Proceedings of KFIS Spring Conference 2004 Volume 14, Number 1

지능 로봇 비젼을 위한 모멘트 기반 영상 사형 정보 예측

A Moment Based Image Affine Information Estimation for Intelligent Robot Vision

강환일^, 임승철*, 황원영&, 신대진
^&$명지대학교 정보공학과, *명지대학교 기계공학과

Hwan-Il Kang, Seung-Chul Lim, Won-Young Hwang, Daejeen Shin
^&$Dept. of Information Eng., *Dept. of Mechanical Eng.
Myongji University
E-mail : {hwan, slim}@mju.ac.kr, 1978polo@hanmail.net, daejeen@infinity.co.kr

요 약

본 논문에서는 기하학적 모멘트를 이용한 영상의 기하학적인 정보 예측 방법을 제안한다. 기준 패턴의 기하학적인 모멘트와 감지 패턴의 기하학적인 모멘트를 이용하여 감지 영상의 선형 이동, 회전, 확대 및 축소를 예측할 수 있다. 또한 XRS 정규화를 통하여 사형 변환된 패턴의 정보를 감지할 수 있다. 실험을 통하여 제안된 방법의 유용성을 보인다.

1. 서론

로봇 비젼에서 기하학적인 특징을 구하기 위해 최소자승법, 선형 회귀법, 직교 회귀법등이 사용되고 있다 [1, 2]. 본 논문에서는 모멘트를 이용한 영상의 사형(affine) 정보 예측방법을 제안하고자 한다. 우선 회전, 이방성의 확대 및 축소(aspect ratio 변환)등을 기하학적인 모멘트로 표시할 수 있음을 보이고 일반적인 사형 변환인 경우 패턴 인식에서 사용하는 정규화 기법인 XRS 정규화[4, 5]를 이용하여 물체의 사형 변환 정보를 얻고자 한다. 제안된 방법은 성능이 우수한 중앙 연산 장치를 가지고 있는 로봇의 비젼에 적용할 수 있다.

2. 영상의 기하학적 모멘트와 중앙 모멘트

영상이 주어지면 영상에 관한 모멘트를 다음과 같이 정의 한다. 즉 주어진 영상의 기하학적인 모멘트 $m_{p,q}$는

$$m_{p,q} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} i^p j^q f(x, y) \tag{1}$$

으로 정의되며 $f(x, y)$는 영상위치 (i, j)의 픽셀 값이 된다. 이진영상인 경우 $f(x, y)$는 0 또는 1의 값을 갖고 8비트의 흑백영상인 경우 $f(x, y)$는 0부터 255의 정수 값을 갖는다. 이때 영상의 크기는 $N \times M$ 으로 정의되며 변수 (p, q)는 영 이상의 정수 값을 갖는다. 또한 영상의 중앙모멘

트[8]를 정의 할수 있으며 $\mu_{p,q}$는

$$\mu_{p,q} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} (i - C_i)^p (j - C_j)^q f(x, y) \quad (2)$$

로 정의된다. 이때

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} i f(x, y)}{\sum_{i=N}^{N} \sum_{j=1}^{M} f(x, y)}, \quad (3)$$

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} j f(x, y)}{\sum_{i=N}^{N} \sum_{j=1}^{M} f(x, y)} \quad (4)$$

로 정의된다. 기준 영상의 기하학적인 모멘트와 중앙모멘트를 각각 $m_{p,q}(p=0,1,2,\ldots q=0,1,2,\ldots)$와 $\mu_{p,q}(p=0,1,2,\ldots q=0,1,2,\ldots)$로 정의하고 이 정보는 이미 저장되어 있다고 가정한다. 감지된 영상의 기하학적인 모멘트와 중앙모멘트를 각각 $m'_{p,q}(p=0,1,2,\ldots q=0,1,2,\ldots)$와 $\mu'_{p,q}(p=0,1,2,\ldots q=0,1,2,\ldots)$로 정의하자 우선 기존 영상의 x축과 y축의 중심 C_i와 C_j를 위의 있는 식으로 구하고 감지된 영상의 x축과 y축의 중심 C'_i와 C'_j를 구한다. 이를 이용하여 선형 이동량을 결정할 수 있다. 즉 선형이동량은

$$\Delta i = C_i - C'_i; \quad \Delta j = C_j - C'_j \quad (5)$$

로 표시된다.

3. 기하학적 모멘트를 이용한 변환

보조정리1 [4] 만약 영상 $f(x_a, y_a)$을 균질(homogeneous) 사형(affine)변환 행렬에 의해

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (6)$$

영상 $f(x, y)$에서 얻을 수 있다. $\mu(\cdot,\cdot)$와 $\mu'(\cdot,\cdot)$는 원래 영상과 변환된 영상의 중앙모멘트라고 각각 정의하자. 여기서 변환된 영상의 중앙모멘트는

$$\mu'_{pq} = b \sum_{i=0}^{p} \binom{p}{i} \binom{q}{j} a_{11}^{i} \cdot a_{12}^{p-i} \cdot a_{21}^{j} \cdot a_{22}^{q-j} \cdot \mu_{i+j,\, p+q-i-j} \quad (7)$$

로 되며 $b = |a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}|$ 이다. 또한 기하학적인 모멘트를 이용하여

$$m'_{pq} = b \sum_{i=0}^{p} \binom{p}{i} \binom{q}{j} a_{11}^{i} \cdot a_{12}^{p-i} \cdot a_{21}^{j} \cdot a_{22}^{q-j} \cdot m_{i+j,\, p+q-i-j} \quad (8)$$

로 나타난다.

4. XSR 정규화

균질(homogemeous) 사형(affine) 변환 행렬 A를 x축 치우침, 이방성의 확대축소와 회전 행렬로 분해할 수 있다:

$$A \equiv \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \beta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

로 표시되며 $\alpha, \gamma, \beta \in \boldsymbol{R}$과 $\theta \in [0, 2\pi]$로 표시된다. 분해법의 유일성[4]을 확인하기 위해 $det(A) \neq 0$이다
이 경우 논문[5, 6]에서는

$$\mu_{11} = 0,\ \mu_{20} = 0,\ \mu_{02} = 1,\ \mu_{30} + \mu_{12} = 0 \quad (10)$$

의 조건을 이용하고 있다. 논문[3, 7]에서는 또 다른 행렬을 이용한다. 즉 x 취우침 행렬이 고유치벡터를 이용한 행렬로 대치된다.

5. 영상의 기하학적인 정보의 추출(방법 1)

영상의 중심을 일치시키고 난 후 감지된 영상과 기존 영상과의 관계는 회전만 이루어져 있는 관계와 회전과 이방성의 확대 및 축소로 나누어 생각할 수 있다. 또한 이방성의 확대 및 축소로만 이루어진 경우가 있다. 모든 결합방법을 고려

하여 다음 4가지로 나누어 기하학적인 변형 관련 변수를 구하고자 한다.

5.1 회전만 이루어진 경우

영상이 회전만 이루어진 경우 회전각의 예측은 다음과 같다. 우선 기준 영상의 좌표$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$와 감지된 영상의 좌표$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$와의 관계는 다음 행렬

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (11)$$

로 정의된다. 이때 두 영상 간의 기하학적인 모멘트는 다음 관계식으로 표현된다.

만약 시계방향으로 θ만큼 회전만 허용할 경우

$$A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

로 표현된다. 이때

$$\begin{aligned} m'_{1,0} &= m_{1,0}\cos\theta + m_{0,1}\sin\theta \\ m'_{0,1} &= -m_{1,0}\sin\theta + m_{0,1}\cos\theta \end{aligned} \quad (13)$$

로 표시되며 회전각은

$$\cos\theta = \frac{m'_{1,0}m_{1,0} + m'_{0,1}m_{0,1}}{m^2_{1,0} + m^2_{0,1}}$$

$$\sin\theta = \frac{-m_{1,0}m'_{0,1} + m_{0,1}m'_{1,0}}{m^2_{1,0} + m^2_{0,1}}$$

(14)

로 표시되어 각을 구할 수 있다.

5.2 회전이 먼저 이루어지고 이방성의 확대 축소를 행한 경우

회전이 이루어진 후에 확대 축소가 이루어진 경우

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (15)$$

이때 중앙 모멘트의 관계식

$$\begin{aligned} m'_{1,0} &= a^2bm_{1,0}\cos\theta + a^2bm_{0,1}\sin\theta \\ m'_{0,1} &= ab^2m_{0,1}\cos\theta - ab^2m_{1,0}\sin\theta \end{aligned} \quad (16)$$

에서

$$\cos\theta = \frac{bm'_{1,0}m_{1,0} + am'_{0,1}m_{0,1}}{a^2b^2(m^2_{1,0} + m^2_{0,1})} \quad (17)$$

$$\sin\theta = \frac{bm'_{1,0}m_{0,1} + am'_{0,1}m_{1,0}}{a^2b^2(m^2_{1,0} + m^2_{0,1})} \quad (18)$$

이 된다. 여기서 변수 a, b는 다음과 같이 구할 수 있다. 즉

$$\begin{aligned} m'_{11} &= ab\cos\theta\sin\theta(m_{02} - m_{20}) \\ &\quad + ab(\cos^2\theta - \sin^2\theta)m_{11} \end{aligned} \quad (19)$$

이 된다. 식 (17) (18)을 이용하여 식 (19)에서 우선 a, b를 구한 후 식 (17) (18)식에서 θ를 구한다.

5.3 이방성의 확대 축소를 먼저 행한 후 회전이 이루어진 경우

$$A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \quad (20)$$

이 되며 이때 기하학적 모멘트의 관계식은

$$\begin{aligned} m'_{1,0} &= a^2bm_{1,0}\cos\theta + ab^2m_{0,1}\sin\theta \\ m'_{0,1} &= ab^2m_{0,1}\cos\theta - a^2bm_{1,0}\sin\theta \end{aligned} \quad (21)$$

이 되며 이 경우

$$\cos\theta = \frac{am'_{1,0}m_{1,0} + bm'_{0,1}m_{0,1}}{ab(a^2m^2_{1,0} + b^2m^2_{0,1})} \quad (22)$$

$$\sin\theta = \frac{-am_{1,0}m'_{0,1} + bm_{0,1}m_{1,0}}{ab(a^2m'^2_{1,0} + b^2m'^2_{0,1})} \quad (23)$$

이 된다.

$$m'_{11} = \cos\theta\sin\theta(b^2 m_{02} - a^2 m_{20}) + ab(\cos^2\theta - \sin^2\theta)m_{11} \quad (24)$$

이 된다. 식 (22) (23)을 이용하여 식 (24)에서 우선 a, b를 구한 후 식 (22) (23)식에서 θ를 구한다.

5.4 이방성의 확대 축소만 이루어진 경우

이 경우 행렬 A는

$$A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \quad (25)$$

로 표시되며

$$a = \sqrt[3]{\frac{m'^2_{1,0}m_{0,1}}{m'_{0,1}m^2_{1,0}}}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{m'^2_{0,1}m_{1,0}}{m'_{1,0}m^2_{0,1}}} \quad (26)$$

로 표현된다.

6. 영상의 사형 정보 예측 (방법2)

XSR 정규화를 통하여 4개의 변수 즉 $\theta, \alpha, \gamma, \beta$의 값을 보고 기준 영상과 감지영상 사이의 사형 정보를 예측할 수 있다. 이 방법은 앞 절에서 설명한 회전, 확대 혹은 축소이외의 다른 사형 정보 추출를 구할 수 있다. 그 알고리즘은 다음과 같다.

단계1: 기준의 영상을 XSR 정규화를 행한다. 이때 변환 행렬 A_1이라 하자.

단계2: 감지의 영상의 XSR 정규화를 행하여 이때 변환 행렬 A_2이라 하자.

단계3: 기준의 영상에서 감지의 영상으로 변환하는 행렬은 $A_2^{-1}A_1$이 된다.

단계4: 사형정보 행렬 $A_1 = A_2^{-1}A_1$을 얻는다.

7. 실험

7.1 방법1을 이용한 이방성의 확대 축소 정보 예측

기준 영상이 주어지고 그의 기하학적인 모멘트가 저장되어 있다고 가정하자. 이제 감지된 영상의 이방성의 확대 축소를 구하는 실험을 하고자 한다. 그림 1에는 기준 영상을 표시하고 그림2에는 감지된 영상을 표시한다. 그 영상사이에는 이방성의 확대 축소만 변화가 있으므로 식 (25)를 이용하여 이방성의 확대 축소를 구 할 수 있다. 즉 실제로는 $a=1, b=0.5$로 영상이 주어진 경우 예측된 값은 식 에 의해 $a=0.5006$ $b=0.9976$을 얻는다.

그림 1 기준 영상

그림 2 감지 영상

7.2 방법2를 이용한 사형 정보 예측의 실험

기준 영상(그림 3)과 감지 영상(그림4)이 주어지면 XSR 정규화를 통하여

$$A_1=\begin{bmatrix} 0.4152 & 0.5633 \\ -0.5841 & 0.3770 \end{bmatrix}$$
$$A_2=\begin{bmatrix} 0.6837 & 0.1245 \\ -0.1348 & 0.7275 \end{bmatrix} \qquad (27)$$

그림 3 기준영상

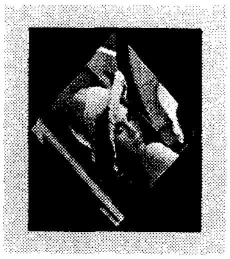

그림 4 감지영상

을 얻고 두 영상간의 사형 정보 행렬은

$$A_4=A_2^{-1}A_1=\begin{bmatrix} 0.7351 & 0.6428 \\ -0.7276 & 0.6428 \end{bmatrix} \qquad (28)$$

를 얻을 수 있다. 이 행렬의 역을 취하면 감지 영상에서 기준의 영상을 얻을 수 있다. 이 실험의 경우 원래 변환 행렬은

$$A=\begin{bmatrix} 0.7071 & 0.7071 \\ -0.7071 & 0.7071 \end{bmatrix} \qquad (29)$$

이 된다.

8. 결론

본 논문에서는 기하학적 모멘트를 이용한 영상의 기하학적인 정보예측방법을 제안하였다. 기준 패턴의 기하학적인 모멘트와 감지 패턴의 기하학적인 모멘트를 이용하여 감지 영상의 선형 이동, 회전, 확대 및 축소를 예측할 수 있다. 또한 일반 사형 정보는 두 영상 XSR 정규화 하여 사형정보를 예측할 수 있다. 실험을 통하여 제안된 방법을 이용하여 이방성의 확대 축소 값 예측과 사형 행렬을 구하는 방법을 보였다. 제안하는 알고리즘은 지능 로봇의 패턴인식매칭을 위한 특징점 추출에 이용할 수 있다.

9. 참고문헌

[1] R. T. Chin and C. R. Dyer, "Model-based Recognition in Robo Vision," ACM Computing Surveys, vol. 18, no. 1, pp. 67--108, 1986.

[2] 김종환,심현식,김성호,김홍수, 정명진, 김동환, 김용채, 박귀홍, 장준수, *로봇비젼축구*, Kaist Press, 대전, 2002.

[3] Wang Xiaohong and Zhao Rongchun, " A new method for image normalization," Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech processing, pp. 356--359, 2001.

[4] Yani Zhang, Changyun Wen, Ying Zhang and Yeng Chai Soh, ''On the Choice of Consistent Canonical Form during Moment Normalization," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 16, pp.~3205--3215, 2003.

[5] T. H. Reiss, *Recognizing Planar Objects Using Invariant Image Features*, Springer-Verlag, 1993.

[6] I. Rothe, H. Susse and K. Voss, ''The Method of Normalization to Determine Invariants," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, no. 4, pp. 366--376, 1996.

[7] Soo-Chang Pei and Chao-Nan Lin, "Image normalization for pattern recognition," Image and Vision Computing, vol. 13, no. 10, 1995.

[8] Alghoniemy, M.; Tewfik, A.H.,"Geometric distortion correction through image normalization," IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME, vol. 3, July-2, Aug. 2000.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R-01-2003-000-10014-0) 지원으로 수행되었음.