카메라 모델에 의한 변환 영역에서의 보간
Interpolation in the transformation domain by camera model

이 학 무, 강 문 기
연세대학교 공과대학 전자공학과
Hak Moo Lee and Moon Gi Kang
Dept. of Electronic Engineering, Yonsei University

요 약

3 차원의 영상을 2 차원 화면에 투영 시키기 위해서는 영상에 대한 카메라의 촬영 각도와 촬영 거리를 일치시켜주어야 한다. 이를 위해서 다른 각도와 거리에서 촬영한 영상을 같은 각도와 거리에서 촬영한 영상으로 만들어 주는 변환을 만들었다. 그러나 이러한 변환을 하였을 때 디지털 영상은 경계 부분이나 직선 등이 끊어지는 현상이 발생하게 된다.

본 논문에서는 변환된 영역에서의 정수 점에 원래 영상의 점을 바로 대응시키지 않고 주변 점의 다항식으로 나타낼 수 있다. 이 다항식의 계수를 정하는 방법으로 변환된 영역에서의 정수 점에 대응하는 원래 영상의 점을 구하여 2 차 선형 보간법(Bilinear interpolation)을 사용하였다. 변환된 영역에서의 정수 점에 대응하는 원래 영상에서의 좌표를 얻기 위해 주변 4 개의 점 내에서는 부분적으로 선형적임을 가정하였다. 위의 방법으로 주변 점들의 에너지를 각 정수 점들로 분산 시킴으로써 경계 점이나 직선들이 잘 보존된 상태로 변환할 수 있었다.

I. 서론

보간과 기하학적인 변환은 영상처리의 여러 분야에서 많이 사용되는 방법이다. 낮은 해상도의 영상을 높은 해상도의 영상으로 만드는데 많이 사용되기도 하며[1], 여러 이유로 해서 디지털 영상에서 부족한 점들을 새롭게 만들어내는데 사용된다. 그 중에서 2 차 선형 보간은 간단하면서도 많이 사용되는 방법이다.

기하학적인 변환 중 하나인 카메라 모델에 의한 변환에서도 보간이 필요하다. 그 이유는 변환된 영역의 영상에서의 좌표가 정수 격자 점에 생기지 않고 정수 격자 점 사이의 공간에 변환된 좌표가 발생하기 때문이다. 따라서 변환된 영상에서 격자 점에 대응하는 원래의 영상의 격자 점 사이의 좌표를 구하여 2 차 선형 보간을 함으로써 변환된 영상에서의 점을 원래 영상에 가깝게 구할 수 있는 것이다.

그러나 카메라 모델에 의한 변환에서 2 차 선형 보간을 바로 사용할 수 없다. 그 이유는 카메라 모델에 의한 변환이 2 차원에서 3 차원으로의 투사 변환인 비선형 변환이기 때문이다. 따라서 보간을 비선형 좌표인 변환 영역에서 할 수 없고 선형 좌표인 원래 영상 영역에서 해야 한다. 그러기 위해서는 변환 영역에서 보간 해야 하는 좌표에 대응하는 원래 영상에서의 점을 구해야 한다.

대응하는 좌표를 구하는 직접적인 방법은 역 변환을 통하여 구하는 것이다. 그러나 역 변환은 일반적인 경우 구하기 어렵고 카메라 모델에 의한 변환 역시 역 변환을 구하기 어렵다. 본 논문에서는 근사화를 통해 대응점을 구하고, 보간 하는 법에 대하여 설명하겠다.

II. 본론

1. 카메라 모델에 의한 변환

3 차원 공간에 있는 영상을 카메라의 2 차원 평면에 투영 시키면 식(1),(2),(3)과 같은 식으로 나타내어 진다. 식(2)는 식(1)에 나타나는 카메라의 여러 각도인자에 의한 3 차원에서 3 차원으로의 변환을 나타내는 것이다. 식(3)은 이러한 각도의 변화에 의한 공간상의 좌표를 투사변환(perspective transform)을

시킴으로써 변환이 완성된다.

X',Y'은 변환된 영역에서의 좌표(즉 카메라의 영상이 생기는 평면상의 좌표)이고 x, y, z는 공간에서의 3차원공간상의 좌표이다.

$$\begin{aligned}
A &= \cos\theta\cos\beta - \sin\beta\sin\theta\sin\alpha \\
B &= \sin\theta\cos\beta + \cos\theta\sin\alpha\sin\beta \\
C &= -\cos\alpha\sin\beta \\
E &= -\sin\theta\cos\alpha \\
F &= \cos\theta\cos\alpha \\
G &= \sin\alpha \\
I &= \cos\theta\sin\beta + \cos\beta\sin\theta\sin\alpha \\
J &= \sin\theta\sin\beta - \cos\theta\sin\alpha\cos\beta \\
K &= \cos\alpha\cos\beta
\end{aligned} \tag{1}$$

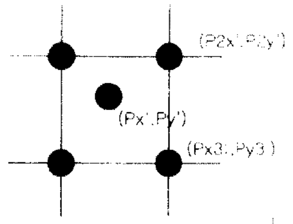
$$\begin{aligned}
X &= A(x-x_0)+B(y-y_0)+C(z-z_0) \\
Y &= E(x-x_0)+F(y-y_0)+G(z-z_0) \\
Z &= I(x-x_0)+J(y-y_0)+K(z-z_0)
\end{aligned} \tag{2}$$

$$x' = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \qquad y' = \frac{\lambda y}{\lambda - Z} \tag{3}$$

이러한 변환은 선형적인 변환이 아니므로 변환 이후의 좌표가 비선형 좌표계인 사변형의 좌표를 가지게 된다. 이런 좌표계상의 좌표를 우리가 디지털영상으로 나타내기 위해서는 정사각형 좌표계로 적용하여야 된다. 일반 사변형 좌표계를 우리의 디지털 정사각형 좌표계로 바로 적용 시키면 영상의 외곽선이나 작선 등이 끊어지는 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제는 디지털 영상의 좌표에 대응하는 원래영상의 좌표를 구해서 보간을 함으로써 해결할 수 있다.

또 다른 문제는 우리의 변환을 하게 되면 일정 부분에서는 영상이 작아지지만 어느 부분에서는 영상이 원래의 영상보다 커지기 때문에 본래의 영상보다 더 많은 픽셀이 필요하게 된다. 이 문제도 역시 보간을 통해서 해결할 수 있는데, 변환된 영역이 비선형이므로 2차 선형 보간법을 사용할 수 없다. 따라서 원래 영상에서의 대응점을 구하여 2차 선형 보간을 함으로써 문제를 해결할 수 있다.

2. 대응점 구하기



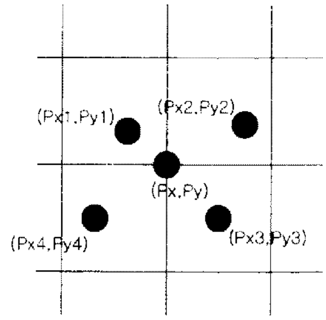


그림 1 좌표 대응

대응점은 역 변환을 취해서 구할 수 있지만 카메라 모델에 의한 변환은 역 변환을 쉽게 구할 수 있는 변환이 아니다. 따라서 우리는 "인접한 4점 사이 내에서는 변환이 2차원적으로 선형적이므로 주변 점 중에서 가까운 점과는 많이 유사한 변환을 먼 점과는 덜 유사한 변환을 한다." 라는 가정하에 다음과 같은 조건상에서 대응점을 구하도록 하겠다.

(1) 우리의 변환은 인접한 4점 안의 영역은 인접한 4점 안의 영역으로 간다.

(2) 각 픽셀들은 변환되기 이전과 이후에 그 순서는 변하지 않는다.

(3) 카메라 모델에 의한 변환을 x, y 축상으로의 평행 이동으로만 나타낼 수 있다.즉 우리의 변환은 공간의 한 영상이 카메라의 한 영상으로 변환 된 것이기는 하지만 단지 원래 영상의 점과 변환된 영상의 점 사이의 관계를 같은 좌표 상에서 평행 이동으로 간략화 할 수 있다.

그림(1) 와 같이 좌표를 정의 하면 변환된 영역에서의 디지털 점의 좌표(보간이 필요한 점)를 (Px,Py)라하고 그에 대응하는 원래 영상의 좌표를 (Px',Py')이라 하자. (Px,Py)의 1사분면의 점을 (P1x,P1y), 2사분면의 점을 (P2x,P2y), 3사분면의 점을 (P3x,P3y), 4사분면의 점을 (P4x,P4y)라 하자. 이에 대응하는 점을 각각 (P1x',P1y'),

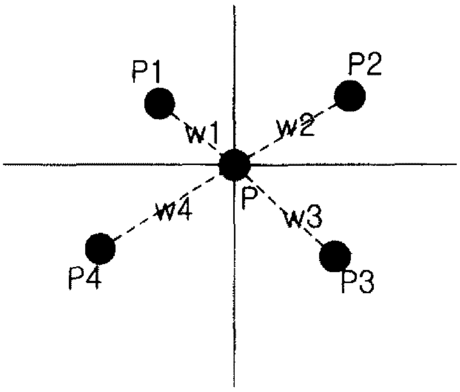


그림 2 변환 가중치

(P2x',P2y') , (P3x',P3y') , (P4x',P4y') 라 하자.

앞에서 조건 (3)에 의하면 P',P1',P2',P3',P4'에서 P, P1,P2,P3,P4 로의 변환을 x,y 축 방향으로의 평행 이동으로 두면 각각 점들의 이동거리를 식(4)에서와 같이 각각 dx , dx1 , dx2 , dx3 , dx4 , dy , dy1 , dy2 , dy3 , dy4 라 하자. 또한 그림(2)에서와 같이 P 와 P1, P2, P3, P4 과의 거리를 w1 , w2 , w3 , w4 라하자. 그러면 p 의 변환을 구하기 위해 주변 점에 가중치를 식 (5),(6),(7),과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} dx1 &= Px1 - Px1' & dy1 &= Py1 - Py1' \\ dx2 &= Px2 - Px2' & dy2 &= Py2 - Py2' \\ dx3 &= Px3 - Px3' & dy3 &= Py3 - Py3' \\ dx4 &= dx4 - dx4' & dy4 &= Py4 - Py4' \end{aligned} \quad (4)$$

$$wt = \frac{w1w2w3w4}{w2w3w4 + w1w3w4 + w1w2w3 + w1w2w4} \quad (5)$$

$$dx = \frac{wt}{w1}dx1 + \frac{wt}{w2}dx2 + \frac{wt}{w3}dx3 + \frac{wt}{w4}dx4 \quad (6)$$

$$dy = \frac{wt}{w1}dy1 + \frac{wt}{w2}dy2 + \frac{wt}{w3}dy3 + \frac{wt}{w4}dy4 \quad (7)$$

이렇게 구한 dx 와 dy 로 우리는 원래영상의 좌표를 다음과 같이 간단하게 얻을 수 있다.

$$Px' = Px - dx \qquad Py' = Py - dy \quad (8)$$

3. 2차 보간법을 이용하여 p 의 크기 구하기

그림(3)에서 같이 네 개의 점 안의 영역에 있는 임의의 점의 밝기(intensity)는 네 개의 점에 가중치를 주어 구할 수 있다. 가중치를 다음과 같이 주는 법을 2차 선형 보간 법이라 한다.

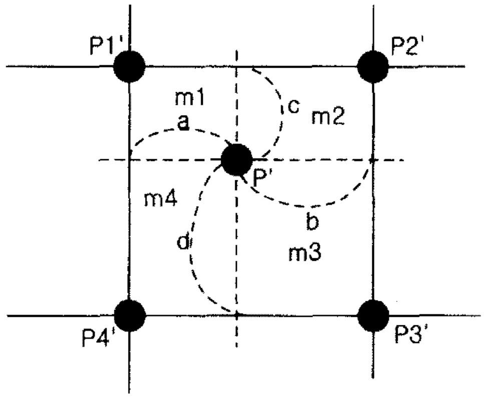


그림 3 2차 선형 보간

점 p'의 x 좌표와 점 P1'과 P2'의 x 좌표와의 차이를 각각 a, b 점 p'과 y 좌표와 점 P1'과 P4'의 y 좌표의 차이를 각각 c, d 라 하자. 점 p 의 밝기 (intensity)를 I' 라하고 주변 P1',P2',P3',P4'의 밝기는 I1',I2',I3',I4'라 하면 식 (9),(10),(11)에 의해 점 p 의 밝기를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} m1 &= ac & m2 &= bc \\ m3 &= bd & m4 &= ad \end{aligned} \quad (9)$$

$$mt = m1 + m2 + m3 + m4 \quad (10)$$

$$I' = \frac{m3}{mt}I1' + \frac{m4}{mt}I2' + \frac{m1}{mt}I3' + \frac{m2}{mt}I4' \quad (11)$$

점 p 와 P1 , P2 , P3 , P4 의 밝기를 각각 I, I1, I2, I3, I4 라 하면 P, P1, P2, P3, P4 와 P', P1', P2', P3', P4 는 좌표의 변화만이 있고 밝기의 변화는 없으므로 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} &I = I' \quad I1 = I1' \quad I2 = I2' \\ &I3 = I3' \quad I4 = I4' \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)가 성립하므로 그림(4)의 영역에서 가중치인 m1,m2,m3,m4 를 구하기 위한 a,b,c,d 의 값을 p'의 좌표를 구하지 않고 변환영역에서 식(13),(14),(15)를 이용하여 구할 수 있다.

$$a = Px' - Px1' = Px - Px1 + dx1 - dx \quad (13)$$

$$c = Py1' - Py' = Py1 - Py + dy - dy1 \quad (14)$$

$$b = 1 - a \qquad d = 1 - c \quad (15)$$

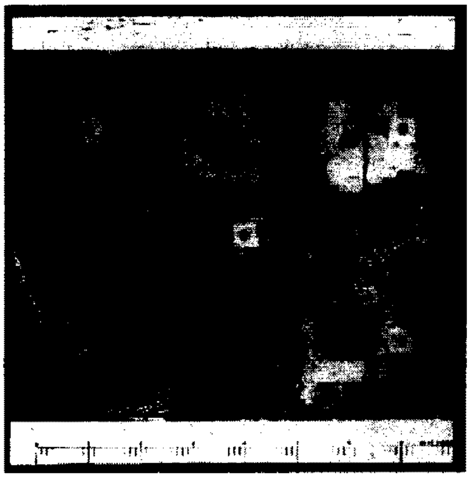


그림 4 원래 영상

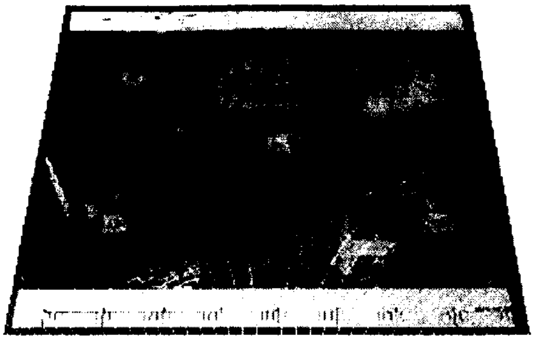


그림 5 변환된 영상

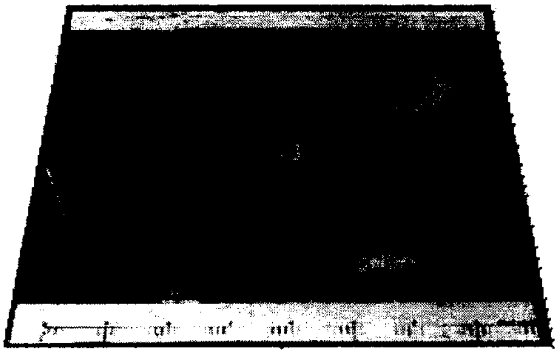


그림 6 보간된 영상

III 실험결과

카메라 모델에 의한 변환에서의 보간은 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림(4)는 변환하지 않은 원래의 영상이고 그림(5)은 변환된 좌표를 가장 가까운 정수 격자 점으로 대입 시켜 만든 영상이다. 값이 없는 픽셀도 생기고 가운데 도로는 중간에 끊어져 있다. 그림(6)은 위의 방법에 의해서 보간 한 영상이다. 위에서 언급한 것처럼 변환영역에서의 모든 격자 점을 원래의 영상에서 찾아 넣었으므로 값이 없는 픽셀은 없고 또한 가운데 도로나 다른 직선들도 끊어짐 없이 선으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

IV 결론

지금까지 보아온 보간은 카메라 모델에 의한 변환에만 적용되는 보간이 아니다. 기존의 방법과는 다르게 역 변환을 통하지 않고 대응점을 구하여 보간을 하였기 때문에 보간 하려는 영상이 어떠한 변환을 하였는지는 중요하지 않고 우리가 가정한 것과 몇 가지 조건만 만족하는 변환은 위의 알고리즘을 적용하여 변환 후에 생기는 여러 왜곡을 제거할 수 있다.

또한 우리의 대응점을 구하는 방법에 있어서 변환에 의존적이기는 하지만 더 정확한 방법에 대해서도 차후 좀더 연구가 필요 하겠다. 그리고 이와 같은 변환과 보간은 그 자체 보다는 가상 카메라와 같은 것을 연구하는데 그 기초가 되는 것이다. 이와 같은 변환과 그 변환에서 생기는 왜곡을 보정함으로써 가상 카메라의 연구에 많이 적용할 수 있다.

참고문헌

[1] Michal irani and P. Anandan " Video Indexing Based on Mosaic Representations" PROCEEDINGS OF THE IEEE , VOL. 86, NO. 5, MAY 1998

[2] Y. Nakazawa, T. Saito, T. Komatsu, T. Sekimori and K. Aizawa "Two Approaches For Image-procession Based High Resolution Image Acquisition" IEEE,1994

[3] Heung-Yeung Shum, Katsushi Ikeuchi, and Raj Reddy " Principal Component Analysis with Missing Data and Its Application to Polyhedral Object Modeling" IEEE TRANSACTIONS ON PAMI , VOL. 17 , NO. 9, SEPTEMBER, 1995

[4] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods " Digital Image Processing" Addison Wesley, 1992