

그림1. 라돈 변환의 기하학적 구조

비례하고 입력영상의 변위와 회전엔 무관한 새로운 함수 $J(\theta)$ 를 $I(\theta)$ 로부터 구할 수 있다.

$$J(\theta) = C I(\theta - \theta_m) \quad (5)$$

여기에서 C는 비례상수이며, θ_m 은 $I(\theta)$ 가 최대치를 가지는 θ 값이다.

본 논문에서는 변위 및 회전 불변 특성을 가진 함수 $J(\theta)$ 로부터 다음 6가지 특징을 추출한다.

첫 번째 특징 a_1 은 함수 $J(\theta)$ 한 주기 내에서의 첨두치 개수로 정의하고, 두 번째 특징 a_2 는 최대치와 뒤이어나오는 첨두치 사이의 각도로 정의한다.

$$a_1 = \theta_1 \quad (6)$$

여기에서 θ_1 는 최대치 다음 첨두치가 나타나는 θ 값이다.

세 번째 특징 a_3 은 다음과 같은 비로 정의한다.

$$a_3 = \frac{\int_{\theta_1}^{2\pi/\theta_1} J(\theta) d\theta}{\left[\int_0^{2\pi/\theta_1} J(\theta) d\theta + \int_{2\pi/\theta_1}^{\pi} J(\theta) d\theta \right]} \quad (7)$$

네 번째 특징 a_4 는

$$a_4 = \pi J(\theta) / \left[\int_0^{\pi} J(\theta) d\theta \right] \quad (8)$$

다섯 번째 특징 a_5 는

$$a_5 = J(\theta) / \left[J^2(\theta) + J^2(\pi/4) + J^2(\pi/2) + J^2(3\pi/4) \right]^{1/2} \quad (9)$$

이고, 여섯 번째 특징 a_6 은

$$a_6 = [J(\theta) - J(\theta)_{min}] / [J(\theta) + J(\theta)_{min}] \quad (10)$$

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

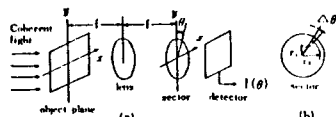


그림2. 아날로그 영상처리를 위한 기본적 광학 시스템
(a) 광학 시스템 (b) sector의 구성

불변 모멘트로부터의 특징 벡터는 두영 데이터로부터 변위, 회전 및 기하학적 크기에 불변인 모멘트로 정의한다.

불변 모멘트 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 은 기하학적 영상모멘트 m_{pq} 의 다항식의 조합으로 나타낸다.

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (11)$$

기하학적 모멘트와 두영 데이터의 관계를 나타내기 위하여 먼저 y축과 각도 θ 를 이루는 중심축에 관해서 $f(x, y)$ 의 n차 모멘트를 계산한다.

$\lambda(x', \theta')$ 의 n차 모멘트 m_n^{λ} 는 다음과 같다.

$$m_n^{\lambda} = \int r'^n \lambda(r', \phi) dx' - \iint r'^n f(x, y) dx' dy' \quad (12)$$

식(3)과 (12)로부터

$$m_n^{\lambda} = \iint (x \cos \phi + y \sin \phi)^n f(x, y) dx dy - \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \cos^k \phi \sin^{n-k} \phi m_{k, n-k} \quad (13)$$

식(13)은 모멘트 m_{pq} 와 두영 데이터로부터 구한 모멘트 m_n^{λ} 의 관계를 나타낸다. m_{pq} 를 구하기 위해서는 식(13)의 역이 필요하며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} m_{00} &= m_0^{\lambda} \quad (\text{임의의 } \phi) \\ m_{10} &= m_1^{\lambda} \quad (j=1, 2, 3, \dots) \\ m_{01} &= m_1^{\lambda} \\ m_{11} &= m_2^{\lambda} - \frac{1}{2} (m_1^{\lambda} + m_1^{\lambda}) \\ m_{11} &= \frac{1}{3} [\sqrt{2} (m_2^{\lambda} + m_2^{\lambda}) - m_1^{\lambda}] \\ m_{11} &= \frac{1}{3} [\sqrt{2} (m_2^{\lambda} - m_2^{\lambda}) - m_1^{\lambda}] \end{aligned} \quad (14)$$

본 시스템에서 필요한 모멘트 m 를 구하기 위해서는 다만 $\theta = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 의 4개의 부영을 측정하면 된다.

정규화된 중심 모멘트로부터 크기, 변위 및 회전에 대한 불변인 모멘트를 구하여 특징 벡터로 정의한다.

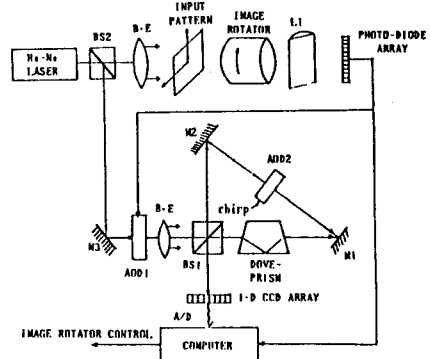


그림3. 제안한 복합패턴인식 시스템의 구성도

3. 실험 및 결과 고찰

제안한 복합 패턴시스템의 구성도는 그림3과 같다. 광원은 파장이 0.6328 μ m 이고 실제 출력력이 15mW 인 NEC사의 GLG 5700 He - Ne 레이저를 사용하였으며, 레이저빔은 50 : 50 빔 splitter (BS2)를 거쳐 양분된 후 평행빔 (collimated beam)으로 되어 투과된 광은 원기둥 렌즈에 의하여 1차원 photo-diode 어레이에 집속되어, 즉 2차원 영상을 투영하여 1차원 신호로 변환하므로써 시간적인 1차원 신호로 되는데, 이 신호가 라돈 변환된 신호이다.

영상회전기를 1°씩 회전시키면서 각각의 회전각도에서 라돈 변환된 신호는 AOD와 CCD 등으로 구성된 광학적 퓨리에 변환기의 입력이 되고, 특히, 회전각도 0°, 45°, 90°, 135°에서는 볼런 모멘트의 특징 벡터를 추출하기 위하여 라돈 변환된 신호자체가 컴퓨터에 입력된다.

한편, BS2에 의하여 반사된 광은 광학적 퓨리에 변환기의 AOD에 입사되어 라돈 변환된 신호의 크기에 따라 강도 변조(intensity modulation) 된다. 강도 변조된 신호는 50 : 50 빔 splitter(BS1)에 의해서 양분되어 투과된 빔은 dove 프리즘에 의해서 상이 반전되어 진행되고, 반사된 빔은 반대방향으로 진행하여 chirp 신호로 구동되는 ADD2에서 만나 종-음향 상호 작용을 일으켜 회절된다.

각각의 +1차 회절광은 시계방향과 반시계방향으로 진행하여 BS1에 의해서 CCD 면에서 간섭현상을 일으켜 라돈 변환된 신호의 퓨리에 변환된 신호를 검출할 수 있다.

여기에서 종-음향 소자인 ADD1과 ADD2는 ISOMET사의 1286-C와 OPT-1이다.

이와같이 구성된 패턴인식 시스템의 성능을 확인하기 위하여 그림4와 같이 10개의 입력패턴을 선정하였다.

그림4의 입력패턴중 대표적 입력패턴에 대한 투영각도에 따른 라돈 변환된 신호는 그림5.와 사진1.에 나타내었다.

1차원 광학적 Fourier 변환기는 AOD와 CCD를 이용하여 구성하였으며 구형파에 대하여 성능을 확인한후 사용하였다. 사진1의 라돈변환된 1차원 신호를 광학적 Fourier 변환기에 입력하여 얻은 Fourier 변환된 신호는 사진2와 같다.

라돈 변환된 신호와 Fourier 변환된 신호를 1°씩 회전시키면서 컴퓨터에 입력하여 앞에서 정의한 특징벡터를 각도에 따른 Fourier 스펙트럼과 볼런모멘트로 부터 추출한다.

추출한 특징 벡터로부터 제곱 Mahalanobis 거리를 구하면

주어진 입력패턴에 대하여 포1을 구할 수 있다. 포1에서 입력패턴이 속하는 판별거리가 최소임을 나타내어 입력패턴을 판별한다. 이와같이 판별한 결과 동일한 입력패턴을 사용한 Minemoto등이 제안한 시스템에 비하여 우수한 성능을 나타내었다.

4. 결 론

라돈 변환을 이용하여 2차원 영상을 1차원으로 투영하여 얻은 신호를 광학적으로 처리하면 컴퓨터프로그램에 의해서 다루고자 하는 입력 신호의 주파수 대역폭 선정이 가능하여 융통성을 부여할 수 있었다.

제안한 복합패턴인식 시스템은 주어진 입력패턴에 대하여 우수한 성능을 나타내어 패턴인식을 위한 광학적 특징을 추출하는 데 이용될 수 있으나, 소자가 고가이며 진동동에 민감하다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 실시간 변조가능한 공간 광 변조기와 집적광학(integrated optics)에 대한 연구가 요구되며, 집적광학으로 본 시스템을 구성시 유한한 입력패턴 수를 가진 자동 공정 생산 검사 시스템등에서 실제 적용 가능할 것이다.

5. 참 고 문 헌

1. A. VanderLugt, "Signal Detection by Complex Spatial Filtering," IEEE Tran. Inf. Theory, vol. IT - 18, pp. 139 - 145, 1964.
2. T. Minemoto & J. Nerano, "Hybrid Pattern Recognition by Features Extraction from Object Patterns and Fraunhofer Diffraction Patterns," Appl. Opt., vol. 24, pp 2914 - 2928, Sep. 1985.
3. R.O. Duda & P.E. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis, Wiley, New York, 1973.
4. G.G. Lendaris & G.L. Stanley, "Diffraction-Pattern Sampling for Automatic Pattern Recognition," Proc. IEEE, vol. 58, pp. 198 - 216, Feb. 1970.
5. G.R.Gindi & A.F.Gmitro, "Optical Feature Extraction via the Radon Transform," Opt. Eng., vol. 23, pp. 499 - 506, Sep./Oct. 1984.
6. F. Merkle & T. Lorck, "Hybrid Optical-Digital Pattern Recognition," Appl. Opt., vol. 23, pp. 1509 - 1516, May 1984.
7. T. Minemoto et al., "Hybrid Pattern Recognition using the Fraunhofer Diffraction Pattern," Opt. Comm., vol. 51, pp. 221 - 226, Sep. 1984.
8. S. Maitra, "Moment Invariants," Proc. IEEE, vol. 67, pp. 697 - 699, Apr. 1979.
9. J.K. Pan, et al., "Feature Extraction of Optical Fourier Spectrum using AOD and CCD," KIEE Conf., vol. 18, No.1 pp. 17 - 19, May 1987.

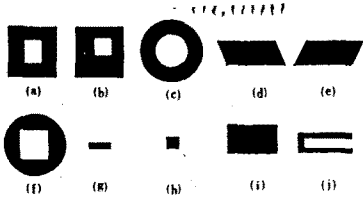


그림4. 실험용 입력 패턴

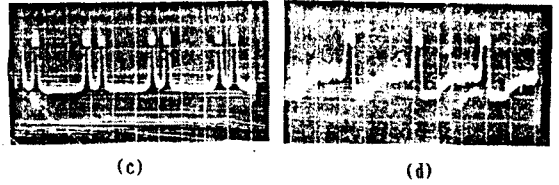


사진1. 시간적인 영역의 라운 변환된 신호

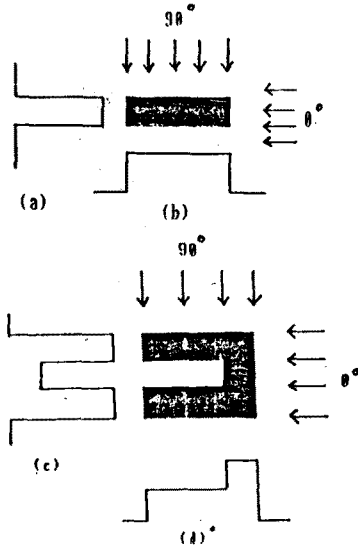
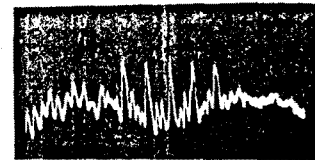


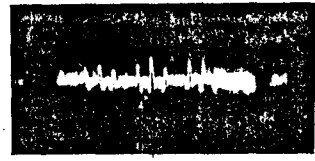
그림5. 대표적 입력패턴에 대한 라운 변환된 신호



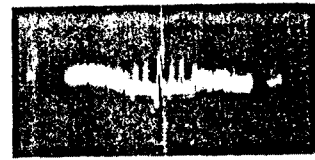
(a)



(b)

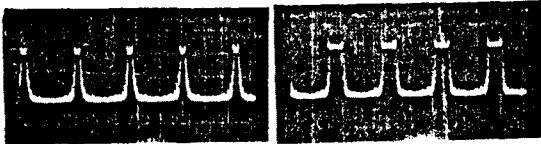


(c)



(d)

사진2. 사진(1)의 퓨리에 변환된 신호



(a)

(b)

표1. 입력패턴에 대한 제곱 Mahalanobis 거리

패턴종류 입력패턴	□	■	○	▭	▮	○	-	.	■	▮
□	3.26	125.81	2E+20	3328.17	5991.84	575.56	31655.5	119811	23288	3E+17
■	19.51	3.78	3F+19	3025.74	5841.91	783.67	30896.6	139776	14159	5E+19
○	4E+15	3E+16	4.6A	9828.32	12818	1244.31	18199.5	62971	2E+18	5E+19
▭	5E+19	5E+19	2E+20	13.61	99.44	31399.7	18461.5	36918.7	78453	5E+19
▮	30733	119789	2E+20	49.78	3.66	16463.08	18069.6	35782.6	12815.8	1435.8
○	1265.7	1365.86	37864	8967.6	9745.33	1.675	12674.8	86754.6	45768	5E+19
-	24987.6	5.E+17	5E+19	2E+11	3.4E+13	32167.1	0.768	148.1	5.1E+14	4E+17
.	2.4E+19	2.1E+20	4.2E+15	2.3E+14	2.7E+14	4.1E+16	725.2	6.97	2E+20	45789
■	18817.3	32856.8	3.1E+19	1666.8	2586.7	19532	12197.55	49336.4	14.4	45367
▮	4.7E+19	3.7E+13	4.7E+19	188255	137382	3.87E+07	2781.8	9879.13	6E+18	1.92