

논문 2004-41SP-2-10

디지털 홀로그래픽 보안 인증 시스템

(Digital Holographic Security Identification System)

김 정 희*, 김 남**, 전 석 희***

(Junghoi Kim, Nam Kim, and Seokhee Jeon)

요 약

본 논문에서는 랜덤 위상 암호화된 기준빔을 이용한 광 보안 기술과 생체 인식기술을 접목시킨 새로운 디지털 홀로그래픽 보안 시스템을 제안하고 구현하였다. 일반적인 광보안 시스템의 암호화된 아날로그 영상이 아닌 지문 및 얼굴사진, 문서 정보 등을 포함하는 디지털 정보가 홀로그래픽 메모리의 다중화 기술에 의해 저장되었다. 랜덤 위상 마스크는 기준빔을 암호화하여 불법 복제를 방지하는 복호화 키로 사용되었고, 64×64 크기를 갖는 2차원 위상 마스크를 통해 3.6×10^{-4} 의 Raw BER과 $4\mu\text{m}$ 의 매우 높은 위차 선택도를 얻을 수 있었다. 또한 실시간 정보 추출을 위해 위차 제어 센서가 필요 없는 저가의 판독기 구현에 적합한 기록패턴과 영상 신호처리를 개발 하였으며, 홀로그램 지문 정보와 사용자의 지문 정보를 비교 검증함으로써 타인에 의한 불법 도용의 위험성을 제거하였다.

Abstract

In this paper, we implement a digital holographic security card system that combines digital holographic memory using random phase encoded reference beams with electrical biometrics. Digitally encoded data including a document, a picture of face, and a fingerprint are recorded by multiplexing of holographic memory. A random phase mask encoding reference beams are used as a decoded key to protect illegal counterfeit. As a result, we can achieve a raw BER of 3.6×10^{-4} and shift selectivity of $4\mu\text{m}$ using the 2D random phase mask. Also, we develop a recording pattern and image processing which are suitable for a low cost reader without a position sensing photo-detector for real time data extraction and remove danger of fraud from unauthorized person by comparing the reconstructed holographic data with the live fingerprint data.

Keywords: digital holographic security card system, holographic memory, random phase mask, fingerprint

I. 서 론

전 세계적으로 보안 카드에 가장 광범위하게 사용되고 있는 광학 인증 방식은 아날로그 홀로그램이다. 아날로그 홀로그램은 이론적으로 복제가 힘들고 인간의 시각을 통해 인증을 수행하기 때문에 별도의 판독기가 필요 없다는 장점을 갖고 있지만, 정확한 인증이 힘들고 현재 대부분의 여권, 신용카드, 각종 ID카드 등의 보안카드에 채택되고 있는 엠보싱 홀로그램(embossing hologram)은 컴퓨터, 프린터, 스캐너, 복사기, CCD 카메라 등의 하드웨어 기술과 소프트웨어 기술의 급격한

발달로 인해 위조 및 복제가 고도로 정교하게 이루어지고 있다^[1]. 이러한 불법 위조 및 변조를 방지하기 위해 광 정보 처리 시스템을 이용한 다양한 방법들이 제안되었다^[2-4]. 이들 방식의 가장 대표적인 기술은 B. Javidi와 J. L. Horner에 의해 제안되고 입력평면과 주파수 평면에 두 장의 랜덤 위상 마스크를 사용하여 입력 영상을 정상성 백색 잡음(stationary white noise)화 시키는 이중 랜덤 위상 암호화 방식(double random phase encoding method)이다^[1]. 따라서 암호화에 사용된 위상 마스크가 없으면 원영상을 복원할 수 없으며 복소 위상/진폭 암호화 키는 기존의 검출기로는 복제될 수 없으므로 데이터를 효과적으로 암호화할 수 있는 장점이 있다. 또한 입력 영상이 진폭이 아닌 위상 전용 광변조기를 사용함으로써 더욱 더 보안도를 높일 수 있으며, 암

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교
(Chugbuk Nat'l Univ.)

*** 정회원, 인천대학교 (Univ. of Incheon)

접수일자: 2003년7월19일, 수정일자: 2004년3월1일

호화된 입력영상은 광 메모리를 통해 저장되기도 하였다^[5,6]. 반면에 인증 데이터가 수십 비트의 디지털 데이터 또는 간단한 문자, 패턴, 로고 등의 아날로그 영상이며 잡음이 심한 단점을 가지고 있다.

이중 랜덤 위상 코드가 입력 영상을 랜덤 노이즈로 암호화시키는 방식이라면 암호화된 기준빔을 사용하는 방식은 홀로그래픽 광 메모리에 기초를 두고 있다. J. F. Heanue 외 2명은 직교 특성을 갖는 랜덤 위상 코드를 기준빔으로 사용함으로써 보안 시스템으로 사용될 수 있음을 보여 주었다^[7]. 하지만, 재생된 홀로그램간의 간섭(cross talk)이 심하며, 사용자의 수에 비해 코드의 개수가 유한하다는 단점을 가지고 있다. 이후 S. Lai 및 C. Denz 외 3명은 위상 코드에 의해 암호화된 기준빔을 통해 홀로그램을 저장하고 재생하였지만 이중 랜덤 위상 방식과 같은 실질적인 시스템으로 발전되지 못했다^[8,9].

본 논문에서는 랜덤 위상 암호화된 기준빔에 바탕을 두고 대용량 정보 저장 특성을 갖는 광 메모리 기술과 생체 인식기술을 접목시킨 새로운 디지털 홀로그래픽 보안 시스템을 제안하고 구현하였다. 기존의 IC카드에 부착된 디스플레이용 엠보싱 홀로그램이 복제가 가능한 반면, 제안된 보안 시스템은 2차원 랜덤 위상 코드에 의해 암호화된 기준빔을 사용하고 위상코드가 판독기에만 장착되기 때문에 기존의 어떠한 스캐너, 복사기, 검출기, 신호처리 알고리즘을 통한 불법 복제가 불가능하도록 하였다. 또한 홀로그램 데이터에 개인의 지문정보를 저장함으로써 분실시 타인에 의한 도용을 원천적으로 차단한 차세대 광 보안 및 인증 시스템이다.

II. 디지털 홀로그래픽 보안 카드 시스템

제작된 홀로그래픽 광보안 전용 판독기는 그림 1과 같이 지문인식 장치, 디스플레이용 LCD, 그리고 홀로그래픽 카드 판독용 광학계로 구성되어 있다. 이 시스템은 현재 사용된 지문인식 장치 외에도 정맥, 손톱 하부, 홍채 등의 다른 생체 인식 장치와 쉽게 결합될 수 있다. 특히, 홀로그램 카드로부터 디지털 정보를 판독하기 위한 광학 모듈부의 가장 큰 특징은 고가의 Nd:YAG 레이저 대신 매우 저가의 2~3mW 파워를 갖는 Green LD를 사용함으로써 실제 상용화가 가능하도록 하였다.

홀로그램 카드 제작은 기존 카드에 밀링 작업을 한 다음 포토폴리머가 부착된 광학 윈도우(optical window)에 접착하여 투과형으로 제작하였다. 본 절에서는 보안 시스템에 적용된 암호화 및 복호화 과정 그리고 암호화 키 역할을 하는 랜덤 위상 마스크에 대해 설명한다.

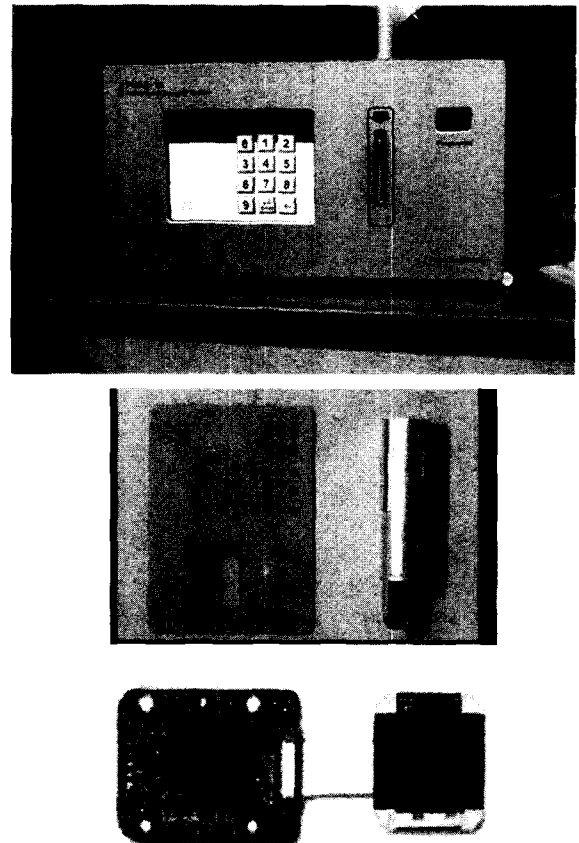


그림 1. 디지털 홀로그래픽 판독 장치
Fig. 1. A digital holographic card reader

1. 시스템 암호화 및 복호화

체적 홀로그래픽 메모리에서 다중 홀로그램들은 동일한 물리적 공간에 상호 간섭(cross talk noise)을 최소화하기 위해 직교위상 코드를 사용하는 위상코드 다중화(phase code multiplexing) 방식을 통해 중첩될 수 있다. 이러한 방식은 기존의 각도 다중화(angular multiplexing) 방식이나 파장 다중화(wavelength multiplexing) 방식에 비해 높은 신호대 잡음비(S/N)를 제공하며 물리적인 빔 검색방식을 사용하지 않기 때문에 매우 빠른 접근 속도(access time)를 갖는다^[9]. 각각의 저장된 홀로그램은 기록시와 동일한 위상 코드를 통해서만 재생될 수 있다. 따라서 직교 위상 코드 대신 랜덤

위상 코드를 적용하면 홀로그래픽 보안 시스템을 구성할 수 있다^[7,9]. 하지만 실제로 직교 위상 특성을 갖는 랜덤 위상 코드를 사용할 경우, 기존의 상용화된 위상 변조기로는 정확한 위상 변조값을 얻을 수 없기 때문에 직교 코드간의 간섭이 발생하며, 사용자 수에 비해 조합할 수 있는 코드 수에 제한을 받는다. 따라서 본 논문에서는 코드 수에 제한을 받지 않는 랜덤 위상 코드를 이용하여 광암호화 특성을 유지하고, 랜덤 위상 코드에 의해 암호화된 기준빔을 사용하여 각도, 회전, 공간 다중화 또는 다중화 조합을 수행함으로써 다중 홀로그래픽 간의 상호간섭을 최소화하고, 추가로 회전각이나 다중화 각도를 알지 못하면 정보를 재생하지 못하게 함으로써 암호화 기능을 강화할 수 있다.

그림 2(a)는 제안된 홀로그래픽 보안 카드 시스템의 암호화 과정을 나타내는 시스템 블록도이다. 일반 신용 카드와 달리 인증에 사용될 생체 인식 및 패턴 인식을 위한 사용자의 지문 및 얼굴 사진은 CCD 카메라 또는 전자적인 지문 인식 모듈로부터 추출되며 여기에 성명, 주소, 전화 번호 등의 다양한 문서 정보가 추가된다. 이것은 광 메모리 기술에 바탕을 두고 있기 때문에 가능하다. 이러한 전체 사용자 정보는 디지털 암호화 알고리즘을 통해 암호화 되고 랜덤화를 위한 스크램블러(scrambler), 에러 검출 및 정정을 위한 Reed-Solomon 코딩을 통과한 후에 공간 광변조기(SLM; spatial light modulator)에 의해 광신호로 변조된다. 이후 4-f 렌즈 시스템에 의해 기록 평면위에 영상을 맺는 랜덤 위상 암호화된 기준빔과 간섭을 통해 디지털 홀로그래프로 저장된다. 저장된 홀로그램은 카드에 붙여짐으로서 보안카드로 사용되며, 위상코드는 판독기에 설치된다.

복호화 과정은 그림 2(b)와 같이 셔터(shutter)를 열고 기록시와 동일한 기준빔을 카드에 조사시키면 카드에서 재생된 디지털 홀로그램은 CCD카메라를 통해 검출된다. 획득된 홀로그램은 영상신호 처리를 통해 이진 데이터로 추출되고 RS 복호화와 디스크램블링(descrambling), 디지털 암호화 알고리즘을 통해 원본 정보로 복원된다. 그러면 카드 사용자는 지문을 입력하게 되며, 복원 데이터 중에서 지문 데이터와 비교함으로써 사용자 인증과정을 완료한다. 이후 재생된 사진 정보를 통해 추가로 얼굴 인식을 수행할 수도 있으며, 개인의 신상 정보를 확인 할 수도 있다.

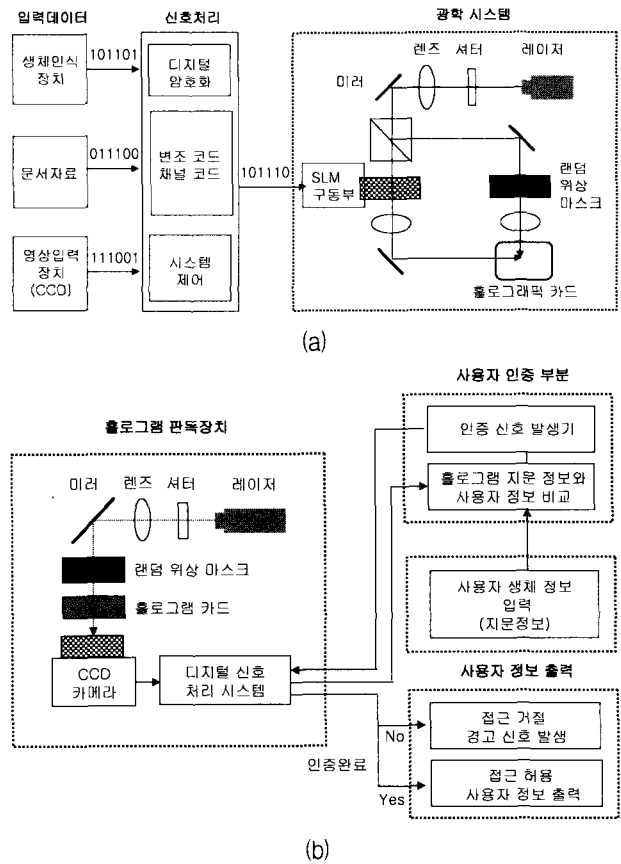


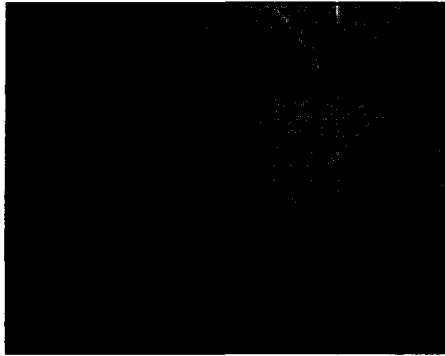
그림 2. 홀로그래픽 보안 카드 시스템 개요 (a) 암호화 과정 (b) 복호화 과정

Fig. 2. Concept of the holographic security card system (a) encoding processing (b) decoding processing

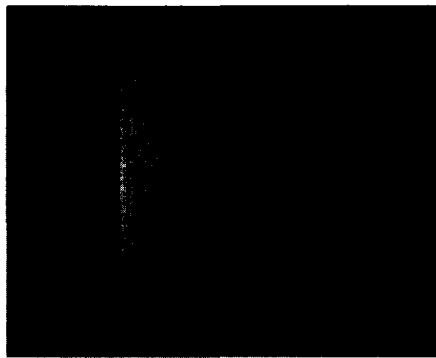
2. 암호화된 랜덤 위상 기준빔

일반적으로 위상 코드 정보를 표현하기 위한 방식으로는 실시간 출력 기능을 갖는 위상 변조 SLM, 그리고 고정 위상 코드를 위해 제작되는 마스크(mask)등이 있다. 전자의 경우 매우 고가의 장비에 비해 입력 전압에 따른 위상 천이(phase shift)의 선형성이 떨어진다. 후자의 경우는 박막 플라스틱 매질, 포토폴리머, 표백(bleaching) 기술 등과 같은 다양한 방식에 의해 제작될 수 있다. 본 논문에서는 기준빔에 위치하는 위상 키 제작을 위해 유리 기판위의 포토레지스트(photoresist)에 이진 패턴을 노출 시킨 다음 위상 천이를 위한 에칭(etching)을 수행하였다. 그림 3(a)는 $[0, 2\pi]$ 의 랜덤한 위상 분포를 갖고 $200 \times 200 \mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 64×64 해상도의 이진 위상 마스크에 대한 SEM(scanning electron microscope) 사진을 보여주고 있다. 4-f 렌즈계에 의해 입력 평면에 결상될 랜덤 위상 마스크의 영상은 그림 3(b)와 같이 진폭 패턴으로 나오지 않기 때

문에 세기 검출기로 복사하는 것은 불가능하다. 따라서 기록된 홀로그램은 일반적인 불빛 아래서 볼 수 없으며, 암호화된 기준빔의 정확한 정보를 모르면 기록된 디지털 홀로그램을 복원하는 것은 불가능하다.



(a)



(b)

그림 3. 2차원 랜덤 위상 마스크 (a) 위상 마스크의 SEM 사진 (b) 랜덤 위상 암호화된 기준빔
Fig. 3. A 2D random phase mask (a) a SEM picture of a phase mask (b) random phase encoded reference beams

3. 영상 신호처리 및 시스템 제어

가. 영상 신호처리

디지털 재생 홀로그램은 렌즈 수차, SLM 및 CCD 카메라, 렌즈계, 기록 매질 등의 광축 정렬에 의한 다양한 요인에 의해 기하학적인 변형을 갖게 된다. 본 논문에서는 수차를 제외한 CCD 카메라, Fourier 변환 렌즈, 기록 매질 간의 정렬 오차에 의한 영상 이동, 영상 회전, 배율 변화 등에 능동적으로 대처할 수 있고, 실시간적으로 이진 데이터를 처리할 수 있는 정보 표현 및 영상 신호처리 방식을 제안하였다. 일반적으로 대용량의 정보를 저장하는 픽셀 매칭(pixel matching)된 홀로그래픽 광 메모리 시스템에서는 그림 4와 같이 매우 정밀

한 위치 센서를 통해 재생 위치를 제어함으로써 에러를 줄이는 방식이 사용되었다. 하지만 상대적으로 낮은 샘플링을 갖는 저가의 암호화 시스템을 구현해야 될 경우 이러한 방식은 바람직하지 않다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해 그림 5와 같이 홀로그램은 위치 추적을 위한 외부 격자구조와 이 격자구조에 의해 둘러싸인 내부의 데이터 구조로 나누어 표현함으로써 별도의 위치 센서를 포함하지 않고 CCD 센서 내에서 동시에 위치 추적과 데이터 검출을 수행할 수 있도록 하였다.

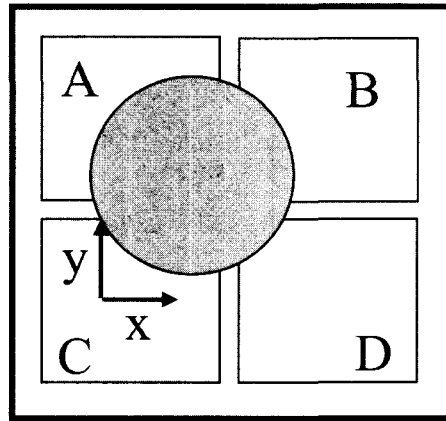


그림 4. 포토 검출기를 이용한 위치 검출
Fig. 4. Position sensing using photo-detectors



그림 5. 제안된 영상처리 구조
Fig. 5. Proposed image processing structure

제안된 홀로그램 정보 구조의 영상 신호처리 과정은 그림 6과 같다. 첫 번째 단계로 그림 6(a)와 같이 정확한 외부 격자의 꼭지점을 검출하기 위해 대각선 방향의 상관 탐색을 통해 픽셀의 시작점을 검색한 다음 이 픽셀의 중심점을 찾는다. 시작점 위치는 주변의 잡음 영향을 줄이기 위해 픽셀 주변의 값까지 고려한 1차원 필터와 정보의 상관을 통해 획득하였다.

1차원 필터의 계수는 홀로그래픽 저장시스템의 PSF (point spread function)에 의해서 입력의 점광원이 영상면에서 sync형태로 나타남을 고려하여 $r = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 2, 1, 0, -1, -2\}$ 로 하였다.

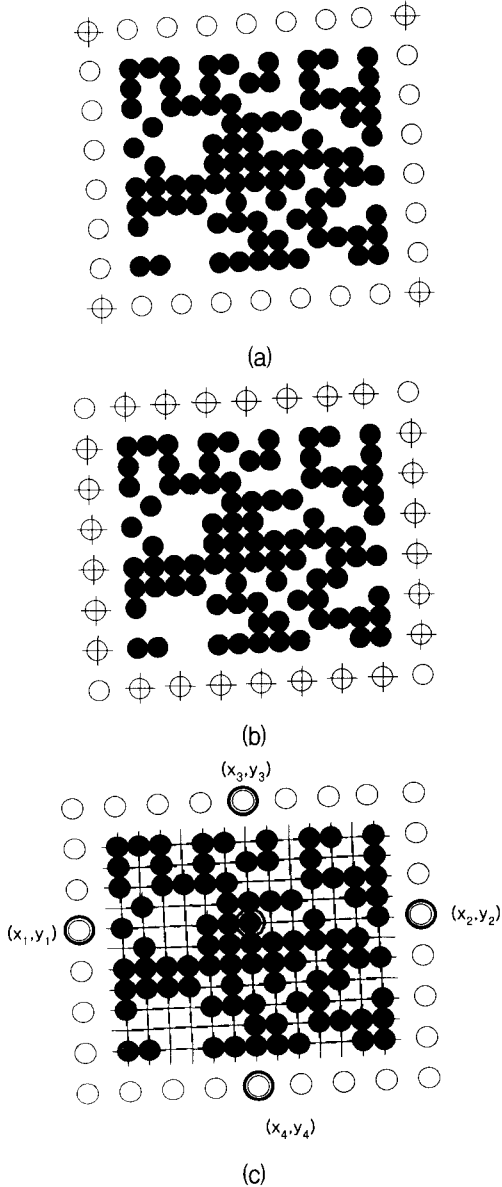


그림 6. 영상처리 신호처리 (a) 대각선 상관 검색 (b)셀의 중심점 추출 (c) 이진 정보 추출

Fig. 6. Image signal processing (a) diagonal correlation search (b) extracting center pointer of the cell (c) binary data extraction

대각선 상관 탐색은 영상의 외각으로부터 사선방향으로 추적을 수행하고 진행하는 때 위치에서 상관값을 계산한다. 상관값이 정해진 임계값보다 크면, 추적을 중지하고 현재 위치가 기준 참조셀의 영역 내에 있다고 판

단한다. 영상에서 특정위치 x_{Curr}, y_{Curr} 에서의 상관값은

$$Corr = \sum_{m=0}^{M-1} s[m]r[m] \tag{1}$$

과 같이 표현된다. 여기서, M은 필터의 크기이다. $s[m]$ 은 x_{Curr}, y_{Curr} 에서 상관값을 구하기 위해 입력되는 x_{Curr}, y_{Curr} 을 중심으로 한 사선위치의 픽셀들이고, $s[m]$ 은

$$s[m] = f[x_{Curr} - m - \frac{M}{2}, y_{Curr} + m + \frac{M}{2}] \tag{2}$$

이다. x_c, y_c 는 사선방향의 추적을 위해 $x_{Curr} + y_{Curr} = n$ 을 만족시키면서 진행하며 n은 n번째 사선을 의미한다.

검색된 시작점으로부터 꼭지점의 중심을 찾는 과정은 2차원 영상에서 물체의 중심과 퍼짐 정도, 비틀림 등을 나타내는 모멘트(moment)가 사용되었다. 영상의 세기 함수 $f(x, y)$ 에 대한 $p+q$ 차원의 모멘트 m_{pq} 는 아래 수식으로 정의된다.

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \tag{3}$$

여기서, 0차 모멘트 m_{00} 는 $f(x, y)$ 의 전체 합이 되므로 면적과 동일하며, 1차 모멘트 m_{01}, m_{10} 을 m_{00} 로 정규화하면 무게중심 좌표(x_c, y_c)는 다음과 같다.

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \tag{4}$$

외곽 격자의 꼭지점을 검출한 다음 네 꼭지점 사이에 위치한 셀들의 위치는 그림 6(b)와 같이 두 꼭지점 사이의 위치 정보를 n등분하여 얻어진 위치에서 다시 모멘트를 구해 획득한다. 여기서 n은 미리 알고 있는 정보의 x, y 크기이다.

마지막으로 사용자 정보를 추출해내는 과정은 그림 6(c)와 같이 정보의 한 픽셀은 상하, 좌우 4개의 꼭지점 사이의 픽셀들이 서로 교차하는 위치로부터 추출된다. 본 논문에서는 1:6 오버샘플링 된 시스템을 가정하고 4개의 참조셀이 만나는 교차점을 중심으로 3 × 3의 픽셀 값들을 평균하여 대표값으로 선택하였으며, 교차점 위치 p, q 는 직선의 방정식을 통해 구할 수 있다.

$$p = \frac{\frac{y_1 \times x_2 - y_2 \times x_1}{x_2 - x_1} - \frac{y_3 \times x_4 - y_4 \times x_3}{x_4 - x_3}}{\frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}$$

$$q = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times p + \frac{y_1 \times x_2 - y_2 \times x_1}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

결국, 재생된 홀로그램이 CCD칩 내에서 이동, 회전, 미약한 배율 변화를 갖더라도 피드백(feed back)을 갖는 고가의 위치 제어 시스템을 사용하지 않고 실시간으로 정확하게 디지털 정보를 추출해 낼 수 있다.

나. 제어 시스템

디지털 홀로그래픽 보안 시스템을 위해 기록용 제어 시스템과 판독용 제어 시스템을 제작하였다. 홀로그램 기록에 앞서 기록 프로그램을 통해 셔터의 노출 시간, 모터의 이동거리 및 이동 방향, 기록할 총 페이지 수 등을 설정한다. 여러 장의 정보를 저장하기 위해서는 셔터와 모터의 동기화가 필수적으로 요구된다. 전체 시스템의 제어는 그림 7과 같이 RS232 포트를 통해 PC상에서 이루어지며, 기록 프로그램이 사용자 정보를 SLM에 출력한 다음 직접 제작한 제어 모듈에 모터와 셔터 동작 명령을 전송하면 제어 모듈은 전송된 명령을 해석하여 셔터와 모터를 작동시킨 후 완료 신호를 PC로 전송한다.

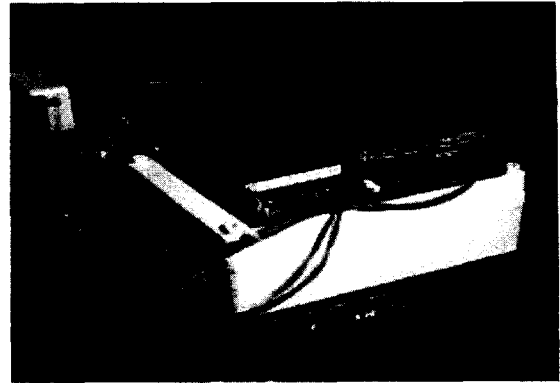
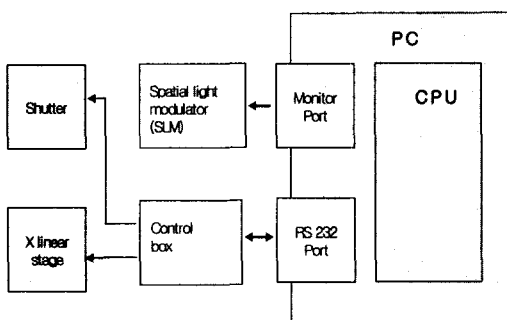


그림 7. 기록용 제어 시스템
Fig. 7. Control system for a card writer

홀로그래픽 카드 판독용 제어 시스템은 그림 8과 같이 카드 삽입 감지 센서와 이동 센서, 그리고 선형 스텝 모터로 구성되어 있다. 제작된 CMOS 카메라는 CMOS 센서, 프레임 메모리 외에 영상 신호처리 및 구동 제어 부분을 ALTERA사의 ACEX 10L100C208(100K Gate)의 칩에 임베디드(embedded)한 소형 독립형으로 제작되었다. 카드의 삽입은 광센서에 의해 감지되고 이 신호는 영상처리 칩으로 전송된다. 그러면 신호처리 칩은 첫 번째 디지털 홀로그램의 정확한 기록 위치를 판단하기 위해 홀로그램 검출 알고리즘을 수행한다. 홀로그램 검출 알고리즘은 재생 홀로그램의 위치가 불변이며 다만 세기 만 변한다는 특징을 이용하여 영상의 세기 변화를 검출하여 수행하였다. 홀로그램의 위치가 결정된 후에는 홀로그램의 기록 간격만큼 이동한 다음 영상을 획득하였고, 제안된 영상처리 과정을 통해 추출된 이진 정보를 PC로 전송하도록 하였다.

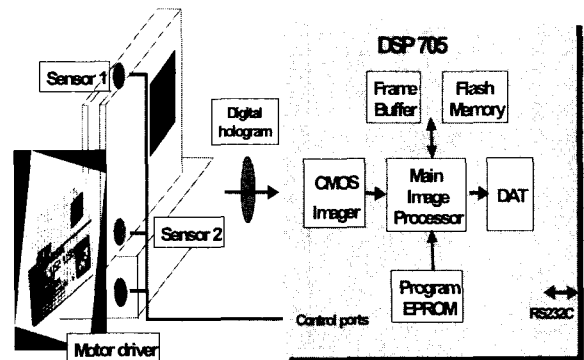


그림 8. 판독기용 제어 시스템
Fig. 8. Control system for a card reader

III. 실험결과

랜덤 위상 암호화된 기준빔을 이용한 홀로그래픽 보안 시스템을 위한 광학 시스템을 그림 9에 나타내었다. 그림 1의 관독장치에 사용된 저가형 LD를 사용할 경우 가간섭성이 짧기 때문에 기록용 광원으로는 파장이 532nm인 Nd:YAG 레이저를 사용하였다. 공간 필터를 통과한 평행광은 빔 분리기 에 의해 기준빔과 신호빔으로 나누어지며, 기준빔은 보안 인증을 위해 랜덤 위상 마스크를 통해 암호화 되며, 4-f 렌즈계에 의해 배율이 조정된 다음 푸리에 평면에 결상된다. 신호빔은 42 μ m 픽셀 크기를 갖는 Epson 사의 TFT 액정에 의해 광신호로 변조된다. SLM의 한 픽셀은 CMOS 카메라의 6 \times 6 픽셀 위로 결상되는 1:6 오버 샘플링(over-sampling)을 수행하였다. 기록 매질로는 듀폰사(DuPont)의 HRF-150-38 포토폴리머가 사용되었으며, 사전 노출(free exposure)을 위해 일반적인 실험실 환경인 상온의 현광 등 아래에서 7분 동안 노출되었다. 기준빔과 신호빔의 입사각도는 기록매질의 법선 방향에 대해 $\pm 30^\circ$ 였으며, 각각의 홀로그램은 4초 동안 기록된 다음 UV 램프에 의해 픽싱(fixing) 되었다. 이때 기준빔과 신호빔의 에너지는 각각 0.4mW/cm²와 1mW/cm² 였다.

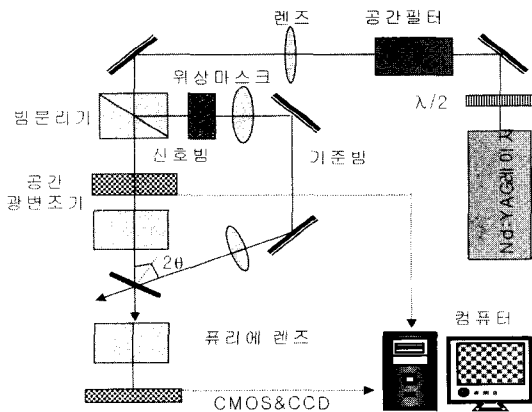


그림 9. 디지털 홀로그래픽 보안 카드 시스템
Fig. 9. Digital holographic security card system

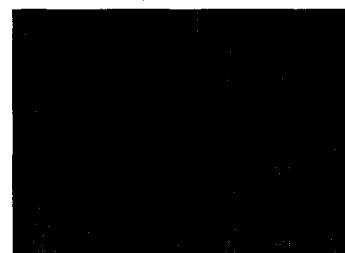
그림 10 은 선형 모터 스테이지를 이용하여 x축 방향으로 위상 마스크를 이동하면서 측정한 재생 홀로그램이다. 4 μ m 정도의 위상 마스크의 미세한 움직임에도 재생 홀로그램이 복원하기 어려운 불규칙한 잡음 형태로 나타남을 알 수 있었다. 이와 같이 실험을 통해 위상 마스크 이동에 따른 점예한 선택도를 얻음으로서 위상 마스크가 매우 높은 보안도를 유지하는 키로서 작용될 수 있음을 보여주었다. 반면에 홀로그래픽 보안 카드를 삽입한 후에 홀로그램을 자동으로 검출하는 관독기를 제작할 경우 매우 정밀한 선형 스테이지가 필요함을 알 수 있다.



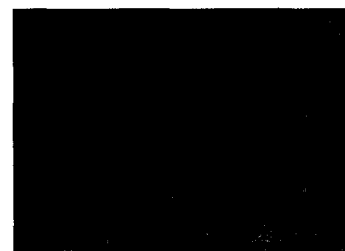
정위치



4 μ m 이동



20 μ m 이동



100 μ m 이동

그림 10. 위상 마스크의 이동에 따른 재생 홀로그램의 영상 변화
Fig. 10. Image variation of a reconstruction hologram vs phase mask shift

홀로그래픽 보안 카드 시스템을 구현하기 위해 랜덤 위상 마스크에 의해 암호화된 기준빔을 사용하였으며, 직교 위상 코드 다중화에 의한 상호 잡음을 줄이기 위해 홀로그램을 공간 다중화 하였다. 홀로그래픽 카드는 일반 ID카드를 밀링작업으로 6mm×20mm 크기로 0.4mm를 파낸 후에 광학 윈도우를 부착하여 제작하였다. 폴리머는 제작된 홀로그래픽 카드에 붙여진 다음 선형 스테이지위에 고정되었으며, 기록 및 재생에 관련된 모든 제어 및 신호처리는 컴퓨터에 의해 완전 자동화되었다. 기록된 홀로그램의 크기는 2mm×2mm 하였고 이웃하는 홀로그램간의 잡음을 최소화하기 위해 기록되는 거리를 2mm 이상으로 하였다. 한 페이지 저장 용량은 8112 비트로 지금까지 위상 코드를 적용한 보안 시스템에서 가장 높은 페이지 용량을 보여주고 있으며 [7,9], 총 6페이지의 홀로그램이 공간 다중화(spatial multiplexing) 되었다. 그림 11은 홀로그래픽 보안 카드 시스템에 의해 재생된 디지털 홀로그램을 보여주고 있다. 그림 11(a)과 같이 기록과 동일한 마스크를 통해 재생된 홀로그램은 간섭(cross talk)이 거의 나타나지 않았으며, 제안된 영상처리를 수행한 결과 raw BER은 3.6×10^{-4} 으로, 일반적으로 RS 복호화를 적용할 경우 10^{-12} 이하가 되기 때문에 매우 높은 안정성을 보여주고 있다. 반면에 그림 11(b)와 같이 다른 마스크를 사용할 경우 복호화가 불가능한 랜덤 잡음만 재생됨을 실험적으로 확인할 수 있었다. 따라서 본 시스템은 기존의 전자 시스템의 1차원적인 수십 비트들의 조합이 아닌 2차원 형태로 무수한 조합을 갖는 위상 코드를 사용함으로써 매우 높은 광학 보안도를 갖는 시스템을 구현하였다.

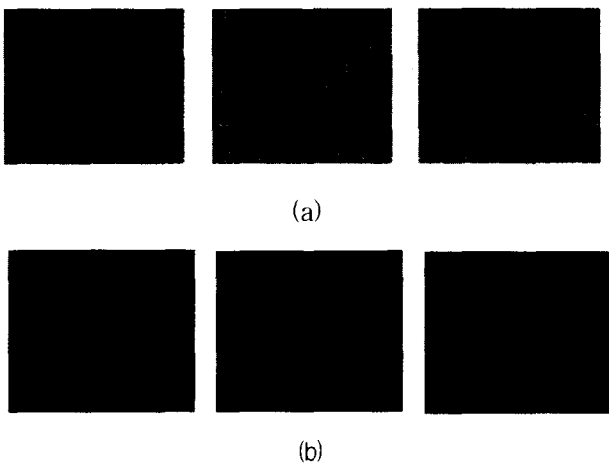
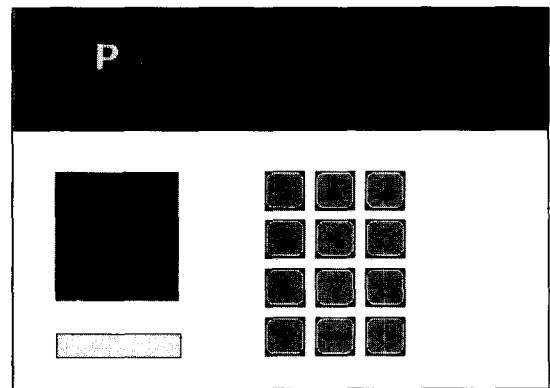


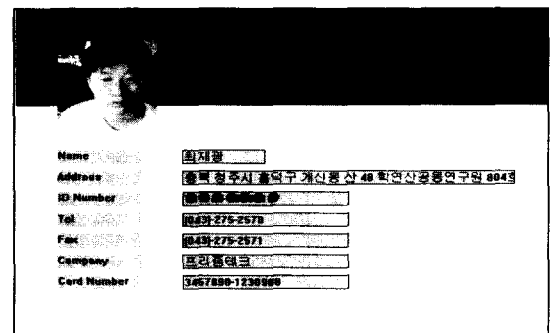
그림 11. 위상 마스크를 이용한 디지털 홀로그램 재생 (a) 기록과 동일한 위상마스크 사용 (b) 다른 위상 마스크 사용

Fig. 11. Digital hologram reconstruction using a phase mask (a) decryption results when the cor-

responding authorized codes are used (b) decryption results when a wrong code is used
영상처리를 통해 추출된 이진 데이터를 이용하여 RS 복호화를 수행한 후의 인증 절차는 그림 12에 나타내었다. 인간의 시각을 통해 인증을 수행하는 아날로그 홀로그램과 달리 1비트의 오차도 없이 정확한 데이터 복원을 수행한다. 먼저 본인의 인증을 위해 사용자의 지문정보를 입력 받아 홀로그램에 기록된 정보와 비교하여 일치하면 그림 12(a)와 같이 비밀번호를 요구하는 사용자 인터페이스가 나타나게 된다. 생체 정보는 지문 뿐 만 아니라 홍채 및 기타 다양한 생체 정보가 적용될 수 있다. 최종적으로 비밀 번호가 확인되면 그림 12(b)와 같이 카드 사용자의 얼굴 및 인적 사항을 출력함으로써 추가적인 얼굴 인식 등을 수행할 수 있다. 즉, 복제가 용이하고 저장 용량이 적은 기존 보안 카드의 한계를 벗어나 지문, 사진, 인적 정보와 같은 다양한 정보를 홀로그램으로 저장함으로써 타인에 의한 복제 및 도용을 원천적으로 차단할 수 있는 실용적인 시스템을 구현하였다.



(a)



(b)

그림 12. 홀로그래픽 보안 인증 (a) 비밀번호 및 지문 인증 (b) 사용자 정보 출력

Fig. 12. Holographic security identification processing

IV. 결론

본 논문에서는 랜덤 위상 암호화된 기준빔을 이용하는 광 메모리 기술과 생체 인식기술을 접목시킨 새로운 디지털 홀로그래픽 보안 시스템을 제안하고 구현하였다. 기존의 아날로그 홀로그램이나 1차원 비트 암호체계를 갖는 보안 카드와 달리 64×64 크기를 갖는 2차원 랜덤 위상 마스크를 사용하여 디지털 홀로그램을 저장함으로서 전자적인 하드웨어 및 소프트웨어기술, CCD, 복사기 등에 의한 복제를 원천적으로 차단하였으며, 3.6×10^{-4} 의 raw BER과 4 μ m의 매우 높은 위치 선택도를 얻을 수 있었다. 또한 제안된 영상처리 방식을 통해 별도의 위치 제어 센서 없이 실시간으로 구현되는 저가의 홀로그램 검출이 가능하도록 하였다. 여기에 홀로그래픽 메모리 기술을 통해 대용량 정보 저장이 가능하기 때문에 사용자 지문 정보 및 얼굴정보, 개인 인적 사항 등의 다양한 정보를 저장함으로서 타인에 의한 도용을 완전히 배제하였다. 따라서 제안된 시스템은 가정용 및 산업용 입출입 인증 시스템 및 각종 ID카드, 여권, 신용 카드 등에 다양하게 응용될 수 있는 차세대 보안 시스템으로 사료된다.

참고 문헌

- [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. Lett., Vol. 20, No. 7, pp. 767-769, 1995.
- [3] J. S. Yoon, N. Kim, "Triple encryption packing scheme for preserving from the reproduction and protecting the information," The Japan Society of Applied Physics, Vol. 41, No. 3B, pp. L305-306, 2002.
- [4] J. H. Kim, N. Kim, and K. Y. Lee, "Demonstration of holographic smart card system with use of a dual-wavelength method," International Workshop on Optical Display and Information Processing, OP-3, pp. 259-260, 2002.
- [5] B. Javidi and A. Sergent, "Fully phase encoded key and biometrics for security verification," Opt. Eng., Vol. 36, No. 3, pp. 935-942, 1997.
- [6] B. Javidi and T. Nomura, "Securing information by use of digital holography," Opt. Eng., Vol. 25, No. 1, pp. 28-30, 2000.
- [7] J. F. Heanue, M. C. Bashaw, and L. Hesselink, "Encrypted holographic data storage based on orthogonal phase-code multiplexing," Appl. Opt., Mat. 4, pp. 428, 1995.
- [8] S. Lai, "Security holograms using an encoded reference wave," Opt. Eng., Vol. 35, No. 9, pp. 2470-2471, 1996.
- [9] C. Denz, K. Muller, F. Visinka and T. Tschudi, "Digital volume holographic data storage using phase-coded multiplexing," SPIE, Vol. 3802, pp. 142-147, 1999.

— 저 자 소 개 —



김 정 희(학생회원)
 1997년 순천대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1999년 충북대학교 정보통신공학
 과 석사 졸업
 1999년~현재 충북대 정보통신공학
 과 박사과정

<주관심분야: 홀로그래픽 메모리, 광신호처리, 광
 보안 시스템, 회절광학소자>



김 남(정회원)
 1981년 연세대학교 전자공학과 학
 사 졸업
 1983년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1988년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업
 1992년 8월~1993년 8월: 미 Stanford

대학 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미 Caltech 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부
 교수, 컴퓨터 정보통신 연구소

<주관심분야: 홀로그래피, 광보안시스템, 광신호
 처리, 홀로그래픽 메모리, 비선형광학>



전 석 희(정회원)
 1981년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1983년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1990년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업
 2001년~2002년 UCSB 방문교수

1991년~현재 인천대학교 전자공학과 교수

<주관심분야: 광신호처리, 광보안시스템, 홀로그
 래피응용, 광통신소자>