

3차원 물체의 이동방향 측정에 관한 연구

이 현정*, 조 동섭

이화여자대학교 전자계산학과

A Study on the closed-form solutions to image flow equations
for 3D structure and motion

LEE, Hyun-jung* Cho, Dong-sub

Department of Computer Science, Ewha Womans University

ABSTRACT

This study introduces the three-dimensional information about moving objects. Relative motion between textured objects and observer generates a time varying optic array at the image, from which image motion of contours can be extracted. Closed-form solutions are proposed for the structure and motion of planar and curved surface patches. The analytic solution for curved surface patches combines the transformation of Longuet-Higgins with the planar surface solution of Subbarao and Waxman. Ovoid patches are shown to construct a unique transform angle. Thus, ovoid patches almost always yield a unique 3D interpretation.

1. 서론

공간에 있는 어떤 물체를 인식하는 것은 실제로는 순간적으로 머물러 있는 것이지만 시간이 지남에 따라 이 물체의 위치는 공간 좌표계에서 변할 것이고, 이런 움직이는 물체를 인식하기 위해서 관찰자와 움직임의 상대적인 관계에 따라 움직이는 불변의 특징을 찾아내고, 평면과 곡면의 물체에 대한 공간의 움직임 인수(motion parameter)의 유일성을 평가하거나, 그 구조를 보정하고 움직이는 평면에서 그 윤곽선을 만들고 neighborhood의 변형과 전체적인 영상 흐름에 대한 연구가 진행되고 있다.

시간에 따라 변하는 영상분석을 위해서는 공간을 움직이는 면에 대한 인식가능한 특질의 시간에 따라 변하는 투영기하학의 연구인 영상 흐름 이론을 이용하며, 순차적인 영상들로부터 유도되는 특질의 상대적 영상 움직임을 특징짓는 변형인자(deformation parameter)를 측정해서 부분적인 표면구조(기울기와 확대/축소 곡률)와 공간의 움직임을 보정한다.

3D 구조와 움직임에 변형을 판별시킨 운동학적 식을 정형화하고, 평면과 곡면의 조각에 대한 해와 그 유일성에 대해 알아본다.

2. 영상속도

영상속도, 3차원 구조, 움직임간의 관계에서 영상 흐름의 분석적 구조를 알 수 있다. 2차방정식으로 흐름을 모델링하는 것은 부분 영상 흐름 필드의 분석적 구조를 반영하도록 하는 것이다. 부분적인 평면과 곡면의 구조는 분석적으로 영상흐름의 변형에서 얻어진다. 한 neighborhood에서 다른 neighborhood로 움직이는 흐름은 영상 좌표계를 이용하여 천천히 변하는 벡터필드로 인식된다.

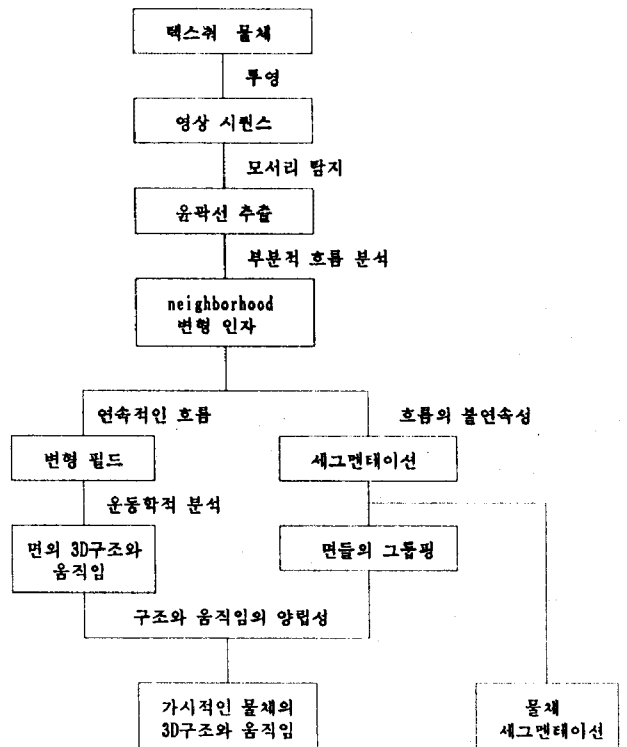


그림 1. 3차구조를 보정하기위한 순서.

그림1과 같이 공간좌표계에 움직이는 관찰자와 고정된 물체 (stationary object)가 있다. 순간적으로 물체의 움직임은 관찰자 (원점)의 이동속도(V)와 회전속도(Ω)로 기술될 수 있다. 공간에 위치 vector R에 의해 위치가 지정된 점 P는 상대속도 $U = -(V + \Omega \times R)$ 로 움직인다.

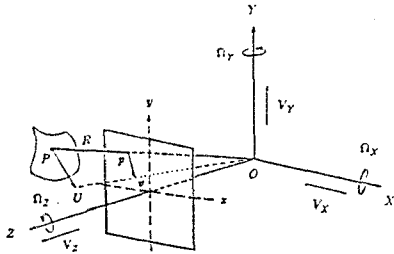


그림 2. 공간 좌표계 (X,Y,Z)와 영상좌표계 (x,y)

시간에 따른 영상좌표들의 차이와 상대속도의 요소들을 이용하여 영상속도를 구할 수 있다. 따라서, 영상속도는 공간에 있는 점의 공간 속도의 투영이다.

$$v_x = \left[x \frac{V_z}{Z} - \frac{V_x}{Z} \right] + [xv\Omega_x - (1+x^2)\Omega_y + y\Omega_z] \quad (1a)$$

$$v_y = \left[y \frac{V_z}{Z} - \frac{V_y}{Z} \right] + [(1+y^2)\Omega_x - xy\Omega_y - x\Omega_z] \quad (1b)$$

식 1은 순간적인 영상흐름 필드를 정의한다.

공간 움직임을 변화시키면 영상 흐름 필드에서 불연속성이 있게 되고, 물체의 모양은 영상 흐름에 영향을 미치며, 관찰자의 회전만으로는 모양에 대한 정보를 얻을 수 없다.

평면에 대한 공간좌표계와 영상좌표계에서

$$Z = Z_0 + pX + qY \quad (2a)$$

$$Z^{-1} = Z_0^{-1}(1 - px - qy) \quad (2b)$$

공간좌표 Z가 주어지면 local 평면은 영상좌표로 근사하게 된다

$$Z = Z_0 + pX + qY + \frac{1}{2}C_{xx}X^2 + \frac{1}{2}C_{yy}Y^2 + C_{xy}XY \quad (3a)$$

$$Z^{-1} = Z_0^{-1} [1 - px - qy - \frac{1}{2}k_{xx}x^2 - \frac{1}{2}k_{yy}y^2 - k_{xy}xy + O(x^3)] \quad (3b)$$

$$(k_{xx}, k_{yy}, k_{xy}) \equiv Z_0^{-1}(C_{xx}, C_{yy}, C_{xy}) \quad (3c)$$

평면은 흐름이 영상좌표에 2차 방정식으로 주어진다.

3. 3차원 물체의 이동방향 추론 방법

영상원점에 대한 영상 흐름의 연속적인 Taylor계수를 보정하며, 평면에 대해서, 2차의 흐름 모델은 전체적인 면에서도 타당하고, 곡면의 경우는 부분적으로 타당하다. 1,2 또는 1,3을 결합한 식에서 각 항의 계수는 영상흐름의 다양한 부분적 변형과 관계가 있다. 또한 3차원구조와 움직임인수를 이용해서 계수가 결정된다. 3차정보는 2차를 통한 영상흐름의 변형으로 저장된다.

다음은 2차흐름을 부분적 영상속도 필드로 근사하는 식이다.

$$v(x,y) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 v_{ij} \frac{X^i Y^j}{i! j!} \quad (4)$$

시간에 따른 영상의 기하학적 매핑으로 생각할 수 있다. neighborhood의 변형은 Taylor계수의 linear combination을 통해 해석된다.

여러 frame에 대해서 윤곽선들과 모서리들 따라 측정된 정규화된 변위로부터 유도된 정규화된 흐름을 이용하여 neighborhood에서 부분 영상 흐름을 보정한다. 윤곽선을 따른 정규화 흐름 $v_n(x,y)$ 와 윤곽선들을 따른 unit normal $n(x,y) = (n_x, n_y)$ 가 주어지면 $v_n = n^*v$ 이다.

3차원추론과정은 영상속도계로부터 물체의 공간 움직임인수와 면구조를 보정 하고자 하는 과정이다. 2차 흐름이 타당한 영상영역 내의 neighborhood로 투사하는 작은 면 조각들에 대해서는 부분적인 면구조, 공간움직임과 2차 흐름 모델의 계수에서 유도된 변형인수간의 운동학적 관계를 갖는다.

$$D_1 = -(V_x + \Omega_x) \quad (7a)$$

$$D_2 = -(V_x - \Omega_x) \quad (7b)$$

$$D_3 = V_x + pV_x \quad (7c)$$

$$D_4 = V_x + qV_x \quad (7d)$$

$$D_5 = \frac{1}{2}(pV_x + qV_x) \quad (7e)$$

$$D_6 = -\Omega_x + \frac{1}{2}(pV_x - qV_x) \quad (7f)$$

$$D_7 = -2(\Omega_x + pV_x) + k_{xx}V_x \quad (7g)$$

$$D_8 = (\Omega_x - qV_x) + k_{xx}V_x \quad (7h)$$

$$D_9 = -(\Omega_x + pV_x) + k_{xx}V_x \quad (7i)$$

$$D_{10} = 2(\Omega_x - qV_x) + k_{xx}V_x \quad (7j)$$

$$D_{11} = -\frac{1}{2}(\Omega_x - qV_x - k_{xx}V_x + k_{xy}V_x) \quad (7k)$$

$$D_{12} = -\frac{1}{2}(\Omega_x + pV_x + k_{xx}V_x - k_{xy}V_x) \quad (7l)$$

영상 원점에 대해 중심이 잡히지않은 영상 neighbor는 투영원점에 대해 3D 회전을 하여 새로운 영상 면 좌표계의 중심으로 변환시키는 gaze transformation을 이용한다. 방정식이 nonlinear라는 사실은 여러 해가 나타날 수 있으며, 애매한 3D해석이 된다.

Longuet-Higgins와 Prazdny는 뷰 필드의 중심에서 회전에 의해 영상좌표를 변환시켜 새로운 영상속이 되도록 방향을 바꾼다. 이 회전각이 3차식의 해가 되며, 이 방법은 평면과 곡면에 대해 타당하고, 이에 의하여 주어진 변형인수의 애매한 3차원 해석의 가능성이 나타난다.

평면과 곡면의 경우에 애매한 해석을 통일하는 solution procedure를 나타내고자 한다. 곡면의 경우는 회전된 좌표계에서 tangent plane solution에 대한 풀이를 이용하여 얻어진다.

4. 물체의 이동 방향 결정의 예

평면에 대해 해를 보면, 일반적으로 같은 순간적인 2차 흐름에 대하여 움직이는 2차 평면상의 면은 두 개의 해석이 있다. 2개 이상의 평면에서 전체적인 양립성이나, 시간에 대한 해의 단순한 연속성은 각 순간에 각 평면과 연관된 쪽으로부터 올바른 3차 해석을 선택해야 한다. 이런 선택은 시간에 대해서 해의 연속성을 필요로 한다.

운동학적 관계를 이용한 Subbarao와 Waxman의 방법으로 표현하면, 정규화된 곡물은 없어져서 간단하게 된다. 2차 흐름 필드가 단지 8개의 인수에 의해 기술되었고, 가운데의 root가 V_z 를 만드는 3차원방정식을 얻을 수 있다. $V_z = 0$ 이라는 가정하에서 그 절차가 유도된다. 3차식을 만족하는 V_z 를 찾을 수 있지만 3개의 root중 2개는 관계가 없고, 가운데의 root가 올바른 root임을 알 수 있다.

$$D_1 = -(V_x + \Omega_y) \quad (6a)$$

$$D_2 = -(V_y - \Omega_x) \quad (6b)$$

$$D_3 = V_z + pV_x \quad (6c)$$

$$D_4 = V_z + qV_y \quad (6d)$$

$$D_5 = \frac{1}{2}(pV_x + qV_y) \quad (6e)$$

$$D_6 = -\Omega_z + \frac{1}{2}(pV_x - qV_y) \quad (6f)$$

$$D_7 = -2(\Omega_y + pV_x) \quad (6g)$$

$$D_8 = \Omega_x - qV_y \quad (6h)$$

$$V_z^3 + C_1V_z^2 + C_2V_z + C_3 = 0 \quad (7a)$$

V_z 에서 두 개의 가솔기를 얻을 수 있고 네 개의 조합중 두개만 사용할 수 있다. 변이속도가 면 노말에 평행할 때 유일한 해를 찾을 수 있다. 면은 모든 가시적인 특질에 대해 $Z > 0$ 인 $Z = Z_0$ ($1 - px - qy$)⁻¹의 영상좌표로 표현될 수 있다. $Z < 0$ 의 가솔기를 갖는 해는 제외된다. 이상적이고 정규화된 흐름 데이터에 대하여, velocity functional method는 변형 인수와 흐름 필드를 보정한다.

곡면에 대해서는 평면에 대한 해의 확장으로 해를 얻을 수 있다.

사실,곡면에 대해 3차 추론과정은 흐름 필드가 second-order가 아니기 때문에 이상적인 노말 흐름 데이터에 대해서도 정확하게 나타나지 않는다.

곡면중 안장형의 곡물은 -1이며 흐름이 생성될 때 세 개의 해가 얻어진다. 여기서 각 해는 분리된 변형 각에 의해 특징지어지고 원통형의 곡물은 -1이며 시선이 끝나는 곳을 따라 변이에 의해 흐름이 생성되어 얻어진다. 변이 벡터 면 노말과 시선이 공통의 평면에 있을 때, Gaussian곡물의 부호에 상관없이 곡면에 대해 두 개의 해를 얻을 수 있고, 두 개의 해는 같은 변형 각에 의해 특징지어진다. 사실 세 개가 전체적인 해가 될 수 없으며, 유일한 결과는 $V_z = 0$ 일 때 얻어지고, 가시적인 알 모양의 조각은 전체적인 해가 유일하다.

5. 결론

영상 움직임의 분석에 대한 연구가 진행 중에 있고, 영상 변형 인자와 2차 흐름 모델에 근거하여 velocity functional method를 사용하여, 흐름과 보정에 대한 문제를 풀었고, 영상 흐름에서 평면과 곡면의 3차원 구조와 움직임의 보정에 대해 연구해왔다. 곡면과 평면의 해를 구하는 방법 간의 밀접한 관계는 애매한 해에 대해서 그 구하는 방법에 많은 영향을 주었다.

전체적인 해의 보정을 위한 3차원 물체 모델을 사용하여 시간에 대해 변하는 영상에서 윤곽선 추출, tracking, 모서리 탐지, localization, 강도에 근거한 방법등에 대한 연구가 필요하다. 또, 흐름 세그멘테이션 알고리즘은 neighborhood의 크기와 데이터의 밀집 정도에 관계없이 자동화 되어야 한다. 일상적인 제어 법칙으로 움직임 분석을 통합하는 것이 로보틱 manipulation과 내비게이션에서 요구된다.

6. 참고 문헌

1. Longuet-Higgins, "The visual ambiguity of a moving plane",in PROC.ROY.SOC.LONDON B233,1984
2. Longuet-Higgins, "the interpretation of a moving retinal image",in PROC.ROY.SOC.LONDON B208,1980
3. Subbarao, Waxman, "On the uniqueness of image flow solutions for planar surfaces in motion", in COMPUTER VISION, GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING Vol.36, 1985
4. Waxman, Wohn, "Closed-form solutions to image flow equations for 3D structure and motion",in INTERNATIONAL

JOURNAL OF COMPUTER VISION, Vol.1, 1987

5. Horn, "Motion field & Optical flow", in ROBOT VISION,
1986

6. Ballard, Brown, "Motion", computer vision, 1982

7. Waxman, Wohn, "Image flow theory: a framework for
3-D inference from time-varying imagery", in ADVANCED IN
COMPUTER VISION, Vol.1, 1987