

스테레오 내시경 영상을 위한 입체 정합 알고리즘의 개발

김 정훈, 황 도식, 신 건수, 안 종식, 이 명호
연세대학교 공과대학 전기공학과

Development of Stereo Matching Algorithm for the Stereo Endoscopic Image

J.H.Kim, D.S.Hwang, K.S.Shin, J.S.An, M.H.Lee
Department of Electrical Engineering, Yonsei University.

Abstract - This paper presents the development of depth extraction algorithm for the stereoscopic endoscope data using a stereo matching method. generally, the purpose of existing stereo algorithms is to reconstruct stereo object surface and depth map. but the main purpose of our processing is to give exact depth feeling to doctor showing depth information in some points. for this purpose, this paper presents two stereo matching algorithms which are to measure exact depth. one is using variable window, and the other is reference points-based algorithm for a fast processing.

1. 서 론

최근에 내시경을 이용한 환자의 장기관찰 및 무혈수술에 대한 관심이 고조되면서 두 개의 카메라를 장착하여 양안 시차효과를 이용, 3차원 효과를 발생시키는 3차원 내시경의 사용빈도가 관련 신호처리와 관찰 장치의 발전과 함께 임상에서 증가되고있는 추세이다. 3차원 스테레오 입체 신호 처리의 주된 내용은 시차(disparity)로써 다음과 같은 신호처리에 의해 구해진다: 카메라 교정(Camera Calibration), 특징 추출(feature extraction), 스테레오 정합(Stereo Matching), 시차를 이용한 깊이 연산(depth calculation), 특히 여기서 가장 중요한 신호처리는 깊이 추출이다. 본 논문에서는 두 종류의 입체 정합 방법을 제안하는데, 하나는 가변 윈도우를 이용한 입체 정합이고 또 하나는 기준점을 이용하는 고속 입체 정합 알고리즘이다.

주어진 두 개의 영상에서 대응점을 찾는 일치(correspondence)과정은 좌/우 두개의 영상에 나타나고 있는 두 개의 점이나 특징점사이에서 수행된다. 그리고 일반적으로 정합할 각 픽셀의 밝기(intensity)와 같은 특징점들의 휘도 레벨이 작고 밀도가 높은 경우에는 영역정합(area-based matching)이라고 부르는 정합방법을 이용하고, 반면에 경계(edge)나 코너(corner)와 같이 일정 간격을 두고 나타나고 있는 좀더 추상적인 특징에 대해서는 특징점 정합(feature-based matching)이라고 부르는 정합 기법을 사용한다. 본 논문에서는 상기 언급한 두 가지 기법을 모두 적용하였으며, 특별히 특징의 수를 줄이기 위해 코너점(corner points)을 이용하였으며 대응쌍을 이용한 시차(disparity)를 이용하여 기하학적인 방법에 근거한 깊이정보와 카메라보정을 통해 단위성분(scale factor)을 추출하였다.

2. 본 론

2.1 카메라보정과 특징점추출

2.1.1 카메라보정

공간상의 한 정점이 카메라의 영상면에 투영되는 관계를 알

아내는 것이 카메라 보정이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 Richard Wolf 3D카메라를 이용하였으며 스케일링 성분의 관계를 이용하여 $f(\text{초점거리}) = 2157.3\text{pixel}$ 을 구하였다.

2.1.2 특징점추출

가장 널리 사용되는 특징점으로는 밝기의 불연속이 일어나는 경계부분이다. 특히 이 점들은 대부분의 장면정보를 포함하기 때문에 상당히 유용하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 1차원 특징인 경계보다는 2차원적인 특징을 가지고 있는 코너(corner)를 검출하였는데 이것은 경계에 비해 상대적으로 수는 작지만 포함하고 있는 정보의 양은 유사하고 정합에도 상당한 이점을 가지고 있기 때문이다. 본 논문에서는 코너를 추출하기 위해 수잔(SUSAN : Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) 코너검출기를 사용하였다.

2.2 입체정합1(stereo matching1)

그림 1은 제안된 입체정합1의 전체 블록도로서 가변 윈도우와 함께 좌에서 우(L to R), 우에서 좌(R to L)로의 가정합(Coarse matching)과 미세정합(Fine matching)을 수행하여 보다 정밀한 정합을 수행하였다

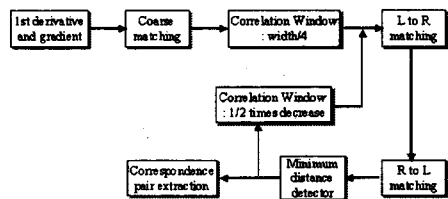


그림1. 입체정합과정의 블록선도

2.2.1 미분값과 방향성을 이용한 정합

좌/우 영상에서 추출된 특징점들에 대해 영역 상관도를 이용하여 정합을 시도하기엔 특징점의 수가 지나치게 많을 수 있다. 그런 이유에서 1차적으로 특징점들의 미분값과 방향성만으로 정합을 한 후에 그 결과들만으로 영역정합을 수행하는 것이 이점이 있다.

그림2에서 왼쪽영상의 한 특징점 m_1 에 대해서 우측 영상의 각 특징점들을 조사하는데 좌/우 영상의 극상선(epipolar line)은 수평방향으로 일치한다고 가정한다. 그리고 오른쪽 영상에서 수평방향으로는 m_1 과 같은 위치에서 최대시차(MD : Maximum Disparity)를 고려하고 수직방향으로는 카메라시스템 구성중의 오류를 감안하여 $\pm k$ 만큼의 searching 윈도우내에서 대응점을 찾으려 한다. 즉 searching 윈도우는 $2MD \times 2k$ 의 크기를 가진다.

좌측영상의 특징점 m_1 에 대해 우측영상의 searching

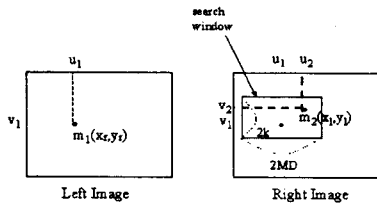


그림2. 가정합을 위한 탐색윈도우

윈도우내의 특징점들을 조사한다. m_1 의 1차미분값 M_1 과 gradient의 값과 우측영상의 searching 윈도우내의 특징점 a_k 들의 M_k 와 a_k 의 값을 비교하여 일정 임계치(threshold)내의 오차를 가지는 우측영상의 특징점들(R)을 (식1)과 같이 추출한다.

$$R = \{ m_r(x_r, y_r) \mid m_1(x_r) - MD \leq x_r \leq m_1(x_r) + MD, \\ m_1(y_r) - k \leq y_r \leq m_1(y_r) + k \\ |M_{x_r} - M_x| \leq \epsilon, \quad |a_{x_r} - a_x| \leq \beta \} \quad (식1)$$

2.2.2 상관도를 이용한 정합

상관도는 특징점을 중심으로 일정 크기의 윈도우를 씌워 평균값과 표준편차(standard deviation)를 측정하고 각각의 윈도우에서 평균값에 대한 분산(variation)을 구하여 상관도에 대한 결과(score)를 산출한 후 이 값의 크기에 따라 상관도의 정도를 판단하는 것이다.

좌측영상의 특징점 m_1 과 우측영상의 searching 윈도우내의 특징점 m_2 에 대한 상관계수 $score(m_1, m_2)$ 는 (식2)이다.

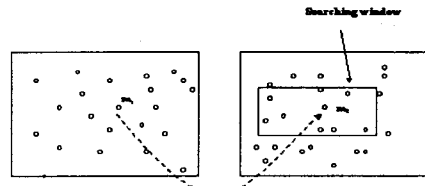
$$Score(m_1, m_2) = \frac{\sum_u \sum_v [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \bar{I}_1(u_1, v_1)] \times [I_2(u_2 + i, v_2 + j) - \bar{I}_2(u_2, v_2)]}{(2n+1)(2m+1)\sqrt{\sigma^2(I_1) \times \sigma^2(I_2)}} \quad (식2)$$

$$\bar{I}_k(u, v) = \frac{\sum_u \sum_v I_k(u, v)}{(2n+1)(2m+1)} \\ \sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_u \sum_v [I_k(u, v) - \bar{I}_k(u, v)]^2}{(2n+1)(2m+1)}} \quad (식3)$$

상관도(correlation) 윈도우의 크기 n, m 은 크기가 클수록 영역의 유사성에 대해서 좋은 판단을 할 수 있지만 연산시간이 길어지는 단점이 있고 상관도 윈도우의 크기가 작을수록 연산시간이 단축되지만 영역의 정보를 많이 포함하고 있지 않기 때문에 영역의 유사성의 판단에 오류가 발생할 수도 있다. 이번의 실험에서는 최소 $n=m=7$ 의 크기를 가지는 윈도우를 이용하여 상관도를 측정하였다.

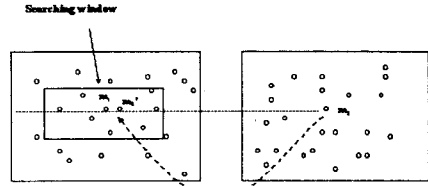
그림3에서 score의 임계치(threshold)를 윈도우의 크기에 따라 0.75에서 0.95정도로 변화시켜 가면서 좌측영상의 특징점(m_1)에 대해 임계치 보다 큰 우측영상의 특징점(m_2)을 찾아 m_1 의 대응후보쌍으로 정한다. 대응후보쌍(m_2)에 대해서 우측영상의 특징점(m_2)을 기준으로, 좌측영상의 같은 searching 윈도우에서 특징점들에 대한 아래의 식과 같은 상호 상관도를 조사하여 가장 큰 상관도를 갖는 것을 찾으려 한다(식4)

$$|m_1 - m_2| = distance \\ = \begin{cases} L/R \text{ candidate match} & \text{if } distance \leq threshold \\ \text{ignored} & \text{if } distance > threshold \end{cases} \quad (식4)$$



좌에서 우 searching
Score Out, m1 >= threshold

그림3. 좌측영상의 특징점(m_1)에 대한 우측영상내의 대응쌍(m_2)



우에서 좌 searching
Score(m1, m2) >= maximum correlation

그림4. 우측영상의 특징점(m_2)에 대한 좌측영상내의 대응점 (m_2')과 원 특징점(m_1)의 비교

R의 다른 m_k 에 대해 위의 과정을 다시 반복하여 m_1 에 대한 좌/우 대응후보쌍(L/R candidate match)들의 집합을 C라고 하면,

$$C = \{ (m_1, m_k) \mid |m_1 - m_k| = distance \leq threshold, \\ score(m_1, m_k) \geq threshold \text{ and } \\ score(m_k, m_1) = \max correlation \} \quad (식5)$$

집합 C의 좌/우 대응후보쌍에서 최소의 distance를 갖는 m_k 를 m_1 에 대한 최종 대응쌍으로 판단한다.

2.2.2 가변윈도우를 이용한 정합

상관도 윈도우의 크기가 클수록 영역의 많은 정보를 포함하기 때문에 영역의 유사성에 대한 진단을 정확하게 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 영상의 수평크기 1/4만큼의 윈도우에서부터 반씩 윈도우의 크기를 줄여나가면서 최소 $n=m=7$ 까지 윈도우의 크기를 변화시켰다.

2.3 입체정합2(stereo matching2)

이 방법은 입체정합1을 수정한 고속 정합방법이다.

2.3.1 기준점을 이용한 새로운 상관도 함수 추출

그림4.1은 입체정합2의 전체 블록도를 나타낸다. 본 방법은 빠르고 신뢰할 만한 알고리즘으로써, 먼저 신뢰할 만한 기준점을 찾은 후, 그 점들을 이용하여 정합하고자 하는 특징점들의 위상차를 이용하여 새로운 Score함수(Score')를 만드는 방법으로 본 방법을 이용하면 정밀성을 유지하면서 L to R만의 정합을 이용하면 되도록 한다.

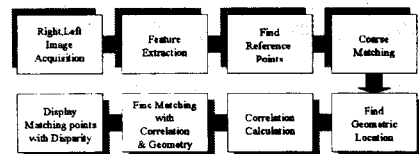


그림5. 입체정합2의 블록 선도

$$Score' = \frac{Score}{1 + \sum \text{ang diff}} \quad (\text{식6})$$

여기서 기준점들은 미분값과 미분 위상, 밝기 분포에 의해 구해지며 (식6)이 이를 이용한 새로운 Score' 함수이다.

2.4 깊이 추출

깊이 추출은 아래 그림에서의 기하학적인 특성을 이용하여 (식7)을 이용하여 구할 수 있다.

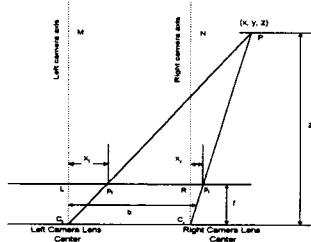


그림6. 정합에 대한 기하학적 구성도

$$z = \frac{bf}{(x'_l - x'_r)} \quad (\text{식7})$$

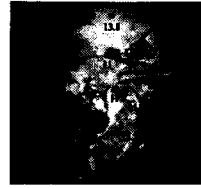


사진4. 깊이(depth) 표시

사진1은 원 영상에서 추출된 좌, 우 영상의 특징점(코너점)들이며 사진2는 추출된 기준점들의 모습이다. 사진3은 좌, 우 영상에서 정합된 모습이며 사진4는 본 알고리즘을 이용한 깊이(depth)의 모습이다.

3. 결 론

- 1) 입체 내시경 영상의 깊이를 추출하기 위한 두 가지의 입체정합법을 개발하였다. 한 가지 방법은 가변 윈도우를 이용한 L to R, R to L 방향의 방법이고 또 하나는 L to R방향만을 이용하는 기준점을 이용하는 방법이다.
- 2) 가변윈도우를 이용한 방법의 정합율은 32%이며 기준점을 이용하는 방법의 정합율은 35%이다.
- 3) 입체 내시경 영상의 정합 신호처리에 적합한 임계치들을 추출하였다.
- 4) 주어진 카메라 변수와 처리된 시차(disparity)를 이용하여 깊이(depth)를 추출하였다.

2.5 실험 결과

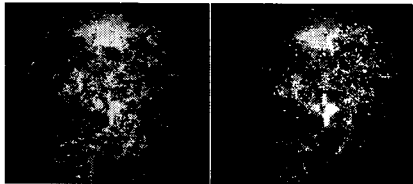


사진1. 추출된 특징점들

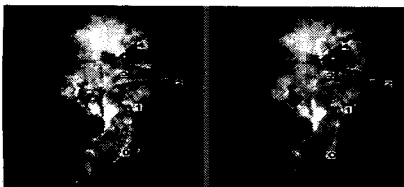


사진2. 추출된 기준점들



사진3. 입체정합의 결과

[참 고 문 헌]

	입체정합1	입체정합2
정합 특징	좌<-->우	좌 -->우 기준점 사용
정합율	430/1338(=32%)	463/1338(=35%)
영상크기	512x480x8	512x480x8
처리속도 (Pentium 200)	200초	140초

표 1 본 논문에서 제안한 입체정합1과 입체정합2의 특성 비교

- [1] 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
- [2] Steven Douglas Cochran. "Surface Description from Binocular Stereo", Volume1, Faculty of the Graduate School University of Southern California, pp.1-19, 1990.
- [3] S.M. Smith, "SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing", Technical Report TR95SMS1c, pp.1-13, 1995.

이 연구는 1997년도 학술진흥재단 자유공모과제 연구지원에 의해 수행되었음.(1997-001-E00284)