

불확실성을 고려한 영역과 특징기반 스테레오 정합결과의 확률적 통합

문인혁

연세대학교 의공학과, 첨단의료기기 기술혁신센터,
의용계측 및 재활공학 연구센터, 의공학연구소

Probabilistic Estimation of Area- and Feature-based Stereo Matching Results Considering Uncertainty

Inhyuk Moon

Dept. of Biomedical Engineering, Technology Innovation Center for Medical Instruments,
Research Institute for Medical Instrumentation and Rehabilitation Engineering,
Yonsei University
E-mail : ihmoon@dragon.yonsei.ac.kr

Abstract

This paper proposes a positional estimation method for extracted line features by stereo vision. Based on given reference plane, planar surfaces corresponding the given plane are first extracted. Then, features in the planar surfaces are selected. Using the Extended Kalman Filter the feature positions are estimated by combining area- and feature-based stereo matching results. Experimental results show the proposed method is feasible.

I. 서론

최근 3차원 정보를 획득하기 위한 수단으로서 두 대의 CCD카메라를 이용한 스테레오 시각(stereo vision)이 많이 사용되고 있다. 하지만 일반적으로 시각센서는 정보획득을 위한 계산 코스트가 높으며, 영상의 양자화에 따른 화소의 오차가 존재한다[1]. 또한 스테레오 시각의 경우 교정작업과 두 입력영상간의 정합(matching)이라는 단계가 반드시 필요하기 때문에 교정오차와 정합의 신뢰성의 문제가 발생한다.

본 논문은 스테레오 시각시스템의 불확실성(uncertainty)을 모델링하고, 불확실성을 고려한 영역기

반 정합결과와 특징기반 정합결과를 확률적으로 통합하여 특징에 대한 3차원정보를 추정하는 수법을 제안한다. 실내환경에 대한 물체의 위치가 주어졌을 때, 평면영역과 영상내의 수직선 특징을 검출하여 평면내의 특징만을 그룹화하고, 이 특징이 평면의 표면에 존재한다고 가정하여 구속식을 구하고, 칼만필터(Kalman Filter)를 적용하여 특징의 위치를 확률적으로 추정한다. 실내환경에서의 실험결과로부터 추정된 3차원 정보는 불확실성이 작고, 신뢰성이 높음을 보인다.

II. 스테레오 시각 및 불확실성 모델링

2.1 스테레오 시각 관측 모델 및 관측 불확실성

그림 1은 카메라중심 좌표계내에서 (x_c, y_c) 에 위치한 점을 평행 스테레오 시각으로 관측했을 때의 관측 기하를 나타낸다. 스테레오 시각의 관측위치는 스테레오 기하로부터 식(1)을 이용하여 예측가능하다. 그림 1에서 f 와 B 는 각각 초점거리(focal length)와 카메라 좌표계의 원점에서 각 초점과의 거리를 나타내고, u_l, u_r 은 영상내에 수평축 방향의 관측위치를 나타낸다.

$$u = \begin{bmatrix} u_l \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \frac{(x_c + B)}{x_y} \\ f \frac{(x_c - B)}{y_c} \end{bmatrix} = Z(p) \quad (1)$$

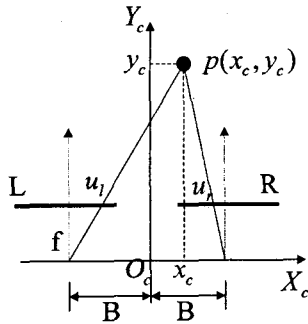


그림 1. 스테레오 관측기하

스테레오 관측기하에 의한 비선형 관계식(1)은 테일러 급수(Taylor's series) 전개법을 이용하여 선형화하고 공분산 행렬을 구하면 다음과 같다.

$$\Sigma_u = \frac{\partial Z}{\partial p} \Sigma_p \frac{\partial Z}{\partial p}^T \quad (2)$$

여기서 Σ_p 는 x_c 와 y_c 의 공분산 행렬이고, x_c 와 y_c 가 독립이라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Sigma_p = \begin{bmatrix} \sigma_{x_c} & 0 \\ 0 & \sigma_{y_c} \end{bmatrix} \quad (3)$$

본 논문에서는 그림 2와 같이 평균으로부터 표준편차의 3배(3σ)이내의 데이터는 유효하다고 가정한다.

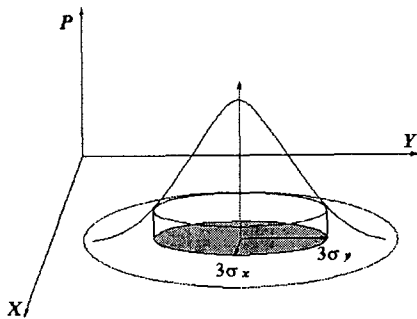


그림 2. 불확실성 및 유효영역

2.2 특징기반 스테레오 정합

영상의 수직선 세그먼트(vertical line segment)를 특징(feature)으로 하고, 소벨 에지 연산자(Sobel edge operator)를 이용하여 방향 정보를 가지는 에지를 얻은 후, 세선화, 라벨링의 과정을 거쳐서 방향정보를 가지는 수직선 세그먼트를 추출한다.

스테레오 수직선 세그먼트는 에피폴라구속(epipolar constraint)과 평면상의 수직선은 순서 역전이 없다는 조건하에 좌우의 세그먼트 l_i, r_j 간의 방향유사도

(orientation similarity, OS), 길이유사도(length similarity, LS), 중첩도(overlap ratio, OR)의 평균을 가중치 $w(l_i, r_j)$ 로 하는 동적 프로그래밍(dynamic programming, DP)법을 이용하여 정합한다[2].

$$w(l_i, r_j) = \frac{1}{3} \{OS(l_i, r_j) + LS(l_i, r_j) + OR(l_i, r_j)\} \quad (4)$$

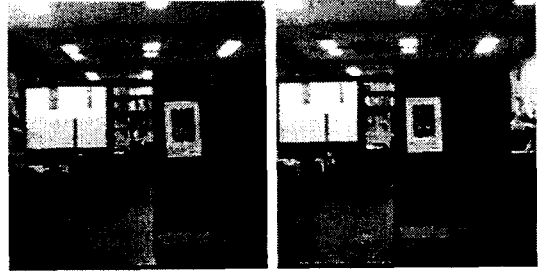


그림 3. 스테레오 입력영상

그림 3은 입력 스테레오 영상이고, 그림 4는 오른쪽 입력영상에 대한 검출된 수직선 세그먼트와, DP를 이용한 정합의 결과를 나타낸다. 오정합(false matching)된 세그먼트는 제거되었다.

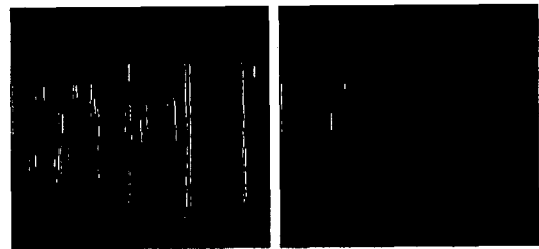


그림 4. 수직선 세그먼트와 정합결과

2.3 영역기반 스테레오 정합

영역간의 정합은 상관도를 계산하여 구한다. 상관도로서는 다음과 같은 SAD(Sum of Absolute Differences) 값을 사용한다.

$$SAD_{LR} = \sum_{(i,j) \in W} |I_L(i, j) - I_R(i + d, j)| \quad (5)$$

여기서 d 는 시차(disparity)이고, W 는 영역의 크기이다. 본 논문에서는 $W=15$ 로 하였다. 그림 5는 오른쪽 영상에 대한 정합결과인 시차영상이다.

III. 평면영역 및 특징검출

3.1 평면영역 검출

평면물체의 위치정보가 주어지면, 식(1)로부터 관측

불확실성을 고려한 영역과 특징기반 스테레오 정합결과와 확률적 통합

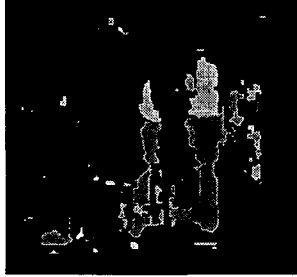


그림 5. 시차영상

위치를 예측할 수 있다. 위치의 불확실성을 고려하여 탐색영역을 설정한다(그림 6참조). 또한 시차영상의 각 시차값은 다음과 같은 비선형식을 이용하여 카메라 좌표축의 위치 $p(x_c, y_c)$ 를 얻을 수 있다.

$$p = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B(u_l + u_r) \\ \frac{u_l - u_r}{2BF} \end{bmatrix} = Q(u) \quad (6)$$

여기서 $u = [u_l \ u_r]^T$ 이다. 시차영상내의 주어진 평면 물체에 해당하는 시차를 가진 데이터는 식(6)을 이용하여 모두 위치벡터로 변환하고, 최소자승법(least squares method)를 이용하여 평면에 해당하는 직선파라미터 $l = [a \ b]^T$ 와 그 공분산 Σ_l 를 추정한다(그림 6 참조).

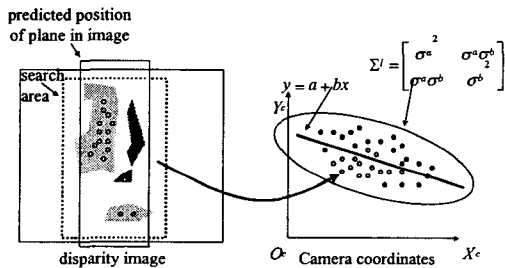


그림 6. 평면영역 검출

3.2 평면영역내의 특징검출

2.2절에서 정합된 특징들 중에서 그림 6의 탐색영역 내에서 평면영역의 유효한 시차값을 가진 특징만을 선택한다.

3.3 평면영역의 경계예지 검출

평면영역내의 특징의 위치를 추정하기 위해서 평면영역의 경계예지의 위치를 검출한다. 경계예지는 영상에서 수직선이라고 가정하고, 탐색영역을 최소자승법

으로 수직선의 위치를 구한다. 그림 7은 참조평면으로 화이트보드와 파티션을 주었을 때의 평면과, 경계예지, 그리고 평면내의 수직선 특징을 검출한 결과이다.

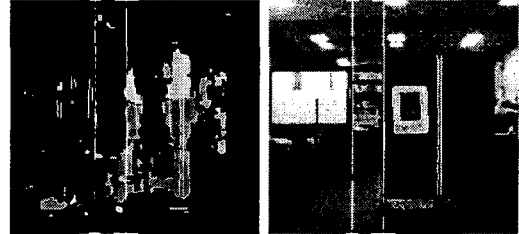


그림 7. 검출된 평면 및 경계예지와 수직선 특징

IV. 스테레오 정합결과와 확률적 추정

4.1 관측 구속식

특징기반 스테레오 정합의 결과로부터 식(6)을 이용하여 수직선 세그먼트의 위치와 그 불확실성은 계산할 수 있다. 수직선 세그먼트는 평면상에 존재한다고 가정하면 다음과 같은 구속식을 구할 수 있다.

$$y_c = (a + b \cdot x_c) = G(p, l) = 0 \quad (7)$$

여기서 $p = [x_c \ y_c]^T$ 이고, l 은 3.1에서 구한 직선파라미터 $l = [a \ b]^T$ 이다. 식(7)은 선형화하여 새로운 선형화된 관측식으로 나타낼 수 있다.

$$y = Hp + v \quad (8)$$

여기서

$$y = -G(\bar{p}, \bar{l}) + \frac{\partial G}{\partial p} \bar{p}$$

$$H = \frac{\partial G}{\partial p}$$

$$v = \frac{\partial G}{\partial l} (l - \bar{l})$$

이다.

4.2 칼만필터를 이용한 확률적 통합

특징기반 스테레오 정합된 특징의 위치는 식(6)에 의해 카메라좌표축상의 위치 p 를 계산할 수 있다. 마찬가지로 식(6)을 선형화하여 공분산 Σ_p 를 구하면 다음과 같다.

$$\Sigma_p = \frac{\partial Q}{\partial u} \Sigma_u \frac{\partial Q}{\partial u}^T \quad (9)$$

여기서 Σ_u 는 관측된 세그먼트의 픽셀 공분산이다. 좌·우의 영상의 오차가 독립이라고 하면, Σ_u 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} \sigma_{u_i}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{u_r}^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

본 연구에서는 $\sigma_{u_i} = \sigma_{u_r} = 0.5$ 로 한다.

식(6)(9)와 식(8)의 관측식과 칼만필터(Kalman filter)[3]를 이용하여 확률적으로 통합하여 특징의 위치를 추정한다(그림 8참조).

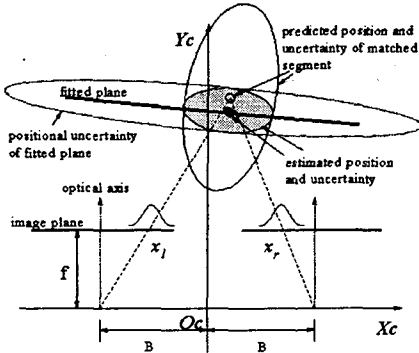


그림 8. 칼만필터를 이용한 특징의 위치추정

칼만필터식은 다음과 같다.

$$\hat{p} = p + K(y - Hp) \quad (9)$$

$$\Sigma_p = [\Sigma_p + H^T \Sigma_v^{-1} H]^{-1} \quad (10)$$

$$K = \Sigma_p H^T [H \Sigma_p H^T + \Sigma_v]^{-1} \quad (11)$$

여기서 \hat{p} 는 추정위치, Σ_p 는 추정불확실성, Σ_v 는 관측 innovation이고, K 는 칼만이득(Kalman gain)이다.

V. 실험

본 논문에서는 실내환경에서 실험을 수행하였다. 참조평면으로 스테레오 시각 관측위치에서부터 각각 4.0[m]와 6.0[m]떨어진 곳의 파티션과 화이트보드를 주었다. 그리고, 평면의 검출 및 수직선 세그먼트의 위치를 추정하였다.

그림 9는 위치 추정의 결과를 나타낸다. 긴 수평선은 검출된 평면영역을 나타내고, 큰 타원들은 특징기반 스테레오 정합에 의한 위치 불확실성을 나타낸다. 그 타원내의 작은 타원들은 두 스테레오 관측정보를 확률적으로 통합하여 추정된 위치의 불확실성을 나타내고 있다. 이 결과로부터 제안된 방법이 유효함을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 불확실성을 고려한 특징 세그먼트의 검출 및 위치추정에 관한 수법을 제안하였다. 평면정

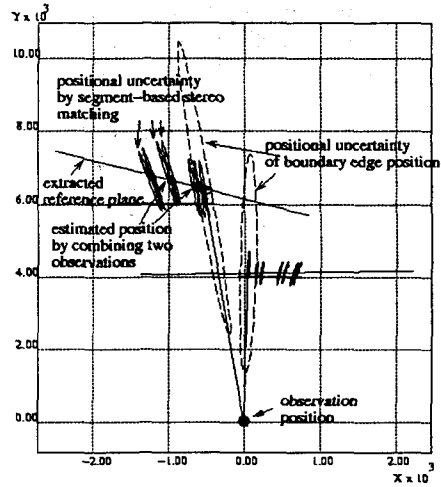


그림 9. 특징세그먼트의 위치 추정 결과

보가 주어지면, 영역기반 스테레오 정합법을 이용하여 평면정보를 검출하고, 관측에 따른 위치의 불확실성을 구했다. 특징기반 스테레오 정합법을 이용하여 수직선 세그먼트를 정합하고, 위치 및 불확실성을 구했다. 평면위의 특징만을 선택한 후, 위치의 구속식을 구한 뒤, 칼만필터를 이용하여 통합되었다. 실험의 결과 제안된 방법이 유효함을 알 수 있었다.

현재에는 수직선 세그먼트만을 선택하였는데, 이 방법을 확장하면 수평선 및 다양한 선세그먼트에 적용할 수 있을 것이다. 또한 환경정보만 주어지면 어떠한 특징도 위치화(localization)이 가능하기 때문에, 이동로봇과 같은 시스템에 적용하면 온라인에서 안정한 수직선 특징 및 그 위치를 추정하여 랜드마크(landmark)로서 사용하는 것이 가능할 것이다.

참고문헌

[1] I. Moon, J. Miura, and Y. Shirai, "On-line Viewpoint and Motion Planning for Efficient Visual Navigation under Uncertainty," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 28, pp. 237-248, 1999.
 [2] S.H. Lee and J.J. Leou, "A Dynamic Programming Approach to Line Segment Matching in Stereo Vision," Pattern Recognition, Vol. 28, No. 8, pp. 961-986, 1994.
 [3] P.S. Maybeck, "The Kalman Filter: An Introduction to Concepts," in: I.J. Cox and G.T. Wilfong, eds., Autonomous Robot Vehicles, Springer-Verlag, pp. 194-204, 1990.