

스테레오 정합을 이용한 3차원 형상정보 복원

구본기

시스템공학연구소

대전광역시 유성구 어은동 1번지

kbki@seri.re.kr

3D Shape Recovery Based on Stereo Matching

Bon-Ki Koo

Systems Engineering Research Institute

1 Ueun-Dong, Yusong-Gu, Taejon, Korea

kbki@seri.re.kr

요약(Abstract)

본 논문에서는 스테레오 정합기법을 이용하여 2차원 물체의 형상정보로부터 3차원 형상정보를 자동 추출하는 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 정확한 3차원 형상추출을 위해서 밝기값기반 방법과 특징기반 방법의 장점을 살려 두 방법을 통합 사용하였다. 또한, 오정합을 최소화하고 처리속도를 향상시키기 위해서 Coarse-to-fine 방법을 적용하였다. 제안한 방법에 의해 도출된 변이영상(Disparity map)은 3차원 그래픽을 이용하여 모델링에 적용함으로써 3차원 형상정보 추출의 타당성 및 가상공간에서의 적용 가능성을 보였다.

1. 서론

거리정보를 효율적으로 획득하기 위해서는 빠른 속도, 정확성, 해상도, 잡음 면역, 신뢰성, 강인성 등이 요구된다. 이런 점에서 스테레오 처리 방법은 넓은 범위의 거리에 대한 정밀한 거리정보를 얻을 수 있고, 접근 방식의 수동성 때문에 거리 감지의 유용한 도구가 된다^[1~2]. 3차원 거리정보의 획득을 위해 인간의 시각을 모방한 스테레오 시각은 가격 면에서 여러 가지 다른 센서와 비교해 볼 때 훨씬 경제적으로 구현 가능

하고 대상물을 직접 볼 수 있다는 장점으로 인해 많은 연구가 진행되고 있다^[3~5]. 정합의 방법으로는 화소의 밝기값에 의존하는 밝기값기반(Intensity-based)방법과 영상내의 특징점을 이용하는 특징기반(Feature-based) 방법이 있다^[6]. 전자의 밝기값기반 방법은 많은 연산량을 필요로 하고 잡음의 영향에 민감하다는 문제점이 있지만, 영상 전체에 대한 정밀한 변이 차를 얻을 수 있는 장점이 있다. 후자의 특징기반 정합방법은 계산량이 작다는 장점이 있으나 영상의 특징점이 존재하는 부분이 적게 되어 변이부분을 보간할 필요성이 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 특징기반과 밝기값기반의 장, 단점을 가변계수를 사용하여 동시에 적용했으며 사용자에게 요구에 따른 적절한 해상도의 결과물을 도출하고 정합의 오류 확산을 최소화하기 위해 Coarse-to-fine 기법을 적용하였다. 또한 도출된 변이영상의 타당성을 확인하기 위해 3차원 그래픽에 적용하였다. 다음절에서는 입력영상에서 대상물체를 추출하는 배경과 물체의 분리에 대해서 알아보고, 3절에서는 정합에 사용되는 요소들과 4절에서 정합판별기준인 정합유사함수의 정의를 다루고 5절에서는 Coarse-to-fine 기법을 6절에서는 평활화 과정을 소개한다. 마지막으로 실험결과와 이에 따른 고찰을 살펴보겠다.

2. 배경과 물체의 분리

입력된 2차원 영상에서 대상물체에 대한 정합을 수행함에 있어서 배경은 원하지 않은 오정합을 일으키고 정합 수행시간에 영향을 초래한다. 본 논문에서는 대상물체와 배경을 분리하기 위해 대상물체의 배경을 특정색으로 구성하여 얻어진 영상에 대한 이진화(Threshold)과정을 수행한다. 이렇게 구한 영상은 물체내부의 임의의 점이 배경과 동일 색상이면 경우 배경으로 정의된다. 이를 제거하기 위해 구한 이진영상에 대해 Closing^[7] 연산을 수행하여 물체 내부에 존재하는 오인식 영역을 제거한다. 이상에서 구한 결과영상은 물체, 배경, 경계선의 정보를 가지게된다. 이러한 정보는 영상정합 수행시 탐색영역의 기본정보로 활용된다.

3. 정합요소 설정

사용되는 기본적인 정합요소는 입력영상의 밝기값을 기준으로 영상의 경계선을 사용한다. 사용되는 경계선은 Gradient 연산자를 이용하여 구한다. 사용한 연산자는

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

과 같다. 한 점에서의 에지의 크기 $g_i(x, y)$ 는

$$g_i(x, y) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

와 같다.

이렇게 구한 영상의 밝기값과 에지를 적절히 이용하여 정합에 사용하기 위해 정합유사행렬을 정의한다. 전체 영상에 대한 특징점의 행렬을 M_i , 밝기값 행렬을 I_i 라할 때 정합요소행렬 P_i 는

$$P_L = \begin{bmatrix} (1-\alpha) I_i \\ \alpha M_i \end{bmatrix} \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

과 같다. 식(3)에서 α 는 정합에 참여하는 특징점에 따라 변하는 값이다.

4. 정합유사함수

정합요소 행렬을 이용하여 정합유사도 ϵ^2 을 정의하면

$$\epsilon^2 = (P_L - P_R)(P_L - P_R) \quad (4)$$

와 같다. 여기서, 식 (4)에 식 (3)을 대입하여 정합유사도를 최소화하는 α 값을 구하면

$$\alpha = \frac{\|I_L - I_R\|^2}{\|I_L - I_R\|^2 + \|M_L - M_R\|^2} \quad (5)$$

와 같다. 이 식을 살펴보면 왼쪽 영상과 오른쪽 영상의 변이차가 정해졌을 경우 각각 일치하는 점들의 밝기값과 특징값의 차이가 어느 정도인가에 따라 α 값이 결정된다. 즉 좌, 우 영상의 잡음으로 인해 밝기값을 기반으로하는 영상정합이 어려울 경우에 있어 α 값을 크게 하여 특징기반방법에 가깝게 정합을 수행해야 하고, 반대로 특징이 제대로 추출되지 않는 영상인 경우에는 α 값을 작게 하여 명암기반방법에 가까운 방법을 사용하여야 한다.

식 (5)는 전체 영상에 대한 정합유사도를 나타내고 실제로 국부적인 영역에서의 최적인 값을 찾는 정합유사도의 수식은 한 점에서의 SSD를 최소화 하는 d 값을 찾는

$$C(x, d) = (1-\alpha)^2 \sum_{n \in W} [f_L(x+n) - f_R(x+n+d)]^2 + \alpha^2 \sum_{n \in W} [g_L(x+n) - g_R(x+n+d)]^2 \quad (6)$$

으로 결정된다.

5 Coarse-to-Fine 기법

정합전략의 하나로 저 해상도의 영상에서 차츰 해상도를 높이면서 정합을 수행하는 Coarse-to-fine 기법을 사용한다. 이 기법은 탐색공간을 줄일 수 있음은 물론 갑자기 생성되는 변이차의 오류를 최소화할 수 있다. 또한, 실시간으로 수행할 경우에 원하는 시간 내에 적절한 해상도의 변이영상을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 가장 낮은 해상도에서 구해진 변이영상이 잘못 구해질 경우에는 다음 단계에서 오류가 확산될 단점이 있다. 그림 1은 4단계의 Pyramid 구조를 가진 Coarse-to-fine 방법의 계층도이다.

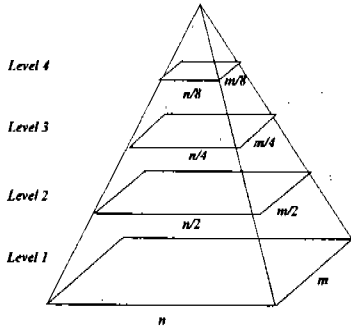


그림 1. Coarse-to-fine 방법(Pyramid 구조)

6 평활화(Smoothing)과정

밝기값의 변화가 적은 대상물체 내부영역에서 발생하는 오정합을 최소화 하고 VRML 공간에서 적절한 3차원 모델을 구성하기 위해 정합과정에서 구한 각 점에 대한 SSD값의 분포를 이용하여 평활화과정을 수행한다.

평활화과정은 대상 정합점에서 구한 SSD 분포를 2차원 곡선으로 근사하여 그 때 2차 계수값을 뽑아 그 값의 기여도를 결정하고 일정크기의 윈도우 안에서 평활화를 수행하도록 한다. 평활화의 수행은 그림 2에서와 같이 a를 이용하여 주어진 점의 SSD값이 일정 임계치 이하이면 그 점에서의 변이값을 대표값으로 하고 임계치 이상이면 그 점의 주변 변이값을 적용하도록 한다.

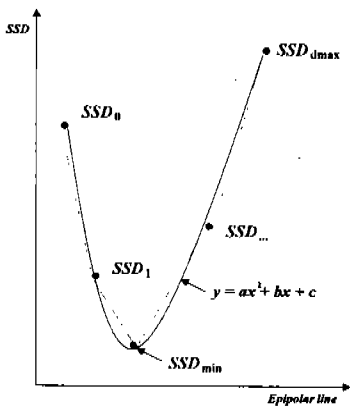


그림 2. 한 점에서 SSD의 분포에 따라 2차 곡선으로 근사

$d^i(x)$ 를 i 번 반복한 후의 x 점에서 변이값이라 하고 $d_n^i(x)$ 는 좌표 x 에서 이웃한 변이값들의 대표값이라 할 때, 평활화 과정은

$$d^{i+1}(x) = \begin{cases} \frac{a}{a+1} d^i(x) + \frac{1}{1+a} d_n^i(x) & \text{if } C(x, d_c) < SSD_{max}^i \\ d_n^i(x) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

과 같다. 이때 임계 SSD 값을 나타내는 SSD_{max}^i 는 반복이 계속 진행됨에 따라 그 값이 줄어들어 평활화 대상이 넓어지게 된다.

7 실험결과 및 고찰

실험에 사용된 그림과 그 결과는 그림 3, 4와 같다. 그림 3은 Disparity가 급격하게 변하는 상자에 대해 정합을 수행한 결과이다. (a), (b)는 왼쪽, 오른쪽 영상을 나타낸다. 왼쪽 영상의 오른쪽 끝부분이, 오른쪽 영상에서는 존재하지 않는 폐색이 존재하는 영상임을 알 수 있다. 평활화 이전에는 잘못 정합된 결과들이 많이 있음을 (c)를 통해 알 수 있다. 하지만 평활화과정을 수행함으로써 (d)와 같이 바르게 정합된 부분이 잘못 정합된 부분을 제거시켜주는 효과를 가지도록 한다. 하지만 평활화에 의해서 뾰족하게 변해야하는 표면이 부드럽게 표현되게 되는 문제점이 있다.

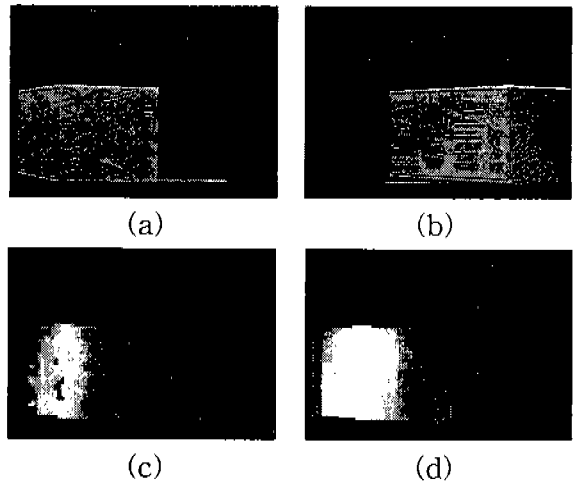


그림 3. 거리차가 급격히 변하는 상자 영상 (a), (b) 입력영상(좌, 우영상) (c)평활화없이 Coarse-to-fine 기법 적용 (d) 평활화를 수행한 결과

그림 4는 옷퐁치 스테레오 영상이다. 사용된 특징영상은 (c)와 같고 스테레오 정합을 통해 거리차 지도를 구하면 (d)와 같은 결과가 나온다. 이 거리차 지도로부터 위에서 열거한 방식으로 3차원 모델링을 하여 골격형태로 나타내면 (e)와 같다. 여기에 텍스처를 입혀서 나타낸 것이 (f)이다.

참고문헌

- [1] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, Chapman & Hall Computing, London UK, pp. 112-122, Jan. 1993.
- [2] M. M. Trivedi, C. Chen, and S. B. Marapane, "A Vision System for Robotic Inspection and Manipulation," *IEEE Computer, Special Issue on Autonomous Intelligent Machines*, vol. 22, no. 6, pp. 91-98, June 1989.
- [3] D. Marr and T. Poggio, "Cooperative Computation of Stereo Disparity," *Science*, vol. 194, pp. 283-287, 1976.
- [4] G. Medioni and R. Nevatia, "Segmented-based Stereo Matching," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, vol. 31, pp. 2-18, 1985.
- [5] S. B. Marapane and M. M. Trivedi, "Region-based Stereo Analysis for Robotic Application," *IEEE Transaction on System Man and Cybernetics*, vol. 19, no. 6, pp. 1447-1464, Nov./Dec. 1989.
- [6] U. R. Dhold, "Stereo from Stereo - A Review," *IEEE Transaction and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 6, pp. 1489-1989, Nov. 1989.
- [7] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison-Wesley Publishing Co., vol. 1, pp. 198~218.

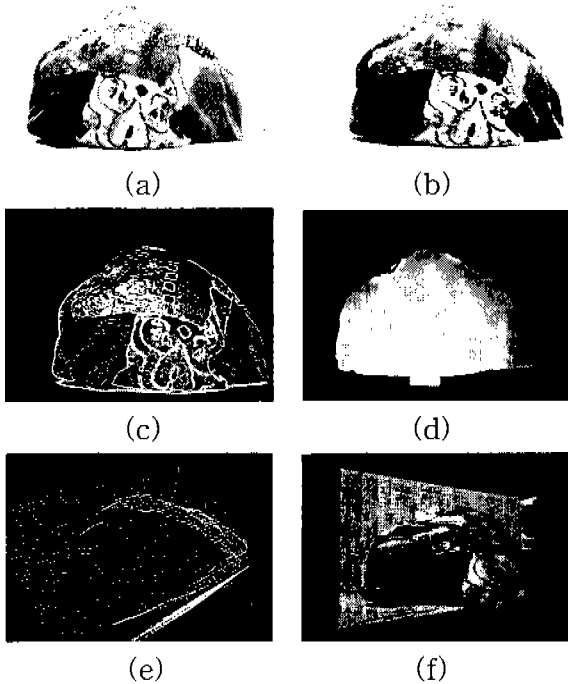


그림 4. 옷퐁치 영상
 (a)(b) 입력영상(좌, 우영상)
 (c) 특징영상 (d) 정합결과 영상
 (e) 골격영상(VRML) (f) 텍스처영상(VRML)

8. 결론

본 논문에서 제안한 스테레오 정합을 이용한 3차원 형상정보 추출 알고리즘은 밝기값과 특징값을 가변계수를 이용하여 사용하였다. 또한, 정합과정에서 발생하는 정합오류를 최소화하고 원하는 해상도에서 정합결과를 얻기 위해 평활화과정과 Coarse-to-fine 기법을 적용하였다. 향후 연구과제로는 정합수행 속도개선과 폐색영역에서의 오정합을 최소화하는 알고리즘 개발이 필요하다.