

다중패턴 홀로그램을 위한 자동광학검사 시스템

Automatic Optical Inspection System for Holograms with Multiple Patterns

권혁중, 박태형*

(Hyuk-Joong Kwon and Tae-Hyoung Park)

Abstract: We propose an automatic inspection system for hologram with multiple patterns. The system hardware consists of illuminations, camera, and vision processor. Multiple illuminations using LEDs are arranged in different directions to acquire each image of patterns. The system software consists of pre-processing, pattern generation, and pattern matching. The acquired images of input hologram are compared with their reference patterns by developed matching algorithm. To compensate for the positioning error of input hologram, reference patterns of hologram for different position should be generated in on-line. We apply a frequency transformation based CGH(computer-generated hologram) method to generate reference images. For the fast pattern matching, we also apply the matching method in the frequency domain. Experimental results for hologram of Korean currency are then presented to verify the usefulness of proposed system.

Keywords: automatic optical inspection, hologram, pattern matching, CGH (computer generated hologram), fourier transform

I. 서론

홀로그램은 빛의 간섭 현상에 의하여 생성되는 3차원적 사진이다[1]. 일반 사진과 달리 복제가 쉽지 않아, 진품의 위조 또는 변조를 방지하기 위하여 널리 사용된다. 지폐, 여권, 신용 카드 및 귀중품 류 등은 홀로그램이 부착된 대표적 사례이다. 최근에는 복제를 더욱 어렵게 하기 위하여 여러 개의 패턴으로 구성된 다중 패턴 홀로그램이 많이 사용되고 있다. 예를 들어 신권 만원 지폐에 사용되는 홀로그램은 지도 문양, 태극 문양, 세 문양 등 3개의 패턴을 갖는 다중 패턴 홀로그램이다. 홀로그램을 보는 각도에 따라 보이는 패턴이 달라지므로, 홀로그램을 회전시키며 육안으로 관찰하여 확인한다.

자동 광학 검사 시스템은 주로 전자산업의 제품 생산 시스템에서 사용되어 발전되어 왔다[2]. 이 시스템은 검사하고자 하는 대상의 기준 패턴 영상과 입력 패턴 영상을 비교하여 제품의 정확성을 판별한다. 자동 광학 검사 시스템은 빛의 입사각이나 검사 대상의 회전이나 확대 및 축소 그리고 이동 등의 기하학적인 변화가 있더라도 기준 패턴 영상의 패턴 변화는 없다. 그러나 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 시스템은 입력 패턴 영상이 빛의 입사각과 홀로그램의 기하학적인 변화에 따라 패턴이 급격하게 변하기 때문에 기준 패턴 영상의 획득이 매우 어렵다. 그림 1은 빛의 입사각과 홀로그램의 회전 각도 그리고 회전 방향에 따른 패턴변화를 보여준다. 따라서 기존의 자동 광학 검사 시스템을 그대로 적용 할 수 없다.

홀로그램을 검사하기 위해 개발된 방법으로 Barnhart등이 제안한 방법 [3]과 Burage-Lefebvre등이 제안한 방법 [4]이 있

다. 그러나 이 방법들은 홀로그램 영상을 획득하기 위해 레이저와 광학 렌즈 등 부수적인 광학 장비들이 필요한 단점이 있다. 부수적인 광학 장비 없이 카메라와 조명계만을 가지고 홀로그램을 검사하는 방법으로는 Jacek Janucki와 Jan Owsik이 제안한 방법이 있다[5]. 이 방법은 기존의 광학 장비가 필요 없기 때문에 소형으로 제작이 가능한 장점이 있지만, 조명의 일정한 위치에서만 홀로그램 영상을 획득하기 때문에 모든 수의 홀로그램 패턴에 대해서는 검사할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 자동 광학 시스템에 사용하는 카메라와 조명계만을 이용하여 모든 홀로그램 패턴에 대해 검사할 수 있는 새로운 다중 패턴 홀로그램의 자동 광학 검사 방법을 제시한다. 이 방법은 빛의 입사각과 홀로그램의 위치에 따라 변하는 모든 패턴에 대해 검사 할 수 있으며, 다중 패턴 홀로그램을 검사하는 전체적인 계산 시간을 단축할 수 있다.

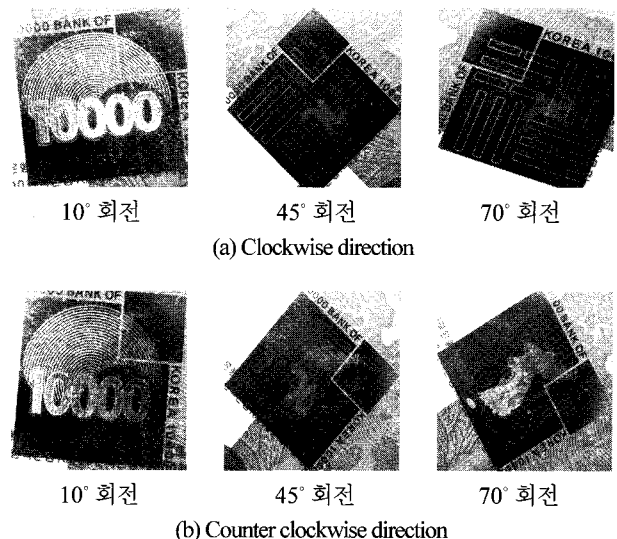


그림 1. 홀로그램의 회전에 따른 패턴의 변화.
Fig. 1. Change of pattern according to rotation of hologram.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2008. 7. 3., 채택확정: 2009. 1. 14.

권혁중: 삼성전자(majingga4283@naver.com)

박태형: 충북대학교(tachpark@chungbuk.ac.kr)

※ 이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

II. 하드웨어 시스템

본 논문은 제한한 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사를 위해 새로운 시스템을 구성한다. 그림 2는 본 논문에서 제한한 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 시스템의 구조를 보여준다. 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 시스템은 크게 영상획득부와 인터페이스부 그리고 영상처리부로 구성된다.

영상획득부는 CCD 카메라와 조명계 그리고 다중 패턴 홀로그램 영상으로 이루어져 있다. 영상획득부는 조명의 입사각과 홀로그램의 회전에 따른 다중 패턴 홀로그램 영상을 획득해 IEEE 1394 인터페이스 보드를 통해 영상처리부로 전송한다. 인터페이스부는 영상획득부에서 획득한 영상을 전송하기 위한 IEEE 1394 인터페이스 보드와 조명의 위치를 제어하기 위한 조명 제어기로 구성된다. 조명계는 홀로그램이 빛의 입사각에 따라 패턴의 변화가 민감하기 때문에 고정되어 있지 않다. 따라서 인터페이스부의 조명 제어기는 조명의 위치에 따른 입력 패턴 영상을 획득하기 위해 조명의 위치를 변화시킨다. 영상처리부는 다중 패턴 홀로그램의 표준 영상을 이용하여 기준 패턴 영상을 생성한다. 그리고 획득한 입력 패턴 영상과 패턴 매칭을 통해 홀로그램의 위조 및 변조에 대한 진위 여부를 판별한다.

III. 소프트웨어 시스템

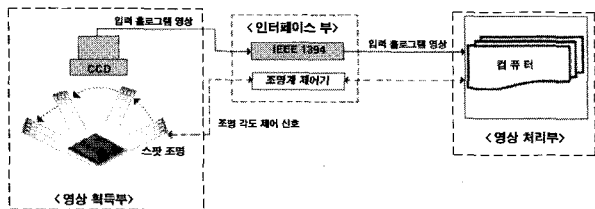


그림 2. 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 시스템의 구성도.

Fig. 2. Block diagram of automatic optical inspection system for hologram with multiple patterns.

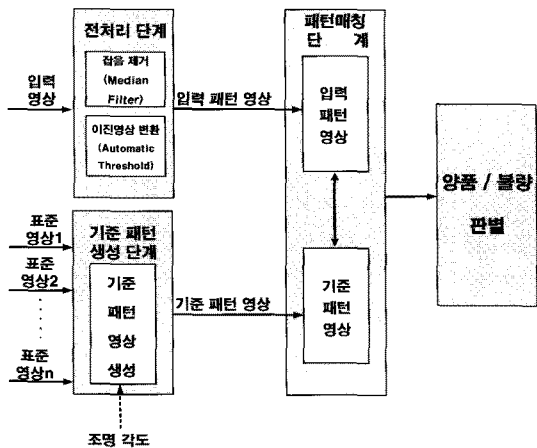


그림 3. 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법의 구조.

Fig. 3. Structure of automatic optical inspection method for hologram with multiple patterns.

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법은 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상을 비교하여 입력된 홀로그램의 위조 및 변조에 대한 진위 여부를 판별하는 과정이다. 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법은 크게 전처리 단계와 기준 패턴 생성 단계, 그리고 패턴 매칭 단계로 구성된다. 그림 3은 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법의 구조를 보여준다.

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법은 기준 패턴 생성 단계에서 기준 패턴 영상을 생성해 준 후 패턴 매칭 단계에서 입력 패턴 영상과 패턴 매칭을 통해 위조 및 변조에 대한 진위 여부를 판별해 주어야 한다. 따라서 본 논문은 컴퓨터 생성 홀로그램 방법을 이용한 기준 패턴 영상 생성 방법을 제안하며, 전체적인 계산속도를 줄이고 검사의 정확성을 위해 주파수 영역에서 패턴 매칭하는 방법을 제안한다.

1. 전처리 단계

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법의 전처리 단계는 잡음 제거와 이진 영상 변환으로 구성된다. 잡음을 제거하기 위한 필터는 평균값 필터와 가우시안 필터 등 여러 가지 필터가 있다. 본 논문에서는 랜덤 잡음의 경우 유사한 크기의 선형 평활화 필터보다 덜 흐려지면서 잡음 감소 능력을 제공하며 임펄스 잡음에 효과적인 메디안 필터를 사용하여 입력 패턴 영상의 잡음을 제거한다[6].

기준 패턴 생성 단계에서 생성되는 기준 패턴 영상이 이진 영상으로 생성되기 때문에 잡음이 제거된 입력 패턴 영상은 이진 영상으로 변환한다. 본 논문은 이진 영상으로 변환할 때 조명의 영향을 최소화 하기 위하여 히스토그램의 가장 큰 최솟치를 찾는 자동 이진화 방법을 사용한다[6]. 그림 4는 입력 패턴 영상을 메디안 필터를 사용하여 잡음을 제거하고, 자동 이진화 방법을 이용하여 이진영상으로 변환한 그림을 보여준다. 입력 패턴 영상이 컬러 영상이므로 메디안 필터를 사용하여 잡음을 제거하고, 흑백 영상으로 변환한다. 흑백 영상으로 변환된 영상을 이용해 이진 영상을 생성한다.

2. 기준 패턴 생성 단계

홀로그램의 입력 패턴 영상은 빛의 입사각과 홀로그램의 위치에 따라 다른 패턴이 획득된다. 그러므로 기존의 자동 광학 검사 방법과는 달리 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법은 회전에 대해 회전각을 검출하고 이에 따른 기준 패턴 영상을 생성해야 한다.

홀로그램의 회전 각도를 검출하기 위해 먼저 입력 영상의 에지를 검출한다. 에지가 검출된 입력 패턴 영상은 삼각함수를 이용하여 회전된 각도를 검출한다. 그림 5는 삼각함수를

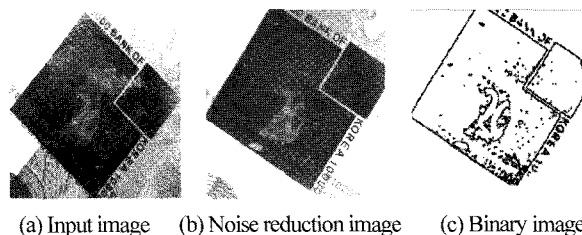


그림 4. 입력 패턴 영상의 전처리 과정.
Fig. 4. The process of pre-processing about input image.

이용한 회전 각도의 검출을 보여준다. 먼저 가로축을 검사하여 좌표 $A(x_a, y_a)$ 와 $B(x_b, y_b)$ 을 검출한다. 검출된 두 점의 좌표를 이용해

두 좌표 사이의 길이를 구한다. 마지막으로 삼각함수를 이용하여 입력 패턴 영상의 회전 각도를 구해주며 다음과 같다.

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{\overline{(x_a, y_a)(x_b, y_b)}}{\overline{(x_b, y_a)}} \right) \quad (1)$$

여기서, φ 는 입력 패턴 영상의 회전 각도를 의미하며, $\overline{(x_a, y_a)(x_b, y_b)}$ 는 $A(x_a, y_a)$ 과 $B(x_b, y_b)$ 사이의 길이를 의미한다. 그리고 $\overline{(x_b, y_a)}$ 는 $A(x_a, y_a)$ 와 $B(x_b, y_b)$ 가 수직으로 만나는 좌표를 의미한다.

입력 패턴 영상은 홀로그래프의 회전 각도가 동일 하더라도 회전 방향에 따라 다른 패턴이 생성된다. 따라서 기준 패턴 영상을 생성하기 위해서 회전 각도를 구할 때 회전 방향도 같이 구해주어야 하며 다음과 같다.

$$D = \begin{cases} d_L, A(x_a, y_a) < B(x_b, y_b) \\ d_R, A(x_a, y_a) > B(x_b, y_b) \end{cases} \quad (2)$$

여기서, D 는 다중 패턴을 갖는 홀로그래프의 회전 방향을 의미하며, d_L 과 d_R 은 각각 다중 패턴을 갖는 홀로그래프가 왼쪽과 오른쪽으로 회전되었음을 의미한다.

본 논문은 기준 패턴 생성 단계에서 기준 패턴 영상을 생성하기 위해 컴퓨터 생성 홀로그래프를 사용한다. 컴퓨터 생성 홀로그래프는 디지털 기기로의 응용을 위해 홀로그래프를 이진 형태로 구현한다[7]. 컴퓨터 생성 홀로그래프는 코딩 방식에 따라 cell-oriented CGH [8]과 point-oriented CGH [9] 방법 있으며, 그리고 fringe-oriented CGH [10]방법도 있다. 본 논문은 홀로그래프의 기준 패턴 생성을 빠르게 하기 위하여 주파수 영역에서 cell-oriented CGH 방법을 적용한다[7].

컴퓨터 생성 홀로그래프는 홀로그래프 판에 기록될 물체파(object wave)의 복소진폭(complex amplitude)을 계산하는 것이다. 이것은 물체 영상의 복소 진폭 값을 이산 푸리에 변환시켜서 사용한다. 본 논문은 홀로그래프가 가지고 있는 패턴의

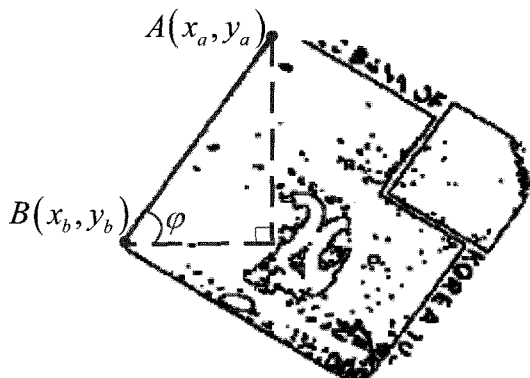


그림 5. 다중 패턴 홀로그래프의 회전 각도 검출.
Fig. 5. Detection of rotation angle for hologram with multiple patterns.

개수만큼의 표준 영상을 미리 획득해 가지고 있으며, 이것을 이용하여 기준 패턴 영상을 생성한다. $M \times N$ 크기의 표준 영상에 대한 이산 푸리에 변환은 다음과 같다[11].

$$F_1(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f_1(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (3)$$

$$F_2(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f_2(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (4)$$

⋮

$$F_k(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f_k(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (5)$$

여기서, $f(x, y)$ ($x = 0, 1, 2, \dots, M-1, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$)과 $F(u, v)$ ($u = 0, 1, 2, \dots, M-1, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$)은 각각 공간 영역과 주파수 영역에서의 픽셀 값을 의미하며, $1, 2, \dots, k$ 는 홀로그래프를 생성할 때 사용하는 표준 영상의 개수이다. 본 논문에서 사용한 지폐의 홀로그래프는 총 3개의 표준 영상을 갖기 때문에 표준 영상의 개수는 3이다.

주파수 영역으로 변환된 영상은 진폭과 위상으로 분리할 수 있다. 주파수 영역에서 기준 패턴 영상을 생성하기 위해 진폭과 위상에 빛의 입사각과 홀로그래프의 회전된 각도를 곱해주며, 다음과 같다.

$$|F_{total}| = \sum_{i=0}^k |F_i(u, v)| \times e^{j2\pi\delta_i} \times e^{j2\pi\theta} \quad (6)$$

$$\angle\phi(F_{total}) = \sum_{i=0}^k \angle\phi(F_i(u, v)) \times e^{j2\pi\delta_i} \times e^{j2\pi\theta} \quad (7)$$

여기서, $|F_{total}|$ 은 주파수 영역으로 변환된 표준 영상들의 진폭에 빛의 입사각과 홀로그래프의 회전 각도를 곱해주어 합산한 결과 값을 의미하며, $\angle\phi(F_{total})$ 은 위상에 빛의 입사각과 홀로그래프의 회전 각도를 곱해주어 합산한 결과를 의미한다. 또한 k 는 표준 영상의 개수를 의미하며, δ 와 $\Delta\theta$ 는 각각 표준 영상을 획득할 때 입사된 빛의 각도와 홀로그래프의 회전 각도를 의미하며 다음과 같다.

$$\Delta\theta = \begin{cases} \delta - \phi, D = d_L \\ \delta + \phi, D = d_R \end{cases} \quad (8)$$

여기서, ϕ 는 홀로그래프의 회전 각도를 의미하며, D 는 회전 방향을 의미한다. 주파수 영역에서 최종적인 기준 패턴 영상은 진폭과 위상의 조합으로 인해 생성할 수 있으며 다음과 같다.

$$F_G(u, v) = \sqrt{|F_{total}|^2 + \angle\phi(F_{total})^2} \quad (9)$$

여기서, $F_G(u, v)$ 는 주파수 영역에서 생성된 기준 패턴 영상을 의미한다. 공간 영역에서의 기준 패턴 영상은 주파수 영역에서 생성된 기준 패턴 영상을 이산 푸리에 역변환하여 생성한다.

3. 패턴 매칭 단계

패턴 매칭은 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상을 비교해

입력 패턴 영상의 위조 및 변조의 진위 여부를 판별한다. 패턴 매칭 방법에는 공간 영역에서의 패턴 매칭 방법 [5]과 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법 [12]이 있다. 일반적으로 인간의 시각은 저주파 성분에 대해 민감하고 고주파 성분에 대해 둔감한 특징을 가지고 있으며, 영상의 중요한 형상 정보는 저주파 영역에 위치한다[13]. 따라서 본 논문은 패턴 매칭의 매칭률을 높이고, 계산 시간을 줄이기 위해 주파수 영역에서 저주파 성분을 추출하여 패턴 매칭하는 방법을 제안한다.

주파수 영역에서 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상 사이의 정량적인 유사도를 측정하기 위해 본 논문에서는 상관계수를 사용한다. $M \times N$ 크기의 영상의 상관계수는 모든 픽셀에 대해 연산을 수행하지만, 본 논문에서는 저주파 성분을 추출하여 패턴 매칭을 하기 때문에 다음 식을 이용하여 상관계수를 구한다[14].

$$r_f = \frac{\sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^L (x_{ij} - \bar{x})(y_{ij} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^L (x_{ij} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^L (y_{ij} - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

여기서, r_f ($-1 \leq r_f \leq 1$) 은 주파수 영역에서의 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상의 상관계수 값을 의미하며, K 와 L 은 각각 주파수 영역에서 저주파 성분을 추출하기 위한 x 축과 y 축의 범위이다. 또한 x_{ij} 와 y_{ij} 는 각각 주파수 영역에서의 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상을 의미하며, \bar{x} 와 \bar{y} 는 각각 입력 패턴 영상의 평균 값과 기준 패턴 영상의 평균 값을 의미한다. 만약 상관계수 값의 일정한 기준 값보다 높다면 입력 패턴 영상은 위조 또는 변조 되지 않은 진품으로 판별한다.

IV. 계산 시간 분석

본 논문에서는 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사의 전체적인 계산 시간을 빠르게 하기 위해 주파수 영역에서 특징 값을 추출해 패턴 매칭을 한다.

이것은 홀로그램이 가지고 있는 표준 영상들을 이산 푸리에 변환 후 주파수 영역에서 기준 패턴 영상을 생성하기 때문이다. 표 1은 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사에서 $M \times N$ 크기의 영상에 대해 공간 영역과 주파수 영역에서의 전체적인 계산 시간에 대한 비교를 보여준다.

표 1에서 보듯이 공간 영역에서의 계산 시간 보다 주파수

표 1. 공간 영역과 주파수 영역에서의 계산 시간 비교.

Table 1. The comparison of calculation time in spatial domain and frequency domain.

영역	공간 영역	주파수 영역
단계		
이산 푸리에 변환	$MN \log_2 MN$	$MN \log_2 MN$
패턴 매칭	MN	MN
이산 푸리에 역변환	$MN \log_2 MN$	•
계산 시간	$O\left(\begin{matrix} 2MN \log_2 MN \\ + MN \end{matrix}\right)$	$O\left(\begin{matrix} MN \log_2 MN \\ + MN \end{matrix}\right)$

영역에서의 계산 시간이 더 효율적이다. 그 이유는 패턴 매칭을 위해 공간 영역에서는 생성된 기준 패턴 영상을 이산 푸리에 역변환을 이용해 주파수 영역에서 공간 영역으로 변환하는 단계를 포함하고 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 주파수 영역에서 특징 값을 추출하여 패턴 매칭 하는 방법은 주파수 영역에서 공간 영역으로 변환하기 위한 이산 푸리에 역변환을 하지 않기 때문에 $MN \log_2 MN$ 만큼 시간을 단축한다

V. 실험 결과

본 논문은 제안한 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법의 유용성을 증명하기 위해 실험 장치를 구현하였다. 그림 6은 실험을 위해 설계한 실험 장치를 보여준다. 실험을 위한 CCD 카메라는 BASLER 사의 scA1000-30fc를 사용하였으며, 인터페이스

스보드는 IEEE 1394B FireWire 800 PCI Host Controller를 사용하였다. 빛이 입사각에 따른 홀로그램 영상을 획득하기 위한 조명은 백색과 적색 스팟(spot) 조명을 사용하였다.

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사의 테스트 프로그램은 Visual C++을 사용하였으며, MS-Windows XP / IBM-PC Pentium-IV 2.66GHz상에서 구현하였다. 테스트를 위한 홀로그램의 표준 패턴 영상은 대한민국에서 위조 및 변조에 대응하기 위해 발행한 만원권 홀로그램 영상을 사용하였으며, 표준 패턴 영상의 크기는 512×512 픽셀이다. 그림 7은 실험에 사용한 만원권 홀로그램의 표준 패턴 영상을 보여준다.

1. 기준 패턴 생성 결과

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법에서 기준 패턴 생성 결과의 성능을 평가하기 위해 본 논문은 홀로그램의 회전에 따른 기준 패턴 생성 결과를 비교 하였다. 기준 패턴 생성 결과의 성능 평가를 위해 조명의 입사각을 90° 로 고정 시키고, 홀로그램을 왼쪽과 오른쪽으로 회전시키면서 기준 패턴 영상을 생성하여 비교하였다. 그림 8은 조명의 입사각이 90° 일 때 만원권 홀로그램을 오른쪽과 왼쪽으로

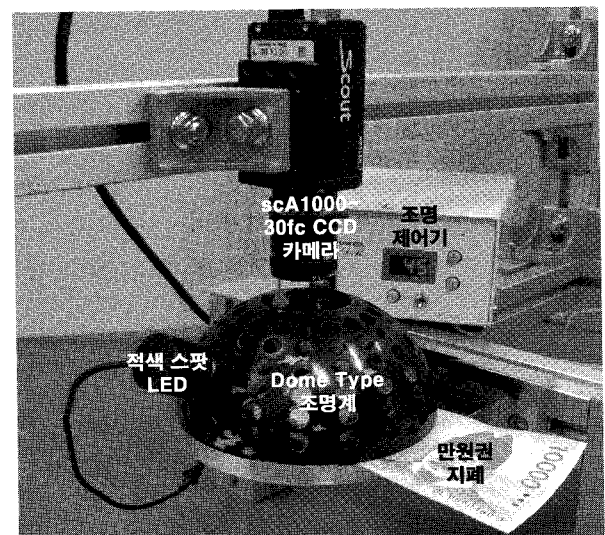


그림 6. 실험 장치.

Fig. 6. An experimental device.

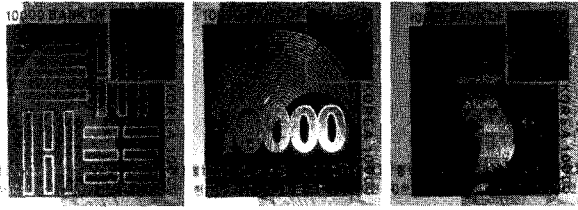


그림 7. 실험에 사용한 홀로그램 영상.
Fig. 7. The hologram images used in the experiment.

10°와 45°로 회전시켰을 때 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상을 보여준다.

그림에서 보듯이 조명의 입사각이 고정되어 있더라도 홀로그램의 회전 각도와 회전 방향에 따라 다른 입력 패턴 영상이 획득되는 것을 볼 수 있으며, 본 논문에서 제안한 기준 패턴 영상 생성 방법을 이용해 입력 패턴 영상에 대응하는 기준 패턴 영상을 생성할 수 있음을 볼 수 있다. 그러나 홀로그램의 회전에 대해 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상의 밝기 차이가 많이 발생하였다. 이것은 기준 패턴 영상을 생성하기 위해 사용하는 표준 영상과 입력 패턴 영상의 밝기 값 차이가 때문이다. 따라서 기준 패턴 영상을 생성하기 전에 표준 영상과 입력 패턴 영상의 밝기 값 정규화를 통해 두 영상의 밝기 값을 같게 해준다면 이와 같은 문제를 해결할 수 있다.

2. 패턴 매칭 결과

본 논문에서 기준 패턴 생성 결과의 정량적인 유사도 측정을 위해 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상 사이의 상관계수를 측정하여 비교하였다. 성능 평가의 타당성을 높이기 위해 두 영상 사이의 상관계수 측정은 20번의 실험을 수행하여 평균 값으로 비교하여 평가하였다. 표 2는 조명의 입사각이 90°일 때 홀로그램의 회전에 따른 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상 사이의 상관계수 값을 보여준다.

홀로그램의 회전에 따른 상관계수 값은 평균적으로 0.64에서 0.68로 나타난 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 8에서 보듯

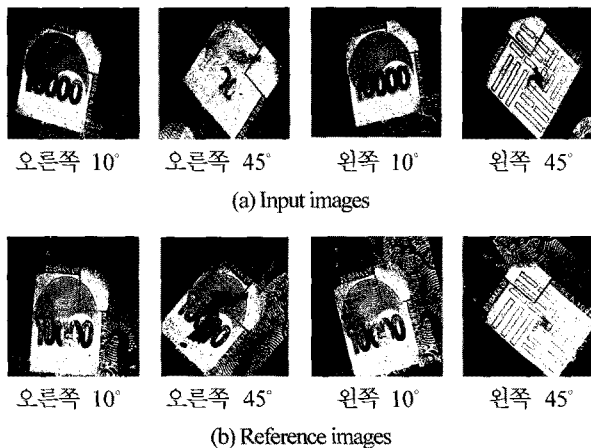


그림 8. 홀로그램의 회전에 따른 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상.
Fig. 8. Input image and generated reference image according to rotation of hologram.

표 2. 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상의 상관계수 값 비교.

Table 2. The comparison of correlation coefficient value between input and generated reference image.

	조명 입사각/회전 각도	상관 계수 값
홀로그램의 회전에 따른 비교 (조명의 입사각 90° 고정)	오른쪽 10°	0.68
	오른쪽 45°	0.64
	왼쪽 10°	0.67
	왼쪽 45°	0.68

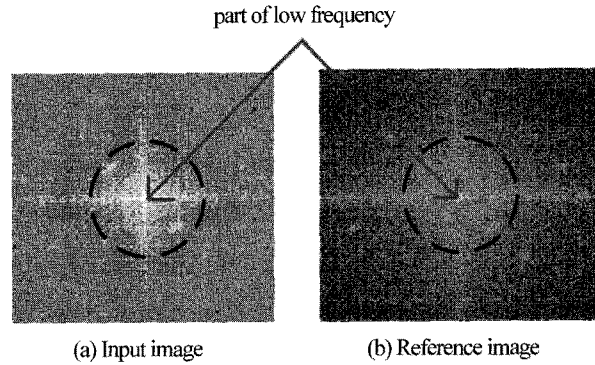


그림 9. 주파수 영역에서의 입력 패턴 영상과 기준 패턴 영상.
Fig. 9. Input image and generated reference image in frequency domain.

이 입력 패턴 영상과 홀로그램의 회전에 따라 생성된 기준 패턴 영상의 밝기 차이가 심하게 발생했기 때문이다. 그러나 이와 같은 밝기 차이에 비해 두 영상의 유사도가 높게 측정되었다. 따라서 기준 패턴 영상을 생성할 때 두 영상의 밝기 차이를 정규화 시켜준다면 더 높은 유사도를 획득할 수 있다.

본 논문은 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법의 계산 시간을 빠르게 하기 위하여 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법에 대한 성능 평가를 위하여 조명의 입사각이 30°, 90°, 150°일 때 공간 영역에서의 상관계수 값과 주파수 영역에서의 상관계수 값을 측정해 비교하였다. 모든 실험은 타당성을 높이기 위해 20회 실험하여 평균 값으로 비교하여 평가하였다.

그림 9는 조명의 입사각이 150°일 때 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상이 주파수 분포를 보여준다. 그림에서 보듯이 입력 패턴 영상과 생성된 기준 패턴 영상의 주파수 분포가 동일한 것을 볼 수 있다. 본 논문은 주파수 영역에서의 일정 부분을 추출하여 패턴 매칭을 하였다. 표 3은 공간

표 3. 공간 영역과 주파수 영역에서 상관계수 값 비교.
Table 3. The comparison of correlation coefficient value.

		상관계수 값		
조명의 입사각		30°	90°	150°
검사 영역	공간 영역	0.69	0.70	0.82
	주파수 영역	0.85	0.94	0.87

표 4. 계산 시간 비교

Table 4. The comparison of calculation time.

검사 대상	공간 영역(sec)	주파수 영역(sec)
오천원권	3.48	2.66
만원권	3.44	2.63

영역과 주파수 영역에서의 상관계수 값을 보여준다. 이 결과는 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법이 공간 영역에서의 패턴 매칭 방법보다 유사도가 높게 나온 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 계산 시간을 빠르게 하기 위하여 제안한 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법을 적용할 경우 성능을 향상 시킬 수 있음을 보여준다.

3. 계산 시간 비교

다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사에서 계산 시간을 빠르게 하는 것은 검사의 성능을 향상 시키는 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 계산 시간을 빠르게 하기 위하여 주파수 영역에서 패턴 매칭 하는 방법을 제안하였고, 이에 대한 실험을 하였다. 계산 시간을 비교하기 위하여 본 논문에서는 오천원권과 만원권 홀로그램을 이용해 공간 영역과 주파수 영역에서 패턴 매칭을 적용 하였을 경우 소요되는 시간을 측정하여 비교하였다. 모든 실험은 20회 실험하여 평균값으로 비교하였다. 표 4는 공간 영역과 주파수 영역에서의 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 시간을 보여준다.

표 4에서 보듯이 전체적인 계산 시간은 공간 영역에서보다 주파수 영역에서 약 1초 정도 빠르다. 이것은 본 논문에서 제안한 주파수 영역에서의 패턴 매칭 때문이며, 공간 영역으로 변환하기 위한 이산 푸리에 역변환을 수행하지 않기 때문이다. 즉, 본 논문에서 사용한 만원권 홀로그램 영상의 크기 512×512 대해 이산 푸리에 역변환을 하기 위해 소요되는 $2^{18} \log_2 2^{18} = 9 \times 2^{19}$ 시간만큼 단축되었기 때문이다.

VI. 결론

본 논문은 새로운 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법을 제안하였다. 기존의 자동 광학 검사 방법은 빛의 입사각에 따라 패턴의 변화가 심한 홀로 그램을 검사하기가 어렵다. 또한 홀로그램을 검사하기 위해 제안된 방법은 부수적인 광학계가 필요하다. 따라서 본 논문은 기존의 자동 광학 검사 시스템을 이용하여 새로운 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광 학 검사 방법을 개발하였다.

기존 패턴 생성 방법으로 컴퓨터 생성 홀로그램 방법을 이용하였으며, 패턴 매칭 방법으로 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법을 제안하였다. 그리고 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 실험 장치를 구현하였다. 제안 방법을 사용하는 경우 홀로그램의 회전에 대해 회전 보정을 하여 기존 패턴 영상을 생성할 수 있음을 확인하였다. 또한 본 논문에서 제안한 주파수 영역에서의 패턴 매칭 방법은 공간 영역에서의 패턴 매칭 방법 보다 전체적인 계산 시간이 빨랐으며, 전체적인 수행 성능이 향상되었다.

제안 방법은 패턴 매칭 방법에서 유사도 측정으로 상관계수를 이용하였다. 따라서 향후 패턴 매칭 방법에서 유사도

측정으로 다양한 방법을 적용한다면 더욱더 정확하게 다중 패턴 홀로그램을 검사 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 다중 패턴 홀로그램을 위한 자동 광학 검사 방법이 홀로그램의 위조 및 변조에 대한 진위 여부를 판별하는데 기여하리라 기대된다.

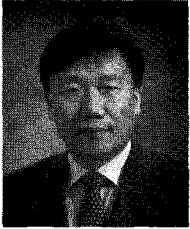
참고문헌

- [1] P. Hariharna, *Optical Holography: Principle Techniques, and Applications*, 2nd Ed., Cambridge University Press, pp.146-161, 1984.
- [2] H. Yasuhiko, et al, "A System for PCB automated inspection using fluorescent light," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, no. 1, pp. 69-77, 1998.
- [3] D. H. Barnhart, N. A. Halliwell, and J. M. Coupland, "Holographic particle image velocimetry: analysis using a conjugate reconstruction geometry," *Optics & Laser Technology*, vol. 32, Issues 7-8, pp. 527-533, 2000.
- [4] C. B.-Lefebvre, S. Coëtmellec, D. Lebrun, C. Özkul, "Application of wavelet transform to hologram analysis: three-dimensional location of particles," *Optics and Laser in Engineering*, vol. 33, Issue 6, pp. 409-421, 2000.
- [5] J. Janucki and J. Owsik, "A wiener filter based correlation method intended to evaluate effectiveness of holographic security devices," *Optics Communications*, vol. 218, Issues 4-6, pp. 221-228, 2003.
- [6] E. R. Davies, *Machine Vision: Theory, Algorithm, Practicalities*, 3rd Ed., Morgan Kaufmann, pp. 47-129. 2005.
- [7] 서춘수, 정만호, "원형 셀을 이용한 Lohmann형 컴퓨터 형성 홀로그램에 관한 연구," 한국광학회지, 제17권 제6호, pp. 519-524, 2006.
- [8] Frank, Wyrowski, Olof. Bryngdahl, "Digital phase hologram: Coding and quantization with an error diffusion concept," *Optics Communications*, vol. 72, Issues 1-2, pp. 37-41, 1989.
- [9] B. R. Brown and A.W. Lohmann, *IBM J. Res Develop*, vol. 13, pp. 160-168, 1969.
- [10] E. O. Brigham, *The Fast Fourier Transform*, Prentice Hall, pp. 91-146, 1974.
- [11] 강동중, 하종은, "Visual C++을 이용한 디지털 영상처리," 사이텍 미디어, pp. 201-215, 2003.
- [12] M. Uenohara and T. Kanade, "Use of fourier and Karhunen-loeve decomposition for fast pattern matching with a large set of templates," *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine*, vol. 19, no. 8, pp. 891-898, 1997.
- [13] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002.



권혁중

2006년 충북대 전기전자컴퓨터공학 부 졸업. 2008년 동 대학원 제어계측공학과 (석사). 2008년~현재 삼성전자(주) 디지털 미디어총괄 영상 디스플레이 사업부 연구원. 관심분야는 로보틱스 및 광학검사 시스템, 영상처리 및 임베디드 시스템 등.

**박태형**

1988년 서울대 제어계측공학과 졸업.
1992년 동 대학원 제어계측공학과(석사).
1994년 동 대학원 제어계측공학과(박사).
1994년~1997년 삼성 테크윈(주) 정밀기기연구소 선임연구원.
1997년~현재 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수.

2000년~2001년 Univ. of Toronto 방문교수. 관심분야는 로봇틱스 및 자동화, 전자조립 및 검사 시스템 등.