


칼라경계 정합에 의한 3차원 물체의 위치계측

조 석 제*

Depth Measurement of 3-Dimensional Object by Color Edge Based Matching

Seok-Je, Cho

Abstract



Since computer performance has improved in recent years, it has become easier to deal with the large amounts of data in color images. Color information is essential to segmentation and analysis algorithm, because color allows the computation of image statistics that are independent of geometric variation in the scene.

In this paper, a new stereo matching algorithm using color edge and iterative relaxation method are proposed. It reduces ambiguity and improves matching performance compared with the conventional methods based on gray value only. The experimental results show good matching performance for real image.

1. 서 론

스테레오 시각은 직접 물체에 접근하지 않고 물체의 위치와 거리정보를 측정하는 수동적인 방법이다. 따라서 인간이 직접 접근할 수 없는 곳에서 산업용 로봇이나 무인차량이 물체를 인식하거나 장애물의 위치를 인식하는 원격감지에 많이 이용되고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

지금까지 스테레오 방법에 대한 많은 연구들이 주로 좌우 두영상의 특징을 정합하는 문제에서 이루어 지고 있다. 이는 스테레오 방법에서 가장 어려운 과정이 특징점을 정합하는 과정이기 때문이다. 정합법은 사용되는 기본특징(primitive)의 종류에 따라 특징점 정합법(feature based matching)과 영역 정합법(region based matching)으로 나눌 수 있다. 기존 흑백영상의 명암도만을 사용한 정합법은 물체의 특징을 표현하는데 정보의 부족함이 있어 정합이 용이하지 않다⁽⁵⁻⁷⁾.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 인간의 칼라인식체계에 바탕을 두어 칼라정보로

* 한국해양대학교 이공대학 제어계측공학과
본 논문은 한국과학재단이 지원한 특정연구의 일부임

부터 얻은 특징을 스테레오 시각의 기본 특징으로 사용했다. 칼라정보는 인간 시각에서 실세계 (real world) 물체의 감지와 인식에 중요한 역할을 한다^[8-15]. 흑백영상을 사용한 경우에는 특징이 명암도 정보 뿐이므로 영상의 왜곡이나 조명상태등의 영향이 심각하게 작용하여 잘못 정합되거나 정합되지 않는 특징들이 많이 발생할 수 있으나, 칼라영상을 사용하면 정보가 많으므로 정합을 정확하고 용이하게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 칼라정보를 이용해서 특징을 분할하고, 이를 이완 기법에 의해 정합하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 실험에서 명암도 영상과 비교하여 현저히 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

2. 칼라시각정보와 스테레오시각

2.1. 칼라시각정보

인간은 시각을 통하여 색을 지각(知覺)하고 이로부터 물체의 크기, 형태등을 인식한다. 색의 지각은 직접 느낄때는 별로 까다로운 문제가 아니지만 그것을 객관적으로 분석하면 물리학, 생리학, 심리학 및 화학 등의 영역에 걸쳐 매우 복잡한 측면을 가지고 있다. 눈이 물체영상의 초점을 빛을 감지하는 망막(retina)으로 유도하고, 이 빛의 영상을 신경활동의 형태로 변환하여 시신경에 의해서 뇌로 전달한다. 망막에는 시각세포인 간상체(rod cell, 桿狀體)와 추상체(cone cell, 錐狀體)의 시세포가 배열되어 있다. 간상체는 무채색만을 지각할 수 있고 유채색의 지각은 할 수 없다. 이에대해 추상체는 빛에 대한 감도는 간상체 보다 못하지만 유채색을 구분하는 능력이 있으며 밝은곳에서 작용(白晝視, day vision) 한다.

T. young과 Helmholtz의 삼원색설(Trichromacy theory)에 의하면 추상체는 여러 종류의 빛에 의하여 흥분되고 여러 파장들과 일치하는 에너지를 가지고 이 반응들이 대뇌에 전달되어 색을

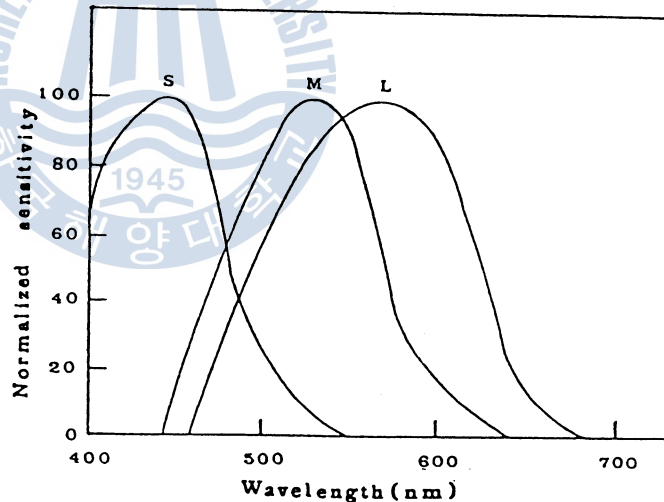


그림 1. 정규화된 추상체들의 감도곡선:
S 채널은 푸른빛에서 M 채널은 녹색 빛에서 그리고 L 채널은 붉은 빛에서 감도가 가장높다.

인지할 수 있다고 한다^[16-19]. 이러한 특성을 가진 추상체들은 장파(red), 중파(green), 단파(blue)의 채널로 나누며, 이 채널을 각각 L, M, 및 S로 표시하고 각 채널의 파장별 정규화된 감도는 그림 1과 같다. 이 이론은 여러가지 지각된 색들 모두를 이 세가지 채널의 감각기관에 대한 여러가지 다양한 자극의 총량의 결과로 간주하고 있다. 눈으로 들어온 빛이 세가지 채널을 통과하여 그 반응이 대뇌에 전달되면 각각의 반응들이 혼합되어 색을 느끼게 된다. 즉 삼원색에 해당하는 red, green, blue를 느끼는 색각세포의 혼합으로 모든 색을 감각할 수 있는 것이다.

이 삼원색 이론은 L, M, S 채널에 의한 결과들의 조합으로 칼라를 인식할 수 있다는 것이다. 인공시각에서 칼라 카메라는 인간의 눈과 같은 구실을 한다. 그러므로 삼원색설을 컴퓨터 시각을 위한 모델로 도입하려면 인간시각의 L, M, S채널의 정보대신 칼라 카메라의 red, green, blue값을 사용할 수 있다.

칼라 카메라로 부터 얻는 영상의 한점에서 red, green, blue값은 인간의 간상체와 유사한 카메라의 센서에 의해 식(1)과 같이 각각 R,G,B의 값으로 얻어진다.

$$R = \int_{\lambda} f(\lambda) r(\lambda) h_R(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$G = \int_{\lambda} f(\lambda) r(\lambda) h_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{\lambda} f(\lambda) r(\lambda) h_B(\lambda) d\lambda$$

여기서 $h_R(\lambda)$, $h_G(\lambda)$, $h_B(\lambda)$ 는 red, green, blue 센서의 감도이며 λ 는 파장, $f(\lambda)$ 는 광원의 스펙트럼이며 $r(\lambda)$ 는 물체의 반사함수이다. 삼원색을 이용하는 이 시각 모델은 칼라 카메라로 부터 바로 red, green, blue 정보를 얻을 수 있어 스테레오 시각을 위해 매우 취급이 용이한 정보이다.

2.2. 스테레오 시각

두 카메라를 그림 2와 같이 기선(base line)위에 두고 광축이 서로 평행되도록 수평으로 놓으면 epipolar line은 두영상의 동일 주사선 상에 놓여진다. 이는 epipolar line을 찾는 과정이 필요하지 않으므로 정합이 용이하다. 그림 2에서 (x, y, z) 는 실상 좌표계(world coordinate system)이며 좌측영상의 좌표계 (U_L, V_L) 의 원점은 실상좌표계의 $(0,0,f)$ 점과 일치한다. 이와 마찬가지로 우측영상좌표계 (U_R, V_R) 의 원점은 $(b, 0, f)$ 이다. 여기서 b 는 기선의 길이, f 는 초점거리이다. 그림2에서 물체의 한점 $P(x, y, z)$ 는 좌우 영상에 식(2)와 같이 투영된다.

$$U_L = \frac{fx}{z} \quad (2)$$

조 석 제

$$U_R = \frac{f(x-b)}{z}$$

$$V_L = V_R = \frac{fy}{z}$$

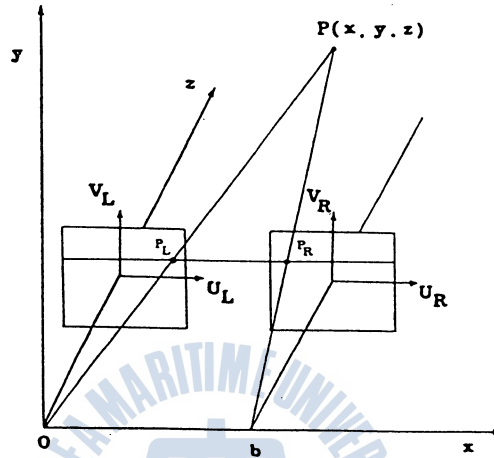


그림 2. 평행축 스테레오 영상의 모델 : 두 영상의 대응점은 수평성분의 변이만 있다.

정합된 좌우영상의 대응점간의 변이(disparity) $D = U_L - U_R$ 을 안다면 한점 P의 실상좌표를 식 (3)에서와 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{b U_L}{D} \quad (3)$$

$$y = \frac{b V_L}{D}$$

$$z = \frac{b f}{D}$$

거리정보 z는 식(3)에서와 같이 변이에 반비례한다. 그러므로 정합 후보점은 식(4)와 같이 물체가 놓여진 최대거리 z_{max} 와 최소거리 z_{min} 에 따라 최대변이 D_{max} 와 최소변이 D_{min} 사이에 존재한다.

$$D_{max} \leq D \leq D_{min} \quad (4)$$

여기서

$$D_{min} = \frac{b f}{z_{max}}$$

$$D_{max} = \frac{b f}{z_{min}}$$

본 연구에서는 epipolar line이 수평이 되도록 좌우영상에 제한을 둔 영상을 사용했다. 이는 1차원 수평 직선상에서 대응점을 탐색하므로 정합을 용이하게 하는 기하학적인 제한이다.

3. 스테레오 정합

칼라 스테레오 정합은 영상획득, 획득된 영상에서 특징점을 검출하기위한 칼라파라메타 변환, 영상분할에 의한 특징점 검출, 그리고 정합 및 위치결정의 과정이 필요하다. 본 연구에서는 epipolar line이 수평이 되도록 영상을 얻고, 칼라 파라메타는 red, green, blue 파라메타를 사용했다. 물체의 특징을 분할하는 기법은 다음의 두가지기법으로 생각할 수 있다. 첫번째 기법은 경계선에 의해 특징을 분할하는 기법으로 경계선을 찾기위해서 연결된 화소들과 특성이 변하는 경계부분을 찾음에의해 분할할 수 있다. 이 기법은 전 영상에 걸쳐 국부적인 연산자를 사용한다. 두번째 기법은 분류기법(clustering technique)과 함께 2차원 영상에서 특징들의 통계적인 차이를 분석하여 영역으로 분할하는 기법이다.

잡음이 많이 첨가된 실영상에서 경계선을 분할하고 이로부터 대응점을 찾는 것은 어려운 문제이다. 본 연구에서는 칼라영상으로부터 추출된 각 칼라정보의 경계선을 스테레오 정합의 특징점으로 사용했다. 칼라정보의 경계선을 특징으로 사용함으로써 좌우영상의 불분명한 정합을 줄일 수 있는 장점이 있다.

경계선 검출은 각 칼라영상에 식(5)와 같은 LoG(laplacian of gaussian)필터를 적용하여 영교차(zero crossing)점을 찾았다.

$$\nabla^2 G(x,y) = \frac{1}{\sigma^4} [2\sigma^2 - r^2] \text{EXP}\{-r^2/2\sigma^2\} \quad (5)$$

여기서 $r^2 = x^2 + y^2$ 이다. 찾아진 좌우영상의 영교차점의 정합은 이완(relaxation)에 의한 정합법을 이용했다. 초기확률값을 정해 주기위해 좌영상의 영교차점 i 에서 임의의 변이 l 에 따르는 영상의 절대차의 합 $S_i(l)$ 을 구했다. 이를 이용하여 유사도를 식(6)과 같이 정의했다.

$$W_i(l) = \frac{1}{1 + c * S_i(l)} \quad ; \quad l \neq l^* \quad (6)$$

여기서 l^* 는 정합되지 않을 곳이다. 각 변위별 초기확률값은 식(7)과 같다.

$$p_i^o(l) = p_i(l/i)^*(1 - p_i^*(l^*)), \quad l \neq l^* \quad (7)$$

여기서

$$p_i^*(l^*) = 1 - \max_{l \neq l^*} (W_i(l))$$

$$p_i(l/i) = \frac{W_i(l)}{\sum_{l' \neq l} W_i(l')}$$

즉 각 변이별 좌우영상의 칼라성분의 차를 구하고, 이로 부터 유사도를 정의하며, 이를 정규화하여 초기확률을 구했다. 초기확률에 5X5크기의 창을 이용하여 평활화(smoothness)를 적용시켰다. 평활화항은 식(8)과 같다.

$$q_i^k(l) = \sum_{5 \times 5} \left[\sum_{|l-l'| \leq 0} p_i^k(l') \right], \quad l \neq l' \quad (8)$$

각 변이별 확률을 갱신하기 위해 현재의 정합가능확률 $p_i^k(l)$ 과 평활화항으로 부터 반복하여 다음 확률을 계산할 수 있다. 다음확률은 식(9)와 같다.

$$P_i^{k+1}(l) = p_i^k(l) * (A + B * q_i^k(l)) \quad l \neq l' \quad (9)$$

여기서 A, B는 양의 상수로 가중치를 나타낸다. 식(9)에서 구한 $P_i^{k+1}(l)$ 를 식(10)과 같이 정규화하여 확률값으로 결정한다.

$$p_i^{k+1}(l) = \frac{P_i^{k+1}(l)}{\sum P_i^{k+1}(l')} \quad (10)$$

따라서 q의 값이 크면 초기의 확률값이 적더라도 점차 큰 확률값을 가지게 된다. 확률값이 어느정도 크면 정합된것으로 한다.

4. 실험 및 고찰

실험은 실영상을 CCD칼라 카메라로 부터 약 30cm와 65cm앞에 곰인형과 공을 두고 epipolar line이 수평이되도록 하여 얻은 200 x 200 크기의 칼라 스테레오 영상을 사용했으며, 흑백영상은 NTSC 칼라전송신호의 명도성분 Y를 사용했다. 입력된 각 칼라정보의 경계선은 15 x 15 크기의 LoG 연산자를 사용하여 수직축 영교차점을 특징으로 사용했다. 그리고 평활화 항은 5 x 5 크기의 창을 적용하였다.

현재 확률에서 다음확률을 구하는 과정에서 가중치를 A=0.3, B=3으로 두었고 확률값이 0.7보다 크면 정합된 것으로 했다. 그림 4는 칼라영상의 변이를 추출한 결과이며, 그림 5는 명암도영상의 변이를 추출한 결과이다. 변이가 공부분은 2, 3화소에서 곰인형 부분은 6, 7화소에서 나타났다. 여기서 1화소 정도의 차이가 나는 것은 경계선 연산자의 특성때문이다.

칼라정보를 이용한 정합은 명암도 만을 이용한것 보다 더 많은 특징점에서 명확히 정합이 되었으며, 정확한 변이정보를 찾을 수 있었다.

칼라경계 정합에 의한 3차원 물체의 위치계측

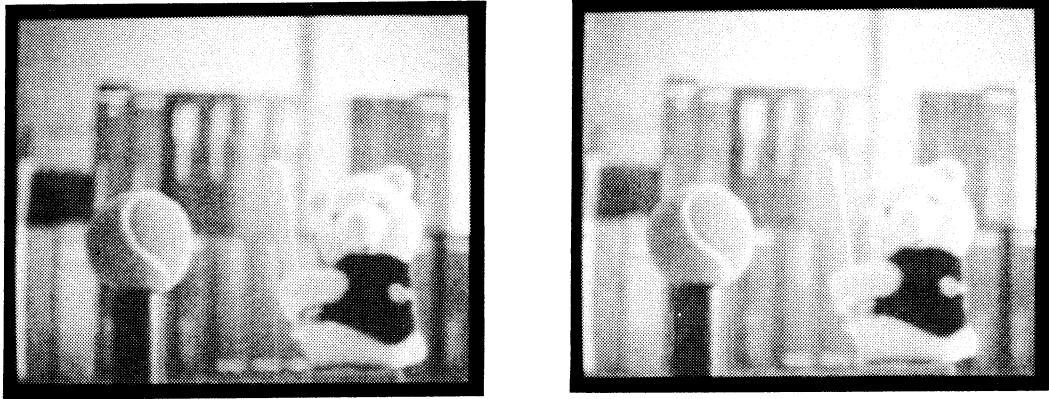


그림 3. 실험에 사용한 물체의 스테레오 영상

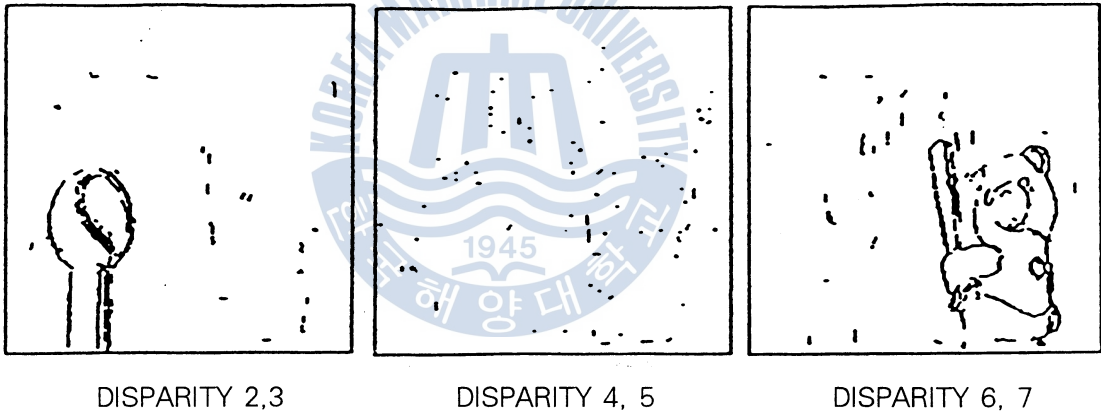


그림 4. 칼라영상의 정합결과

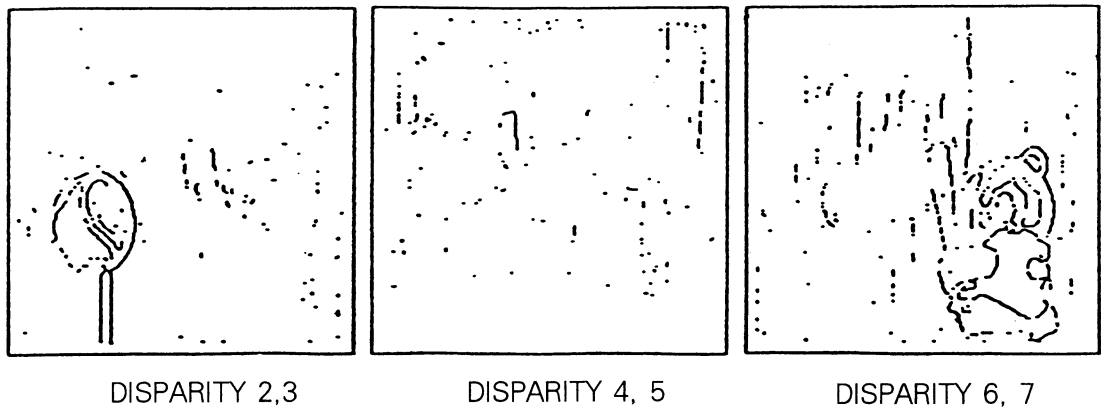


그림 5. 명암도 영상의 정합결과

5. 결 론

본 연구에서는 칼라정보를 이용해서 특징을 분할하고 이를 이완기법에 의해 정합하여 물체의 위치를 인식하는 알고리즘을 제안하였다. 명암도만을 이용하는 영상처리는 정보가 한정되어 있거나 칼라정보를 이용하여 영상을 처리할 경우에는 정보가 보다 다양할 뿐만 아니라 인간의 시각체계와도 유사하여 우수한 처리결과를 얻을 수 있었다. 제안된 칼라정보를 사용한 정합법은 애매하고 불분명한 결과를 줄일 수 있으며 위치 인식의 속도도 또한 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. Marr, Vision, SanFrancisco: W. H. Freeman and Company, 1982.
- [2] D. Marr, and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision," Proc. R. Soc. Lon. B., vol.204, pp.329-343, 1979.
- [3] L. Matthies, "Stereo vision for planetary Rovers: Stochastic modeling to near real-time implementation," International Journal of Computer Vision, vol.1, no.1, pp.71-91, 1992.
- [4] S.T. Barnard, and W.B. Thompson, "Disparity analysis of images," IEEE Pattern Analysis and Machine intelligence, vol.PAMI-2, no.4, pp.333-340, 1980.
- [5] 조석제, 이광호, 하영호, "새로운 특징 검출 방법에 의한 스테레오 영상으로부터 3차원 물체의 위치 및 심도 정보의 계측," 대한전자공학회논문지, 제25권, 제11호, pp.215-222, 1988.
- [6] Y. Kim, and J. Aggarwal, "Positioning three-dimensional objects using stereo images," IEEE J. of Robotics and Automation, vol.RA-3, no.4, pp.361-373, 1987.
- [7] Y. Zhou, and R. Chellappa, "stereo matching using a neural network," In Proc. Intl. Conf. on ASSP, New York, pp.940-943, 1988.
- [8] 김효선, 조석제, 이성기, "칼라영상을 이용한 에지검출," 제 6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 논문집, 대한전자공학회, 한국정보과학회, 한국통신학회, pp.16-20, 1994.
- [9] J. Parkkinen, and T. Jaaskelainen, "Color vision: machine and human," SPIE, Visual Communications and Image Processing, vol.1119, pp.1184-1192, 1989.
- [10] Y. Macdavih, J. Stark, and T. Tjahjadi, "The utilization of colour in machine vision," Proc. of the 5th Int'l Conf. on Robot Vision and sensory Control, Amsterdam, pp.105-118, 1985.
- [11] M. Schwarz, W. Cowan, and J. Beatty, "An experimental comparison of RGB, YIQ, LAB, HSV, and opponent color models," ACM Trans. on Graphics, vol.6, no.2, pp.123-158, 1987.
- [12] R. Keil, "Machine vision with color detection," Proc. of the 3rd Conf. on Robot Vision and Sensory controls, Cambridge MA, pp.503-512, 1983.
- [13] J. Rubin, and W. Richards, "Color vision and image intensities: When are changes Material ?," Massachusetts Institute of Thechnology Artificial Intelligence Laboratory, A.I. Memo, no.631, 1981.
- [14] M. Celenk, "A color clustering technique for image segmentation," Computer Vision,

칼라경계 정합에 의한 3차원 물체의 위치계측

- Graphics, and Image Processing, vol.52, pp.145-170, 1990.
- [15] Y. Ohta, T. Kanade, and T. Sakai, "Color information for region segmentation," Computer Graphics and Image Processing, vol.13, pp.222-241, 1980.
- [16] R. Massof, and S. Starr, "Vector magnitude operation in color vision model: derivation from signal detection theory," J. Opt. Soc. Am., vol.70, pp.870-872, 1980.
- [17] 박돈서, 민철홍 공역, 색채.원리에서 활용까지, 도서출판 국제, 1989. - Luigina DeGrandis, They and Use of Color
- [18] D. MacAdam, Color measurement-theme and variations, Berlin, Hidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981.
- [19] R. Hunt, Measuring Color, West sussex: Ellis Horwood Limited, 1989.



