

## 지문 인식을 위한 체적 홀로그래픽 광상관기

이승현 · 김은수

광운대학교 전자공학과

(1998년 7월 9일 받음, 1998년 10월 19일 수정본 받음)

본 논문에서는 공간정합필터의 데이터 베이스로써 체적 홀로그래프를 이용한 광상관기를 구성하였다. 광상관 시스템은 광학의 고속 및 병렬처리 특징을 지니며, 공간정합필터가 기록된 체적홀로그래프는 방대한 저장 능력과 실시간 랜덤 액세스의 장점을 갖는다. 데이터 베이스로 사용되는 영상들은 각각 공간광변조기에 디스플레이 되어 푸리에 변환 렌즈를 통과한 후 푸리에 변환된 공간정합필터의 형태로 광굴절 매질에 기록된다. 대용량의 데이터 베이스를 구성하기 위한 다중화 방법으로 스텝 모터를 이용하여 광굴절 매질을 회전하는 각다중화 기술을 사용하였다. 체적홀로그래픽 광상관 실험을 통하여 지문 인식에의 응용 가능성을 제시하였다.

### I. 서 론

현재 정보통신의 양대 줄기라 할 수 있는 첨단 기술의 컴퓨터와 통신, 그리고 그 내부의 핵심적 기능을 이루고 있는 반도체 하드웨어는 전자라고 하는 정보전송 매체의 흐름을 효과적으로 조정함으로써 가능해진 기능들이다. 최근, 여러 분야에서 이들 전자만을 이용한 정보처리에 한계가 오고 있음이 감지됨에 따라 미래의 정보 사회를 이끌어갈 기술로써 광정보처리 기술에 대한 관심이 고조되고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1,2]</sup>

광상관 기술은 광 정보처리의 가장 중요한 기능중의 하나로 패턴 및 문자 인식, 영상처리, 연상메모리, 광 컴퓨팅등 광범위한 응용 분야를 가지고 있다. 개인 식별에 가장 효율적인 수단으로 알려져 있는 지문 인식 기술은 두 개의 서로 다른 지문 영상의 푸리에 스펙트럼을 서로 곱한 후, 이들 곱의 결과를 다시 역 푸리에 변환하는 방법으로 두 지문 영상 사이의 상관도를 쉽게 얻는 방법이다. 대부분 기존의 상관기술은 두 영상을 디지털화 한 후 최적의 정합관계를 얻기 위해 복잡한 알고리즘을 사용하게 되므로 대용량의 메모리와 과다한 처리 시간이 요구되어 속도와 용량에 제한을 받게되는 단점을 지닌다. Vander Lugt 공간정합필터<sup>[3]</sup>를 이용한 광상관기가 지문 인식에 처음으로 사용된 이후, 공간정합필터와 JTC (joint transform correlator)를 이용한 광상관기가 기존 상관기의 문제점으로 대두되고 있는 속도와 메모리 용량의 문제를 해결할 수 있는 방법으로 연구되고 있다.<sup>[4-8]</sup>

본 논문에서는 공간정합필터의 데이터 베이스로써 체적 홀로그래프를 이용한 VanderLugt 상관을 구성하였다. 체적홀로그래프<sup>[9-11]</sup>를 이용한 광상관 시스템은 광학의 고속 및 병렬처리 특징을 지니며 방대한 저장 능력과 실시간 랜덤 액세스의 장점을 갖는다. 데이터 베이스로 사용되는 영상들은 각각 공간광변조기에 디스플레이 되어 푸리에 변환 렌즈를 통과한 후 푸리에 변환된 형태로 평면파인 기준파와 간섭되어 광굴절

매질에 기록된다. 대용량의 데이터 베이스를 구성하기 위한 다중화 방법으로 광굴절 매질을 회전하여 기록하는 각다중화 기술을 사용하였다. 광굴절 매질의 회전과 기준 영상의 갱신, 그리고 기록을 위한 노출시간은 프로그램을 통하여 자동적으로 처리되며, 저장된 데이터는 보존을 위해 고정 과정을 거치게 된다. 입력 영상의 푸리에 변환을 이용하여 광굴절 매질에 저장되어 있는 푸리에 홀로그래프가 재생되게 되는데, 단지 입력과 저장된 홀로그래프가 일치하는 경우의 각도에서만 두 스펙트럼의 곱이 재생되게 된다. 이 스펙트럼의 곱은 다시 렌즈에 의해 푸리에 변환되며 원래 두 영상에 대한 상관 출력의 형태로 나타나게 된다. 광상관 시스템의 데이터 베이스를 구성하기 위해 여러 종류의 지문 영상을 사용하였으며, 시스템 구성 및 실험을 통하여 본 논문에서 제시한 체적홀로그래프 상관 시스템의 실제적인 응용 가능성을 제시하였다.

### II. 체적 홀로그래픽 광상관 시스템

#### 2.1. 각다중화를 이용한 체적 홀로그래프

기준파와 물체파 사이의 간섭 패턴을 얇은 감광 필름에 기록하는 평면 홀로그래프의 경우 이차원 형태의 격자패턴이 형성되므로 정보의 저장 용량이 제한되고 재생하면 여러 개의 회절차수들이 존재하게 된다. 광굴절 매질을 이용하는 체적 홀로그래프에서는 3차원 형태의 격자 패턴이 형성되며, 입사파가 브래그 조건을 만족하는 각도로 입사될 때만 회절이 발생하게 된다. 바로 이러한 체적 홀로그래프의 회절 특성에 의해 홀로그래픽 광메모리 시스템의 고밀도 다중화 기록과 재생에서 요구되는 침예한 각 선택도가 얻어지게 된다. 체적 홀로그래프에 대용량의 공간정합 필터를 저장하기 위한 방법으로 다중화 기술을 사용할 수 있다. 다중화 방법으로는 간섭파 간의 각도, 파장, 위상의 변화를 이용하는 각다중화, 파장다중화, 위상부호 다중화 기법 및 공간 다중화 기법 등이 제안되고 있다.<sup>[12, 13]</sup>

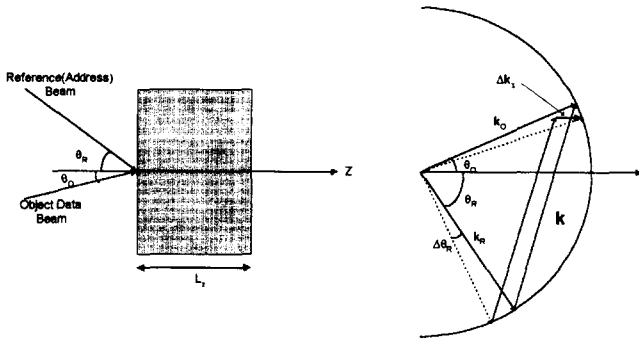


그림 1. 간단한 정현파 홀로그래프의 기하학적 구조. (a) 두 평면파에 의한 체적 홀로그래프의 정현파 격자구조 형성 구조, (b) 홀로그래프 상호작용에 대한 파 벡터 공간도(위상 정합 대략도).

각 다중화는 특정한 사잇 각을 갖는 물체파와 기준파로 기록된 체적 홀로그래프가 기록시의 기준파와 복원시의 기준파 사이의 각도에 강하게 의존하여 복원된다는 브래그 조건에 기초한다. 각 선택도는 그림 1(a)와 같이 두 개의 평면파에 의해 기록된 간단한 정현파 형태의 격자의 경우에 대해 가장 잘 설명되고 정량화 될 수 있다. 여기서, 홀로그래프 매질(두께  $L_z$ ) 내에서 측정된 기준파와 물체파의 입사각은 각각  $\theta_R$ 과  $\theta_O$ 이며, 기준파와 물체파의 파벡터는 식(5)와 같이 주어진다.

$$k_R = k_0(-\sin \theta_R \hat{x} + \cos \theta_R \hat{z}) \quad (1)$$

$$k_O = k_0(-\sin \theta_O \hat{x} + \cos \theta_O \hat{z}), \quad k_0 = \frac{2\pi n}{\lambda}$$

여기서,  $n$ 은 매질의 굴절률,  $\lambda$ 는 진공 내에서의 빛의 파장을 나타낸다. 그림 1(b)의 파벡터 공간도형에서 격자벡터  $\mathbf{K}$ 는 매질 내에서 진행하는 평면파에 대응하는 모든 가능한 파벡터  $\mathbf{k}$ 의 집합을 나타낸다. 간략화를 위해 표면의 반지름이  $k_0$ 인 등방성인 구의 경우만을 고려한다.

입력 기준파가 회절을 일으키기 위해 만족되어야 할 브래그 조건은 식(2)와 같다.

$$|k'_0| = |k_R + \mathbf{K} + \hat{z} \Delta k_z| = k_0 \quad (2)$$

여기서,  $k'_0$ ,  $k_R$ '는 재생된 물체파 벡터와 재생시 입사된 기준파 벡터를 나타내며, 기준파 벡터는 기록 시와 거의 같게 조절된다.  $\Delta k_z$ 는 매질의 두께 때문에 어느 정도 발생할 수 있는 위상 불일치를 나타내며 약한 산란의 경우에(회절효율  $\eta \ll 1$ ) 회절효율은 식(3)과 같이 주어진다.

$$\eta \propto \text{sinc}^2(\Delta k_z L_z) \quad (3)$$

따라서, 정보를 읽어내는 동안 기준파의 방향은 식(4)로 정의되는 영역 내에 있어야 충분히 관측될 수 있는 회절을 얻을 수 있다.

$$|\Delta k_z| \leq \frac{\pi}{L_z} \quad (4)$$

입사되는 기준파의 각도를 기록할 때의 각도와 동조시키기 위한 각도의 방향에 대한 위상불일치는 비 등방성의 특징을

갖는다. 왜냐하면 그림 1(b)에서처럼 기준벡터는 위상불일치가 0인 브래그 조건을 만족하는  $k_R$ 과  $k_0$ 에 의해 정의되는 평면에 수직인 방향으로 회전될 수 있고, 평면에서의 회전이 증가함에 따라 발생하는 위상 불일치 또한 증가하기 때문이다. 평면에서의 각 선택도는 근사적으로 식(5)에서 처음으로 0이 발생하는 지점사이의 각도의 폭으로 주어진다.

$$\Delta \theta_R = \frac{\lambda \cos \theta_0}{n L_z \sin(\theta_R + \theta_0)} \quad (5)$$

각의 선택도는 물체파와 기준파의 각도  $(\theta_R + \theta_O)$ 가 90도일 때 가장 우수하고 이 각도를 중심으로 각 선택도는 대칭적으로 떨어지기 시작한다. 같은 체적 내에 다중 홀로그래프를 저장하기 위하여 식(5)로 주어지는 각 증가분 만큼 간격을 둔 기준 빔들을 이용하여 동일평면에 다중화시켜서 복원하면 잡음이 없는 재생영상을 얻을 수 있다. 기준파의 각도  $\theta_R$ 이  $\theta_1$ 에서  $\theta_m$ 까지 주어진 범위 내에 다중화 될 수 있는 홀로그래프의 수는 근사적으로 식 (6)과 같이 주어진다.<sup>[14]</sup>

$$M \approx 1 + \frac{n L_z}{\lambda} |\cos \theta_1 - \cos \theta_m| \quad (6)$$

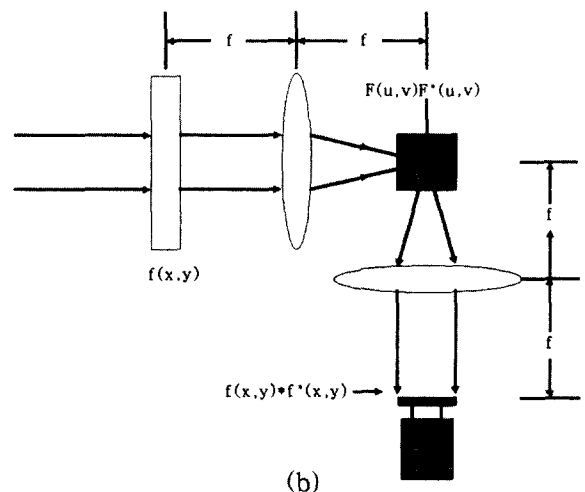
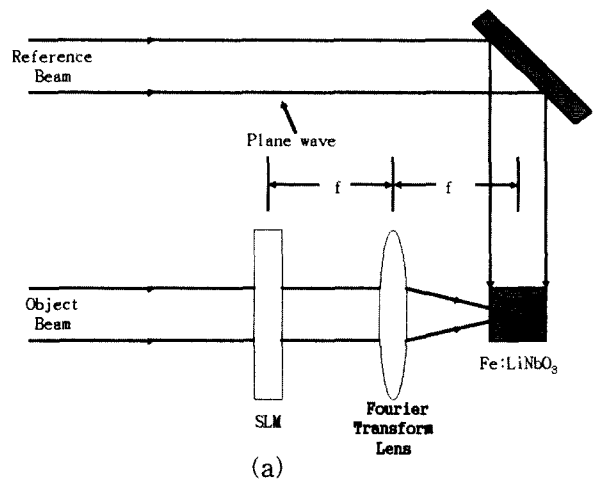


그림 2. 공간정합필터의 (a) 기록과 (b) 재생.

2.2. 체적홀로그래프를 이용한 광상관기

광상관기는 여러 가지 정보가 섞여 있을 때 원하는 정보에 대한 정합 필터를 사용하여 영상 정보 처리함으로써 그 정보가 있는 부분만이 상관 값인 밝은 점으로 표시되게 하는 광학 시스템이다. 이러한 광패턴인식 기술은 1963년 Vander Lugt가 가간섭성 광인 레이저를 이용하여 광영상의 진폭과 위상 정보를 동시에 기록한 홀로그래픽 공간정합필터 제작 방식을 제시함으로써 시작되었다. 광상관기를 이용하므로 임의의 2차원 분포를 갖는 입력 영상에 대해서 공간정합필터에 기록된 영상과의 상관 정도를 쉽게 찾아낼 수 있다. 또한, 입력 영상의 변위에 무관하게 밝은 상관 침두치를 출력 면에 나타내므로 입력 영상 내에서 찾고자 하는 영상의 유무와 위치에 대한 정보를 알 수 있다.

본 논문에서는 공간정합필터의 데이터 베이스로써 체적 홀로그래프를 이용한 Vander Lugt 상관기를 구성하였다. 데이터 베이스로 사용되는 공간정합필터들의 기록을 위한 블럭도는 그림 2(a)와 같다. 공간광변조기(SLM)에 디스플레이된 영상은 푸리에 변환 렌즈를 통과한 후 푸리에 변환 된 형태로 평면파인 기준파와 간섭되어 광굴절 매질에 기록된다.

대용량의 데이터 베이스를 구성하기 위해 광굴절 매질을 회전시키면서 물체파와 기준파의 변화된 각도마다 다른 영상을 디스플레이 하여 정합필터의 데이터베이스 홀로그래프를 저장하였다. 즉, 본 실험에서는 광굴절 매질을 회전시키는 방법으로 각다중화를 구현하였기 때문에 상관 출력이 항상 일정한 위치에 나타나게 된다. 상관 피크 값이 발생한 경우, 회전 위치를 파악함으로써 입력 지문의 신원을 알 수 있다. 그림 2(b)는 상관 출력을 얻는 홀로그래프의 재생과정에 대한 블럭도이다. 입력 영상의 상관 출력은 입력의 푸리에 변환을 이용하여 광 굴절매질에 저장되어 있는 공간정합필터 성분인 푸리에 홀로그래프를 재생함으로써 얻을 수 있게된다. 즉, 푸리에 변환된 입력과 저장된 홀로그래프가 일치하는 경우에 대한 기준파의 각도에 대해서만 두 스펙트럼의 곱이 재생되고, 이 스펙트럼의 곱은 다시 렌즈에 의해 푸리에 변환되어 두 영상에 대한 상관 출력의 형태로 나타나게 된다.

III. 시스템 구성 및 실험

그림 3은 체적 홀로그래픽 광상관기의 시스템도를 나타낸 것이다. 광굴절 매질을 회전하는 각다중화 방식을 사용하여 20개의 지문 영상을 체적홀로그래프의 데이터 베이스로 구성하고, 임의 입력에 대한 상관 실험을 통하여 시스템의 성능을 평가하였다. 사용된 컴퓨터 시스템은 Pentium 166 MHz이고 LCD에 디스플레이 하기 위해 사용한 이미지 그래픽은 Data Translation사의 DT2851을 사용하였다. 데이터 영상을 디스플레이 하기 위해 사용된 LCD는 640×480 화소를 갖는 EPSON사의 LC-SLM(모델:P13VM215)으로써 3개의 LCD(Red, Green, Blue 패널)로 구성되어 있으며, 비디오 카메라를 통하여 아날로그 영상을 나타낼 수 있고 프레임 그래픽을 이용하여 컴퓨터와 인터페이스를 취함으로써 디지털 입력 영상을 디스플레이 할 수 있다. 광원으로는 532 nm의 100 mW Nd-YAG 레이저를 사

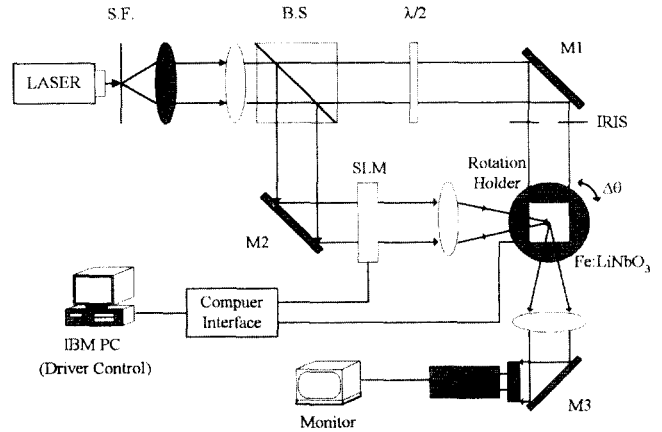


그림 3. 홀로그래프 메모리를 이용한 광상관기.

용하였다. 데이터 베이스로 사용된 광굴절 매질로는 Fe-Doped (0.03%), 10 mm Cube LiNbO<sub>3</sub>를 이용하였다.

공간정합 필터를 홀로그래프로 기록하는 순서는 다음과 같다. 먼저, 레이저로부터 방출된 빔은 공간필터(S.F.)를 거친 후 렌즈를 이용하여 평행파로 구성되어 빔 분할기(B.S.)에 의해 물체파와 기준파로 분리된다. 물체파는 SLM 소자인 LCD에 디스플레이 되어있는 영상을 지나 변조된 뒤 푸리에 변환 렌즈를 이용하여 공간정합필터로 구성된다. 공간주파수 평면에 위치하는 필터 성분은 기준파와 간섭을 일으키게 되며, 이 간섭패턴은 체적홀로그래프에 기록되게 되어 정합필터의 역할을 하게 된다. 기록에 사용될 매질은 효율을 최대화하기 위해 160°C에 30분 정도 가열함으로써 잔여 기록 데이터를 모두 지워서 사용하였다. 다중화 방법으로 각다중화를 사용하였으며, 시스템은 스텝 모터를 사용하여 광굴절 매질을 제어하도록 되어있다. 스텝 모터는 광굴절 매질을 Δθ와 간격으로 회전시키며, 이는 기준파와 물체파의 각도를 변화시키는 것과 동일한 효과로써 입력 영상에 따른 정합필터 홀로그래프를 매질에 기록하게 된다. 기록을 완전히 끝낸 후에는 데이터의 안전한 저장을 위해 130°C 정도의 온도에서 고정을 하였다.

입력 영상에 대한 상관 출력은 그림 3의 시스템에서 기준파를 아이리스로 차단한 뒤 입력 영상을 LCD에 디스플레이하고 광굴절 매질을 회전함으로써 얻어질 수 있다. 즉, 광굴절 매질에 저장되어 있는 대용량의 푸리에 홀로그래프들 중에서 입력과 저장된 홀로그래프가 일치하는 경우의 각도에서만 두 스펙트럼의 곱이 재생되고 다시 렌즈에 의해 푸리에 변환되어 원래 두 영상에 대한 상관 출력의 형태인 밝은 점으로 나타나게 된다. 상관 피크 값이 출력되는 경우는 입력지문과 데이터 베이스의 지문이 일치하는 경우에 해당하며 스텝 모터의 회전 위치를 구함으로써 신원을 파악할 수 있게된다.

광굴절 매질에 여러 개의 데이터를 기록하기 위해서는 데이터를 기록하는 동안 그전에 기록한 데이터가 지워지는 것을 감안하여 기록순서에 따른 기록시간을 달리 해 주어야 한다. 즉, 기록할 데이터의 개수와 기록시간, 그리고 삭제시간을 이용하여 기록시간을 산출해야 한다. 데이터를 광굴절 매질에 기록할 때 고려해야 할 사항으로는 기록순서에 따른 기록시간 산출, 각각의 데이터에 따른 스텝모터의 제어, 그리고 기록할

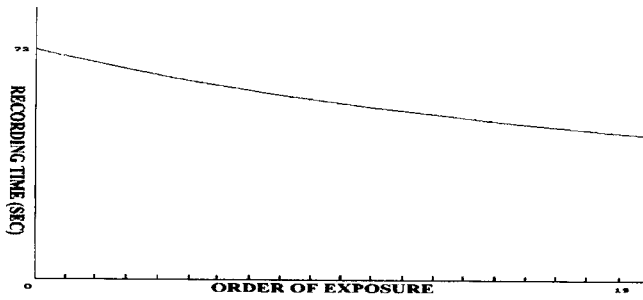


그림 4. 홀로그래프 기록 시간 스케줄.

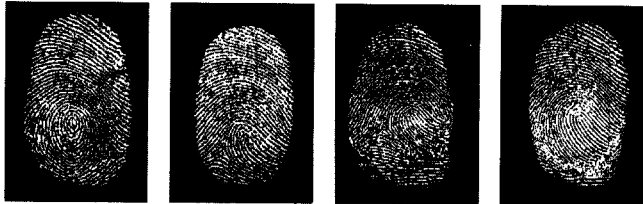


그림 5. 20개의 데이터베이스에 저장된 지문 중 4개의 지문.

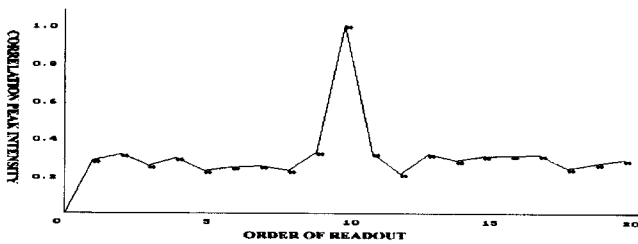


그림 6. 10번째 지문 영상에 대해 정규화된 상관 피크 강도.

데이터를 LCD에 전송하는 것으로 분류할 수 있다. 본 실험에서는 이 3가지를 프로그램으로 온라인 화하여 하나의 자동화 시스템으로 구현하였다. 먼저 프로그램에 기록할 데이터의 개수와 기록시간, 삭제시간을 입력하여 컴퓨터의 메모리에 기록할 데이터를 저장해 둔 다음 실행을 시키면, 데이터들의 기록 순서에 따른 기록시간이 자동적으로 산출되어 초기 데이터를 LCD에 전송한 뒤 기록시간 동안 LCD를 투과하여 변조된 물체파와 기준파의 간섭패턴이 광굴절 매질에 기록된다. 초기 기록이 완료되면 스텝모터를 한 스텝 회전시켜 광굴절 매질을 회전시킨다. 다음, 데이터를 LCD에 전송한 후 다음의 기록시간에 따라 기록을 한 뒤 이를 반복하며 데이터를 저장한다. 이

와 같이 광굴절 매질을 제어하는 방법으로 각다중화를 이용하고 기록순서에 따라 기록시간을 산출하는 프로그램을 이용하며, LCD에 데이터를 전송하는 프로그램, 마지막으로 이들 각각의 모듈을 통합하여 하나의 자동화 시스템을 구현함으로써 방대한 데이터를 균일한 회절효율을 가질 수 있도록 자동으로 기록을 할 수가 있었다. 본 논문에서는 공간정합필터의 데이터 베이스로 20개의 영상을 각각 LCD에 디스플레이하며 기록 시간 스케줄에 따라 노출 시간을 조절하였다. 저장순서에 따른 기록시간을 그림 4에 나타내었다.

그림 5는 저장된 20개의 영상들 중에서 4개의 영상들을 보여준다. 그림 6은 데이터베이스에 기록된 10 번째 지문 영상을 입력시키고 기준파를 차단한 후 광굴절 매질을 회전시켰을 때, 각각의 각도에 대한 입력과의 상관 값을 정규화 한 그래프이다. 그림 7(a)는 데이터 베이스의 10번째 지문 영상인 입력 지문이며, 광굴절 매질의 회전 각도가 기록시의 각도와 일치하였을 때의 상관 결과를 그림 7(b)에 보여준다. 이와같이 상관 피크 값이 발생하였을 때의 스텝 모터에 대한 회전 위치를 파악함으로써 입력 영상의 신원을 분석할 수 있다. 실험을 통해 본 시스템이 효과적인 상관 시스템으로 동작할 수 있는 가능성을 보였으며, 데이터베이스를 구성하는 경우 각각의 데이터에 대해 왜곡 가능한 모든 경우를 채취하여 대용량 체적홀로그래프에 저장함으로써 상관 과정에서 인식 성능을 높여줄 수 있음을 제시하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 공간정합필터의 데이터 베이스로써 체적 홀로그래프를 이용한 광상관기 시스템을 구성하였다. 데이터 베이스로 사용되는 지문 영상의 공간정합필터들은 각다중화 방식을 사용하여 체적 홀로그래프에 저장하였다. 검색하고자 하는 입력 지문을 LCD에 디스플레이하고, 광굴절 매질을 회전하여 상관 결과를 얻을 수 있으며, 회전 위치를 파악함으로써 입력된 지문 영상의 신원 파악 및 정보를 동시에 얻을 수 있다. 지문의 데이터베이스를 구성할 때, 동일인의 왜곡 가능한 여러 가지 지문 패턴을 채취하여 체적홀로그래프에 기록하거나 스마트 필터 등을 이용한 전처리 시스템을 추가함으로써 왜곡 불변 패턴인식 시스템으로의 응용도 가능하다.

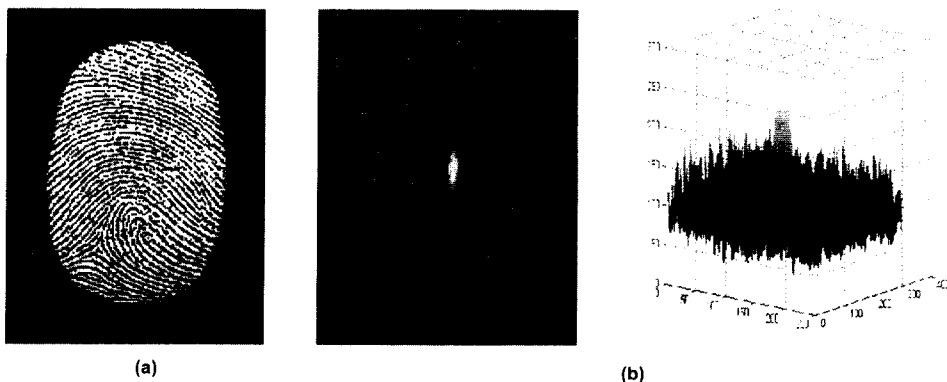


그림 7. 광상관기 출력 (a) 입력지문 (b) 상관 피크.

**참고문헌**

- [1] D.L. Flannery and J.L. Horner, Proc. IEEE, **77**(10), 1511-1527 (1989).
- [2] J.W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, (McGraw-Hill, second edition, 1996).
- [3] A. Vander Lugt, IEEE Trans. Infor. Theory, **IT-10**, 139-145 (1964).
- [4] F.T. Gamble, L.M. Frye, and D.R. Grieser, Appl. Opt., **31**(5), 652-655 (1992).
- [5] C.S. Weaver and J.W. Goodman, Appl. Opt., **5**(9), 1248-1249 (1966).
- [6] K.H. Fielding, J.L. Horner, and C.K. Makekau, Opt. Eng., **30**(12), 1958-1961, (1991).
- [7] Y. Petillot, L. Guibert, J.L. de Bougrenet de la Tocnaye, Opt. Comm., **126**, 213-219 (1996).
- [8] S.H. Lee, S.Y. Yi and E.S. Kim, Proc. SPIE, **2752**, 224-232 (1996).
- [9] 이병호, 김은수, “홀로그래프 메모리 기술”, 광학과 기술, 1998년 1월, pp. 46-53.
- [10] J.P. VanHeerden, Appl. Opt. **2**, 393-400 (1963).
- [11] F.H. Mok, M.C. Tackitt, and H.M. Stroll, Opt. Lett., **16**, 605-607 (1992).
- [12] F. Mok, Opt. Lett., **18**, 915-917 (1993).
- [13] J.H. Hong, I. McMichael, T.Y. Chang, W. Christian, and E.G. Paek, Opt. Eng., **34**(8), 2193-2203 (1995).
- [14] H.Y. Li and D. Psaltis, Appl. Opt. **33**, 3764-3774 (1994).

**Volume holographic correlator for fingerprint recognition**

Seung-Hyun Lee and Eun-Soo Kim

*Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ., Seoul 139-701, Korea*

(Received July 9, 1998, Revised manuscript received October 19, 1998)

In this paper, we propose an optical correlator system using volume holograms for database of matched filters. Optical correlator has high speed and parallel processing characteristics of optics. Matched filters are recorded into a volume hologram that can store data with high density, transfer them with high speed, and select a randomly chosen data element. The multiple reference images of database are prerecorded in a photorefractive crystal in the form of Fourier transform images, simply by passing the image displayed in a spatial light modulator through a Fourier transform lens. The angular multiplexing method for multiple holograms of database can be achieved by rotating the crystal by use of a step motor. Experimental results show that the proposed system can be used for the fingerprint recognition.