

# 전자내시경 순차영상을 이용한 위에서의 카메라 위치 추정

이 상경, 민 병구

서울대학교 의과대학 의공학교실, 의공학 연구소

## Camera Position Estimation in Gaster Using Electroendoscopic Image Sequence

Sang Kyoung Lee, Byoung Goo Min

Dept. of Biomed. Eng. & Inst. of Biomed. Eng., College of Medicine, SNU.

### ABSTRACT

Endoscope system is the device that observe interior the body. It has some demerits because it use of optical fibers. The resolution of images depends on the number of optical fibers, it is impossible that several people observe at the same time and it needs special camera in order to record images. In order to overcome these demerits, electro endoscope system using CCD ( Charge Coupled Device ) has been developed recently.

If the diameter of insertion tube is thinner, it is easier to be examined by thin endoscope system. At the present time, we develop these type of electro endoscope system in the department of SNU biomedical engineering. Moreover, we are researching an algorithm of the 3D-reconstruction of interior of the gaster. In this paper, a method for 3D information detection using electroendoscopic image sequence has been presented.

### I. 서 론

내시경은 위장, 십이지장, 직장등 인체기관 내벽을 직접 육안으로 관찰 진단하는데 널리 사용되는 장비이다. 지금까지는 팽성유다발을 이용하여 광학적으로 영상을 얻는 방식을 사용하여 왔으나 이는 피검자의 환부를 여러

사람이 함께 볼 수 없으며 해상도가 좋지 않다는 단점을 가지고 있다. 이를 개선한 장비로서 최근에는 팽성유다발 대신 영상센서인 CCD ( Charge Coupled Device )를 이용한 전자내시경이 소개되었다. 한편, 우리나라 성인의 경우 위장질환의 발생율이 다른 서구 나라에 비해 훨씬 높으며 이의 조기 발견을 위해서는 내시경 검사가 보다 보편화되는 것이 바람직하다. 그러나 현재의 내시경은 직접 사람의 몸속으로 들어가는 삽입튜브의 굵기가 굵어( 10mm - 12mm ) 피검자의 고통이 크며 시술에도 어려움이 많다. 따라서 삽입튜브의 굵기를 가능한 가늘게 하여 피검자가 삼키는 것만으로 내시경 검사가 이루어 질 수 있는 내시경이 개발되는 것이 바람직하다. 이러한 내시경이 개발되면 피검자의 고통이 적고 그 시술의 간편함과 신속성으로 인해 내시경 검사가 보다 보편화( 신체검사의 항목에 포함되는 등 ) 될 수 있을 것이다. 현재 서울대학교 의공학교실에서는 이러한 형태의 삽입튜브를 개발중이며, 이를 이용하여 얻은 영상을 처리하여 위벽면을 3차원 영상으로 재구성 함으로써 위장질환의 조기진단을 위한 알고리즘을 개발중이다. 이를 위해 본 논문에서는 전자내시경 순차영상 (Image Sequence)을 이용하여 위내벽의 3차원 정보를 얻는 알고리즘을 제시하고자 한다.

일반적으로 산업계에서 스테레오 영상처리방법을 이용하여 3차원 정보를 얻는 방법은 이미 진행되어 있으나[1], 이는 카메라를 두개내지 그 이상 사용한다. 본 논문에서는 단일 카메라(전자내시경)를 이용하여 영상을 순차적으로 얻어 대상물체(위)의 3차원 정보를 얻으려 한다.

## II. 위의 3차원 정보 추출 알고리즘

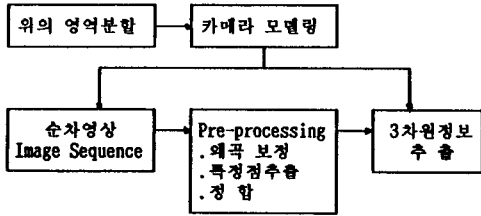


그림.1. 위의 3차원정보 추출을 위한 처리 과정

그림.1.은 위의 3차원정보 추출을 위한 처리과정을 나타낸다. 먼저 위의 영역을 분할하여 이에 알맞은 카메라 모델링을 한후 그 모델에 따라 순차영상을 획득한다. 이렇게 얻은 영상은 몇가지 전처리(Pre-processing)를 행한후 3차원정보를 얻는다. 본 논문에서는 전처리 과정에서 특정점의 추출(feature point extraction), 정합(Matching)은 메뉴얼로 처리하였으며 내시경 영상에 알맞는 예곡보정 알고리즘을 제시하였다.

### II.1. 위의 영역 분할

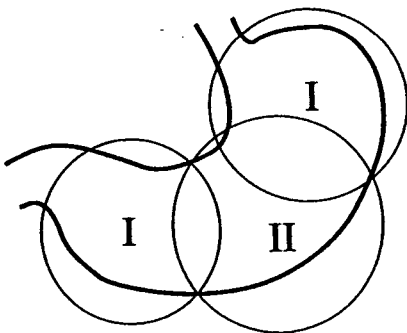


그림.2. 위의 영역 분할

카메라 모델링을 위하여 위의 영역을 그림.2.와 같이 분할한다. 영역 I은 내시경이 광축과 동일하게 진행하는 영역이며, 영역 II는 내시경의 운동축이 광축과 일정한 각을 가지고 진행하는 영역이다. 내시경을 심이지장 입구에 위치시키고 일정한 속도로 보면서 영상을 얻는 경우 I의 영역은 내시경이 광축방향으로 진행한다. 영역 I과 영역 II가 바뀌는 부분은 내시경의 회전이 발생하며 II의 영역에서는 내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행한다. 따라서 다음과 같이 세가지로 카메라 모델링을 할 수 있다. 첫째, 내시경이 광축방향으로

진행한다. 둘째, 내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행한다. 셋째, 내시경이 제자리에서 회전한다.

### II.2. 영상획득을 위한 모델링

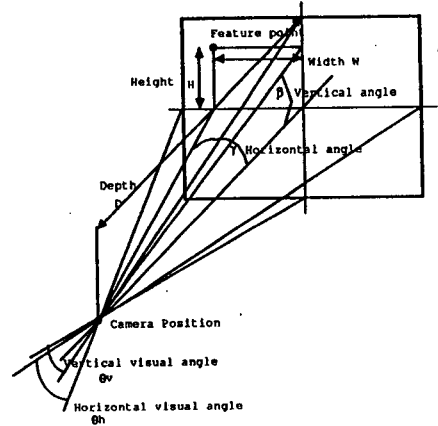


그림.3. 내시경의 광학적 파라메타

내시경의 광학적 파라메타를 다음과 같이 정의한다.

- $X Y Z$  : 내시경의 위치 0에서의 좌표계
- $X' Y' Z'$  : 내시경의 위치 1에서의 좌표계
- $(X_s, Y_s)$  : Center coordinate of image plane
- $(X_0, Y_0)$  : Image plane 0에서의 특정점의 좌표
- $(X_1, Y_1)$  : Image plane 1에서의 특정점의 좌표
- $\theta_v$  : Vertical visual angle
- $\theta_h$  : Horizontal visual angle
- $\alpha$  : Yaw angle
- $\beta$  : Vertical angle
- $\gamma$  : Horizontal angle
- $\delta l$  : 내시경의 이동거리
- $H$  : Height
- $W$  : Width
- $L$  : Depth
- $f$  : 내시경의 초점거리

#### 1) 내시경이 광축방향으로 진행하는 경우 (영역 I)

내시경이 광축방향으로 진행하는 경우 내시경의 광학적 파라메타를 이용하면 위의 3차원정보 (내시경으로부터 특정점까지의 거리, 폭, 높이)를 다음과 같이 얻을 수 있다.

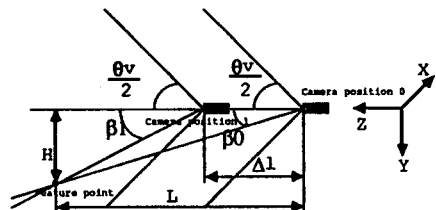


그림.4. 내시경이 광축방향으로 진행하는 경우

$$L = \delta l \frac{\tan \beta_1}{\tan \beta_1 - \tan \beta_0} = \delta l \frac{\tan \gamma_1}{\tan \gamma_1 - \tan \gamma_0}$$

$$H = L \tan \beta_0 = (L - \delta l) \tan \beta_1$$

$$W = L \tan \gamma_0 = (L - \delta l) \tan \gamma_1 \quad (1)$$

여기서,

$$\tan \beta_0 = \frac{Y_s - Y_0}{Y_s} \tan \frac{\theta_v}{2}, \quad \tan \beta_1 = \frac{Y_s - Y_1}{Y_s} \tan \frac{\theta_v}{2}$$

$$\tan \gamma_0 = \frac{X_s - X_0}{X_s} \tan \frac{\theta_h}{2}, \quad \tan \gamma_1 = \frac{X_s - X_1}{X_s} \tan \frac{\theta_h}{2}$$

2) 내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행하는 경우

( 영역 II )

내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행하는 경우 내시경의 광학적 파라미터를 이용하여 위의 3차원정보를 구하면 다음과 같다. 이때 Yaw angle  $\alpha$ 는 X축을 중심으로 회전한 각이다.

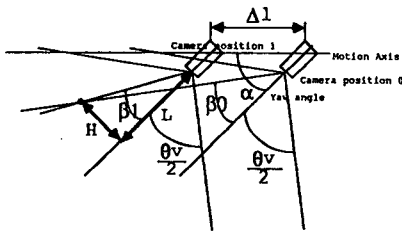


그림.5. 내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행하는 경우

$$L = \frac{\delta l \sin \alpha - \delta l \cos \alpha \tan \beta_1}{\tan \beta_1 - \tan \beta_0}$$

$$H = \frac{\delta l \sin \alpha \tan \beta_0 - \delta l \cos \alpha \tan \beta_0 \tan \beta_1}{\tan \beta_1 - \tan \beta_0}$$

$$W = L \tan \gamma_0 = (L - \delta l \cos \alpha) \tan \gamma_1 \quad (2)$$

3) 내시경이 제자리에서 회전하는 경우

( 영역 I과 영역 II가 만나는 곳 )

내시경이 제자리에서 X축을 중심으로 회전하는 경우 이 각을  $\alpha$ 라 하면 다음이 성립한다.

$$L = \frac{f(1 - X_1/X_0)(\cos \alpha - (X_1/Y_1)/(X_1/Y_0))}{1 - (X_1/X_0)(1 + Y_0/Y_1)\cos \alpha}$$

$$H = \frac{f(1 - X_1/X_0)\sin \alpha}{1 - (X_1/X_0)(1 + Y_0/Y_1)\cos \alpha}$$

$$W = H \frac{X_0 X_0 Y_1}{X_1 Y_0 Y_0} \quad (3)$$

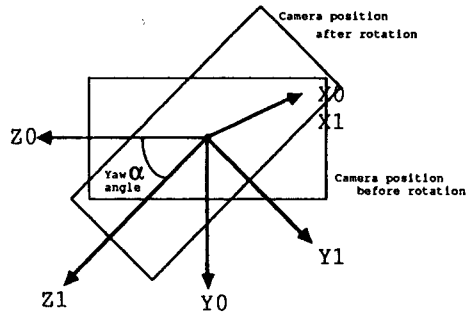


그림.6. 내시경이 제자리에서 회전하는 경우

### II.3. 획득영상의 왜곡보정

내시경에 사용되는 렌즈는 화각이 100도에서 120도 정도로 매우 크고, 초점거리가 5mm에서 10mm 정도로 매우 짧다. 영상획득 장치인 카메라를 이상적인 바늘구멍 사진기로 생각하면 영상의 왜곡(Distortion) 현상은 생기지 않는다. 그러나 카메라의 화각이 커지고 초점거리가 작을수록 영상의 왜곡은 심하게 된다.[3] 그림.7.은 단지형왜곡(Barrel Distortion)으로 내시경을 이용하여 격자모양의 대상을 촬영한 경우에 발생한다. 이러한 왜곡의 정도는 대상체와 카메라사이의 거리에 따라 변화하는데, 이 거리가 가까울수록 심하다. 내시경을 이용하여 위내부의 영상을 얻는 경우, 위벽면과 내시경 사이의 거리는 약 10mm 내지 30mm로서 매우 가깝다. 따라서 이러한 왜곡현상의 보정이 없이는 정확한 3차원 정보를 얻을 수 없다. 왜곡보정을 위해서 다음과 같은 알고리즘을 생각한다.

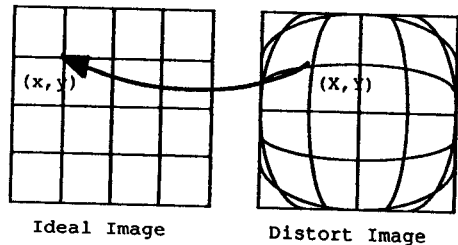


그림.7. 단지형 왜곡

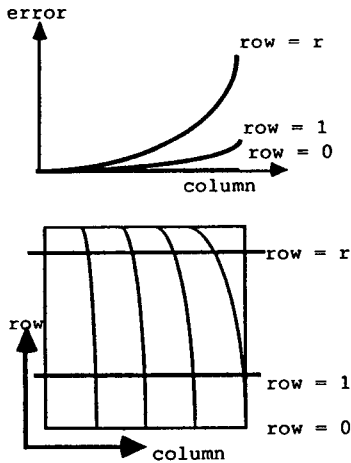


그림.8. 수직 error 테이블의 생성

왜곡을 보정하기 위하여 Ideal image와 distort image사이의 error를 테이블화 하여 사용한다. 그림.8.은 수직 error 테이블을 형성하는 과정을 나타낸다. 주어진 수평선에 대하여 수직위치를 변화하면서 error를 3차식으로 fitting한다. 이런 수직 error를 몇개의 수평선에 대하여 구하여 이를 모두 수평선에 대하여 fitting하여 구하면 수직 error 테이블을 얻을 수 있다. 같은 방법으로 수평 error 테이블을 얻으면 모든 점에서의 error를 알 수 있다. 이 error는 원점에 대하여 대칭이므로 1사분면의 테이블만으로 모든 점의 왜곡을 보정할 수 있다. X축 방향의 error를  $X_e$ , Y축 방향의 error를  $Y_e$ 라 하면 다음이 성립하게 된다.

$$\begin{aligned} x &= X + X_e \\ y &= Y + Y_e \end{aligned} \quad (4)$$

### III. 실험 및 결과

본 논문에서 사용된 내시경 영상들은 미국 Welch-Allyn사의 전자내시경을 이용하여 서울대학교 의공학과에서 제작한 위 모형을 이용하여 얻었다. 모형위의 내부에는 2cm 간격의 등간격선을 그어 내시경의 위치를 알기 쉽게 하였다. 사용한 전자내시경의 화각은 62도이며 촛점거리는 10mm이다. 그림.9.에 내시경이 영역 I의 위치한 것으로 이곳에서 광축방향으로 내시경을 2cm씩 진행하였다. 그림.10.에 4개의 연속된 영상들

보였다. 그림.11.은 영역 I에서 영역 II로 바뀌는 곳으로 내시경이 X축을 중심으로 45도 회전하고목 하였다. 그림.12.는 영역 II의 영상으로 Yaw angle이 45도를 유지하며 2cm간격으로 얻은 4개의 연속된 영상이다.

그림.13.은 모눈종이를 5cm거리에서 얻은 영상을 처리하여 왜곡을 보정한 것이다. 여기서 구한 테이블을 이용하여 모든 순차영상을 왜곡보정하여 사용하였다.

영역 I에서 얻은 영상을 이용하여 십이지장 입구의 특정점으로부터 내시경의 위치를 구하여 표.1.에 보였다.

표.1. 영역 I에서 내시경의 위치 (mm)

영상	실제 데이터			계산된 결과		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-10	30	-30	-12	34	-32
2	-10	30	-50	-13	33	-47
3	-10	30	-70	-12	32	-75
4	-10	30	-90	-14	34	-88

위의 결과는 모두  $\delta 1$ 을 20mm로 하고 계산한 결과이나 영상 1과 영상 4를 이용하여  $\delta 1$ 을 60mm로 하여 얻은 결과는  $X=-11$ ,  $Y=29$ ,  $Z=90$ 으로 더욱 개선됨을 알 수 있었다. 즉, 내시경의 이동거리가 큰 두개의 영상을 이용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

표.2.는 내시경이 제자리에서 회전한 경우의 실험결과이다.

표.2. 내시경이 회전한 경우의 결과 (mm)

X	Y	Z	계산된 결과		
			X	Y	Z
-15	40	-50	-18	37	-55

표.3.은 영역 II에서 얻은 결과이다. 영역 II에서도 영역 I과 마찬가지로 내시경의 이동거리가 클수록 좋은 결과를 보였다.

표.3. 영역 II에서 내시경의 위치 (mm)

영상	실제 데이터			계산된 결과		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-10	30	-20	-9	31	-22
2	-10	30	-40	-9	30	-37
3	-10	30	-60	-8	29	-56
4	-10	30	-80	-9	32	-78

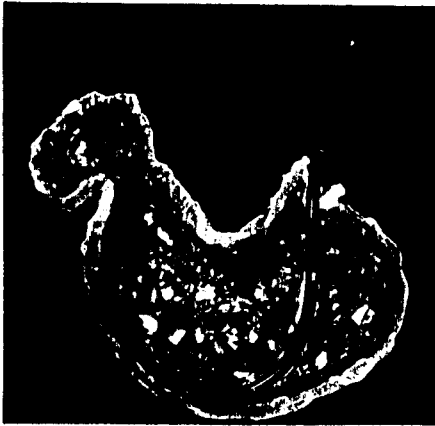


그림.9. 내시경의 위치

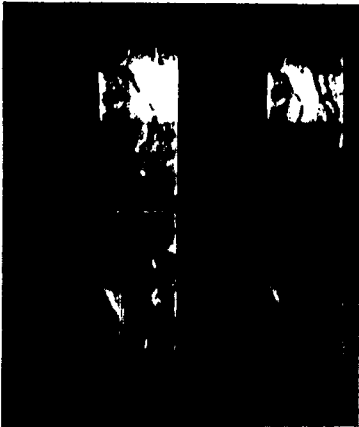


그림.10. 내시경이 광축방향으로 진행되는 경우



그림.11. 내시경이 광축과 일정한 각을 가지고 진행되는 경우



그림.12. 내시경이 제자리에서 회전한 경우

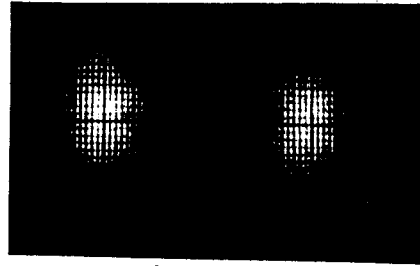


그림.13. 왜곡 보정

#### IV. 결 론

내시경 영상을 이용하여 위의 3차원정보를 추출하였다. 현재 사용중인 내시경에 이용하기에는 제한조건이 많으나 시술에 간편한 내시경장치가 개발된다면 본 논문에서 제시한 알고리즘의 이용이 가능하다고 생각한다. 더 나아가 위 내벽을 3차원으로 재구성하여 표현할 수 있다면 위암의 조기진단에 유용할 것이다. 이를 위하여 3차원 정보의 획득은 반드시 해결할 문제로서 본 논문에서는 카메라 모델링과 순차영상을 이용한 위의 3차원정보 추출 알고리즘을 제시하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Kenneth R. Castleman, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, Inc., pp.364-368, 1979
- [2] Frank H. Netter, M.D., "The CIBA Collection of Medical Illustrations", 6th ed. Vol. 3, pp.49-50, 1983
- [3] Francis A. Jenkins and Harvey E. White, "Fundamentals of Optics", McGraw-Hill Book Company, 4th ed., pp.171-173, 1976
- [4] AZiel Rosenfield and Avinash C. Kak, "Digital Picture Processing", Academic Press, 2nd ed. Vol. 2, pp.26-33, 1982
- [5] Robert J. Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons, Inc., pp.51-59, 1989
- [6] Nicolas Alvertos, Dragana Brzakovic and Rafael C. Gonzalez, "Camera Geometry for Image Matching in 3-D Machine Vision", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.11, No.9, pp.897, 914, September 1989
- [7] R. Y. Tsai, "Multiframe Image Point Matching and 3-D Surface Reconstruction", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.5, No.2, pp.159-173, March 1983
- [8] Tomas D. Williams, "Depth from Camera Motion in a Real World Scene", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.2, No.6, pp.511-516, November 1980