

라돈변환을 통한 광 패턴인식에 관한 연구

(A Study on an Optical Pattern Recognition Via the Radon Transform)

潘 在 景*, 金 男**, 朴 漢 奎**

(Jae Kyung Pan, Nam Kim and Han Kyu Park)

要 約

본 논문에서는 라돈변환을 이용한 새로운 패턴인식 시스템을 제안하고, 실험장치를 설계 제작하여 주어진 입력패턴에 대한 시스템의 성능을 나타내었다. 제안한 패턴인식 시스템은 광의 고속성을 유지하기 위하여 시스템의 주요부분을 광학적으로 처리하고, 광학처리의 단점인 융통성의 결핍문제를 감소시키기 위하여 2 차원 영상신호를 1 차원 신호로 라돈변환 하여 용이하게 처리하였다. 주어진 입력패턴에 대하여 제곱 Mahalanobis 거리를 구하여 판별한 결과, 동일한 입력패턴을 사용한 타 시스템과 비교하여 좋은 인식율을 나타내었다.

Abstract

This paper proposes a new pattern recognition system using Radon transform and analyzes the performances of the system for given input patterns. The proposed system uses many optical parts in order to utilize the high speed characteristic of light and processes a signal easily by transforming 2-D image into a 1-D signal to increase flexibility.

The squared Mahalanobis distance obtained from means and standard deviations of the features for the given input patterns is used for discrimination. As a result, this system represents a better recognition rate than any other systems using the same input patterns.

I. 서 론

패턴인식은 주어진 데이터와 추출된 특징으로부터 원하는 목적물이나 신호의 존재를 확인(identification), 분류(classification) 하는 분야로써 미사일 유도, 전자전(electronic warfare) 등 군사적 분야와 로봇트 시스템, 자동 생산검사 시스템등 산업적인 분야에 그 응용

범위가 날로 확대되고 있으며, 특히 인간의 시각기능을 구현하는 의미에서 더욱 그 의의를 찾을 수 있다.

패턴인식에 대한 연구는 디지털 컴퓨터를 이용한 디지털 처리(digital processing)와 광학 시스템을 이용한 광학적 처리(optical processing)가 독립적으로 이루어져 왔으나, 두 처리방식의 장점을 취한 광-디지털 복합처리(hybrid processing) 시스템이 요구되며 디지털 처리방식의 복잡한 알고리즘등을 사용할 수 있으므로 광학적 처리방식의 융통성을 증가시킬 수 있다.

광 패턴인식에 대한 연구는 1964년 Vander Lugt가 코히어런트(coherent) 광원을 이용하여 광진폭과 위상 정보를 동시에 기록한 공간정합필터(MSF) 제작방식을 제시함으로써 시작되어 여러가지 방법으로 연구되어 왔지만 근래에 새로운 패턴인식의 접근 방법으로서

*正會員, 全北大學校 電氣工學科
(Dept. of Electrical Eng., Jeonpook Nat'l Univ.)

**正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. Elec. Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1987年 7月 31日

(※ 본 연구는 1986년도 산학협동재단의 연구비 지원에 의해 이루어짐.)

광학적으로 모우먼트 집합을 구하여 디지털 영상처리 알고리즘에 의해 해석하는 방법,¹²⁾ 1984년 Minemoto 등이 제안한 대상패턴 자체와 Fraunhofer 회절 패턴으로부터 광학 및 디지털적으로 특징을 추출하는 방법^{13,14)} 과 같은 해에 Gindi 등이 제안한 라돈변환(Radon transform)을 이용하여 광학적으로 특징을 추출할 수 있는 방법¹⁵⁾들이 있다.

본 논문에서는 위의 방법에 근거하여 입력패턴의 각도에 따른 퓨리에 스펙트럼과 모멘트로부터 특징벡터를 정의한 후, 이러한 특징벡터를 추출하기 위한 패턴인식 시스템을 제안하고 주어진 입력패턴에 대한 실험을 통하여 시스템의 성능을 나타낸다.

제안한 패턴인식 시스템은 2차원 영상신호를 1차원 신호로 바꾸는 라돈변환기능, 투영된 1차원 신호를 광학적으로 퓨리에 변환하는 기능, 라돈변환된 신호와 퓨리에 변환된 신호를 컴퓨터에 입력하여 특징을 추출하는 기능으로 나눌 수 있다. 시간적분 광신호 상관기와 chirp 알고리즘¹⁶⁾을 이용하여 AOD(acousto-optic device)와 CCD(charge coupled device)로 구성된 광학적 퓨리에 변환기는 입력패턴의 주파수 대역폭에 따라 CCD의 적분시간을 조정하여 주파수 분해능과 대역폭을 조정 가능하도록 하여 광학적 신호처리의 단점인 융통성의 결핍문제를 감소시키도록 하였다.

II. 라돈변환 및 센트럴 슬라이스 정리

2차원 함수를 투영한 라돈변환은 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda(x', \phi) = \int f(\mathbf{r}) \delta(x' - \mathbf{r} \cdot \hat{n}) d^2\mathbf{r} \quad (1)$$

여기에서 $\mathbf{r} = (x, y)$ 은 대상영역에서 2차원 위치벡터이고 $f(\mathbf{r})$ 은 대상을 나타내며, \hat{n} 은 그림 1에서 나타낸 x축에 관한 각도 ϕ 를 이루는 단위벡터이다.

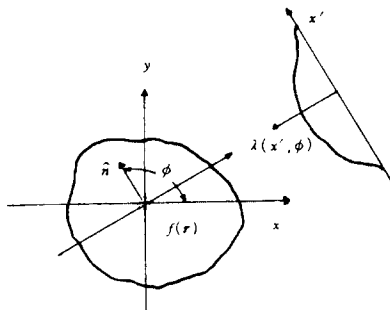


그림 1. 라돈 변환의 기하학적 구조
Fig. 1. Geometry for the Radon Transform.

x'축에 함수 $f(x, y)$ 를 투영하는 라돈변환을 고려하면, 식(1)을 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 x'은 x축으로부터 각도 ϕ 만큼 회전된 축이다.

$$\lambda(x', \phi) = \int f(x, y) dy' \quad (2)$$

여기에서

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3)$$

은 각도 ϕ 만큼 회전된 좌표계이다

이러한 라돈변환된 신호를 구하기 위한 시스템은 영상화선기, 원기둥 렌즈, 1차원 광검출기 어레이로 구성된다. 투영한 완전한 데이터 집합은 각각의 적당한 투영각도에 대해서 순차적으로 회전시키면서 광검출기 어레이로 데이터를 구할 수 있고, 또한 영상화선기를 이용하여 입력영상을 180° 회전함으로써 전체의 데이터 집합을 측정할 수 있으며, 이러한 투영 데이터가 특징 추출 시스템의 입력으로 작용한다.

함수 $f(x, y)$ 를 투영한 1차원 퓨리에 변환은 $f(x, y)$ 의 2차원 퓨리에 변환과 관련된다. $F(u, v)$ 를 영상 $f(x, y)$ 의 퓨리에 변환이라 하면

$$F(u, v) = \iint f(x, y) \exp \{-j2\pi(ux + vy)\} dx dy \quad (4)$$

로 표현되며, 여기에서 u, v 는 각각 x, y 에 해당하는 공간주파수이다. 또한 $F(w, \phi)$ 가 그림 2에서 보인 u축에 대한 각도 ϕ 인 선을 따른 $F(u, v)$ 값을 나타내고, $Y'(w, \phi)$ 가 투영된 값 $\lambda(x', \phi)$ 의 퓨리에 변환이라하면

$$F(w, \phi) = Y'(w, \phi) \quad (5)$$

가 된다.

이때 식(5)를 센트럴 슬라이스 정리(central slice theorem) 또는 퓨리에 슬라이스 정리(fourier slice theorem)라 한다. 식(5)로부터 각도 $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_k$ 로 영상을 투영한 후 각각의 투영값을 퓨리에 변환함으로써 방사방향의 $F(u, v)$ 값을 결정할 수 있다. 무한개의 투영을 했다면 $F(u, v)$ 는 uv -평면의 모든 점에서 알 수 있고, $F(u, v)$ 를 안다면 영상 $f(x, y)$ 는 역

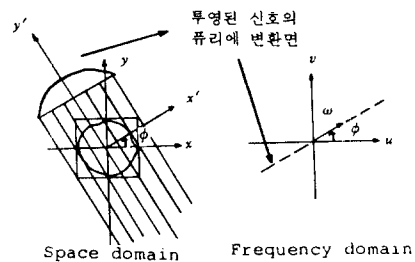


그림 2. 센트럴 슬라이스 정리
Fig. 2. Central Slice Theorem.

푸리에 변환을 이용하여 구할 수 있다.

본 논문에서는 2차원 영상을 여러 각도에서 투영하여 시간적 영역의 1차원 신호로 만든 후, 1차원 신호를 광학적 푸리에 변환기를 이용하여 푸리에 변환한다. 센트럴 슬라이스 정리를 이용하여 이러한 투영각도에 따른 푸리에 변환된 신호의 집합으로 주어진 2차원 영상의 푸리에 스펙트럼을 구하여 패턴인식 시스템의 특징벡터를 추출한다.

III. 특징벡터 정의

1. 푸리에 스펙트럼의 특징

그림3의 광학 시스템에서 푸리에 변환면의 광의 강도를 측정할 수 있다면 sector 뒤에 있는 광검출기에 입사하는 광의 강도는 다음과 같다.

$$I(\theta) = \int_{\theta_1}^{\theta_1+\Delta\theta} \int_{r_1}^{r_2} |G(r, \theta)|^2 r dr d\theta \quad (6)$$

여기에서 r 과 θ 는 푸리에 변환면에서의 극좌표이며, r_1 과 r_2 는 각각 sector의 안쪽과 바깥쪽의 반지름이며, $\Delta\theta$ 는 sector의 개구각이다. 광검출기로부터의 출력신호는 주기 2π 인 θ 의 주기함수이다.

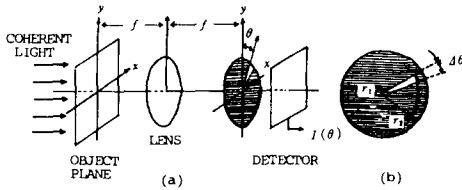


그림 3. 아날로그 영상처리를 위한 기본적 광학시스템 (a) 광학 시스템 (b) Sector의 구성

Fig. 3. Basic optical System for Analog Image Processing.

- (a) Optical System
- (b) Configuration of Sector.

광검출기의 출력신호에 비례하고 입력영상의 변위와 회전엔 무관한 새로운 함수 $J(\theta)$ 를 $I(\theta)$ 로부터 구할 수 있는데 θ 축에서 기준점 $I(\theta)$ 가 최대값을 가지는 θ_m 으로 하고, θ 좌표는 θ_m 으로부터의 각도라면 함수 $J(\theta)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$J(\theta) = C I(\theta - \theta_m) \quad (7)$$

여기에서 C 는 비례상수이다.

본 논문에서는 변위 및 회전불변 특성을 가진 함수 $J(\theta)$ 로부터 다음 6가지 특징을 정의한다.

첫번째 특징 α_1 은 함수 $J(\theta)$ 한 주기 내에서의 첨두치 갯수로 정의하고, 두번째 특징 α_2 는 최대치와 뒤이어 나오는 첨두치 사이의 각도로 정의한다.

$$\alpha_2 = \theta_2 \quad (8)$$

여기에서 θ_2 는 최대치 다음 첨두치가 나타나는 θ 값이다.

세번째 특징 α_3 는 다음과 같은 비로 정의한다.

$$\alpha_3 = \frac{\int_{-\pi/4}^{3\pi/4} J(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi/4} J(\theta) d\theta + \int_{3/4}^{\pi} J(\theta) d\theta} \quad (9)$$

네번째 특징 α_4 는

$$\alpha_4 = \frac{J(0)}{\int_0^{\pi} J(\theta) d\theta} \quad (10)$$

다섯번째 특징 α_5 는

$$\alpha_5 = \frac{J(0)}{J^2(0) + J^2(\pi/4) + J^2(\pi/2) + J^2(3\pi/4)} \quad (11)$$

이고, 여섯번째 특징 α_6 은

$$\alpha_6 = \frac{J(0) - J(\theta)_{\min}}{J(0) + J(\theta)_{\min}} \quad (12)$$

로 정의한다. 여기에서 $J(\theta)_{\min}$ 은 $J(\theta)$ 의 최소값이다.

2. 불변 모우먼트의 특징

2차원 영상을 각도에 따라 라돈변환된 투영 데이터로부터 변위, 회전 및 기하학적 크기에 불변인 모우먼트를 구할 수 있다. 불변 모우먼트(invariant moment) $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 은 기하학적 영상모우먼트 m_{pq} 의 다항식의 조합으로 나타난다.

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (13)$$

불변 모우먼트 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 은 10개의 기하학적 모우먼트에 관계하므로 이를 투영 데이터로부터 구할 수 있다면 쉽게 불변 모우먼트를 구할 수 있다.

$\lambda(x', \phi)$ 의 n 차 모우먼트 m_n^ϕ 는 다음과 같다.

$$m_n^\phi = \int x'^n \lambda(x', \phi) dx' = \iint x'^n f(x, y) dx' dy' \quad (14)$$

식(3)과 식(14)로부터

$$m_n^\phi = \iint (x \cos\phi + y \sin\phi)^n f(x-y) dx dy = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \cos^{n-i}\phi \sin^i\phi m_{n-i, i} \quad (15)$$

식(15)는 모우먼트 m_{pq} 와 투영 데이터로부터 구한 모우먼트 m_n^ϕ 의 관계를 나타내며 다음과 같이 m_{pq} 를 구할 수 있다.

$$m_{00} = m_0^\phi \quad (\text{임의의 } \phi \text{에 대하여}) \quad (16a)$$

$$m_{j0} = m_j^0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots) \quad (16b)$$

$$m_{0j} = m_j^{\pi/2} \quad (j = 1, 2, 3, \dots) \quad (16c)$$

$$m_{11} = m_2^{\pi/4} - \frac{1}{2}(m_2^0 + m_2^{\pi/2}) \quad (16d)$$

$$m_{21} = \frac{1}{3} [\sqrt{2}(m_3^{\pi/4} + m_3^{\pi/4}) - m_3^{\pi/2}] \quad (16e)$$

$$m_{12} = \frac{1}{3} [\sqrt{2} (m_3^{\pi/4} - m_3^{3\pi/4}) - m_3^0] \quad (16f)$$

본 논문에서 필요한 모우먼트 m_{pq} 를 구하기 위해서는 단만 $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 의 4개의 투영각도에서 영상을 투영하여 라돈변환된 신호를 구하면 된다.

변위불변 성질을 가진 중심 모우먼트 (central moment)는 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_{pq} = \iint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (17)$$

여기에서 $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 이다.

중심 모우먼트로부터 변위 및 회전 에 대한 불변 모우먼트는 다음과 같이 주어진다.

$$\phi(1) = \mu_{20} + \mu_{02} \quad (18a)$$

$$\phi(2) = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \quad (18b)$$

$$\phi(3) = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2 \quad (18c)$$

$$\phi(4) = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \quad (18d)$$

$$\phi(5) = (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) [3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \quad (18e)$$

$$\phi(6) = (\mu_{20} - \mu_{02}) [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \quad (18f)$$

$$\phi(7) = (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12}) [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] - (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \quad (18g)$$

함수 $\phi(1), \phi(2), \dots, \phi(7)$ 은 다음과 같은 정규화된 중심 모우먼트 η_{pq} 를 대입함으로써 크기 변화에 불변인 불변 모우먼트 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 을 구할 수 있다.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^p} \quad (19)$$

여기에서 $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$ 이다.

본 논문에서는 푸리에 스펙트럼으로부터 정의한 특징 외의 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 의 불변 모우먼트 값을 특징으로 채택하며, 각각을 $\alpha_7, \alpha_8, \dots, \alpha_{13}$ 의 특징벡터로 정의한다.

IV. 시스템 구성 및 실험결과

앞에서 정의한 특징벡터를 구하기 위해서는 주어진 입력패턴에 대하여 각도에 따라 2차원 영상을 1차원 신호로 변환, 즉 라돈변환된 신호와 이 신호의 푸리에 변환된 신호가 필요하다. 이러한 신호를 구하기 위하여 제안한 패턴인식 시스템의 계통도는 그림 4와 같다.

그림 4에서 나타난 바와 같이 제안한 패턴인식 시스템은 광학적 처리부분과 디지털 처리부분으로 분류할 수 있다. 광학적 처리부분은 레이저 광을 입력패턴에 조사하고, 영상회전기를 이용하여 입력패턴을 회전시

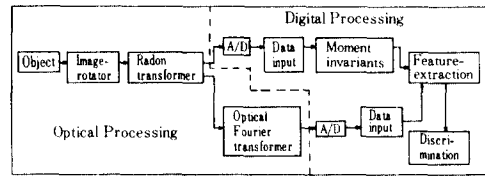


그림 4. 제안한 패턴인식 시스템의 계통도
Fig. 4. Schematic Diagram of the proposed Pattern Recognition System.

키면서 2차원 영상을 1차원 신호로 투영하여 라돈변환된 신호를 구하는 부분과 라돈변환된 신호의 광학적 푸리에 변환부분으로 구분된다.

디지털 처리부분은 라돈변환된 신호와 푸리에 변환된 신호를 컴퓨터에 입력시켜, 간단한 계산과정을 거쳐 특징벡터를 구한 후, 판별함수를 이용하여 입력패턴의 종류를 판별하게 된다.

본 논문에서 제안한 패턴인식 시스템의 성능을 확인하기 위하여 1984년 Minemoto 등이 제안한 시스템¹⁾에서 사용한 그림 5와 같은 입력패턴을 선정하고 두 시스템을 동일한 입력패턴에 대하여 성능을 비교하였으며, 실험장치 구성도는 그림 6에 나타내었다.

그림 6의 시스템에서 광원은 파장이 $0.6328\mu m$ 이고 실제출력이 15mW인 He-Ne 레이저를 사용하였으며, 레이저 빔은 50:50 광분할기 (BS2)를 거쳐 양분된 후 평행빔 (collimated beam)으로 되어 투과된 광은 원기둥 렌즈에 의하여 1차원 photo-diode 어레이에 집중되어, 즉 2차원 영상을 투영하여 1차원 신호로 변환함으로써 시간적인 1차원 신호로 되는데, 이 신호가 라돈변환된 신호이다.

영상회전기를 1° 씩 회전시키면서 각각의 회전각도에서 라돈변환된 신호는 AOD와 CCD등으로 구성된 광학적 푸리에 변환기의 입력이 되고, 특정 회전각도 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 에서는 불변 모우먼트의 특징벡터를 추출하기 위하여 라돈변환된 신호 자체가 컴퓨터에 입력된다.

한편 BS2에 의해서 반사된 광은 광학적 푸리에 변

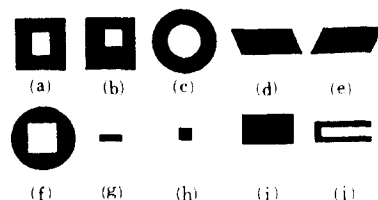


그림 5. 실험용 입력패턴
Fig. 5. Input Patterns for Experiment.

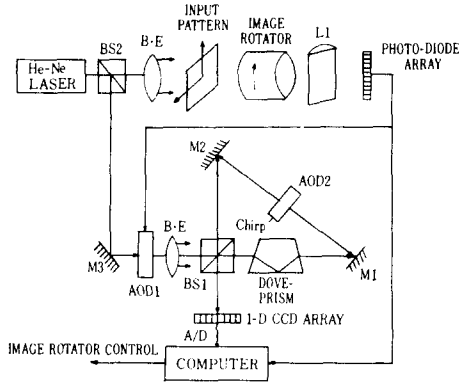


그림 6. 제안한 패턴인식 시스템의 구성도
 Fig. 6. Configuration of the Proposed Pattern Recognition System.

환기의 AOD1에 입사되어 라돈변환된 신호의 크기에 따라 강도변조(intensity modulation)된다. 강도변조된 신호는 50 : 50 광 분할기(BS1)에 의해서 양분되어 투과된 빔은 dove 프리즘에 의해서 상이 반전되어 진행하고, 반사된 빔은 반대방향으로 진행하여 chirp 신호로 구동되는 AOD2에서 만나 광-음향 상호작용을 일으켜 회절된다. 각각의 +1 차 회절광은 시계방향과 반시계방향으로 진행하여 BS1에 의해서 CCD면에서 간섭현상을 일으켜 라돈변환된 신호의 퓨리에 변환된 신호를 검출한다.¹⁷⁾ 여기서 광-음향 소자인 AOD1과 AOD2는 ISOMET사의 I206-C와 OPT-1이다.

컴퓨터에서는 영상회전기를 구동하는 펄스를 내보내고, 라돈변환된 신호와 퓨리에 변환된 신호를 입력하여 각 입력패턴에 대한 특징벡터를 추출한다. 추출된 특징벡터를 이용하여 판별함수를 구하여 입력패턴 종류를 판별한다. 이러한 패턴인식 시스템을 기능별로 다음과 같이 나눌 수 있다.

- i) 입력패턴의 회전 및 라돈변환 기능
- ii) 라돈변환된 신호의 광학적 퓨리에 변환기능
- iii) 라돈변환된 신호와 퓨리에 변환된 신호의 데이터 입력 및 특징추출 기능

그림5의 실험용 입력패턴중 2개의 입력패턴에 대하여 각 투영각도에서 투영하여 구한 라돈변환된 신호는 그림7과 같고, 이를 photo-diode 어레이로 받아서 주기적으로 시간적인 영역에 나타난 1차원 신호는 사진1에 나타내었다. 그림7의 (a), (b), (c), (d)는 각각 사진1의 (a), (b), (c), (d)에 해당한다.

사진1의 라돈변환된 신호를 AOD와 CCD를 이용하여 구성된 광학적 퓨리에 변환기의 입력으로 인가하면 각각의 퓨리에 변환된 신호는 사진2와 같다. 사진2

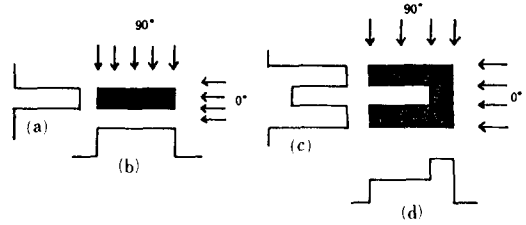
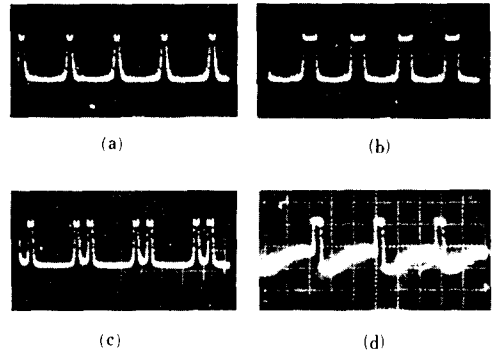
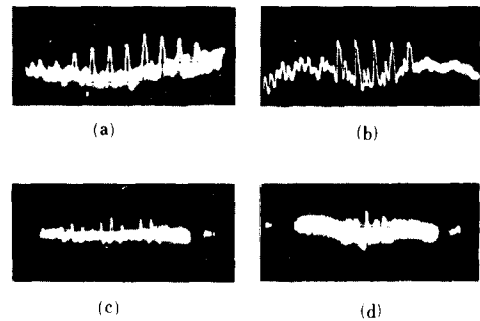


그림 7. 대표적 입력패턴에 대한 라돈 변환된 신호
 Fig. 7. Radon Transform Signal for the Representative Input Patterns.



사 진 1. 시간적인 영역의 라돈 변환된 신호
 Photo 1. Radon Transform Signal In Time Domain.



사 진 2. 사진1의 퓨리에 변환된 신호
 Photo 2. Fourier Transform Signal of Photo 1.

의 (a), (b), (c), (d)는 각각 사진1의 (a), (b), (c), (d)에 대한 퓨리에 변환된 신호이다. 사진2와 같은 신호를 영상회전기의 회전각도에 따라 컴퓨터에 입력하여 입력패턴의 각도에 따른 퓨리에 스펙트럼을 구하여¹¹⁾ 특징벡터를 추출한다. 또한 입력패턴을 0°, 45°, 90°, 135°의 회전각도에서 투영하여 구한 라돈변환된 신호를 직접 컴퓨터에 입력하여 불변모멘트의 특징벡터를 구한다.

표 1. 입력패턴에 대한 제곱 Mahalanobis 거리
Table 1. Squared Mahalanobis Distance for Input Patterns.

| 패턴종류 입력패턴 | □ | ■ | ○ | ▬ | ▮ | ◎ | - | . | ■ | ≡ |
|--------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|--------|
| □ | 9.26 | 125.01 | 2E+20 | 3328.17 | 5991.04 | 575.56 | 31655.9 | 110811 | 23380 | 3E+17 |
| ■ | 10.51 | 3.78 | 5E+19 | 3028.745 | 5841.91 | 783.67 | 30896.6 | 139776 | 14159 | 5E+19 |
| ○ | 4E+15 | 3E+16 | 4.60 | 9028.37 | 12018 | 1244.31 | 18199.5 | 62971 | 2E+18 | 5E+19 |
| ▬ | 5E+19 | 5E+19 | 2E+20 | 13.61 | 99.44 | 31399.7 | 10461.5 | 36910.7 | 78453 | 5E+19 |
| ▮ | 30733 | 113289 | 2E+20 | 40.78 | 3.66 | 26463.08 | 10069.6 | 35702.6 | 12815.8 | 1435.8 |
| ◎ | 1265.7 | 11365.86 | 37864 | 8967.6 | 9745.33 | 1.675 | 12674.8 | 86754.6 | 457660 | 5E+19 |
| - | 34987.6 | 5E+17 | 5E+19 | 3E+11 | 3.4E+13 | 32167.1 | 8.768 | 148.2 | 5.1E+14 | 4E+17 |
| . | 2.4E+19 | 2.1E+20 | 4.2E+15 | 2.3E+14 | 2.7E+14 | 4.1E+16 | 225.2 | 6.97 | 2E+20 | 45789 |
| ■ | 10017.3 | 30256.8 | 3.1E+19 | 1666.8 | 2506.7 | 10532 | 12195.55 | 42936.4 | 14.4 | 45367 |
| ≡ | 4.7E+19 | 3.7E+13 | 4.7E+19 | 108255 | 137382 | 3.07E+07 | 2701.8 | 9879.13 | 6E+18 | 1.92 |

주어진 10개의 입력패턴에 대하여 각각 20번의 실험을 한 결과 구한 특징벡터의 평균값 및 표준편차를 입력패턴중 임의로 선택하여 제곱 Mahalanobis 거리 (squared mahalanobis distance)⁸⁾를 구하면 표1과 같다. 표1에서 선택한 입력패턴과 각각 비교한 제곱 Mahalanobis 거리중 가장 작은 거리를 나타내는 대각선 방향의 패턴에 해당한다고 판별한다. 이와같이 각각의 입력패턴에 대하여 20번의 실험결과 거의 잘못된 판별을 나타내지 않는 좋은 성능을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서 제안한 패턴인식 시스템은 영상회전기, 라돈 변환기, 광학적 퓨리에 변환기와 컴퓨터 프로그램에 의한 시스템 제어 및 데이터 입출력 장치로 구성되었으며, 본 시스템의 특성은 광학처리 방식이 가지는 고속성의 특성을 유지하기 위하여 시스템의 주요부분을 광학적으로 처리하고 광학적 처리의 단점인 융통성의 결핍문제를 감소시키기 위하여 2차원 영상 신호를 1차원 신호로 바꾸어 처리를 용이하게 한다는 것이다.

본 시스템에서 사용한 특징벡터는 13개의 특징으로 정의하고, 10개의 입력패턴을 선정하여 시스템의 성능 실험에 사용한 결과 동일한 입력패턴을 사용한 타 시스템에 비하여 좋은 인식율을 보였다.

본 논문에서 구성한 광학적 퓨리에 변환기는 CCD의 적분시간과 chirp 신호의 기울기를 조정함으로써 입력 신호의 주파수 대역폭 및 분해능을 선택할 수 있으므로 융통성을 증가시켰고, 시간적인 영역의 1차원 신

호의 퓨리에 변환이 요구되는 시스템에 적용될 수 있을 것이며, 집적광학(integrated optics)을 이용하면 보다 간결하고 안정된 시스템을 구성할 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] A. Vander Lugt, "Signal detection by complex spatial filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp. 139-145, Apr. 1964.
- [2] J.A. Blodgett et al., "Multiplexed coherent optical processor for calculating generalized moments," *Opt. Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 7-9, Jan. 1982.
- [3] T. Minemoto et al., "Hybrid pattern recognition using the Fraunhofer diffraction pattern," *Opt. Comm.*, vol. 51, no. 4, pp. 221-226, Sep. 1984.
- [4] T. Minemoto and J. Narano, "Hybrid pattern recognition by features extracted from object patterns and Fraunhofer diffraction patterns," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 18, pp. 2914-2920, Sep. 1985.
- [5] G.R. Gindi and A.F. Gmitro, "Optical feature extraction via the Radon transform", *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 5, pp. 499-506, Sep./Oct. 1984.
- [6] L.R. Rabiner et al., "The chirp z-transform algorithm and its application," *Bell System Technical System*, pp. 1249-1292, May-June 1969.

- [7] 반재경, 이승엽, 홍완희, 박한규, "AOD와 CCD를 이용한 광학적 퓨리에 스펙트럼 특징추출." 대한전자공학회 마이크로파 및 전파전파·광파 및 양자전자공학연구회 합동학술 발표회논문집, 제10권, 제1호, pp. 17-19, 5월 1987년
- [8] R.O. Duda and P.E. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1973.
- [9] A.J. Ticknor et al., "Two-dimensional Radon-Fourier transformer," *Opt. Eng.*, vol. 24, no. 1, pp. 82-85, Jan./Feb. 1985.
- [10] S.C. Lin, "Compact acousto-optical signal processor for real-time Fourier transformation," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 18, pp. 3227-3229.
- [11] J.K. Pan, N. Kim, and H.K. Park, "Fourier spectrum of 2-D image at each projection angle using Radon transform," *IEEE TENCON 87* to be submitted 1987.