DBpia

論文 95-10-10-3

투영상관을 이용한 광/디지탈 불변 패턴인식에 관한 연구

正會員 許 賢*, 沈 載 奉*, 金 熙 周*, 潘 在 景*

A Study on the Optical/Digital Invariant Pattern Recognition Using the Projection-Correlation

Hyun Huh*, Jae Bong Sim*, Hee Ju Kim*, Jae Kyung Pan* Regular Members

要 約

본 논문에서는 2차원 영상패턴에 대해 기존의 패턴인식 방식보다 고속으로 인식할 수 있으며, 패턴의 이동 및 크기변화에 불변한 인식이 가능한 광/디지탈 복합 패턴인식 시스템을 구현하였다. 구현된 패턴인식 시스템은 광학적 처리부분과 디지탈 처리부분으로 구성되어 있다. 광학적 처리부분은 2차원 패턴으로부터 실시간적으로 1차원 투영신호를 검출하며, 컴퓨터를 이용한 디지탈 처리부분은 검출된 1차원 투영신호에 대하여 크기변화에 대한 불변성 부여, 상관을 위한 정규화, 그리고 이미 기록된 기준패턴과의 상관을 통한 인식과정을 수행한다. 제안한 패턴인식 시스템의 성능고찰을 위하여 9가지 도형패턴을 이용한 모의실험을 수행하였으며, 또한 실제 구현된 광/디지탈 시스템에 의한 실험도 수행하였다. 결국 모의실험 및 광/디지탈 실험결과 패턴의 이동 및 크기변화에도 불변한 인식결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper one dimensional projection-correlation pattern recognition system which has the merits of the high processing speed and the memory capacity compared with two dimensional recognition system, additionally invariant properties(shift, scale) is realized. This system is composed of optical and digital processing part. In optical processing part, two dimensional pattern is transformed to only serveral one dimensional projections with real time. And computer, digital processing part, is introduced for achieving shift and scale invariant properties, normalization

* 전북대학교 공과대학 전기공학과
Department of Electrical Engineering.
Chonbuk Natl. Univ.
論文番號 : 94293-1020
接受日字 : 1994年 10月 20日

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

광학적 패턴인식에 관한 연구는 1964년 Vander Lugt가 홀로그램 정합필터(holographic matched filter)를 이용한 2차원 광 상관기(optical correlator)를 제시함으로써 본격적으로 시작되었다.[1-3] 그러나 2차원 광 상관을 위해 왜곡불변 정합필터를 합성하려면 다양한 필터합성, 백색광 처리 등 여러 가지 기술들을 사용함으로써 구현될 수 있지만 공간 필터합성 과정에서 단순한 입력패턴들에 대해서도 계산적이고 메모리 집약적인 문제점들을 가지고 있다.[4-7]

본 논문에서는 2차원 상관을 직접 취하지 않고 단지 몇 개의 1차원 투영된 신호만으로 패턴을 인식할 수 있는 알고리즘 및 시스템을 제시하고자 한다. 패턴의 1차원 투영은 영상의 등록(registration)이나 패턴의 재구성 및 패턴의 특징추출 과정에서 널리 이용되고 있으며, 특히 1차원 투영된 신호에는 각 패턴들을 구분하기 필요한 많은 정보를 포함하고 있다. 따라서 본 논문에서는 투영된 1차원 신호의 상관만으로도 패턴을 직접 2차원 상관 및 투영하는 과정을 대신할 수 있고[2,8,9], 패턴의 이동 및 크기변화에도 같은 영상정보를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 그리고 이와 같은 투영 상관 관계에 대하여, 먼저 입력으로 9개 도형패턴을 사용한 컴퓨터 모의실험을 통하여 제시한 패턴인식 방법의 유용성을 확인하여 보았으며, 실제 광학적인 1차원 투영과정을 적용하고, 투영된 신호를 디지탈 방식으로 상관하여 패턴을 인식하는 광/디지털 1차원 투영상관 패턴인식 시스템을 구현하였고 모의실험에서와 같은 패턴들을 사용하여 실험하였다.

본 논문의 구성은 제2장에서 기본적인 투영이론과 패턴인식에 필요한 상관법, 그리고 광학적 구현에 대하여 서술하였다. 제3장에서는 패턴의 이동, 크기변화에 대한 불변이론과 센트럴 슬라이스 정리를 기반으로 한 1차원 투영상관과 2차원 상관투영의 관계, 그리고 이를 통한 패턴인식 알고리즘을 전개하였다. 제4장은 컴퓨터 모의실험 및 광학적 실험을 통하여 제시한 광/디지탈 투영상관 패턴인식 시스템의 성능과 유용성을 확인하였다. 마지막으로 제5장에서는 실험결과를 토대로 결론을 내렸다.

Ⅱ. 1차원 투영 및 상관

2.1 1차원 투영

1차원 투영에 대한 이론은 두 영상 사이의 상대적 위치를 결정하는 영상의 등록과 왜곡된 패턴의 재구성 등 많은 분야에서 응용되고 있다. 그림 1은 임의의 2차원 영상 f(x,y)에 대하여 x축과 각θ를 이루고 투영되는 모습을 보이고 있다. 이때 θ방향에 대한 2차원 영상의 1차원 투영된 결과는, 각θ에 수직인 모든 사선(斜線)들을 따라서 2차원 영상을 선 적분함으로써 얻을 수 있다.

선분 $\overline{AB}$를 따라서 영상 f(x,y)의 투영을 표현하면 다음과 같다.

$$p_\theta(r_1) = \int_{\text{선분}AB} f(x,y)ds = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\delta(x\cos\theta + y\sin\theta - r_1)dxdy \quad (1)$$

이때 θ는 x축과 투영면이 이루는 각도이고, r_1은 원점으로부터 선분 $\overline{AB}$까지 연직거리이다. 이와 같은 함수 $p_\theta(r)$은 주어진 θ에 대하여 f(x,y)의 병렬투영 결과를 의미하고, 특히 0도에서 180도 까지 모든 방향에 대하여 연속적으로 투영된 결과를 라돈변환(Radon transform)이라 한다.

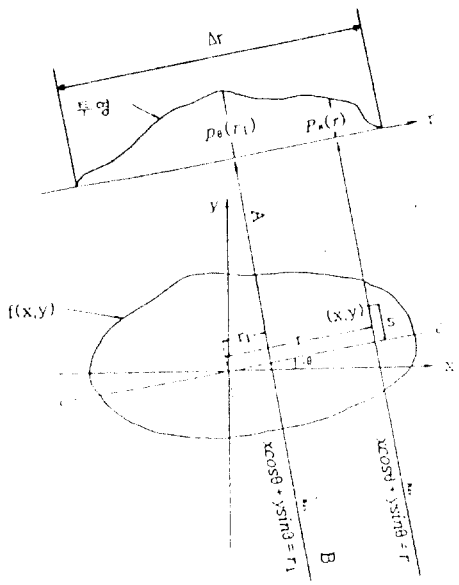


그림 1. 각 θ에서 f(x,y)의 1차원 투영
Fig. 1. 1-D projection of f(x,y) at the angle θ

www.dbpia.co.kr

디지탈 시스템을 이용한 투영과정의 실시간적 구현은 메모리 및 계산시간 요구 면에서 매우 작은 영상에 한정된다. 그러나 광학적인 구현은 디지탈 처리 방법에 비해 광의 병렬처리 속성 때문에 큰 영상에 대해서도 실시간적으로 투영을 할 수 있고, 시스템의 구성도 매우 간단하다는 장점이 있다. 그림2(a)에서는 이와 같은 투영과정의 광학적 구현을 위한 시스템 구성도를 나타내었다. 즉 시준된 광원이 입력패턴에 조사되고, 원기둥렌즈 및 검출기를 통해서 투영된 1차원 신호들을 실시간적으로 얻을 수 있다. 본 논문에서는 그림 2(a) 구성도를 토대로 광학적 1차원 투영시스템을 구성한 뒤 그림 2(b)패턴을 이용하여 구현된 시스템에서 수직투영된 결과를 그림2(c)에 나타내었다.

2.2 상관(Correlation)

이와 같이 투영된 1차원 신호들를 패턴인식에 적용하기 위하여 1차원 신호의 상관이론을 도입하였다. 상관은 레이더 신호처리와 통신이론 등에서 폭 넓게 사용되고 있으며, 또한 패턴인식을 위한 중요한 판별요소 중의 하나로 사용되고 있다. 식(2)은 두신호 f(t)와 g(t)의 상관을 정의하고 있다.

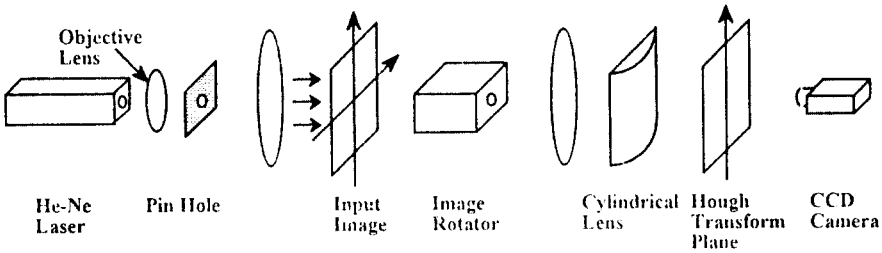
$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * g(t-\tau)dt \qquad (2)$$

그리고 1차원 상관의 구현을 위한 시스템으로 컴퓨터와 같은 디지탈 시스템을 이용할 수 있지만 패턴인식의 요구 면에서 AO(acousto-optic) 소자 등을 이용한 광학적 실시간 시스템의 도입이 필요하다.[8,10-12]

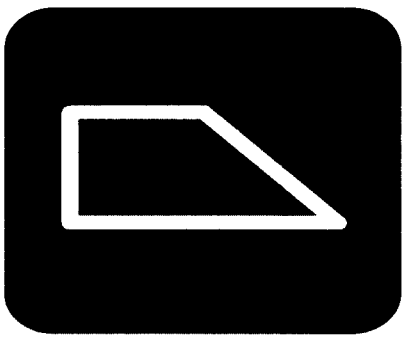
Ⅲ. 1차원 투영 상관에 의한 패턴인식

3.1 1차원 투영 상관 및 2차원 상관 투영

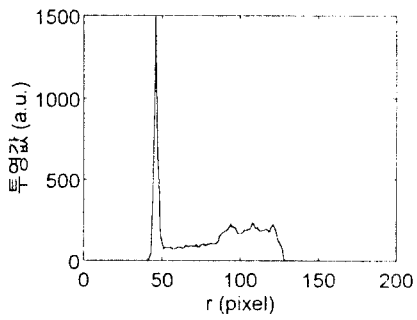
본 논문에서는 2차원 영상을 직접 처리하지 않고 투



(a) 광학적 1차원 투영 시스템의 구성도



(b) 시험패턴



(c) 광학적 수직투영 결과

그림 2. 광학적 1차원 투영을 위한 시스템 구성도 및 예
Fig. 2. System block diagram and example for 1-D optical projection

www.dbpia.co.kr

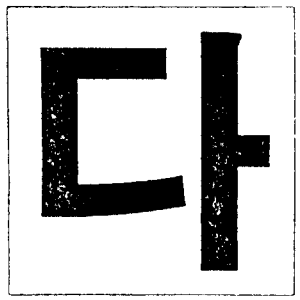
영을 통하여 1차원 신호로 변환한 후 상관을 취해서 패턴을 인식할 수 있는 시스템을 제시하려 한다. 이와 같은 패턴인식 알고리즘의 연구배경은 센트럴 슬라이스 정리[2]를 적용함으로써 1차원 투영 상관이 직접적인 2차원 상관 투영과 같다는 결과를 얻음으로써 설명될 수 있다. 결국 1차원 신호처리 만으로도 2차원 신호처리과정을 대신할 수 있음을 알 수 있다.

1차원 투영 상관과 2차원 상관 투영의 관계를 수식적으로 설명하면 다음과 같다. 두 2차원 패턴 f와 g에 대해서 임의의 각도로 투영된 결과를 각각 $p_f(r)$과 $p_g(r)$로 표시하고 이것들의 1차원 푸리에 변환을 $P_f(\rho)$와 $P_g(\rho)$로 표시하면, 각 θ에서 투영된 신호들의 1차원 상관은 식(3)과 같다.[8]

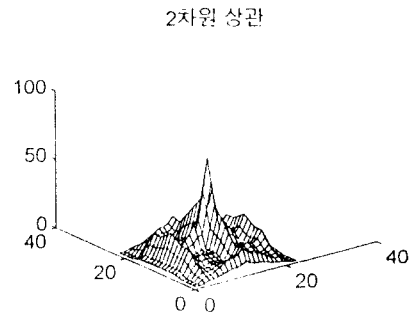
$$\begin{aligned} c_\theta(r) &= p_f(r) * p_g(r) \\ &= \int P_f(\rho) P_g^*(\rho) \exp(j2\pi\rho r) d\rho \\ &= \int C_{f,g}(\rho, \theta) \exp(j2\pi\rho r) d\rho \\ &= \iint c_{f,g}(x, y) \delta(r - x\cos\theta \\ &\quad - y\sin\theta) dx dy \end{aligned} \tag{3}$$

식(3)에서 두 번째 식은 두 투영결과의 푸리에 변환들을 곱하여 1차원 푸리에 변환한 수식으로 1차원 상관을 나타내고 있다. 세 번째 식은 1차원 상관이 센트럴 슬라이스 정리에 의해 2차원 상관패턴($c_{f,g}(x,y)$)의 푸리에 변환($C_{f,g}(\rho,\theta)$)을 각 θ에서 슬라이스(slice)한 것의 1차원 푸리에 변환과 같다는 것을 나타낸다. 그리고 식(3)에서 마지막 표현은 세번째 식을 2차원 상관함수 $c_{f,g}(x,y)$의 각 θ에서 1차원 투영으로 나타낸 것이다. 결국 첫 번째 수식인 1차원 투영 상관의 결과는 마지막 수식으로 표현된 2차원 상관평면에서의 투영과 같다는 것을 알 수 있다.

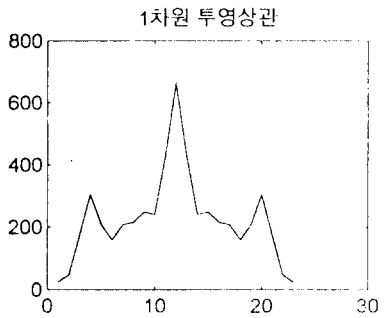
한 예로 문자 "다"를 사용하여 이와 같은 관계를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 입력패턴 "다"이고, 그림 3(b)는 "다"를 2차원 상관한 결과이며, 그림 3(c)는 입력패턴의 수직방향 1차원 투영신호를 자기상관한 것이다. 반면에 그림 3(d)는 그림 3(b)를 수직방향으로 1차원 투영한 것이다. 결국 그림 3(c)와 그림 3(d)로부터



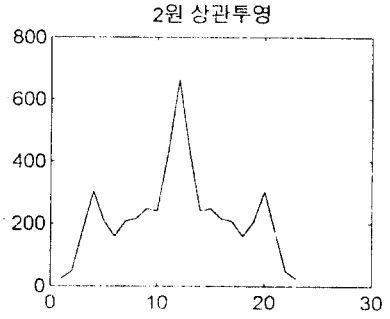
(a) 입력패턴



(b) 2차원 상관



(c) 1차원 투영상관



(d) 2차원 상관투영

그림 3. 1차원 투영상관과 2차원 상관 투영과의 관계
Fig. 3. Relation of 1-D projection-correlation and 2-D correlation-projection

www.dbpia.co.kr

2차원 패턴의 1차원 투영 상관결과는 2차원 상관신호의 투영결과와 서로 같음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 2차원 패턴의 투영을 통해서 얻은 1차원 신호만으로도 직접적으로 2차원 영상을 처리하지 않고도 충분히 신호처리가 가능함을 보인다.

3.2 불변이론

투영과정은 직선 검출특성이 있으며, 투영 방향에 따라 패턴의 직경 및 투영값 분포를 나타낼 수 있다. 특히 패턴의 투영방향에 따른 투영값 분포는 각 패턴의 고유한 분포특성을 나타냄으로 적당한 정규화 및 수식과정을 통해 불변특성을 얻을 수 있다.[6,13-17] 따라서 패턴의 이동, 크기변화에 대해 불변성 부여 및 상관을 위한 정규화 과정을 포함하는 수식적인 배경을 전개하였다.

3.2.1. 이동(Shift) 불변특성

입력 f(x,y)에 대한 투영결과 $p(r,\theta)$는 공간변환 임펄스 응답 Kernel함수로써 delta 함수를 가진 수식이다.

$$p(r,\theta)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\delta(x\cos\theta+y\sin\theta-p)dxdy \quad (4)$$

만약 입력 f(x,y)의 공간 좌표축이 x축으로 x_0, y축으로 y_0만큼 이동될 때 $p(r,\theta)$도 변할 것이다. 이동에 의해 변화된 투영 결과는 식(5)와 같다.

$$p'(r,\theta)=p(r-\sqrt{x_0^2+y_0^2}\cos\phi,\theta)$$
$$(\text{단}\quad \phi=\theta-\tan^{-1}\frac{y_0}{x_0}) \quad (5)$$

즉 x, y좌표 상에서 좌표축이 (x_0,y_0)로의 이동은 r축으로 $\sqrt{x_0^2+y_0^2}\cos\phi$만큼 이동할 뿐 투영된 신호의 패턴은 일정하다. 결국, 좌표축이 이동한 경우 r축을 따라서 상관을 취함으로써 불변한 특성을 부여할 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2. 크기변화(Scaling) 불변특성 및 상관을 위한 정규화

식(4)에 대하여 f(x,y)가 a만큼 확대되었을 때 투영결과는

$$p'(r,\theta)=\int\int_{-\infty}^{\infty} f(\frac{x}{a},\frac{y}{a})\delta(p-x\cos\theta - y\sin\theta)dxdy = a\,p(\frac{r}{a},\theta) \quad (6)$$

을 만족한다. 결국 f(x,y)의 a만큼 확대는 r축에서 f(x,y)의 투영 값들을 a배하고, r축으로 a배만큼 확대하는 결과를 나타낸다.

본 논문에서는 패턴의 크기변화에 불변인 특성을 부여하기 위해 패턴의 직경값으로 정규화를 취하였다. 즉 f(x,y)의 투영된 직경을 r 이라 할 때 크기변화에 불변성을 부여하기 위해 다음과 같이 정규화할 수 있다.

$$p(r,\theta) \Longrightarrow \frac{p(r\times\Delta r,\theta)}{\Delta r} \quad (7)$$

그리고 정규화된 투영결과의 전체 합을 S라 할 때, 상관을 위한 정규화수식은 다음과 같다.

$$\sqrt{\frac{p(r\times\Delta r,\theta)}{S\Delta r}} \quad (8)$$

f(x,y)를 a만큼 확대시킨 패턴 f'(x,y)에 대하여 투영직경을 $\Delta r'$라 할 때, $\Delta r'=\Delta r\times a$ 이다. 다시 식(6)의 $p'(r,\theta)$를 $\Delta r'$로 정규화 시키면

$$a\,p(\frac{r}{a},\theta) \Longrightarrow \frac{a\,p(\frac{r}{a}\times\Delta r',\theta)}{\Delta r'} = \frac{a\,p(\frac{r}{a}\times a\times\Delta r,\theta)}{a\,\Delta r} = \frac{p(r\times\Delta r,\theta)}{\Delta r} \quad (9)$$

가 되어, 확대요소 a에 무관한 수식을 얻을 수 있다. 즉 패턴의 크기변화에 대해 패턴의 직경값으로 정규화를 취해서 불변한 특성을 얻을 수 있고 정규화된 투영결과의 전체 합은 같으므로 상관에 필요한 결과식은 식(7)과 같은 형태로 표현될 수 있다.

3.2.2 패턴인식 알고리즘

본 논문에서 제안한 광/디지탈 1차원 투영상관 패턴인식 알고리즘은 그림 4와 같은 순서도로 나타낼 수 있다. 입력패턴에 대하여 원하는 투영방향에 대하여 1차원 투영을 한 뒤, 패턴의 직경으로 정규화를 취해서 크기변화의 불변성을 부여한다. 그리고 정규화된 투영신호의 합으로 정규화를 취해서 상관을 위한 신호로 사용한다. 마지막으로 이미 구성된 기준패턴들의 정규화된 투영신호들과 입력신호의 상관을 취한 뒤, 각 상관값들을 비교

www.dbpia.co.kr

하여 인식결과를 확인한다.

Ⅳ. 실험 및 결과분석

본 장에서는 전술한 패턴인식 알고리즘에 대하여 인식결과의 신뢰성을 위해 3가지 방향에 대한 1차원 투영상관을 취하였고, 3가지 방향에 대한 상관 최대값들의 합을 이용하여 패턴을 인식할 수 있음을 컴퓨터 모의실험으로 확인하였고, 모의실험에서 사용된 패턴들을 임의로 이동 및 크기변환시켜 광/디지탈 패턴인식 시스템에 적용한 인식결과도 확인하였다.

본 논문에서는 그림 5와 같은 9가지 도형패턴들을 기준 및 입력패턴으로 사용하였으며, 각 기준패턴들은 20×20의 영상평면에서 2진 화소로 구성된 패턴으로 가정하였다.

4.1 컴퓨터 모의실험

본 논문에서는 모든 패턴들에 대하여 수평, 수직 및 45도 방향에 대한 투영 결과를 사용하여 인식결과를 알아보았다. 그림 6에서는 패턴1과 패턴2에 대한 수직방향 투영 결과와 각 투영 결과를 정규화 시킨 뒤 상관을 취한 결과를 나타내었다. 인식결과는 상관 첨두치의 비교를 통해서 얻어지므로 항상 자기상관(autocorrelation)의 최대값이 상호상관(crosscorrelation) 최대값보다 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

그림 7에서는 패턴 4의 입력을 통한 기준패턴들의 투영상관 결과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 4번째 기준패턴에 대한 자기상관 결과가 나머지 상호상관 결과에 비해 큰 상관값을 나타내고 있다. 그리고 나머지 패턴들에 대해서도 충분한 인식결과를 얻을 수 있었다. 또한 패턴의 크기변화에 따른 인식결과를 확인하기 위해

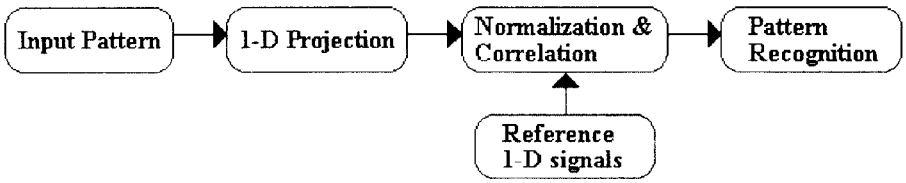


그림 4. 1차원 투영상관 패턴인식 순서도
Fig. 4. Flow chart of the proposed pattern recognition

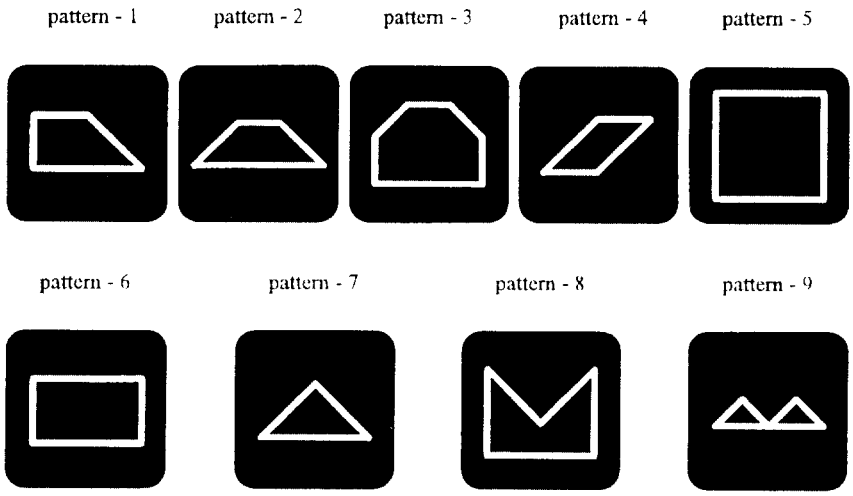


그림 5. 기준 및 입력패턴
Fig. 5. Reference patterns

www.dbpia.co.kr

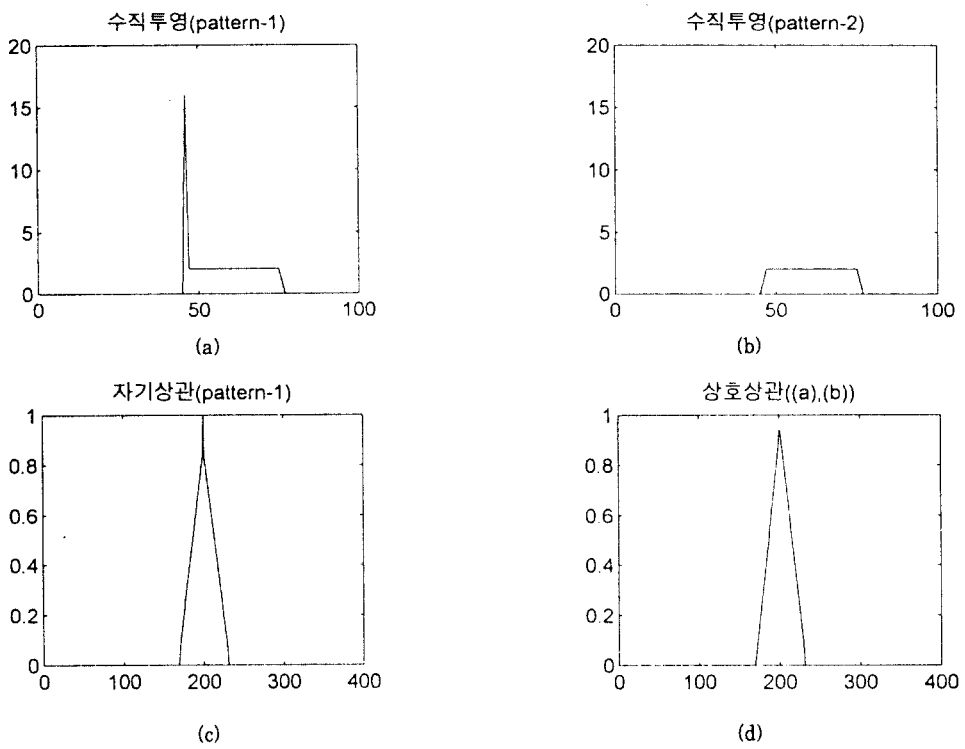


그림 6. 패턴1과 패턴2의 투영상관 비교
Fig. 6. Comparison the projection-correlation of the pattern-1 and the pattern-2

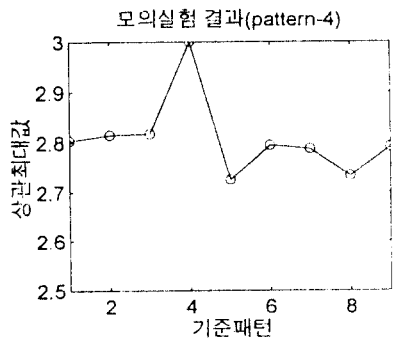


그림 7. 투영상관 패턴인식 모의실험 결과(패턴 4 입력)
Fig. 7. Projection-correlation pattern recognition using the pattern-4

기준패턴에 대해 0.5에서 3배의 패턴들을 이용한 모의실험을 수행하였으며, 기준패턴의 입력을 통한 인식결과와 같은 인식특성을 확인하였다. 특히 패턴의 이동에 대한 정보변화는 상관과정에서 불변성이 부여되므로 본 모의실험중 이동패턴에 대한 결과는 고려하지 않았다.

4.2 광/디지탈 실험

마지막으로 본 논문에서 제시한 광/디지탈 1차원 투영상관을 이용한 패턴인식 시스템을 구현한 뒤, 모의실험에서 사용된 패턴들을 사용하여 실험하였다. 본 논문에서는 입력패턴의 크기변환을 위해 그림 2의 시스템에서 입력패턴의 위치를 임의로 변화시키면서 투영결과를 얻었다.

그림 8에서는 9개의 기준패턴의 이동 및 크기변화된 입력패턴에 대하여 광/디지탈 1차원 투영상관 패턴인식 결과를 나타내었다. 특히 기준패턴에 대한 입력패턴의 크기변화량의 비를 a로 표시하여 나타내었다. 그리고 패턴의 이동에 대한 정보변화는 상관과정에서 불변성이 부여되므로 고려하지 않았다. 입력패턴들은 수평, 수직 및 45도 방향에 대한 투영상관 결과의 최대값 합을 통

www.dbpia.co.kr

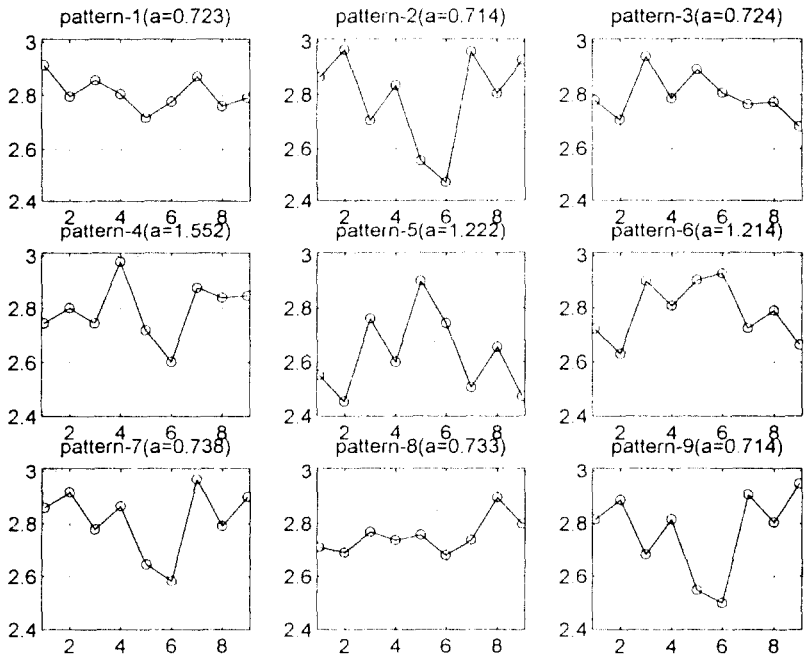


그림 8. 광/디지탈 실험결과
Fig. 8. Optical/digital experiment results

해서 인식결과를 판단하였으며, 결국 그림 8의 결과를 통해서 패턴의 이동 및 크기변화에도 불변한 인식이 이루어 졌음을 확인하였다. 그런데 몇몇 결과는 상호상관값이 자기상관값에 매우 근접한 결과를 나타내고 있어서 결과가 매우 불안함을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서는 2진 경계패턴을 사용하였고 상관수식의 특성상 더욱 복잡한 특성을 지닌 패턴에 대해서는 상호상관값에 비하여 자기상관값의 우월성이 훨씬 증가되므로, 전처리과정을 수행하지 않은 일반패턴에 적용할 경우에는 더욱 그 유용성이 확인될 것이다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 2차원 영상패턴에 대해 기존의 패턴인식 방식보다 고속으로 인식할 수 있으며, 패턴의 이동 및 크기변화에 불변한 인식이 가능한 광/디지탈 복합 패턴인식 시스템을 구현하였다. 제안한 패턴인식 시스템의 성능고찰을 위하여 9가지 도형패턴을 이용한 모의실험을 수행하였으며, 실제 구현된 광/디지탈 시스템에 의한 실험도 수행하였다. 결국 모의실험 및 광/디지탈 실험결과 주어진 패턴에 대하여 모두 정확한 인식결과를 얻었다.

본 논문에서 구현한 광학적 1차원 투영상관 패턴인식 시스템은 다음과 같은 특성을 가진다.

1) 2차원 신호처리 대신 1차원 신호처리가 수행되므로 메모리 요구 면에서 이점을 가지며, 신호처리가 간단하다.
2) 패턴의 이동 및 크기변화에도 불변한 인식이 가능하다.
3) 디지탈 처리 시스템에서 나타날 수 있는 처리 속도의 한계를 광학적 투영과 광학적 상관기를 적용한다면 실시간 처리가 가능하다.
4) 주어진 기준패턴에 따라 최적의 인식을 위해 투영방향 및 투영 갯수를 조절한다면 어떠한 입력패턴에 대해서도 충분한 인식이 가능할 것으로 보인다.

www.dbpia.co.kr

참고문헌

1. A. Vander Lugt, "Signal Detection by Complex Spatial Filtering," IEEE Trans. Inf. Theory, Vol.IT-10, pp.139-145, Apr. 1964.
2. T.Y.Young and King-Sun Fu, *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing*, Academic Press, Orlando, 1986.
3. J.L.Horner, *Optical signal processing*, *Academic Press*, New York, 1987.
4. T. S. Wilkinson, D.A. Pender, and J.W.Goodman, "Use of synthetic discriminant functions for handwritten-signature verification," Appl. Opt., Vol. 30, No. 23, pp.3345-3353, Aug. 1991.
5. K. Mersereau and G.M. Morris, " Scale, rotation, and shift invariant image recognition," Appl. Opt., Vol. 25, No. 14, pp.2338-2342, Jul. 1986.
6. D. Casasent and W.T. Chang, "Correlaton synthetic discriminant functions," Appl. Opt., Vol. 25, No.14, pp.2343-2350, Jul. 1986.
7. A. Mahalanobis, B.V.K.V. Kumar and D. Casasent, "Minimum average correlation energy filters," Appl. Opt., Vol.26, No.17, pp.3633-3640, Sep. 1987.
8. D. Casasent and J.H. Song, "Optical projection correlation," Appl. Opt., Vol. 27, No. 23, pp.4977-4984, Dec. 1988.
9. R. Kirshnapuram and D. Casasent, "Hough transform projections and slices for object discrimination and distortion estimation," Appl. Opt., Vol. 27, No. 16, pp.3451-3460, Aug. 1988.
10. William T. Rhodes, "Acousto-Optic Signal Processing : Convolution and Correlation," Proc. IEEE, Vol. 69, No. 1, pp.65-78, Jan. 1981.
11. K.T. Kim, "A Study on Signal Detections of Optical Signal Correlator Using AOD/CCD", Ph.D.Dissertation Yonsei Uinv., 1987.2.
12. Adrianus Korpel, "Acousto-Optics - A Review of Fundamemtals," Proc. IEEE, Vol. 69, No. 1, pp. 48-53, Jan. 1981.
13. H. Huh, J.B. Sim, and J.K. Pan, "A Study on Pattern Recognition Using 1-D Projection Correlation," Proc. of KITE Fall Conference '92, Vol. 15, No. 2, pp.525-527, 1992.
14. K. Mersereau and G. M. Morris, "Scale, rotation, and shift invariant image recognition," *Appl.Opt.*, Vol.25, No.14, pp.2338-2342, July 1986.
15. M. Fang and G. Hausler, "Class of transforms invariant under shift, rotation,and scaling," Appl. Opt., Vol. 29, No. 5, pp.704-708, Feb. 1990.
16. H. C. Schau, "Shape recognition with scale and rotation invariance," Opt. Eng., Vol. 31, No. 2, pp.268-274, Feb. 1992.
17. R. Krishnapuram and D. Casasent, "Hough Space Transformations for Discrimination and Distortion Estimation," Computer vision, Graphics, and Image Processing, vol. 38, pp.299-316, 1987.

www.dbpia.co.kr

許 賢(Hyun Huh) 준회원

1967년생
1992년 2월 : 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1994년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1994년~현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 박사과정
※주관심 분야 : 광정보처리, 신경회로망, 광도파소자 해석 등임

沈載奉(Jae Bong Sim) 준회원

1969년생
1992년 2월 : 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1994년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
※주관심 분야 : 광정보처리, 광소자 등임

金熙周(Hee Ju Kim) 준회원

1971년생
1993년 2월 : 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1995년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1995년~현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 박사과정
※주관심 분야 : 광정보처리, 광연결 및 광소자 등임

潘在景(Jae Kyung Pan) 정회원

1956년생
1980년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1987년 8월 : 동 대학원 전자공학과 박사학위 취득
1991년~1992년 : 미국 Ohio 주립대학(Post Doc.)
1987년 5월~현재 : 전북대학교 전기·전자 제어공학부 부교수
※주관심 분야 : 광정보처리, 광교환 및 광소자 등임

www.dbpia.co.kr