

## 크기와 회전 변화에 불변인 영상 검사 시스템 개발

이양범

전기전자정보시스템공학부

### <요 약>

본 연구에서는 영상 검사시스템이 검사 대상물의 크기와 방향 변화에 관계없이 실시간으로 동작하는 실용적인 시스템 개발이 주 목적이다. 특정 벡터 모멘트 기술자는 Hu가 제안한 불변 모멘트를 사용하였다. 역학에서 적용되는 단면의 성질을 영상 검사 시스템의 불변 모멘트 검출 알고리즘을 구현하는 과정에서 모멘트 기술자를 사용하였으며 일치율은 고정적으로 94%에서 96% 유지되었다.

## Development of Image Inspection System for Moment Invariant and Environment

Yang-Bum Lee

School of Electrical Engineering

### <Abstract>

The purpose of this paper is to develop image inspection system endows an automatic operating and measuring that the moment values are invariant with respect to variable object size and rotation. In this paper, using these moment feature vector with Hu's 7 invariant moment is also given. The characteristics of section which is applied in the mechanics used moment descriptor of invariant moment detection algorithm for image inspection system. Corresponding rates between 94% and 96% have been archived for all object tested.

## I. 서 론

생산 현장에서 운반 장치의 불안정으로 인하여 동일한 작업 대상물임에도 불구하고 방향이 변하거나 크기가 다르게 인식될 경우 공장자동화에 상당한 부담이 될 수 있다. 따라서 이러한 여건에서 작업 대상물을 정확하게 일치할 수 있는 영상 검사 시스템을 개발하여 현장에 적용할 수 있으면 생산 자동화에 대한 융통성이 상당히 커질 수 있다. 속도가 중요한 영상 검사 공정에서는 특징 벡터로 푸리에 기술자(fourier descriptor)와 모멘트 기술자(moment descriptor)를 주로 사용하고 있다[1]. 푸리에 기술자는 패턴의 윤곽선을 2차원 복소 함수로 표시한 다음 그 함수를 주파수로 바꾸어 모델의 주파수와 비교한다. 이것은 속도 면에서 중요한 장점이 되지만 검사 대상물의 외부 윤곽만을 표시하기 때문에 잡음에 매우 민감한 단점이 있다. 모멘트 기술자는 검사 대상물의 영역을 역학에서 취급하는 단면의 성질과 같이 2차원 함수로 간주하여 여러 차수 모멘트를 비교하여 인식한다. 이 방법은 푸리에 기술자와 같은 문제점은 없지만 모멘트를 구하기 위하여 검사 대상물이 차지하는 영역 전체에 있는 화소를 전부 포함하여 계산하므로 계산에 따른 소요 시간이 많이 걸리는 단점이 있다[2, 3]. 그러나 영상 검사 시스템에 대한 일부 적용 사례를 비교해 보면, 푸리에 기술자보다 모멘트 기술자가 더 우수하다는 연구 결과가 보고되고 있다[4]. 최근에 모멘트 기술자에 대한 소요시간의 최소화를 위해 광학적으로 실시간에 모멘트를 계산하는 방법도 고안되었으며, 여러 가지 특수 목적의 구조와 프로세서들이 개발되고 있다[5, 6, 7]. 실험은 별도의 화상처리 전용 하드웨어를 사용하지 않고 크기가 1/4에서 1/16까지 변하면서 동시에 방향도 30°에서 45°까지 회전하는 전투기를 검사 대상으로 설정하였고, 특징 벡터 모멘트 기술자는 Hu가 제안한 불변 모멘트가 사용되었다[8]. 그 결과 본 연구에서 개발한 영상 검사 시스템이 검사 대상물의 크기와 방향 변화에 상관없이 실시간으로 동작하는 실용적인 시스템임을 입증할 수 있었다.

## II. 본 론

### 2.1 불변 모멘트 알고리즘

물리학적 용어로 역률로 정의되고 있는 모멘트는 영상 검사 시스템에서는 주요한 특징 벡터 기술자로 이용되고 있다. 그림 1에서 단면 모멘트를 영상 모멘트에 적용하면 검사 대상물에 대한 2차원 직교 좌표 계의  $p+q$ 차 모멘트  $m_{pq}$ 는 다음 식으로 정의된다[8].

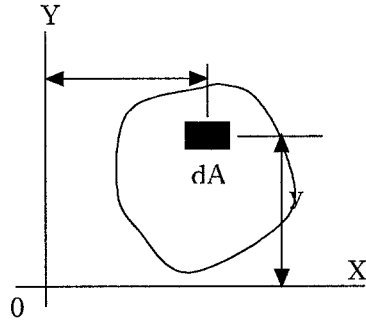


그림 1. Static moment

$$m_{pq} = \int \int_A x^p y^q f(x, y) dA \quad (1)$$

여기에서

$$p, q = 0, 1, 2, \dots$$

식 (1)에서  $f(x, y)$ 는 2차원 연속 함수로 좌표  $(x, y)$ 에 대한 그레이 레벨 데이터이며,  $dA$ 는 단면을 세분한 미소 면적으로 영상 검사 시스템에서는 1개의 화소로 규정한다. 또한, 식 (1)의 차수는  $x, y$  좌표의 지수 값에 따라 결정되며 각각 다른 특성을 가지고 있고, 이진 영상인 경우  $f(x, y)$ 는 검사 대상물 안에서 1, 배경에서 0이 되거나 또는 각각 그 반대로 된다[9]. 단면의 성질에서 단면 1차 모멘트  $G_x, G_y$ 는 임의의 도형에 대한 구조물의 응력 산정과 안정도를 검토할 때 적용한다. 이것을 영상 검사 시스템에 적용하면, 단면 1차 모멘트  $G_x, G_y$ 에 대응하는 영상 1차 모멘트  $m_{10}, m_{01}$ 은 다음 식과 같이 검사 대상물의 윤곽선에 대한 중심 위치 정보를 가지고 있음을 알 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} m_{01} &= \int \int_A y dA \\ m_{10} &= \int \int_A x dA \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

영상 0차 모멘트  $m_{00}$ 는 식 (1)의 단면을 세분한 미소 면적  $dA$  즉, 화소 전체의 합과 같으므로 검사 대상물에 대한 면적과 같다. 검사 대상물에 대한 영상 중심 정보  $\bar{y}, \bar{x}$ 는 단면의 성질에서 도형의 도심  $y_0, x_0$ 을 구하는 다음 식 (2)와 식 (3)을 이용하면 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{G_x}{A} \\ x_0 &= \frac{G_y}{A} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{y} &= \frac{m_{10}}{m_{00}} \\ \bar{x} &= \frac{m_{01}}{m_{00}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

단면의 성질에서 단면 2차 모멘트  $I_X, I_Y$ 는 축에서 미소면적  $d_A$ 까지 2승을 곱한 값을 전단면에 대하여 합한 것이며, 단면 상승 모멘트  $I_{XY}$ 는 주 단면의 2차 모멘트와 주축을 계산할 때 사용한다. 이 개념을 식 (1)에 적용하여 단면 2차 모멘트  $I_X, I_Y$ 에 대응하는 영상 2차 모멘트  $m_{20}, m_{11}, m_{02}$ 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} m_{02} &= \int \int_A y^2 dA \\ m_{11} &= \int \int_A xy dA \\ m_{20} &= \int \int_A x^2 dA \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

검사 대상물의 이동에 관한 정보로 이동 불변 모멘트  $u_{pq}$ 는 식 (1)과 식 (4)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u_{pq} = \int \int_A (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dA \quad (6)$$

식 (6)을 차수별로 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} u_{00} &= m_{00} \\ u_{01} &= u_{10} = 0 \\ u_{02} &= m_{02} - u_{00} \bar{y}^2 \\ u_{11} &= m_{11} - u_{00} \bar{x} \bar{y} \\ u_{20} &= m_{20} - u_{00} \bar{x}^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

영상 검사 시스템에서 주축의 경사  $\theta$ 는 단면의 성질에서 주축 경사를 구하는 방법으로 식 (7)에 적용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2u_{11}}{u_{20} - u_{02}} \right) \quad (8)$$

또한, 크기 변환에 불변인 모멘트  $n_{pq}$ 는 식 (7)을 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다[8].

$$n_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^r} \quad (9)$$

여기서

$$r = \frac{(p+q)}{2} + 1$$

$$p, q = 2, 3, 4 \dots$$

이동과 크기의 변화와 함께 회전변화에도 불변인 모멘트 값을 구하기 위하여 Hu는 식 (9)의  $n_{pq}$ 으로 정의되는 모멘트 다항식을 이용하여 다음과 같이 유도하였다[1, 8].

$$I_{p-r,r} = \sum_{i=0}^r (-i)^i \begin{bmatrix} p-2l \\ l \end{bmatrix} \frac{r}{\sum_{k=0}^r} \begin{bmatrix} r \\ k \end{bmatrix} n_{p-2k-l, 2k+l} \quad (10)$$

여기서

$$(p-2l) > 0, i = \sqrt{-1}$$

또한, Hu는 식 (10)에서 영상 2차, 3차 모멘트로 구성된 7개의 불변 모멘트  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6, \psi_7$ 을 다음과 같이 정의하였다[8].

$$\psi_1 = n_{20} + n_{02} \quad (11)$$

$$\psi_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2 \quad (12)$$

$$\psi_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2 \quad (13)$$

$$\psi_4 = (n_{30} + n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2 \quad (14)$$

$$\psi_5 = (n_{30} + 3n_{12})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \quad (15)$$

$$\psi_6 = (n_{20} + n_{02})[(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] + 4n_{11}(n_{30} + n_{12})(n_{21} + n_{03}) \quad (16)$$

$$\psi_7 = (3n_{21} - n_{03})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{12} - n_{30})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \quad (17)$$

작업 대상물의 이동에 대한 정규화는 이동 량이  $y'$ ,  $x'$ 일 때, 단면의 성질에서 좌표축의 평행 이동 개념과 식 (3)의 중심 좌표 이동 법을 적용하면 다음과 같이 이동에 불변하는 템플레이터를 구할 수 있다[1].

$$\left. \begin{aligned} y &= y' - \bar{y} \\ x &= x' - \bar{x} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

검사 대상물에 대한 반장축의 길이  $\alpha$ 와 반 단축의 길이  $\beta$ 는 식 (7)을 단면의 성질에서 주 단면 2차 모멘트  $I_1, I_2$ 을 구하는 개념에 적용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{(2[(u_{20} + u_{02}) + \sqrt{(u_{20} - u_{02})^2 + 4u_{11}^2}]^{\frac{1}{2}})}{u_{00}} \\ \beta &= \frac{(2[(u_{20} + u_{02}) - \sqrt{(u_{20} - u_{02})^2 + 4u_{11}^2}]^{\frac{1}{2}})}{u_{00}} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

회전에 대한 정규화는 단면의 성질에서 좌표 축 회전 개념을 이용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} G_{X'} &= G_X \cos \theta - G_Y \sin \theta \\ G_{Y'} &= G_X \sin \theta - G_Y \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

여기서

$X', Y'$  :  $X, Y$ 축의 원점에서 회전

## 2.2 시뮬레이션 및 결과 고찰

실험은 원 영상에 대하여 크기는 1/4과 1/16으로 각각 축소하고, 방향은  $30^\circ$  와  $45^\circ$  회전한 전투기를 대상으로 시뮬레이션을 한다[4].

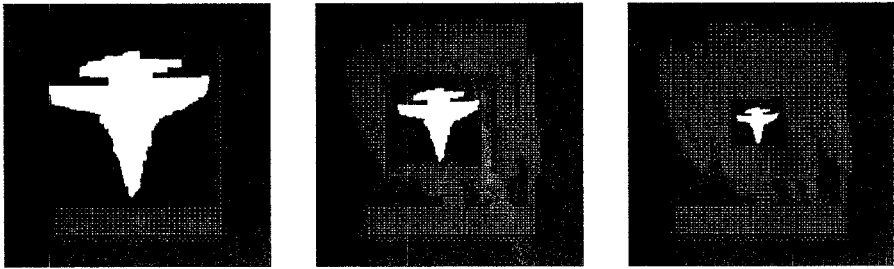


Fig 2. (a) Original Image (b)1/4 Reduction (c) 1/16 Reduction

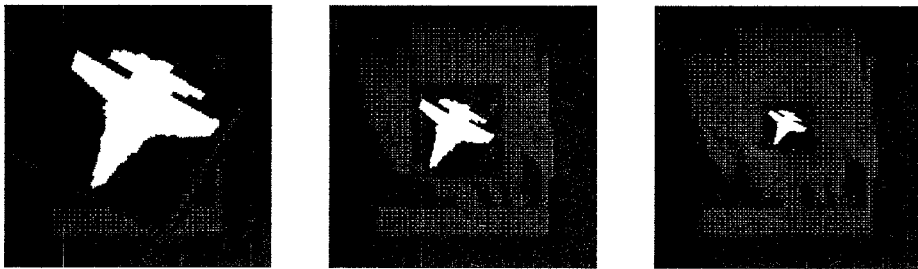


Fig 3. (a)  $30^\circ$  Rotation (b)  $30^\circ$  Rotation, 1/4 Reduction (c)  $30^\circ$  Rotation, 1/16 Reduction

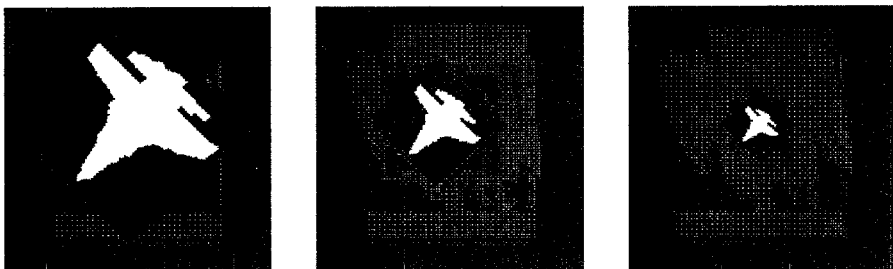


Fig 4. (a)  $45^\circ$  Rotation (b)  $45^\circ$  , 1/4 Reduction (c)  $45^\circ$  Rotation, 1/16 Reduction

실험 결과 다음 Table 1의  $n_{12}$ ,  $n_{21}$ ,  $n_{30}$ ,  $n_{03}$ 과 Table 3, 4, 5의  $\psi_5$ ,  $\psi_6$ ,  $\psi_7$ 과 같이 모멘트 차수는 고차로 갈수록 보다 자세한 정보를 가지고 있으나 정량적인 분석이나 수학적인

의미 해석은 미약함을 알 수 있다[4].

Table 1. Size invariant moment

	원 영상	1/4 축소	1/16 축소
$n_{20}$	0.001120	0.001184	0.001122
$n_{11}$	0.000129	0.000099	0.000129
$n_{02}$	0.001191	0.001001	0.001129
$n_{21}$	0.000000	-0.000001	0.000000
$n_{12}$	0.000005	0.000002	0.000003
$n_{30}$	0.000010	0.000009	0.000010
$n_{03}$	-0.000001	-0.000006	-0.000002

Table 2. Rotation invariant moment

	원 영상	30° 회전	40° 회전
$\phi_1$	0.002311304833059	0.002251531979209	0.002239955801053
$\phi_2$	0.000000071204441	0.000000076324649	0.000000070433832
$\phi_3$	0.00000000013842	0.00000000047468	0.00000000056491
$\phi_4$	0.00000000225939	0.00000000201708	0.00000000196195
$\phi_5$	-0.00000000000179	-0.00000000035689	-0.00000000019572
$\phi_6$	-0.00000000000016	-0.00000000000023	-0.00000000000018
$\phi_7$	0.00000000000000	0.00000000000000	0.00000000000000

Table 3. Rotation invariant moment for 1/4 Reduction

	1/4 축소 영상	1/4 축소 30° 회전	1/4 축소 45° 회전
$\phi_1$	0.002250058032313	0.002185150542248	0.002158942598699
$\phi_2$	0.000000066701982	0.000000072488436	0.000000066035087
$\phi_3$	0.00000000002783	0.00000000027338	0.00000000025483
$\phi_4$	0.00000000173000	0.00000000158271	0.00000000138753
$\phi_5$	-0.00000000002867	-0.00000000020393	-0.00000000017474
$\phi_6$	-0.00000000000014	-0.00000000000015	-0.00000000000015
$\phi_7$	0.00000000000000	0.00000000000000	0.00000000000000



Table 4. Rotation invariant moment for 1/16 Reduction

	1/4 축소 영상	1/16축소 30° 회전	1/16축소 45° 회전
$\phi_1$	0.002257720809112	0.002183578926538	0.002194057950132
$\phi_2$	0.000000058421717	0.000000084653935	0.000000054623757
$\phi_3$	0.000000000005016	0.000000000012178	0.000000000000368
$\phi_4$	0.000000000123153	0.000000000110727	0.000000000075664
$\phi_5$	-0.00000000009543	-0.000000000012894	-0.000000000002849
$\phi_6$	-0.00000000000016	-0.000000000000017	-0.000000000000011
$\phi_7$	0.000000000000000	0.000000000000000	0.000000000000000

이러한 5차 이상의 고차 모멘트는 잡음 신호에 민감하여 그 결과를 정확하게 표현할 수 없는 단점이 있으므로 이를 개선하기 위하여 계산 결과에 로그를 취하는 방법도 소개되고 있지만 가시적인 효과일 뿐 데이터 자체가 변하는 것은 아니므로 크게 의미를 부여할 필요가 없다[5]. 이러한 사소한 문제점을 제외하면 동일한 작업대상물의 크기가 1/4과 1/16으로 각각 축소되고, 방향도 30°, 45° 회전한 것에 비하여 일치하는 비율은 거의 94%에서 96%로 유지되고 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 영상 검사 시스템은 동일한 작업 대상물이 서로 다른 크기와 방향에 있더라도 이를 정확히 인식하는 것을 증명하였다. 그러므로 이렇게 유용한 영상 검사 시스템을 생산 현장에 적용하면 공장 자동화에 상당한 융통성을 부여할 수 있을 것으로 사료된다[9].

### III. 결 론

생산 현장에 융통성을 부여하기 위하여 동일한 작업 대상물이 크기가 변하고 회전되더라도 이것을 정확하게 인식할 수 있는 실용적인 영상 검사 시스템을 개발하였다. 역학에서 적용되는 단면의 성질은 영상 검사 시스템의 불변 모멘트 검출 알고리즘을 구현하는 과정에서 모멘트 기술자로 사용되었으며 일치율은 고정적으로 94%에서 96%로 유지되었다.

향후 연구과제로 빠른 계산의 장점을 가진 일반 상관계수 매칭 알고리즘과 회전 템플레 이터를 이용한 상관계수 매칭 알고리즘을 조사하여, 본 연구에서 구현한 불변 모멘트 검출 알고리즘과 성능을 비교하고, 연구 결과를 실제의 생산 현장에 적용할 예정이다.

## 참고문헌

1. A. Goshtasby, "Template Matching in Rotated Images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine intelligence, 1985, pp. 338-344
2. G.L. Cash, M. Hatamian, "Optical character recognition by the method of moments", Comput. Vision Graphics Image Process, 1987, pp. 291-310
3. 이 용중. "화상 처리 응용 기술," 도서출판기문사, 1995, pp. 108-212
4. S.A. Dudani, K.J. Breeding, R.B. McGhee, "Aircraft identification by moment invariants", IEEE Trans. Comput, 1977, pp. 39-46
5. D.W. Burgess, "Automatic Ship Detection in Satellite Multispectral Imagery", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Feb, 1993, pp. 229-237
6. S. O. Belkasim, M. Shridhar, M. Ahmadi, "Pattern recognition with moment invariants : a comparative study and new results", Pattern Recognition, Vol. 24, No. 12,, 1991, pp.1117-1138
7. 이양범 외, "컴퓨터비전시스템을 이용한 알루미늄 표면검사 알고리즘 개발", 한국공작기계학회 2000년도 춘계학술대회 논문지, 2000, pp. 115-120
8. M.K. Hu, "Vision Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE, 1962, pp. 179-187
9. 이양범 외, "시각센서를 이용한 차체패널 자동검사시스템 개발", 한국공작기계학회 2000년도 추계학술대회 논문지, 2000, pp.51-56