

## 3차원 내시경 데이터의 깊이 추출 알고리즘의 개발

### Development of Depth Detection Algorithm for the 3D Endoscopic Data

김 정훈, 이 상학, 황 도식, 이 준영, \*송 철규,\*이 상목,\*김 원기, 이 명호  
연세대학교 전기공학과 의료기기기술 연구소(Tel : +82-2-361-2770; Fax : +82-2-392-4677)  
\* 삼성생명과학 연구소 임상의공학 센터(Tel : +82-2-3410-3678)

**Abstracts** This paper presents the development of depth detection algorithm for the 3D Endoscopic Data using a stereo matching method and depth calculation

**Keywords** Stereo matching, feature extraction, correlation, disparity, depth

#### 1. 서론

##### 1.1 3차원 내시경 영상 시스템

최근에 내시경을 이용한 환자의 장기관찰 및 무혈수술에 대한 관심이 고조되면서 두 개의 렌즈를 장착하여 양안 시차효과를 이용, 3차원 효과를 발생시키는 3차원 내시경의 사용빈도가 임상에서 증가되고있는 추세이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 3차원 내시경을 이용한 수술 및, 관찰에 도움을 줄 수 있도록 3차원 데이터의 깊이(depth)를 연산, 표시할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며 1차적으로 정지화상 알고리즘을 개발하였다.

##### 1.2 깊이(Depth) 추출 시스템의 개요

두 개의 렌즈를 이용한 스테레오(Stereo)영상에서 깊이(depth)를 추출하기 위해서는 좌,우 영상의 대응점을 찾는 영상 정합(matching)이 가장 중요한 작업이며 특징점(feature)의 선택이 상당히 중요하다. 주어진 두 개의 영상에서 대응점을 찾는 일치(correspondence)과정은 좌,우 두개의 영상에 나타나고 있는 두 개의 점이나 특징점사이에서 수행된다. 그리고 일반적으로 정합(matching)할 각 픽셀의 밝기(intensity)와 같은 특징점들의 휘도 레벨이 작고 밀도가 밀집하여 있는 경우에는 영역정합(area-based matching)라고 부르는 매칭 방법을 이용하고, 반면에 경계나 코너(corner)와 같이 일정 간격을 두고 나타나고 있는 좀더 추상적인 특징에 대해서는 특징점정합(feature-based matching)라고 부르는 정합 기법을 사용하는데, 본 논문에서는 상기 언급한 두 가지 기법을 모두 적용하였으며 대응점을 이용한 시차(disparity)를 이용하여 기하학적인 방법에 근거한 깊이 연산을 수행하였다.

본 논문에서는 특징점 추출법으로 Susan(Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus) 코너(Corner) 탐색법을 사용하였는데 그 이유는 코너 특징점 사용시 정보량에 있어 경계 특징점의 정보량 대비 상당히 적은 수를 가지고 있기 때문에 처리시간을 절약할 수 있다는 잇점이 있으며 또한 경계를 특징점으로 취한 경우는 모든 경계부(edge)의 화소마다 일차미분값이나 미분방향을 가지고 있다고 하더라도 서로 비슷한 경우가 있게 되면 잘못된 정합을 수행하는 경우가 있다. 그러나 코너와 같은 경우는 경계부의 화소에 포함되는 값일 뿐 아니라 경계보다는 좀더 큰 밝기(intensity)의 변화가 일어나고 특히 코너의 특성상 한쪽 방향으로의 밝기 변화가 아니라 여러 방향으로의 밝기 변화를 포함하고 있고 곡률이 큰 특징점에 해당하기 때문에 좌/우 영상에서 정합을 시도할 때 좀더 구별할 수 있는 특성을 가지고 있다. 아래 그림은 내시경 영상의 코너(corner)를 찾은 것이다.

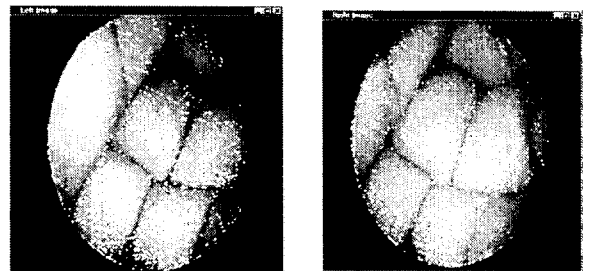


그림1 손(내시경)의 좌/우 코너점(corner) 추출  
Fig.1 Detection of left/right corner point in hand image

(초점거리(f) : 10mm , 두 카메라 사이의 거리(b) : 22mm)

#### 2. 본 론

##### 2.1 특징점 추출(feature extraction)법

## 2.2 스테레오 정합(Stereo matching)

스테레오 정합(stereo matching)법은 앞서 설명한 내시경영상의 특성을 고려해서 특징점정합을 시도할 때 필수적인 요소인 특징점추출 방법을 이용하여 정합에 필요한 팩터(factor)를 찾는다. 그러나 코너들이 경계부에 포함되어 있기는 하지만 그외 밝기(intensity)의 변화가 발생하는 영역에서도 발견된다는 것을 알 수 있다. 때문에 특징점정합에 이용하는 경계의 크기나 방향성외에도 앞의 특성은 영역정합의 특성을 가지고 있다. 그래서 좌/우 영상의 각 코너에 대해 영역정합에 이용하는 상관도를 이용한다.

### 2.2.1 미분값을 이용한 1차정합

주어진 코너점  $m_1$ 에 대해서  $(2n+1)(2m+1)$  크기의 상관도(correlation) 검출용 윈도우를 씌운다. 좌/우 영상의 극상선(epipolar line)은 수평방향으로 놓여있다고 가정하고 카메라시스템 구성중의 오류를 감안하여 오른쪽 영상에서 수평방향으로는  $m_1$ 대해 최대시차(MD:Maximum Disparity)를 감안하고 수직방향으로는  $\pm k$ 만큼의 탐색(searching) 윈도우내에서 대응점을 찾도록 한다. 즉 탐색(searching) 윈도우는  $2MD \times 2k$ 의 크기를 가지고 있다. 여기서 최대시차는 카메라에 대한 선형적인 치수로서 대상체(object)가 카메라로부터 최대한 얼마나 가까이 놓여있을 수 있는지에 따른다. 이렇게 우측영상에서 대응점을 조사할 영역을 제한하는 것은 연산시간 뿐 아니라 잘못된 정합을 일으킬 수 있는 오차를 줄인다.

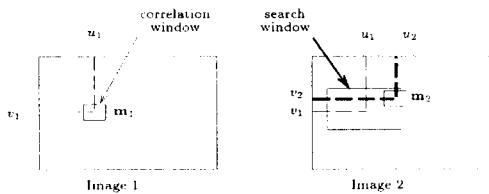


그림2 좌/우영상내에서 정합을 시도할 탐색(searching) 윈도우

Fig.2 Searching Window for the matching in left/right image area

좌측영상의 특징점 코너(corner)  $m_1$ 에 대해 우측영상의 탐색(searching) 윈도우내의 특징점들을 조사한다.  $m_1$ 의 1차미분값  $M_1$ 과 기울기(gradient)의 방향  $\alpha_1$ 의 값과 우측영상의 윈도우내의 특징점들의  $M_k$ 와  $\alpha_k$ 의 값을 비교하여 일정 경계치(threshold)내의 오차를 가지는 우측영상의 특징점들을 추출하고 이렇게 1차미분값과 방향을 이용해 좌측영상의 특징점에 대한 우측영상의 특징점들을 1차 정합을 시도하여 정합된 쌍들을 저장한다

### 2.2.2 상관도를 이용한 정합

좌측영상의 코너(corner)  $m_1$ 에 대해 우측영상의 탐색(searching) 윈도우내의 코너(corner)  $m_2$ 에 대해 상관계수 스코어(score :  $m_1, m_2$ )는 다음식과 같다.

$$Score(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - I_1(u_1, v_1)] \times [I_2(u_2 + i, v_2 + j) - I_2(u_2, v_2)]}{(2n+1)(2m+1) \cdot \sigma(I_1) \times \sigma(I_2)} \quad (1)$$

여기서  $\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)}$  으로 영상  $I_k$ 의 한 점( $u, v$ )에 대해 윈도우내의 평균 밝기이고  $\sigma(I_k)$ 는 ( $u, v$ )의 윈도우내의 다른 값들과의 표준편차로서 아래와 같다.

$$\sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_k(u, v) - I_k(u, v)]^2}{(2n+1)(2m+1)}} \quad (2)$$

스코어(score)의 값은 두 점이 서로 동일한 점이라면 1이고, 전혀 다른 점이라면 -1의 값을 가지게 되어 범위가 [-1, 1]이다. 여기서 상관도(correlation) 검출용 윈도우의 크기  $n, m$ 은 영상의 특성에 따라 차이가 있겠지만 크기가 클수록 더 좋은 상관도를 얻을 수 있는 반면에 연산시간이 길어지는 단점이 있다. 이번의 실험에서는  $n=m=7$ 의 크기를 가지는 윈도우를 이용하여 상관도를 얻는데 이용하였다. 미분크기와 방향만으로 1차정합을 이룬 좌/우 영상의 쌍들을 위의 상관도를 이용하여 처리하게 되면 상관계수의 크기 스코어의 값이 상당히 크다는 것을 알 수 있는데 이것은 미분값과 방향만으로도 어느정도의 정합이 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 그래서 스코어의 경계치(threshold)를 대략 0.8에서 0.9정도의 값으로 두고 좌측영상의 특징점( $m_1$ )에 대해 그 이상의 상관도를 가지는 우측영상의 특징점을 찾도록한다. 만약 탐색(searching) 윈도우 내에서 좌/우 방향에서부터 우/아래 방향으로 조사하면서 상관도가 임계치(threshold)보다 크면 그 특징점( $m_2$ )을 좌측영상의 특징의 대응점으로 정하고 탐색(searching)작업을 끝낸다.

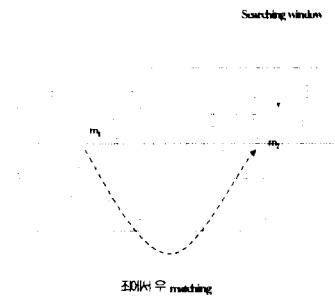


그림3 좌측영상의 특징점에 대한 우측영상내의 대응쌍

Fig.3 corresponding pair in the right image for the feature point in the left image

그러나 이렇게 해서 정합된 좌/우 영상의 대응쌍이 정확하게 정합되었다고는 말할 수 없다. 그래서 상관도 조사로 추출된 우측영상의 특징점에 대해 역으로 위에서 구한 방법을 이용하여 좌측영상내에서 같은 탐색(searching) 윈도우내의 특징점들을 조사한다. 단, 이때 우측영상의 특징점에 대한 좌측영상의 특징점들에 대한 상관계수 스코어는 임계치보다 큰 것을 취하는 것이 아니라 좌측영상내의 탐색(searching) 윈도우내에서 가장 큰 상관도를 갖는 것을 찾도록한다. 그리고 이것을 우측영상의 특징점에 대한 좌측영상의 대응쌍( $m_1'$ )으로 저장한다.

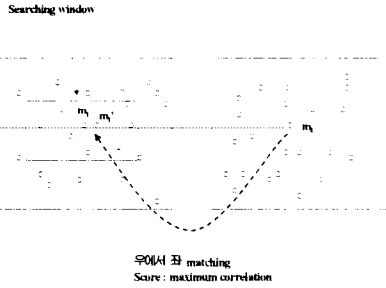


그림4 우측영상의 특징점에 대한 좌측영상 내 특징점 추출

Fig.4 Extraction of fine corresponding pair in the left image for the feature point in the right image

위에서 소개한 알고리즘을 정리하면 아래와 같다.

- 1) 좌/우 영상에서 코너 연산자(corner operator)를 이용하여 코너(corner)를 추출
- 2) 추출한 코너(corner)들에 대해서 소벨 연산자(sobel operator)를 적용하여 코너점에 대한 x, y방향으로의 1차 미분값과 기울기(gradient)의 방향 구함
- 3) 좌측영상의 한 코너에 대해 우측영상의 일정 윈도우에 포함되어 있는 코너점들을 찾고 이 점들에 대해서 1차미분값과 방향성을 이용하여 코어스 정합(coarse matching)을 시도
- 4) 코어스 정합(coarse matching)된 우측영상의 코너에 대해서 상관도(correlation)를 구하고 일정 임계치(threshold) 이상의 상관계수(score)를 가지는 코너 발견시 탐색(searching)을 중단
- 5) 정합된 우측영상의 코너에 대해서 좌측영상으로 일정 윈도우내의 코너점들을 구함
- 6) 좌측영상의 코너들에 대해 1차미분값과 방향성이 임계치(threshold) 이상의 값을 가지는 점들에 대해 상관도(correlation)를 수행
- 7) 상관계수(score)가 그중 가장 큰 값을 가지는 코너를 찾고 이 점의 위치가 2번의 좌측 코너점의 위치와 임계치 이내에 속하면 좌/우 영상의 대응쌍으로 선택
- 8) 좌측 영상의 다른 코너점들에 대해서 3번에서 7번까지의 과정을 재수행
- 9) 좌/우 영상의 정합쌍들을 저장한다.

### 2.3 깊이(Depth) 추출

#### 2.3.1 시차(Disparity)

위에서 구한 좌/우 영상의 정합쌍들에 대해 시차를 구하는 과정으로 좌/우 영상의 왼쪽 면을 기준으로하여 정합쌍들의 x방향 위치를 각각  $x_l, x_r$ 값으로 저장하고 시차(D:Disparity)를 아래와 같은 식을 이용하여 계산한다.

$$D = |x_l - x_r| \quad (3)$$

D의 값이 클수록 카메라와 가까운 위치에 있는 것이고 반대로 크면 멀리 존재하는 영역이다. 단 주의해야 할 점은 D가 제로(zero)일 때의 상황으로 이것은 좌/우 영상이 원래 같은 영상인 경우를 제외하고는 잘못 정합된 경우로 에러로 간주한다.

#### 2.3.2 깊이 계산

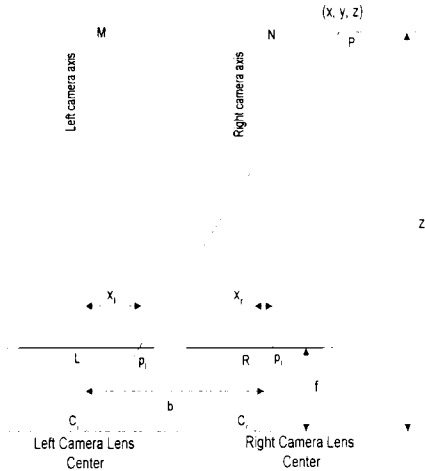


그림5 정합에 대한 기하학적 구성도

Fig.5 geometry for the stereo mating pair

위에 도시한 그림에서 삼각형  $PMC_l$ 과  $p_lLC_l$ 의 비례를 이용하면, 아래와 같은 식을 얻고

$$\frac{x}{z} = -\frac{x_l}{f} \quad (4)$$

삼각형  $PNC_r$ 과  $p_rRC_r$ 의 비례를 이용하게 되면

$$\frac{x - b}{z} = \frac{x_r}{f} \quad (5)$$

위와같은 식을 얻는다. 그리고 두 식을 결합하게 되면

$$z = \frac{bf}{(x_l - x_r)} \quad (6)$$

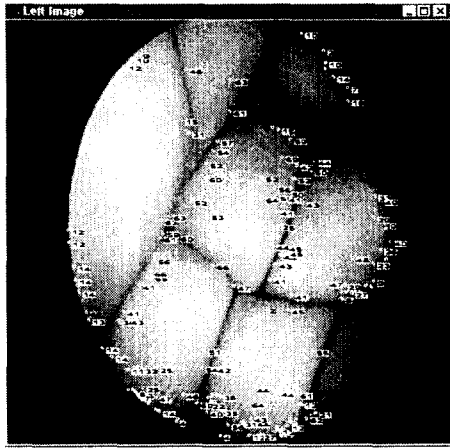
식을 얻게된다. 여기서 Z가 삼차원 공간상의 깊이에 해당하고 시차, Disparity  $D = |x_l - x_r|$ 는 정합쌍에서 얻은 시차이다. 단 D의 값은 항상 양의 값만을 가지고 있기 때문에 절대값을 취해야 한다. 그러나 여기서의 깊이 Z는 단위가 없는 것으로 카메라 교정(calibration)을 통하여 얻은 스케일링 팩터(scaling factor)를 곱하게 되면 실제 거리를 구할 수가 있다.

$$\text{실측거리 } Z = Z(\text{no unit}) \times \text{scaling factor} \quad (7)$$

### 2.4 실험결과

본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 특징점을 추출한 결과는 상기 그림1. 에 표시하였으며 전술한 알고리즘을 이용한 스테레오 정합(stereo matching)에 대한 결과를 그림6.에, 최종적인 깊이(depth) 표시는 그림7. 에 표시하였다. 그림5. 에 표시한 깊이 관련식은 식(6)에서 사용한  $Z = \frac{b \cdot f}{\text{Disparity}}$  이며, 여기서 b와 f는 카메라시스템의 기본요소로서 위쪽에 명시되었다. 그러나 위의 영상은 직접 카메라 교정(calibration)을 수행하지 않았기 때문에 실제 거리단위를 가지고 있는 깊이정보를 얻을 수는 없다. 다만 상대적인 깊이정보를 얻을 수 있는데 앞서의 시차(disparity) 영상에서 대상체(object)까지의 대표적인 값들만을 표현하고 있다. 보는 바와 같이 3차원 공간상의 대상체들은 위치하고 있다. 본 논문에서 사용한 영상은 512X486의 이미지로써 추출한 코너의 개수는 좌측이 2109개이고 우측은 1456개이었으며 정합된 개수는 210개였다. 그림6.에 표시한 깊이 정보는 대표적인 값만 표시한 그림이다.

(a) 좌측 영상



(b) 우측 영상

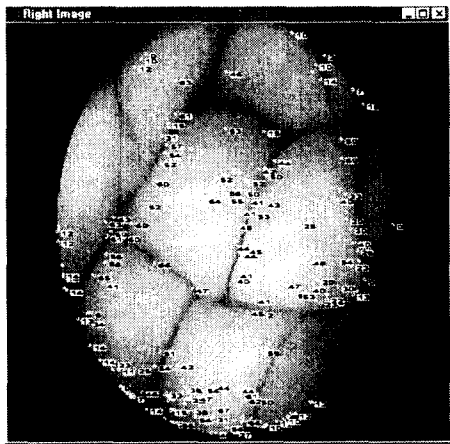


그림6. 손 영상의 좌/우 시차  
Fig.6 The disparity of left/right hand image

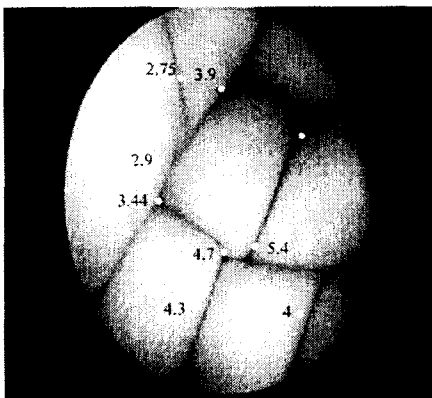


그림7 손영상의 깊이정보  
Fig.7 The depth of hand image

그림 6.의 시차를 보면 영상의 왼쪽 윗 부분과 마디 부분이 가장 큰 시차를 가지고 있고 가운데 마디와 아래부분 마디는 작은 시차를 가지고 있다. 주의할 점은 내시경 카메라는 가운데 타원 부분만이 실제 데이터이고 주위의 검은 부분은 실제 데이터가 아니고 영상을 저장할 때 발생하는 부분이다. 그래서 이 부분의 시차값은 아무런 의미가 없고 잘못된 정합이라고 말할 수 있다. 그림 7.은 최종적인 결과 이미지로써 상대적인 깊이를 보면 영상

왼쪽 위의 손바닥의 마디처럼 보이는 부분의 깊이가 2.77,2.9,3.44 등으로 가장 근접해 있고 아래로 내려올수록 깊이가 4.7,5.5,4등 손가락 마디쪽의 영상이 깊이 수치가 크기 때문에 상대적으로 멀리 위치하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 3차원 데이터의 깊이 추출을 위한 특징점 추출과 스테레오 정합(sterео matching) 알고리즘을 기술하였으며 결과적으로 깊이(depth)를 계산하여 표시하였다. 내시경 영상 적용의 용도상 깊이 표시 대상 영역은 정계부만을 위주로 표시하도록 하였으며 앞으로 추가해야 할 과제는 내시경 카메라의 정확한 카메라 교정(calibration)을 통한 스케일 팩터(scale factor) 추출과 폐색(Occlusion)에 대한 대책 및 동화상용 알고리즘을 개발하는 것이며 실시간 처리용 알고리즘의 검증 작업도 병행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] B.K.P.Horn,M.L.Brooks, "The Variational approach to shape from shading",Computer Vision Graphics Image process,33, pp.174-208,1986
- [2]K.Knyrim,H.Seidliz,N.Vakil, "Current Development in electronic endoscopy", Endoscopy,24: Suppl 2, pp.502-505,1992
- [3]W.E.Higgins and K.Ramaswamy,"Toward dynamic visualization for endoscopy simulation", Proc. IEEE EMBS, pp. 700-701,1994
- [4] David Young, "Stereoscopic Vision And Perspective Projection", University of Sussex, 1994
- [5] Zhengyon ZHANG, "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry", INRIA Sophia Antipolis, pp.3-10, 1994.
- [6] 이왕국, "특징점의 방향정보를 이용한 3개의 시계로부터 3-D 깊이정보 추출", 경북대학교대학원, pp.1-23, 1988.
- [7] 심영석, 박성환, "3차원 정보를 얻기위한 Rule-Based Stereo Matching Algorithm", 전자공학회논문지 제27권 제1호, pp.151-163, 1990. 1
- [8] Steven Douglas Cochran, "Surface Description from Binocular Stereo", Vol.1 Faculty of the Graduate School University of Southern California, pp.1-19, 1990.
- [9] Andrew Woods, Tom Docherty, Rolf Koch, "Image Distortions in Stereoscopic Video Systems", Stereoscopic Display and Applications IV, Proceedings of the SPIE Volume 1915, San Jose, CA, pp.9-10, 1993
- [10] Ramesh Jain and Rangachar Kasturi and Brian G. Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill International Editions,pp.112-115,140-161, 289-298, 1995