

## 다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템

권혁중\*, 서혜영\*\*, 박대형\*

\* 충북대 제어계측공학과 및 충북BIT연구중심 대학육성사업단 \*\* 충북대학교 바이오정보기술학과

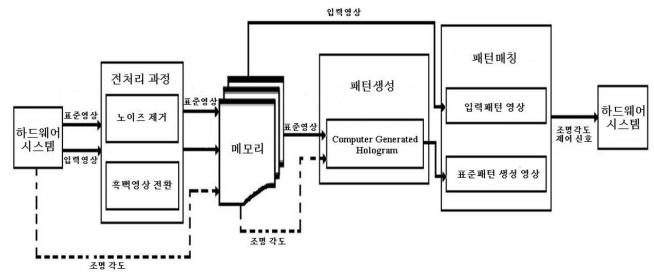
### An Automatic Inspection System for Hologram with Multiple Patterns

Hyuk-Joong Kwon\*, Hye-Yeong Seo\*\*, Tae-Hyoung Park\*

\* Dept. of Control and Instrumentation Eng., CBITRC, Chungbuk National University

\*\* Dept. of Bio and Information Technology Chungbuk National University

**Abstract** - 다중패턴 홀로그래를 위한 자동 검사 시스템을 제안한다. 시스템 하드웨어는 조명계, 카메라 그리고 영상처리부로 구성된다. UV LED를 사용하는 다양한 조명은 다른 위치에 놓여 각 위치에서의 이미지 패턴을 획득한다. 시스템 소프트웨어는 전처리, 패턴 생성, 패턴매칭으로 구성된다. 획득한 입력 홀로그래 영상은 패턴매칭 알고리즘에 의해 표준 패턴과 비교한다. 입력 홀로그래의 위치 오차 보정을 위해, 다른 위치에서의 홀로그래 표준 패턴은 온라인상에서 생성되어야만 한다. 본 논문은 표준 패턴의 생성을 위해 CGH(Computer Generated Hologram)방법에 근거한 주파수 변환을 적용한다. 한국지폐의 홀로그래를 위한 실험 결과는 제안한 시스템의 유용성을 증명한다.



<그림 2> 다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템의 소프트웨어 구성도

### 1. 서론

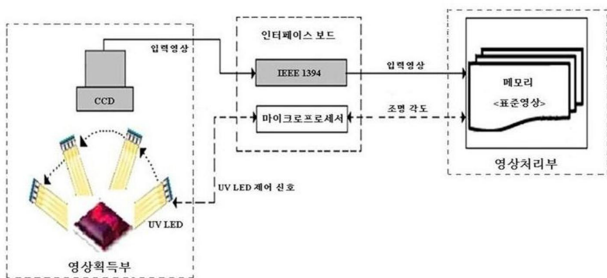
컴퓨터로 인한 첨단 복제기술의 발달로 공무상이나 금융상의 문서 및 증서가 쉽게 위조 되어 보안의 중요성 때문에 홀로그래의 도입이 증대되고 있다. 홀로그래는 빛의 간섭현상에 의해 만들어지는 3차원적인 사진 기술이다. 이것은 현재 초기 제품에 부착되어 위조를 판별하는데 널리 이용되고 있다. 몇몇 홀로그래는 다중패턴을 포함하고 있기 때문에 복제를 더욱 어렵게 만든다.

다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템은 다중패턴을 갖는 홀로그래를 자동적으로 검사하여 위조·변조를 판별하는 시스템이다. 홀로그래를 판별하기 위한 많은 연구들이 발표 되었으나, 대부분의 연구는 광학계를 이용한 광학적 홀로그래를 이용하였다[1]. 이 방법들은 광학계를 이용하여 빠르고 정확한 홀로그래를 생성할 수 있는 장점이 있으나, 부수적인 광학계 때문에 시스템으로 직접화 할 수 없고 많은 비용이 든다는 단점이 있다. 본 논문은 다중패턴 홀로그래를 이진 형태로 구현함으로써 디지털 기기로의 응용이 가능한 컴퓨터 형성 홀로그래를 이용하여 표준 패턴을 생성하고 패턴 매칭을 통하여 위조·변조를 판별하는 시스템을 제안한다.

2장에서는 다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템의 구조를 제시한다. 3장에서는 다중패턴 홀로그래 자동검사 방법으로 표준 패턴 생성 알고리즘과 패턴 매칭 알고리즘을 설명하고, 4장에서 제안된 방법의 성능 평가 결과를 제시한다.

### 2. 시스템 구성

다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템은 크게 하드웨어 구조와 소프트웨어 구조로 구성된다. 하드웨어는 조명에 따른 다중패턴 홀로그래의 영상을 획득한다. 소프트웨어는 표준 패턴을 생성하고 입력영상과 패턴매칭을 수행한다.



<그림 1> 다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템의 하드웨어 구성도

### 2.1 시스템의 하드웨어 구조

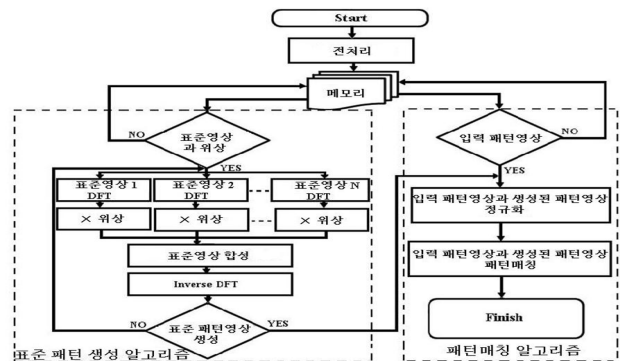
다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템의 하드웨어는 영상획득부와 영상처리부로 구성된다. 그림 1은 시스템의 하드웨어 구조를 보여준다. 영상획득부는 조명계와 카메라로 구성된다. 조명계는 UV LED를 사용하여 홀로그래 단면을 비춘다. 카메라는 홀로그래 영상을 획득하고 인터페이스 보드를 통하여 영상처리부로 전송한다. 영상처리부의 메모리에는 획득영상과 조명계의 각도 그리고 표준패턴을 생성하기 위한 표준영상을 저장한다.

### 2.2 시스템의 소프트웨어 구조

다중패턴 홀로그래를 위한 자동검사 시스템의 소프트웨어는 전처리 과정과 패턴생성 그리고 패턴매칭으로 구성된다. 그림 2는 시스템의 소프트웨어 구조를 보여준다. 전처리 과정은 입력영상의 노이즈를 제거하고 흑색 영상으로 변환한다. 패턴생성은 입력영상과 패턴매칭을 위한 표준패턴을 만든다. 패턴매칭은 최종적으로 입력 홀로그래 영상의 위조·변조를 판별한다.

### 3. 다중패턴 홀로그래 자동검사 방법

다중패턴 홀로그래 자동검사 방법은 크게 표준패턴 생성과 패턴 매칭으로 구성된다. 그림 3은 표준 패턴생성과 패턴 매칭의 과정을 보여준다. 표준 패턴생성 알고리즘은 입력 패턴영상과 패턴 매칭을 위한 표준 패턴영상을 생성한다. 생성된 표준패턴영상은 패턴 매칭 알고리즘을 통해 위조·변조를 판별한다.



<그림 3> 패턴생성 알고리즘과 패턴매칭 알고리즘 흐름도

### 3.1 표준 패턴 생성 알고리즘

다중패턴 홀로그램을 위한 자동검사 시스템은 패턴 매칭을 통하여 위조·변조를 판별하기 때문에 표준 패턴을 생성해야 한다. 표준 패턴 생성 알고리즘은 computer generated hologram(CGH)을 이용하였다 [2] [3] [4].  $M \times N$  표준영상의 Discrete Fourier Transform(DFT)은 다음 식과 같다.

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi(u/M + v/N)(x+y)} \quad (1)$$

여기서,  $f(x,y)$  ( $x=0,1,2,\dots,M-1, y=0,1,2,\dots,N-1$ )는 공간 영역의 영상을  $f(u,v)$  ( $u=0,1,2,\dots,M-1, v=0,1,2,\dots,N-1$ )는 주파수 영역의 영상을 의미한다. 주파수 영역으로 변환된 영상은 메모리에 저장된 조명의 각도와 곱해지며, 다음 식과 같다.

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi(u/M + v/N)(x+y)} \times e^{j2\pi\phi(u_0,v_0)\theta(u,v)} \quad (2)$$

여기서,  $\phi(u_0,v_0)$  ( $0 < \phi < 2\pi$ )와  $\theta(u,v)$  ( $0 < \theta < 2\pi$ )는 각각 초기각도와 입력각도를 의미한다.

주파수 영역에서의 마지막 영상은 서로 다른 초기 각도를 갖는 모든 영상에 대해 식(2)을 수행하고 합성하여 획득한다. 표준 패턴은 주파수 영역의 마지막 영상을 Inverse Discrete Fourier Transform(IDFT)을 수행하여 공간영역 영상으로 변환하여 얻는다.

### 3.2 패턴 매칭 알고리즘

다중패턴 홀로그램의 패턴매칭은 입력 패턴영상과 생성된 표준 패턴영상을 비교하여 위조·변조를 판별한다. 본 논문에서는 두 패턴영상의 매칭 정도를 평가하기 위하여 상관분석을 이용하였고, PSNR을 비교하였다 [5].  $M \times N$  입력 패턴영상과 생성된 표준 패턴영상의 밝기 차이 때문에 두 패턴영상을 정규화 시켜 준다. 정규화된 두 영상은 다음 식과 같이 상관분석을 이용하여 유사도를 판별한다.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

여기서  $r$  ( $-1 \leq r \leq 1$ )은 상관계수를 의미하며,  $x_i, y_i$ 와  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 각각 입력 패턴영상과 생성된 표준 패턴영상을 의미한다.

상관분석에 의해 유사도를 판별한 두 패턴영상은 객관적인 평가를 위해 다음 식과 같이 PSNR을 이용하였다.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - X_{ij}^G)^2 \quad (4)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE} \quad (5)$$

여기서  $X_{ij}$ 는 입력 패턴영상이며,  $X_{ij}^G$ 는 생성된 표준 패턴영상을 의미하고,  $MSE$ (Mean Squared error)는 두 영상 차이의 평균이며,  $MAX$ 는 영상의 픽셀 값을 의미한다.

## 4. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안한 다중패턴 홀로그램을 위한 자동검사 시스템의 실험을 위하여 CCD 카메라는 AVT Marlin F-080C를 사용하였고, 조명계는 LED Dome Type 조명을 사용하였다. 입력영상을 획득하기 위한 인터페이스 보드는 IEEE 1394를 사용하였다. 다중패턴 홀로그램 자동검사 알고리즘은 Matlab 7.0을 사용하였으며, MS-Windows XP / IBM-PC Pentium-IV 3.2GHz 상에서 구현하였다. 영상은 10000원권 지폐의 홀로그램을 이용하였으며 홀로그램 영상의 크기는  $520 \times 500$  pixel이다. 그림 4는 패턴생성에 사용하는 표준 영상을 보여준다.

### 4.1 표준 패턴 생성 결과

입력 패턴영상과 패턴매칭을 수행하기 위한 표준 패턴 생성은 입력 패턴영상의 위치 값을 이용하여 생성하였다. 그림 5는 135도에서 입력 패턴영상과 위치 값을 이용하여 생성해준 표준 패턴영상을 보여준다. 입력 패턴영상과 생성된 표준 패턴영상의 모양은 같게 나타났다. 그러나 입력 패턴영상에 비하여 생성된 표준 패턴 영상의 밝기 값이 밝게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 표준 패턴을 생성하기 위해 주파수 영역으로 변환 후 다시 공간 영역으로 변환 하였을 때 영상의 밝기 값이 변하기 때문



<그림 4> 다중패턴 홀로그램의 표준 영상



(a) 입력 패턴영상 (b) 생성된 표준 패턴영상

<그림 5> 표준 패턴영상 생성

이다. 따라서 두 패턴 영상을 패턴 매칭 시켜주기 위해서 밝기 값을 정규화 시킨다.

### 4.2 패턴 매칭 결과

입력 패턴영상과 생성된 표준 패턴영상의 상관분석은 성능평가의 타당성을 높이기 위하여 45도와 135도 그리고 270도에서 상관계수를 비교 평가 하였다. 또한 유사도의 객관적인 평가를 위하여 각 위치에서의 PSNR을 비교하였다. 각 위치에서 상관계수가 0.6이상, PSNR이 40dB 일 때 두 패턴영상의 유사도가 높다는 것을 의미한다. 표 1은 각 위치에서의 상관계수와 PSNR을 보여준다. 45도와 135도일 때 상관계수와 PSNR이 높은 것을 확인 할 수 있다. 그러나 270도일 때 PSNR이 30.99dB로 다소 떨어지지만 두 패턴 영상의 유사도가 매우 높기 때문에 두 영상은 같다고 본다.

다중패턴 홀로그램의 자동검사 방법은 표준 패턴영상을 만들 때 정확한 물체의 모양을 갖는 영상이 필요하다. 그렇기 때문에 홀로그램을 만들 때 사용된 정확한 물체의 영상을 얻을 수 있다면 더 정확한 위조·변조를 판별 할 수 있다.

<표 1> 상관분석에 의한 상관계수와 PSNR결과

	45°	135°	270°
상관계수	0.71	0.67	0.86
PSNR(dB)	40.46	39.79	30.99

## 5. 결 론

본 논문은 다중패턴 홀로그램을 위한 자동검사 시스템을 제안하였다. 기존의 검사 방법들은 단일 홀로그램을 위한 검사이거나, 광학계를 필요로 하는 검사 방법으로 개발되었다. 본 논문에서는 CGH의 방법과 상관 분석방법에 의한 패턴정합을 이용하여 다중패턴을 갖는 홀로그램의 검사 방법을 개발하였다.

표준 패턴생성 알고리즘으로 CGH방법을 이용하였으며, 패턴매칭 방법으로 상관분석을 이용한 패턴정합을 이용하였다. 또한 두 영상의 유사도를 객관적으로 판별하기 위하여 PSNR을 비교하였다. 제안한 방법을 사용하는 경우 카메라와 조명계를 제외한 다른 부수적인 광학계 없이 입력 영상에 대한 정확한 위조·변조를 판별할 수 있음을 확인하였다.

제안 방법은 오늘날 각종 공문서나 금융상 보안에 대한 중요성의 증가에 따라 도입된 다중패턴 홀로그램의 위조·변조 판별에 기여하리라 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] K. Raj, R.J.Pieper and T-C. Poon, "Image reconstruction capabilities of binary phase-only filters", *Twenty-Second Southeastern Symposium System Theory*, pp.328-332, 1990
- [2] D. Abookasis, J. Roson, "Computer aided design using CGH of a three-dimensional objects", *Proc. Of the ICECS 2004*, pp.48-55, 1998
- [3] M. A. Golub, V. S. Pavelyev, "Phase coding in iterative synthesis of computer-generated holograms", *Optics & Laser Technology*, vol.27, no.4, pp.223-228, 1995
- [4] S. Trester, "Computer simulated holography and Computer Generated Hologram", *Am. J. Phys.*, vol.64, no.4, pp. 472-478, 1996
- [5] Jacek Janucki, Jan Owsik, "A Wiener filter based correlation method intended to evaluate effectiveness of holographic security devices", *Optics Communications*, vol.218, no.4-6, pp.221-228, 2003