Proceedings of KFIS Fall Conference 2004 Volume 14, Number 2

지능 로봇 비젼을 위한 영상정규화를 이용한 영상 사형 정보 예측

A Normalization Based Image Affine Estimation Technique for Intelligent Robot Vision

*강환일, 임승철, *이종혁, *최연훈
명지대학교 *정보공학과, 기계공학과

Hwan Il Kang, Seung Chul Lim, Chong Hyuk Lee, Yeon Hoon Choi
Dept. of {Information*, Mechanical} Eng., Myongji Univ.
E-mail : {hwan, slim}@mju.ac.kr, woorizippp@hotmal.com, imawake@naver.com

요 약

본 논문에서는 XYS영상 정규화와 XSR 영상 정규화에 기반을 둔 영상사형정보예측 방법을 제안한다. 실험을 통하여 XYS영상 정규화와 XRS 영상 정규화에 기반을 둔 영상사형정보예측 방법을 보이고 XYS 방식의 의한 사형정보예측방법이 더 우수함을 보인다. 또한 플리핑 및 회전과 수평 수직 비 정보를 원래영상과 감지된 영상의 중앙모멘트로 표시될 수 있음을 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 XSR 정규화[6,7,8]과 XYS 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. Alghoniemy와 Tewfik[3]는 플리핑, 가로세로축 비(aspect ratio)와 회전정보는 중앙모멘트의 함수로써 구할 수 있음을 보였다. 게다가 플리핑과 가로 및 세로 비 정보는 원래 영상과 감지된 영상의 중앙 모멘트를 이용하여 구할 수 있다. 이 논문의 결과는 Alghoniemy와 Tewfik[3]의 결과와는 다른 접근법을 이용한다.

2. 영상 정규화

정규화된 영상을 구하기 위해 중앙모멘트와 균질(homogeneous)사형(affine) 변환 행렬은 영상 정규화에서 중요한 역할을 한다. μ_{pq}는 영상크기 $N \times N$의 디지털 영상 $f(x, y)$의 중앙 모멘트라 하고 여기서

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}(x-\bar{x})^p(y-\bar{y})^q f(x,y)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} x f(x,y)}{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} y f(x,y)}{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)}.$$

이다

이제 두 가지의 영상 정규화 방법을 제안한다. 영상 좌표는 균질(homogemeous) 사형(affine) 변환 행렬 A에 의해 다른 영상 좌표로 변환될 수 있다.

2.1 XYS 기반의 영상 정규화 방법

균질(homogemeous) 사형(affine) 변환 행렬 A를 x축 치우침, y축 치우침과 이방성의 확대축소 행렬로 분해할 수 있다:

$$A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \delta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \gamma & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & \beta \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

로 표시되며 $\alpha,\beta,\gamma,\delta \in \boldsymbol{C}$로 표시된다. 분해법의 유일성[4]을 확인하기 위해 $det(A) \neq 0$과 $a_{11} \neq 0$. 이 경우 논문[4][5]에서는

$$\mu_{31}=0,\ \mu_{13}=0,\ \mu_{20}=1,\ \mu_{02}=1$$

의 조건을 이용하고 있다.

2.2 XSR 기반의 영상 정규화 방법

균질(homogemeous) 사형(affine) 변환 행렬 A를 x축 치우침, y축 치우침과 이방성의 확대축소 행렬로 분해할 수 있다:

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

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[6][7]에서는

$$\mu_{11}=0,\ \mu_{20}=0,\ \mu_{02}=1,\ \mu_{30}+\mu_{12}=0$$

의 조건을 이용하고 있다. 논문[8]에서는 또 다른 행렬을 이용한다. 즉 x 취우침 행렬이 고유치벡터를 이용한 행렬로 대치된다.

3. 중앙모멘트를 이용한 기하학적 정보

보조정리1 [7] 만약 $f(x_a, y_a)$가 균질(homogeneous) 사형(affine)변환 행렬에 의해

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

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

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

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

보조정리 2 [4]: 만약 영상 $f(x,y)$이 영상좌표 $(x,y)^t$를 갖고 있고 정규화 조건

$$\mu_{31}=0,\ \mu_{20}=\mu_{02}=1,\ \mu_{13}=0$$

을 만족시킨다고 가정하자. 이 조건하에서 다른 일곱 개의 영상이 위의 정규화 조건을 한다. 즉 일곱 개의 영상 $f(x_i, y_i)(i=1,2,\cdots 7)$은 영상 좌표는

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = A_i \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

이고 여기서

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

보조정리2에서 7개의 영상 $f(x_i, y_i)(i=1,2,\cdots 7)$은 원래 영상 $f(x,y)$을 $n\times 90^0$을 회전하고 혹은 $f(x,y)$을 플리핑(flipping)함으로서 구할 수 있다. 정규화 된 영상의 애매함을 피하기 위해 중앙 모멘트 μ_{12} 와 μ_{21}을 고려하자. 두 중앙 모멘트를 이용하여 회전에 관한 정보를 구할 수 있고 또한 플리핑 정보를 얻을 수 있다. 만약 영상 $f(x,y)$가 주어지고 이 영상을 반시계방향으로 90도 회전한 영상을 $f(x',y')$로 표시하고 $\mu_{(\cdot,\cdot)}$과 $\mu'_{(\cdot,\cdot)}$을 각각 원래영상과 회전된 영상의 중앙모멘트라 하면 영상 좌표 는

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$$

로 주어진다. 보조정리1에 의해 우리는

$$\mu'_{12}=\mu_{21}, \qquad \mu'_{21}=-\mu_{12}$$

을 얻을 수 있다. 또한 새 영상을 반시계방향으로 180도 회전한 영상으로 정하고 그 영상의 중앙모멘트를 $\mu''_{(\cdot,\cdot)}$로 하면 보조정리1에 의해 다음 식을 얻는다.

$$\mu''_{12}=-\mu_{21}, \qquad \mu''_{21}=-\mu_{12}.$$

마찬가지로 새 영상을 반시계방향으로 270도 회전한 영상으로 정하고 그 영상의 중앙모멘트를 $\mu'''_{(\cdot,\cdot)}$로 하면 보조정리1에 의해 다음 식을 얻는다.

$$\mu'''_{12}=-\mu_{21}, \qquad \mu'''_{21}=\mu_{12}.$$

영상 $f(x, y)$을 수평방향으로 플리핑한 경우의 영상에 관하여 그 영상의 중앙모멘트를 $\mu^{IV}_{(\cdot,\cdot)}$로 하면 보조정리1에 의해

$$\mu^{IV}_{12} = -\mu_{21}, \qquad \mu^{IV}_{21} = \mu_{12}$$

을 얻는다. 마지막으로 영상 $f(x, y)$을 수직방향으로 플리핑한 경우의 영상에 관하여 그 영상의 중앙모멘트를 $\mu^{V}_{(\cdot,\cdot)}$로 하면 보조정리1에 의해

$$\mu^{V}_{12} = \mu_{12}, \qquad \mu^{V}_{21} = -\mu_{21}$$

을 얻는다.

3.1 중앙 모멘트를 이용한 수평수직비 정보

영상 사형 정보 예측을 위해 수평 수직비의 교정이 필수적으로 요구된다. 이 문제를 두 개의 중앙모멘트 μ_{20}, μ_{02}을 이용하여 구할 수 있다. 영상 $f(x, y)$의 영상 좌표 $(x, y)^t$ 를 정의하고 다른 영상 $f(x_s, y_s)$의 영상좌표의 관계가

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \end{pmatrix} = A_s \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \equiv \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

로 가정하면 만약 $a \neq b$이면 영상 $f(x_s, y_s)$의 수평수직비가 영상 $f(x, y)$의 수평수직비와는 다르다. 만약 μ_{20}와 μ_{02}를 영상 $f(x, y)$의 중앙모멘트라 정의하고 μ^{s}_{20}와 μ^{s}_{02}를 영상 $f_s(x, y)$의 중앙모멘트라 정의하자. 보조정리 1에 의해

$$\mu^{s}_{20} = a^3 b \mu_{20}, \qquad \mu^{s}_{02} = a b^3 \mu_{02}$$

를 얻고 변수 a와 변수 b에 관하여 정리하면

$$a = \sqrt[8]{\frac{\mu_{02}\mu^{s3}_{20}}{\mu^{s}_{02}\mu^{3}_{20}}}, \qquad b = \sqrt[8]{\frac{\mu_{20}\mu^{s3}_{02}}{\mu^{s}_{20}\mu^{3}_{02}}}$$

이 된다.

4. 영상크기와 중앙모멘트의 관계

영상 정규시 XYS 영상 정규화를 이용하는데 중앙모멘트 조건

$$\mu_{31} = \mu_{13} = 0;\ \mu_{20} = \mu_{02} = 1$$

을 이용하는 대신에

$$\mu_{31} = \mu_{13} = 0,\ \mu_{20} = \mu_{02} = c$$

을 이용한다. 여기서 $c \in \boldsymbol{R}$ 이다. 다항식의 반복법[9],[5]을 연립고차방정식 $\mu^{xy}_{31} = \mu^{xy}_{13} = 0$을 적용하여 가장 작은 노름을 가진 실근 β^*와 γ^*를 구한다. 여기서 $\mu^{xy}_{(\cdot,\cdot)}$는 x와 취우침 연산후의 중앙모멘트를 나타낸다. 보조정리1에 의해

$$\mu_{20} = \alpha^3 \delta \mu^{xy}_{20}, \qquad \mu_{02} = \alpha \delta^3 \mu^{xy}_{02}$$

을 구한다. 이 결과를 다음 식 $\mu_{20} = \mu_{02} = c$과 이용하여

$$\alpha^* = \sqrt[8]{\frac{\mu^{xy}_{02} c^2}{\mu^{xy,3}_{20}}}, \qquad \delta^* = \sqrt[8]{\frac{\mu^{xy}_{20} c^2}{\mu^{xy,3}_{02}}}$$

이 된다. 만약 정규화된 영상의 크기를 조절하려면 변수 M 과 c의 관계는

$$|c| \approx \frac{M^4}{(1+|b^*|)^4(1+|\gamma^*|)^4} \min\left(\sqrt{\frac{\mu^{xy,3}_{02}}{\mu^{xy}_{20}}}, \ \sqrt{\frac{\mu^{xy,3}_{20}}{\mu^{xy}_{02}}}\right)$$

이 되는데 여기서 정규화의 크기는 원래 영상의 크기의 $M \in (0, \infty)$배가 된다. 이제 이절에서 설명한 방법을 이용하여 영상 사형 정보 추출 방법을 설명한다.

5. 영상 사형 정보 예측 실험

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 예측을 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 $A_4 = A_2^{-1}A_1$을 얻는다.
마찬가지 방법으로 XYS 정규화를 통하여 4개의 변수 즉 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$의 값을 보고 기준 영상과 감지영상 사이의 사형 정보를 예측할 수 있다.

실험 : 원래 영상에서 A_1을 구한 후에 감지된 영상에 사형변환

$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ y & 1 \end{bmatrix}$를 취한 후 y 값을 0에서 0.1씩 증가시키면서 1까지 변화할 때 위 알고리즘에서 구한 예측 행렬 A_4를 구한 후 2차에러

$e = ||M - A_4||_2$

로 정의하고 표1에 그 값을 나타내었다. 실험결과 예측오차가 XYS 정규화 기반 사형 정보 예측 방법이 XSR 정규화 기반 사형 정보 예측 방법보다 작았다.

표1: 사형왜곡에 관한 2차에러

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
XYS	.0638	.1274	.1910	.2545	.3182	.3817	.4454	.5089	.5725	.6356
XRS	.9487	1.0473	1.1299	1.0998	1.1545	1.2112	1.2698	1.3303	1.3926	1.4566

6. 결론

이 논문에서 XYS영상 정규화와 XYS정규화를 이용한 사형정보예측에 관한 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통하여 XYS 정규화 방식를 이용한 사형예측방법이 XSR방식의 정규화를 방식를 이용한 사형예측방법보다 우수함을 알 수 있다. 또한 영상의 수형수직비도 중앙 모멘트를 이용하여 구할 수 있었다. 또한 회전에 관한 예측도 중앙 모멘트를 이용하여 구할 수 있다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R-01-2003-000-10014-0) 지원사업(2차년도)으로 수행되었음.

7. 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]Masoud Alghoniemy and Ahmed H. Tewfik, ''Geometric Distortion Correction in Image Watermarking," *Proceeding of SPIE on Security and watermarking of Multimedia Contents II*, vol. 3971, pp. 82-89, San Jose, Jan. 2000.

[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] K. Voss and H. Suesse,''Invariant Fitting of Planar Objects by Primitives," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 1, pp. 80--84, 1997.

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

[7]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.

[8] S. Pei and Lin C. ''Image Normalization for Pattern Recognition," *Image Vision Computing*, vol. 13, pp. 711--723, 1995.

[9] Yani Zhang, Changyun Wen, Ying Zhang and Yeng Chai Soh, ''Determination of Blur and Affine Combined Invariants by Normalization," *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 1, pp. 211--221, 2002.