을 주파수 영역으로 사용해서 JTC의 자기상관성분을 이용하여 원 영상을 재생할 수 있는 광 암호화 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 푸리에변환과 역변환의 두 가지 처리과정을 거치지 않고 한 번의 푸리에 변환 과정을 거치는 구조로 JTC를 사용하기 때문에 출력 평면에 나타나는 위상성분의 영향을 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 결합입력평면의 구조에 따른 위상성분의 영향을 분석하고 해결책을 제시하였다. 원 영상은 무작위 위상영상과 곱해서 수치적인 방법으로 암호화되며 복소함수 값을 가지므로 기존의 광 보안 시스템이 가지는 장점을 그대로 가진다. 또한 한 번의 푸리에 변환만을 이용하고 JTC의 가장 큰 문제점인 자기상관성분을 이용하여 원 영상을 재생하므로 JTC를 이용한 실시간 처리에 보다 적합하다. 컴퓨터 모의실험과 광 실험을 통하여 분석의 타당성을 확인하고 제안한 암호화 시스템의 성능을 확인하였다.

Abstract

In this paper an optical encryption system, which can decrypt the original image by using the autocorrelation terms of a JTC, is proposed. Unlike the classical JTC, the joint input plane of the proposed system is composed in a frequency domain not a spatial domain, thus it needs only one Fourier transformation. To use like this, the phase component appeared in the output plane of JTC should be considered. We presents the effect of phase and provides the solution. An original image is encrypted to a complex-valued random image. The original image is reconstructed using the autocorrelation terms which is the main drawback of JTC, therefore the proposed system is more suitable for JTC and real time processing. By computer simulation and optical experiment, the analysis for the phase effect and the performance of the proposed system are confirmed.

Keyword : encryption, decryption, phase modulation, joint transform correlator

* 正會員, 龜尾1大學 電子情報科

(Department of electronic Information, Kumi 1 College)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部

(School of Electrical Engineering & Computer Science, Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字:2002年12月2日, 수정완료일:2003年5月19日

I. 서론

정보화 사회의 진전에 따라 여권, 신용카드, 은행카드 등과 같은 개인의 신원을 인증하는 신분증의 사용이 늘어나고 있다. 광신호처리를 이용한 보안 시스템에서는 무작위 위상을 발생시켜 원래 영상을 암호화 한 후 위상 마스크, 컴퓨터 형성 홀로그램(CGH) 또는 공간광

변조기(SLM)에 기록을 한다. 이렇게 기록되어진 암호화 영상은 기존의 세기 검출기로는 추출이 불가능하므로 복제나 위조가 어렵고, 무작위 특성에 의해서 원래의 패턴을 역추적하기 어렵다는 장점이 있다.

현재 사용되는 광 보안 시스템은 주로 4-f 광 상관시스템^[1-2]이나 마호젠더 간섭계 구조^[3-4]를 이용하여 암호화된 영상을 복호한다. 이 중 4-f 광 상관시스템은 광축정렬 문제와 암호화할 때 사용한 위상마스크의 복소공액 마스크를 제작해야 하는 어려움이 있으며, 마호젠더 간섭계를 이용한 시스템은 정밀한 실험구성을 필요로 하며 외부 교란에 많은 영향을 받는다는 단점이 있다. 이에 반하여 결합변환상관기(JTC: joint transform correlator)^[5]는 광축정렬이 필요없고 복소공액 마스크를 제작할 필요가 없으며 외부교란에도 거의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 또한 JTC는 현재 널리 사용되는 디지털 장비와 직접적인 결합을 통하여 실시간 처리에도 적합하다는 장점을 가진다. 그러나 JTC는 그 구조적인 특성 때문에 출력 평면에 큰 세기의 자기상관 성분이 나타나는데, 이는 JTC를 광 상관 시스템이나 광 보안 시스템에 이용하기 어렵게 만드는 주원인이 된다.

최근 JTC를 이용한 광학적 암호화 방법^[6]이 제안되었는데 이는 JTC의 주파수 스펙트럼(JPS: joint power spectrum)을 암호화된 영상으로 기록하여 사용하고, 4-f 상관시스템을 이용하여 복호화 한다. 그러나 이 방법은 기록된 암호화 패턴이 실수함수이므로 세기검출기로 복사가 가능하고, 복호화시 4-f 상관기를 이용하므로 광축정렬의 어려움이 존재한다. 또한 기록된 JPS에 존재하는 자기상관성분을 제거하여야 하는 문제점을 가지고 있다. 자기상관성분을 제거하는 가장 대표적인 방법은 디지털 감산연산을 수행하여 제거 하는 것인데^[7] 이는 JTC의 입력평면을 구성하기 전에 각각의 입력영상들의 파워스펙트럼을 미리 CCD 카메라로 획득하여 컴퓨터에 저장한 후 JPS에서 빼주는 과정을 거치므로 실시간 처리에 문제로 작용한다.

본 논문에서는 JTC의 문제점인 자기상관성분을 이용하여 원 영상을 재생하며 전통적인 JTC와는 달리 결합입력평면을 주파수영역으로 사용하는 광 암호화 시스템을 제안하였다. 암호화 방법^[8]은 이진영상을 위상변조 시키고 무작위 위상영상과 곱한 후 푸리에 변환하여 원 영상을 수치적으로 암호화하며, 암호화에 사용된 무작위 위상영상의 푸리에 변환된 영상을 진위 여부를

판별하는 키 코드로 사용한다. 이렇게 암호화된 영상은 두번의 암호화 과정을 거치므로 쉽게 역 추적되기 어려우며 복소함수 값을 가지므로 세기검출기로는 복사가 불가능하다는 광 보안 시스템의 장점을 그대로 이용할 수 있다. 또한 JTC로 재생되는 영상은 가장 큰 문제로 작용하는 자기상관성분을 이용하여 재생되므로 실시간 처리에 보다 유리하다. 제안한 JTC 시스템은 전통적인 JTC와는 달리 결합입력평면을 주파수영역으로 사용하므로 재생된 영상에 결합입력평면의 구조에 따른 위상성분의 영향이 발생하게 되는데 본 논문에서는 이 위상성분의 영향을 분석하고 그 해결책을 제시하여 원 영상을 복원하였다. 컴퓨터 모의실험과 광 실험을 통하여 JTC 구조에서 발생하는 위상성분의 영향에 대한 분석의 타당성을 검증하고 컴퓨터 모의실험을 통해 제안한 암호화 방법의 성능을 확인하였다.

II. 전통적인 JTC

전통적인 JTC의 시스템 블록도는 <그림 1>과 같다. 여기에서 SLM은 입력영상이 올라가는 결합입력평면(joint input plane)을, 렌즈 L1은 푸리에 변환렌즈를, P1은 출력평면을 나타내며, f 는 렌즈의 초점거리이다. <그림 1>에서 $r(x,y)$ 는 중심이 $(-x_0,0)$ 에 배치되는 기준영상이고 $h(x,y)$ 는 중심이 $(x_0,0)$ 에 배치되는 입력영상이다. 이는

$$e(x, y) = h(x - x_0, y) + r(x + x_0, y) \quad (1)$$

로 주어지며, 결합입력평면은 L1에 의해서 푸리에 변환되는데 이는

$$E(u, v) = H(u, v) \exp(-j2\pi x_0 u) + R(u, v) \exp(j2\pi x_0 u) \quad (2)$$

와 같이 표현되고, 출력평면 P1에 놓인 세기 검출기(intensity detector)의 광세기 함수는

$$|E(u, v)|^2 = |H(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2 + H(u, v) R^*(u, v) \exp(-j4\pi x_0 u) + H^*(u, v) R(u, v) \exp(j4\pi x_0 u) \quad (3)$$

와 같이 표현된다. CCD로 검출된 광세기 함수는 다시 SLM으로 올려지게 되며, L1에 의해서 푸리에 역변환된다. 이때 출력 상관평면에서의 광분포 함수는

$$g(x, y) = h \star h + r \star r \\ + h \star r * \delta(x+2x_0, y) + r \star h * \delta(x-2x_0, y) \quad (4)$$

와 같다. 여기서 \star 는 상관자를, $*$ 는 상승자를 뜻한다. 식 (1)에서 결합입력평면에 놓여진 각각의 영상은 공간 영역에서 원래에 중심에 대해 $\pm x_0$ 만큼 이동한 결과가 되며 이는 주파수영역에서 식 (2)의 위상성분 $\exp[j2\pi x u]$ 으로 나타나게 된다. 식 (3)과 식 (4)에서 앞의 두 항은 각각의 입력영상의 자기상관성분이며, 뒤의 두 항은 각 입력영상간의 상호상관 성분이다. 자기상관의 세기는 상호상관의 세기에 비해 아주 크므로 광 상관 시스템에서는 오인식을 유발시키며, 광 암호화 시스템에서는 원 영상의 복원을 어렵게 만든다.

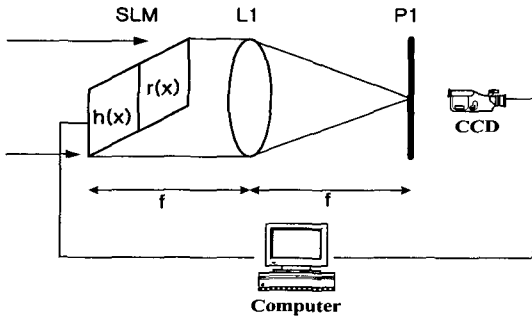


그림 1. 전통적인 JTC
Fig. 1. Conventional JTC.

III. 위상성분의 영향

1. 위상성분의 영향

JTC의 입력평면을 주파수영역으로 사용하고, 식 전개의 편의를 위해 동일한 영상 $F(u, v)$ 를 <그림 1>의 결합입력평면에 두었다면 그 입력평면의 구성도는 <그림 2>와 같고 식은

$$E(u, v) = F(u - u_0, v) + F(u + u_0, v) \quad (4)$$

로 주어진다.

렌즈에 의해 푸리에변환된 결과는

$$e(x, y) = f(x, y) \exp(-j2\pi x u_0) + f(x, y) \exp(j2\pi x u_0) \quad (5)$$

로 나타난다. 이 때 CCD 카메라에서의 출력은

$$|e(x, y)|^2 = |f(x, y)|^2 + |f(x, y)|^2$$

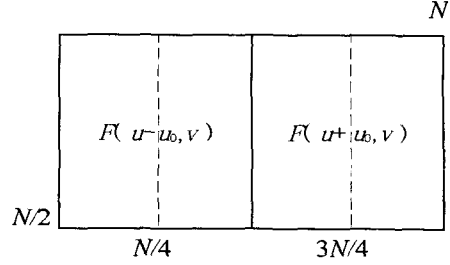


그림 2. 주파수 영역에서의 결합입력평면
Fig. 2. Joint input plane in frequency-domain.

$$+ |f(x, y)|^2 \exp(-j4\pi x u_0) + |f(x, y)|^2 \exp(j4\pi x u_0) \\ = |f(x, y)|^2 \{2 + 2\cos(4\pi x u_0)\} \quad (6)$$

로 나타나며 재생되는 영상에 위상성분의 영향이 있음을 알 수 있다.

JTC의 입력과 출력평면은 각각 표본화된 영역이므로 표본화된 영상의 주파수영역과 공간영역의 관계는

$$\Delta d = \frac{1}{2f_{x0}} \\ x = k \Delta d = k \frac{L}{N_x}, \quad u = k \frac{1}{\Delta d} = k \frac{N_x}{L} \quad (7) \\ k = 0, 1, \dots, N_x - 1$$

으로 주어지며 편의상 x 축과 u 축만 표시하였다. 여기서 Δd 는 표본화 간격, f_{x0} 는 영상의 x 축의 최고 주파수, L 은 x 축의로의 영상의 길이, k 는 화소번호이며 N_x 는 표본화 개수이다.

<그림 2>에서 각 입력영상의 중심 ($\pm u_0, 0$)는 결합입력평면의 $1/4, 3/4$ 되는 지점이다. 따라서 식 (7)을 식 (6)의 위상성분에 대입하면

$$\cos[4\pi u_0 x] = \cos\left\{4\pi \left[\frac{1}{4} \frac{N}{L}\right] \left(k \frac{L}{N_x}\right)\right\} = \cos(\pi k_x) \quad (8)$$

이 된다. 여기서 k_x 는 x 축의 화소가 되며 식 (8)에서

$$\cos(\pi k_x) = \begin{cases} +1, & k_x = 2n \\ -1, & k_x = 2n+1 \end{cases} \quad (9)$$

과 같고 이를 식 (6)에 대입하면 그 최종 출력은

$$|f(x, y)|^2 [2 + 2\cos(\pi k_x)] = \begin{cases} 4|f(x, y)|^2, & k_x = 2n \\ 0, & k_x = 2n+1 \end{cases} \quad (10)$$

와 같다. 식 (10)에서 출력평면의 x 축의 화소가 짝수일

때 위상성분의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 만약 기준영상과 입력영상을 나란히 붙이지 않고 $(\pm u_0, 0)$ 의 위치가 결합입력평면의 1/8, 7/8 되는 지점에 있다고 한다면 식 (8)은

$$\cos[4\pi u_0 x] = \cos\left\{4\pi\left(\frac{1}{8}\frac{N}{L}\right)\left(k_x\frac{L}{N}\right)\right\} = \cos\left(\frac{\pi}{2}k_x\right) \quad (11)$$

로 되며, 입력영상들을 나란히 붙인 경우와는 달리 위상성분의 영향을 받는 화소가 증가하게 된다. 즉 기준영상과 입력영상을 결합입력평면의 중심에서 좌·우로 동일한 위치에 두는 JTC의 입력평면의 구조 특성에 의해서 출력평면의 위상성분은 여현함수만 나타나게 되고, 두 영상이 중심에서 서로 멀어질수록 위상성분의 영향을 받는 화소가 증가하게 된다는 것을 알 수 있다.

2. 이산신호처리와의 차이

JTC는 현재 널리 사용되는 여러 가지 디지털 장비와 결합하여 실시간 처리에 유리하다는 장점을 가진다. 따라서 연속신호를 이용하는 광 신호처리분야에 적용하였을 경우 이산신호와의 차이에서 발생하는 문제점들을 고려해야 한다. JTC의 입력과 출력에 관한 식은 이산신호처리와 거의 같다는 것을 알 수 있다. 연속신호에 대한 푸리에변환과 이산 푸리에변환의 식은 <그림 2>의 경우

$$f(x, y) = \int_{-f_x}^{f_x} \int_{-f_y}^{f_y} \{F(u - u_0, v) + F(u + u_0, v)\} \exp[j2\pi(ux + vy)] du dv$$

$$f(n, m) = \sum_{k=0}^{N/2-1} \sum_{l=0}^{N-1} \{F(k - u_0, l) + F(k + u_0, l)\} \exp[j2\pi\left(\frac{kn}{N} + \frac{lm}{N}\right)] \quad (12)$$

로 주어진다. 여기서 f_{x0} 와 f_{y0} 는 각각 u 축과 v 축의 최고 주파수이다. 이산신호와 연속신호의 푸리에변환 식의 차이는 적분구간의 변화이다. 식 (12)에서와 같이 연속신호의 경우 전체평면이 늘어나도 적분구간은 변함없는데 비해 이산 푸리에변환의 경우 원래의 영상에 비해 u 축으로 적분 구간이 두 배 늘어나게 된다. 즉 이산 푸리에변환의 경우 전체평면이 u 축으로 두 배 늘어난 것에 비해 각 입력영상의 주파수 모양이나 크기는 변화가 없으므로 결국 각 입력영상은 u 축으로 1/2배 늘어난 것과 동일한 결과를 가지게 된다. 따라서 크기가 변형된 영상의 푸리에변환 관계는

$$f(an, m) \Leftrightarrow \frac{1}{|a|} F\left(\frac{k}{a}, l\right) \quad (13)$$

로 주어지므로 원래 크기보다 x 축으로 2배 크진 영상이 재생되며 위상성분의 영향은 식 (9)와 동일하게 나타남을 알 수 있다. 즉 연속신호의 경우 결합입력평면을 <그림 2>와 같이 구성하여 사용하였을 때 위상성분의 영향은 홀수 화소에 나타나게 되고 크기 변화는 없는 반면, 이산신호의 경우 위상성분의 영향이 홀수 화소에 나타나고 동시에 재생되는 영상이 한쪽 축으로 2배 커지게 된다. 두 신호의 차이에서 오는 문제점을 해결할 수 있는 방법은 몇 가지가 있는데 대개 광 신호 처리에서는 이진위상 CGH를 이용하여 이를 위상마스크로 제작하거나 SLM을 이용해서 광학적인 구현을 한다. 따라서 이진위상 CGH를 만들고 이를 한쪽 축으로 다운 샘플링한 후 결합입력평면을 구성하게 되면 이산신호처리와 같은 결과를 얻을 수 있고 CCD 카메라에 재생되는 영상에서 짝수화소만 추출하면 원래의 영상을 광학적으로 재생할 수 있게 된다.

IV. 제안한 광 암호화 시스템

1. 암호화 방법

본 논문에서 제안한 암호화 방법은 다음과 같다. 먼저 암호화 할 이진영상 $f(x, y)$ 를 위상 변조 시키고 컴퓨터에서 발생한 이진 무작위 영상 $r(x, y)$ 을 위상변조시킨다. 위상변조된 각각의 영상 $f_1(x, y)$, $r_1(x, y)$ 는

$$f_1(x, y) = \exp[j\pi f(x, y)]$$

$$r_1(x, y) = \exp[j\pi r(x, y)] \quad (14)$$

$$|f_1(x, y)|^2 = |r_1(x, y)|^2 = 1$$

와 같이 표현된다. 이때 위상 변조된 영상의 세기는 '1'이 된다. 두 위상변조된 영상을 곱한 암호화 영상을 $h(x, y)$ 라 두면

$$h(x, y) = f_1(x, y) r_1(x, y)$$

$$= \exp[j\pi\{f(x, y) + r(x, y)\}] \quad (15)$$

와 같이 암호화된 영상의 세기도 '1'이 된다. 본 논문에서는 암호화된 위상영상 $h(x, y)$ 를 푸리에변환한 복소함수 $H(u, v)$ 를 최종 암호화된 영상으로, 위상변조된 무작위 영상 $r_1(x, y)$ 를 푸리에변환한 $R_1(u, v)$ 를 진위를 판별

하는 키 코드(key-code)로 사용한다. 이는

$$\begin{aligned} H(u, v) &= \mathcal{F}\{h(x, y)\} \\ R_1(u, v) &= \mathcal{F}\{r_1(x, y)\} \end{aligned} \quad (16)$$

와 같고, 여기서 \mathcal{F} 는 푸리에변환을 나타낸다. 제안한 방법으로 암호화된 영상은 원 영상을 위상변조한 후 위상변조된 무작위 영상과 곱해진 후 푸리에변환을 하므로 두 번의 암호화 과정을 거친 것과 동일한 결과를 가지게 되며, 암호화에 사용된 키 코드 없이는 원 영상을 복원할 수 없다. 또한 복소함수 값을 가지므로 세기 검출기로 복사되지 않는 광 보안시스템의 장점을 그대로 가지게 된다.

2. JTC를 이용한 복호화

복호화에 사용되는 JTC 시스템 구성도는 <그림 1>과 동일하다. 암호화된 영상 $H(u, v)$ 는 <그림 2>의 결합입력평면의 좌반 평면에, 진위를 판별하는 키 코드 $R_1(u, v)$ 는 우반평면에 각각 놓여지며, 결합입력평면 $E(u, v)$ 는

$$E(u, v) = H(u - u_0, v) + R_1(u + u_0, v) \quad (17)$$

과 같고 결합평면은 렌즈 L1에 의해서 푸리에 역변환되어지며 이는

$$e(x, y) = h(x, y) \exp(j2\pi u_0 x) + r_1(x, y) \exp(-j2\pi u_0 x) \quad (18)$$

로 주어진다. 출력평면 P1에 놓인 CCD 카메라에 의해서 검출되어지는 세기함수는

$$\begin{aligned} |e(x, y)|^2 &= |h(x, y)|^2 + |r_1(x, y)|^2 + h(x, y)r_1(x, y)^* \\ &\quad \exp(j4\pi u_0 x) + h(x, y)^* r_1(x, y) \exp(-j4\pi u_0 x) \\ &= 1 + 1 + \exp[j\pi f(x, y)] \exp(j4\pi u_0 x) \\ &\quad + \exp[-j\pi f(x, y)] \exp(-j4\pi u_0 x) \\ &= \begin{cases} 2 + 2\cos(4\pi u_0 x), & \text{if } f(x, y) = 0 \\ 2 - 2\cos(4\pi u_0 x), & \text{if } f(x, y) = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

와 같다. 식 (19)에서 위상 성분 $\cos(4\pi u_0 x)$ 를 '1'로 두면 즉 위상성분의 영향을 받지 않는 짝수 화소만 추출한다면 식 (19)는

$$e(x, y) = \begin{cases} 4, & \text{if } f(x, y) = 0 \\ 0, & \text{if } f(x, y) = 1 \end{cases} \quad (20)$$

로 주어지며 원래의 이진영상 $f(x, y)$ 가 명암이 반전되어 CCD 카메라에 재생됨을 알 수 있고 제안한 암호화 시스템에서는 자기상관성분이 원 영상 재생에 필요한 성분이 됨을 식 (19)에서 확인할 수 있다. 따라서 제안한 암호화 방법은 JTC 구조에서 가장 큰 문제점인 자기상관성분을 제거해야 하는 문제를 보다 쉽게 해결할 수 있음을 알 수 있다. 또한 전통적인 JTC은 푸리에변환과 역변환의 두 가지 처리과정을 거치는데 반해 제안한 암호화 방법은 한 번의 푸리에 역변환 과정을 거치므로 시스템이 보다 간단하며 실시간 처리에 더 유리하다고 볼 수 있다.

V. 실험결과 및 고찰

먼저 주파수 영역에서 JTC 구조를 사용할 때 재생되는 영상의 크기와, 결합입력평면의 중심 이동에 따른 위상영향을 동시에 확인할 수 있게 컴퓨터 모의실험과 광 실험을 해 보았다. 광 실험과 컴퓨터 모의실험에 사용된 원 영상은 <그림 3(a)>와 같고 64×64 이진 영상이다. <그림 3(b), 3(c)>는 원 영상의 파워스펙트럼 및 이진위상 CGH다. 컴퓨터 모의실험과 광 실험의 결합입력평면의 구조는 <그림 2>와 동일하고 CGH는 SA(simulated annealing) 알고리즘을 이용하여 제작하였으며, EPSON사의 P13SMO15 LCD panel과 BE13SO10 driver를 사용하여 제작된 CGH를 표시하고 PULNiX사의 TM545-I CCD 카메라를 이용하여 재생된 영상을 기록하였다.

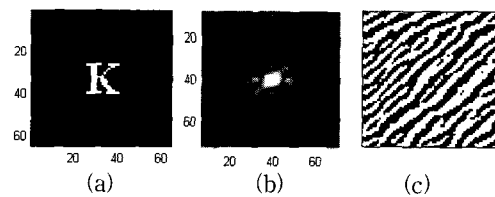


그림 3. 컴퓨터 모의실험 및 광 실험에 사용된 영상 (a)원 영상 (b)주파수 스펙트럼 (c)컴퓨터 형성 홀로그램

Fig. 3. Used image for computer simulation and optical experiment. (a)Original image (b)power spectrum (c)CGH

<그림 4(a)>와 <그림 4(c)>는 각각 <그림 3(b)>와 <그림 3(c)>를 컴퓨터와 광학적으로 재생한 영상이다. <그림 4(b)>는 JTC의 입력평면을 64×128로 구성하고

<그림 3(b)>의 영상을 좌반평면과 우반평면에 동시에 올려 컴퓨터로 재생한 영상이며 <그림 4(d)>는 <그림 3(c)>의 CGH를 LCD의 좌반평면과 우반평면에 동시에 올려 광학적으로 재생한 영상이다. 따라서 결합입력평면의 구성은 <그림 2>와 동일하다. 컴퓨터로 재생된 영상은 x 축으로 두 배 커졌으며 위상성분의 영향은 '0'의 값, 그림에서는 수직 줄로 나타나며, 광학적으로 재생한 영상은 위상성분의 영향이 주기적으로 나타나지만 크기변화는 없는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 위상성분의 영향 및 이산신호와의 차이점에 관한 분석이 타당함을 확인할 수 있다.

<그림 5>는 결합입력평면의 구성에 따라 위상성분의 영향이 증가하게 되는 지를 확인한 광 실험 결과이다. <그림 5(b)>의 영상은 결합입력평면을 <그림 5(a)>와 같이 만든 후 LCD에 올려 광학적으로 재생한 영상이며, 위상성분의 영향이 <그림 4(d)>의 영상보다 더 많은 수직 형태의 줄로 나타남을 확인 할 수 있고 크기 변화는 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 위상성분의 영향에 관한 식 (8)과 식 (11)이 타당함을 확인할 수 있다.

제안한 암호화 시스템에서는 <그림 3(a)>를 그대로 원 영상으로 사용했으며 <그림 6(a)>는 컴퓨터로 발생

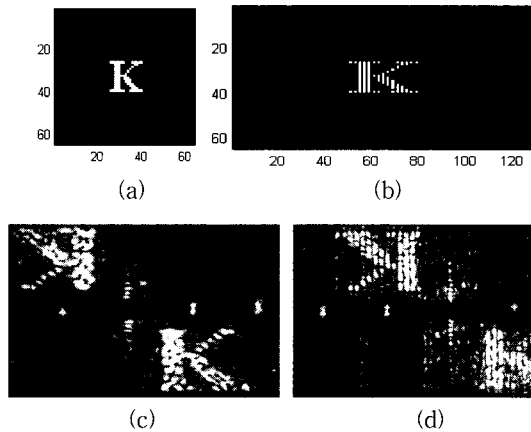


그림 4. 위상성분의 영향에 관한 컴퓨터 모의실험 및 광 실험 결과 컴퓨터 모의실험 (a)원 영상 (b)JTC로 재생한 영상 광 실험 (c)원 영상 (d)JTC로 재생한 영상

Fig. 4. Computer simulation and optical experiment results for the effect of phase Computer simulation. (a)original image (b)reconstructed image using JTC Optical experiment (c)original image (d)reconstructed image using JTC.

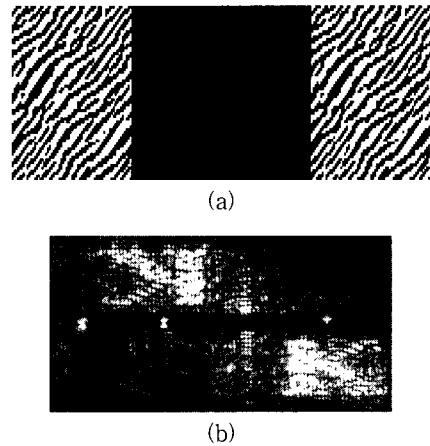


그림 5. 입력평면의 변화에 따른 광 실험 (a)결합입력 평면 (b)재생된 영상

Fig. 5. Optical experiment result for the Effect of phase as the distance change of each input image. (a)joint input plane (b)reconstructed image

된 무작위 영상이며 이를 위상변조한 후 푸리에 변환한 영상을 키 코드로 사용한다. <그림 6(b)>는 원 영상을 위상변조 시켜 곱한 후 푸리에 변환하여 제작된 암호화된 영상이며 원래의 영상과는 전혀 관계없는 무작위 패턴으로 나타남을 확인할 수 있다. <그림 6(c)>는 거짓 키 코드로 사용되는 무작위 영상이며 이는 제작에 사용된 키 코드와는 다른 키 코드를 사용하였을 때 영상이 재생되지 않음을 확인하기 위해서 사용하였다. <그림 6>의 모든 영상들은 64×64의 크기를 가진다.

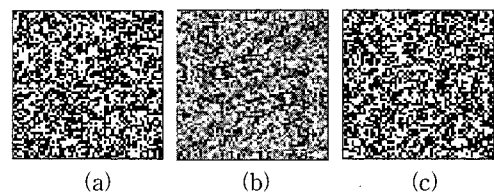


그림 6. 암호화 시스템에 사용된 영상 (a)키 코드 영상 (b)암호화된 영상 (c)거짓 키 코드 영상

Fig. 6. Used image for optical security system. (a)key code image (b)encrypted image (c>false key code image

<그림 7(a)>는 암호화에 사용된 키 코드를 이용하여 재생된 영상이며 수평축 즉 x 축 방향으로 영상의 크기가 2배 커져 있음을 확인할 수 있다. 또한 위상성분이

재생된 영상에 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. <그림 7(b)>는 <그림 7(a)>의 영상에서 x 축의 홀수 화소들을 제거시킨 영상이며 명확하게 원래의 영상이 명암이 반전되어 재생됨을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 재생된 영상의 크기와 위상성분 영향에 의해서 발생한 문제를 해결하는 방법이 타당함을 확인할 수 있다. <그림 7(c)>는 거짓 키 코드를 JTC의 입력평면에 두고 암호화된 영상을 복호화한 영상이며 <그림 7(d)>는 <그림 7(c)>의 영상에서 x 축의 홀수 화소들을 제거시킨 영상이다. 거짓 키 코드로는 원래의 영상을 재생할 수 없으므로 제안한 암호화 시스템의 성능을 확인할 수 있다.

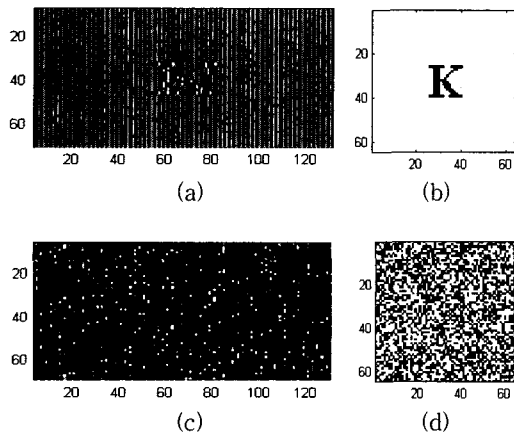


그림 7. 암호화 시스템의 컴퓨터 모의실험결과 (a)키 코드로 재생된 영상 (b)(a)의 영상에서 짝수화소만 추출한 영상 (c)거짓 키 코드로 재생된 영상 (d)(c)의 영상에서 짝수화소만 추출한 영상

Fig. 7. Computer simulation results for the proposed system. (a)reconstructed image with key code (b)removing the odd pixels of (a) (c)reconstructed image with false key code (d)removing the odd pixels of (c)

컴퓨터 모의실험과 광 실험을 통하여 위상성분의 영향과 재생된 영상의 크기가 변하는 문제를 확인하였고, 그 영향을 제거할 수 있는 방법이 타당함을 확인하였다. 재생된 영상에 영향을 미치는 위상성분은 단순히 출력평면에서 홀수 화소들을 제거시킴으로서 그 영향을 없앨 수 있으며 또한 한쪽 방향으로 영상의 크기가 커지는 문제를 동시에 해결할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 분석한 위상성분의 영향은 JTC 구조에서는 동일하게 적용이 가능하며, 또한 제안한 암호화 방

법은 자기상관성분을 이용하여 재생됨을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 확인하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 JTC의 자기상관성분을 이용하여 영상을 재생할 수 있는 암호화 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 전통적인 JTC와는 결합입력평면을 주파수 영역에서 사용하므로 각 입력영상의 중심이동에 따른 위상성분이 재생영상에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 위상성분의 영향을 분석하고 그 해결 방법을 제시하여 제안한 암호화 방법을 구현하였다. 제안한 시스템에서 암호화된 영상은 두 번의 암호화 과정을 거치게 되며 복소합수 값을 가지므로 광 보안 시스템의 장점들을 그대로 가진다. 또한 JTC의 문제요소인 자기상관성분을 이용하여 영상이 재생되므로 JTC 구조에 보다 적합하며 실시간 처리에도 적합하다. 또한 위상성분의 영향은 JTC 구조에서는 동일하게 적용이 가능하므로 입력평면의 구조 변화에 따른 위상성분의 영향을 제어하는데 적용이 가능하리라 생각한다. 컴퓨터 모의실험과 광 실험을 통하여 위상성분의 영향을 확인하고 그 제거 방법의 타당성을 검증하였으며 제안한 암호화 방법의 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] B. Javidi and J. L. Horner, "Optical pattern recognition for validation and security verification," *Opt. Eng.*, vol. 33, No. 6, pp. 1752~1756, 1994.
- [2] P. Refregier and B. Javidi, "Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding," *Opt. Letters*, vol. 20, No. 7, pp. 767~769, 1995.
- [3] B. Javidi and E. Ahozi, "Optical security system with Fourier plane encoding," *Appl. Opt.*, Vol. 37, No. 26, pp. 6247~6255, 1998.
- [4] J. Y. Kim, S. J. Park, C. S. Kim, J. K. Bae, and S. J. Kim, "Optical image encryption using interferometry-based phase masks," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 10, pp. 874~875, 2000.
- [5] C. S. Weaver and J. W. Goodman, "Technique

- for optically convolving two functions," Appl. Opt., vol. 5, pp. 1248~1249, 1966.
- [6] T. Nomura and B. Javidi, "Optical encryption using a joint transform correlator architecture," Opt. Eng., Vol. 39, No. 8, pp. 2031~2035, 2000.
- [7] C. J. Kuo, "Joint transform correlation improved by means of the frequency selective technique," Opt. Eng., vol. 33, no. 2, pp. 522~527, 1994.
- [8] 이응대, 박세준, 이하운, 김수중, "세기검출기를 이용한 광 영상 암호화", 전자공학회논문지, 제39권 SD편, 제3호, 34~40쪽, 2002년 3월

 저 자 소 개

朴世駿(正會員) 第36卷 T編 第1號 參照

현재 : 구미 1 대학 전자정보과 겸임교수

金秀重(正會員) 第33卷 B編 第7號 參照

현재 : 경북대학교 전자전기공학부 정교수

徐東煥(正會員) 第38卷 SD編 第11號 參照

현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중