

3D 내시경 영상처리를 위한 다중화기 설계와 부호화 성능평가

송철규, 이상민, 이영목, 김원기, *황종대, **김정훈, **이명호
삼성생명과학연구소 임상공학센터,
*삼성의료원 산부인과, **연세대학교 전기공학과

Evaluation of Coding Performance and Design of Spatial Multiplexer for 3D Endoscopic Image Processing

C. G. Song, S. M. Lee, Y. M. Lee, , W. K. Kim, *J. D. Hwang, **J. H. Kim and **M. H. Lee

Biomedical Engineering Center, Samsung Biomedical Research Institute

*Dept. of OB&GY, Samsung Medical Center

**Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

In this study, in order to improve visualization and enhance the ability of the surgeon to perform delicate endoscopic surgery, three dimensional endoscopic system is designed. These 3D systems have four features of stereoendoscopic image processing: real time image capture and retrieve; presentation of left and right image on a single monitor; separable processing of the left and right eye images; coding of the 3D endoscopic video. For 3D endoscopic video coding, three approaches are presented based on interlaced picture structure, side-field format structure, and simulcast technique. Experimental results and performances comparisons are presented and analyzed for these approaches. Digital video coding techniques are presented for 3D endoscopic video sequences by means of an MPEG-2 video coding.

서 론

무혈수술(less invasive surgery)을 위한 내시경 수술기법은 현재는 주로 2D 수술 영상을 보면서 진행하고 있으나, 신경외과와 산부인과등에서 장시간의 수술이나 고난도 수술시에 3D 영상을 이용한 내시경 수술이 시행되고 있다. 기존의 2D 내시경 방식은 3D 방식과는 달리 깊이감이 없고, 집도하는 손 동작과 모니터 상에 나타나는 영상이 반대 좌표로 나타내기 때문에 의사는 특수한 수술기법의 훈련을 필

요로 한다. 이러한 불편함을 극복하기 위해 수 년전부터 국내, 외에서 3D 수술 영상을 활용한 수술의 효용성 검증을 위해 다양한 예비적 연구를 수행한 결과, 긍정적인 평가를 하고 있다[1-3].

3D 내시경 수술은 미세한 수술 및 장시간 수술을 하는 경우에 수술부위에 대한 깊이 정보가 포함된 고화질 영상을 보여주므로 수술의 신뢰성과 수술의 편리함을 제공하며, 절개와 봉합시에 수술의 정확도를 높여주는 첨단 수술기법이다. 이러한 3D 수술 영상을 구현하기 위한 3차원 영상기술은 전자서터 방식, 렌티큘러 방식, 홀로그래픽 방식 등이 있다. 그 중에서 현실적으로 해상도 문제와 시야각, 정보처리 속도 및 광학적 셋업문제를 고려할 때 전자서터 방식이 가장 유리한 것으로 평가되고 있다.

이는 전자서터식의 액정판이 모니터 화면과 일체형으로 구성되며 시차각은 작으나 초점 심도가 깊어서 넓은 범위의 3차원 관측이 가능하기 때문이다. 미국의 Reveo사는 미세 편광배열 필터(micro polarizer array filter)를 부착한 모니터와 편광안경의 작용에 의해 입체 수술영상을 획득하는 방식이다. 이러한 편광방식은 안경이 가벼운 장점은 있으나 필터 설계기술의 어려움이 따른다.

3D 내시경 동영상의 압축부호화는 2차원 압축부호화 방법과는 달리 해상도에 따라 방대한 정보량이 생성되므로 효율적인 중복성 제거와 신호대역폭 압축, 영상처리 및 코딩기술이 요구된다. 입체 영상 시퀀스의 압축을 위한 연구는 좌, 우 영상의 독립적인 압축방법 보다는 더 높은 압축효율을 위해 주로 좌, 우 영상간 공간적 중복성을 이용하는 방법들이 제안되어 왔다. Sethuraman[4]과, Puri[5]등은 입체 영상 시퀀스의 압축과 인식에 대한 연구를 통해 영상의 비트율을 최소화하며 고해상도의 입체 영상을

부호화하기 위해 좌, 우 영상의 시차를 보상하는 압축방법을 연구하였다.

본 연구에서는 양안 입체방식의 입체 동영상 제어기를 설계하고, 이를 이용하여 입체 내시경 동영상 압축을 위한 영상포맷 구성실험과 MPEG-2 방식의 압축 부호화와 그 효율성을 실험하였다.

3D 내시경 동영상 제어기

(1) 다중화기의 특징

본 연구에서는 좌측과 우측의 2 채널을 갖는 내시경 영상을 입체영상으로 구현하기 위해 다중화기(multiplexer)와 역 다중화기(demultiplexer)를 설계하였고, 입체 내시경 영상을 구현하기 위해 공간적으로 다중화된 영상포맷(spatially multiplexed image format)으로 구성함으로써, 필드 순차적인 입체영상의 저장과 재생이 가능하도록 하였고, PC 모니터로 디스플레이 할 수 있는 신호변환부를 구성하였다.

그림 1에서 좌, 우측의 내시경 카메라에서 얻어진 영상을 각각 짝수 필드와 홀수 필드에 할당하는 다중화기와 셔터안경의 구동 드라이버를 설계하였다. 따라서 기존의 120 Hz 수직동기 주파수를 갖는 입체 영상 시스템에서는 처리할 수 없는 시차정보가 포함된 필드 픽처구조의 MPEG-2 부호화[6]가 가능하도록 하였다.

비디오 동기 분리부에서는 복합(composite)비디오 신호로부터 수평, 수직 주사시간 정보를 포함한 복합 동기신호와 수직동기 펄스, 버스트 게이트신호를 출력하며 이를 이용하여 좌, 우 비디오 영상을 60 Hz로 다중화된다. 그림에서 3D 복강경과 3D 카메라에 의한 좌, 우 내시경 영상은 비디오 다중화기에 의해 다중화된 영상을 모니터에 디스플레이한다. 영상의 다중화와 셔터 구동을 위한 전체적인 블록선도의 구성은 비디오 다중화기, 동기 분리기, 셔터안경 구동을 위한 논리회로, 그리고 채널 선택기로 구성된다.

다중화부는 비디오 동기 분리부에서 얻어진 좌, 우 영상에 대한 동기신호를 이용하여 좌, 우 영상을 순차적으로 다중화한다. 즉, 좌측 영상인 홀수 필드 영상이 입력되면 좌측안경은 열리게 되고, 우측안경은 닫힌다. 또한 우측 영상이 입력될 때에는 반대의 경우가 된다. 비디오 동기 분리기에서 얻은 짝수필드와 홀수필드에 대한 동작시간 펄스는 논리회로에 의해 디스플레이된 필드 영상과 각각 동기된 제어신호를 만들게 된다. 또한, 채널 선택기를 이용하면 입력되는 좌, 우 영상을 선택적으로 출력할 수 있으며 이를 위해 다중화기의 채널 선택회로와 셔터 구동회로의 셔터 제어신호를 필요로 한다. 본 연구에서 설계된 시스템의 특징은 첫째, 3D 동화상이 60 Hz의 수직 주파수를 갖도록 함으로써, PC 기반의 디스플레이 및 제어가 가능하도록 하였다. 둘째,

좌, 우측의 내시경 영상을 필드단위로 제어함으로써, MPEG-2 부호화기를 이용한 내시경 입체영상의 효율적으로 압축 부호화할 수 있다.

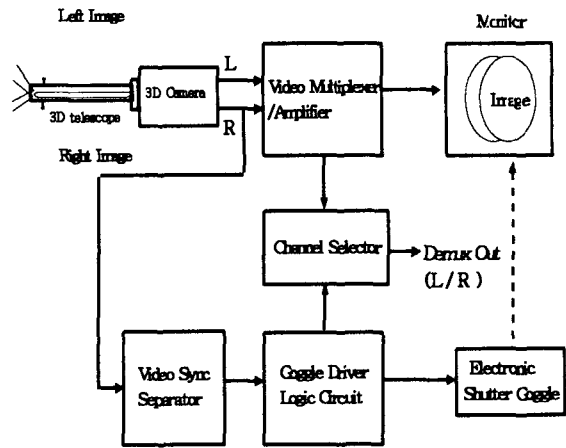


그림 1 3D 영상 다중화기와 셔터안경 구동부의 블록도

그림 2는 짝수 필드와 홀수 필드가 설계된 다중화기에 의해 모니터에 디스플레이 될 때 보이게 되는 합성영상이다.

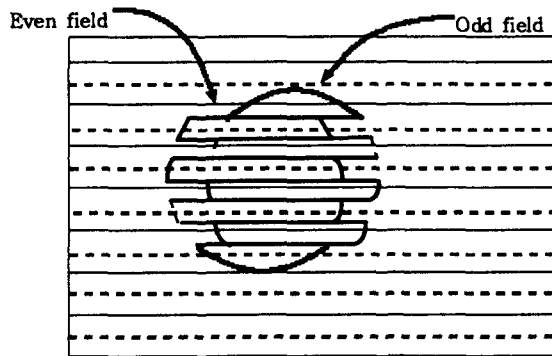


그림 2 다중화된 좌, 우영상

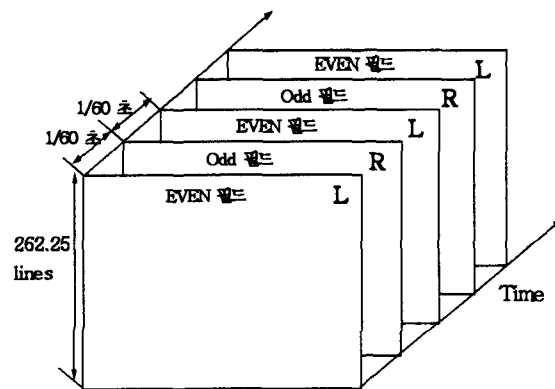
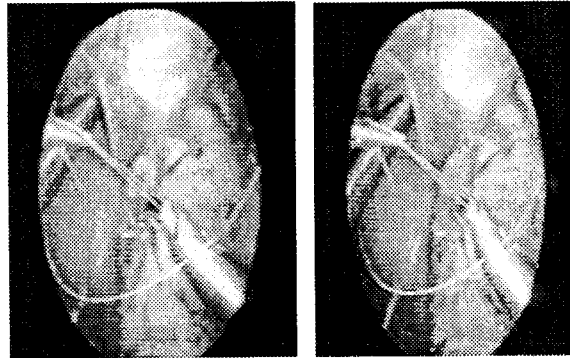


그림 3 3D 내시경 영상의 인터레이스 구조

그림 3은 다중화된 내시경 영상의 인터레이스 포맷을 나타낸 것이다. 그림에서 좌, 우의 영상은 1/60 초의 간격을 갖게 되며, 한 필드당 262.5 라인을 구성(262 lines/fields)하며 좌, 우의 영상이 2중으로 인터레이스되어 주사되는 영상 포맷임을 알 수 있다. 이 때 스크린의 왼쪽 상부에서 부터 시작하여 좌, 우의 영상을 2개의 필드로 하여 262.5 라인씩 주사하게 되며, 21 H부터 영상신호가 나타나도록 하드웨어를 설계하였다.

(laparoscopic choleystectomy)수술 시의 내시경 좌, 우 영상이다.



(a) 좌영상 (b) 우영상

그림 5 3D 내시경 좌, 우 영상

(3) 3D 내시경 영상처리

그림 4는 3D 내시경 영상처리를 위해 본 연구에서 제안한 입체 비디오 다중화기/역다중화기, 그리고 수술영상 처리를 위한 주변기기의 구성을 나타내고 있다. 그림 4에서 VCR의 단일 비디오 채널로 저장하기 위하여, 60 Hz 또는 120 Hz 방식 수직주파수 모드에서 저장이 가능하다. 60 Hz 방식에서는 좌, 우의 내시경 영상이 홀수, 짝수 필드 순서로 입력, 저장되며, 120 Hz 방식에서는 역 다중화기의 출력 영상 시퀀스는 좌, 우의 영상이 각각 수평방향으로 1/2의 크기로 압축되어 표준 비디오 대역폭 범위 내에서 처리되는 사이드 필드 영상 포맷으로 처리하였다. 이 포맷의 특징은 좌, 우영상 사이에 수평동기 펄스로써 블랭킹 신호를 삽입하게 된다. 또한 수평 방향의 압축을 하는 이유는 수평 방향의 주사가 수직방향보다 연속성이 크기 때문에 수직 방향의 압축보다 화질이 우수하기 때문이다

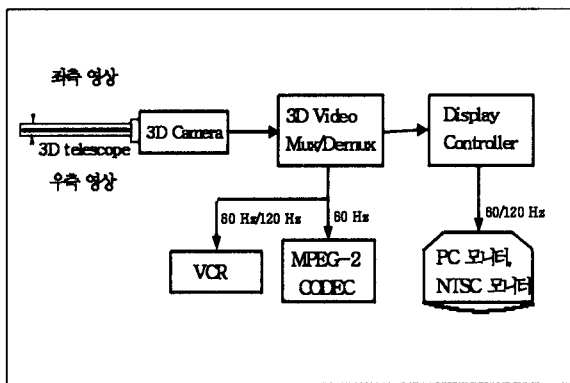


그림 4 3D 내시경 영상처리를 위한 시스템 구성

입체 내시경 영상 시퀀스의 부호화

입체 영상 부호화 효율을 평가를 위해 적용한 영상은 본 연구에서 설계한 다중화기로 부터 얻어진 인터레이스 3D 내시경 영상과 표준 입체 영상시퀀스인 CCETT(centre common d'etudes de telediffusion et telecommunication)의 Acua, Manege, 그리고 Tunnel 영상 시퀀스를 이용하였다[7].

그림 5는 3D 복강경을 이용한 담낭제거

(1) 독립채널 방식 부호화

입체 비디오 시퀀스에 대한 코딩은 상관성이 높은 좌측과 우측 영상 신호를 압축, 전송하는 것을 의미한다.

독립채널 방법은, 영상 시퀀스를 부호화할 때 좌측 영상은 좌측 내에서, 그리고 우측영상은 우측 내에서 시간적 중복성(temporal redundancy)을 이용하는 방식이다. 그림 6에서 화살표는 부호화가 진행되는 프레임 방향을 나타내며, 시간적으로 예측된 영상은 수평 방향 예측벡터로 표시했고, 공간적으로 예측된 영상은 경사를 갖는 예측벡터로 표시했다. 그러나 그림 6(a)와 그림 6(b)의 방법은 입체 영상의 시간적, 공간적 중복성을 효율적으로 이용할 수 없다.

본 연구에서는 그림 6(c)와 같이, 좌, 우 각각의 영상 시퀀스에 대한 시간적, 공간적 중복성을 최소화하는 interlaced 프레임, 필드 구조방식의 예측 방식의 부호화 실험을 하였다.

(2) 격행주사 입체 내시경 영상의 부호화

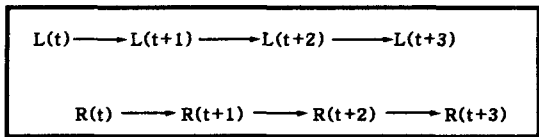
격행주사 입체 내시경 비디오 시퀀스의 각 프레임은 top(even 필드)과 bottom(odd 필드)의 2개의 필드로 구성된다. 격행주사 비디오코딩을 위한 표준 MPEG-2 비디오 코딩은 2 종류의 픽처구조인 필드 픽처나 프레임 픽처로 코딩된다.

필드픽처 구조에서는 2개의 필드픽처가 각각 독립된 이미지로서 부호화되고, 반면에 프레임픽처 구조에서는 2개의 필드가 인터리브되어 하나의 이미지로 부호화된다. 또한 MPEG-2 비디오 코딩에서는 2 종류의 픽처 구조간에 동적인 스위칭도 가능하다.

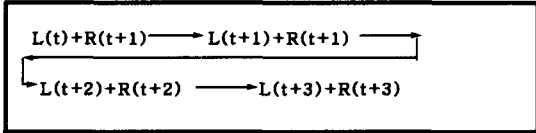
실험결과 및 고찰

(1) 실험방법

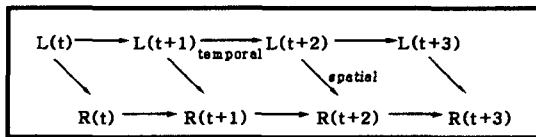
본 연구에서 적용된 부호화 방법은 독립 채널방



(a) 독립 채널식



(b) 사이드 필드 방식



(c) 격행주사 필드 픽처 방식

그림 6 입체 비디오의 부호화: (a) 독립 채널식 (b) 사이드 필드식 (c) 격행주사 픽처 방식

식, 사이드 필드 포맷 방식, 프레임 픽처 부호화 방식, 그리고 필드픽처 부호화 방식의 4 가지 방법으로 MPEG-2 부호화와 복호화를 하였다. 적용된 방법 중에서 프레임 픽처 구조의 부호화와 필드 픽처 구조의 부호화는 본 연구에서 설계한 입체 비디오 제어기를 사용하였고, 사이드 필드 포맷방식은 StereoGraphics사의 View/Record 시스템을 사용하고, 그리고 독립 채널 방식은 좌, 우측의 내시경 영상에 대해서 MPEG-2 필드 픽처 구조로 각각의 좌, 우 영상을 부호화 하였다.

표 1 표준 입체 영상 시퀀스와 입체내시경 영상의 3D 변수

Sequence	Acua	Tunnel	Manege	3D 내시경
시퀀스 길이 (frames)	60	300	300	300
카메라 쏠점 거리(mm)	40	40	30	20
baseline거리 (mm)	87.5	87.5	100	22
광학축 교차 거리(mm)	2350	2800	9200	65

본 연구에서 부호화 효율을 평가하기 위해서, 1) 전송율에 따른 부호화시 특정 영상의 휘도 PSNR을 비교하였고, 2) 동일한 부호화율일 때에 내시경 영상의 특정 GOP에서의 프레임 시퀀스별 휘도 PSNR의 변화를 고찰하였다. 이 때 실험에 적용한 입체 영상 시퀀스와 관련한 중요한 구성 파라미터들은

초점거리, 기저선, 초점거리, 그리고 수렴각 등이 있다. 먼저 표준 영상시퀀스 Acua, Tunnel, Manege의 포맷은, Full D1 포맷으로 702x480의 해상도와 초당 30 frame으로 구성되며, 각 프레임은 2개의 필드로 구성된다. 표 1에서 표준 입체 영상 시퀀스와 입체내시경 영상시퀀스의 카메라 셋업 파라미터를 나타냈다.

(2) 전송대역 변화에 따른 부호화 효율

표1 각 영상들에 대해 전송대역 변화에 따른 효율을 평가한 결과, 독립채널 방식의 부호화 보다 인터레이스 포맷의 입체영상 부호화가 더 좋은 신호대 잡음비를 나타냈다. 그리고 부호화하는 전송대역이 높아질수록 프레임 픽처구조 보다는 필드픽처 구조의 부호화가 더 효율적임을 알 수 있다.

표준 입체영상 중에 전송 율의 증가에 따른 신호대 잡음비 성능이 각각의 방식 모두에서 가장 높은 시퀀스는 Manege이고 가장 낮은 성능을 나타내는 시퀀스는 Tunnel 로 나타났다. 그리고 전송 대역폭이 커질수록 SNR의 값은 비례적으로 증가하였다. 또한 복호화된 입체 내시경 비디오를 재생하였을 때, 부호화시 전송대역이 높을 수록 상대적으로 복호화된 입체 내시경 영상의 화질이 비례적으로 좋아짐을 확인할 수 있었다.

(3) 시퀀스에 따른 신호대 잡음비 고찰

임의의 GOP(group of picture) 구간 내에서 내시경 영상 각각의 픽처에 대한 신호대 잡음비를 분석하였다. 본 연구에서 입체 내시경 수술 영상 시퀀스는 3 가지 경우로써 즉, 사이드필드 포맷과 인터레이스 포맷의 프레임 픽처 구조, 필드 픽처 구조 부호화에서, 단일 GOP내의 프레임 개수 $N=15$ 로 하고 P 픽처간 프레임 수는 $M=3$ 으로 하였다. 각 픽처 데이터를 얻기 위한 전송 대역의 설정은 16 Mb/sec로 하였다. 그림 7은 사이드 필드 포맷과 프레임 픽처구조, 그리고 필드 픽처구조의 입체영상 시퀀스를 부호화했을 때, 한 GOP 내에서 계산된 각 픽처의 신호대 잡음비이다. 그림 7에 나타난 것 처럼 필드 픽처 구조의 부호화가 부호화 방식 중에서 가장 높은 신호대 잡음비를 보였다. 신호대 잡음비의 크기는 프레임내 부호화 영상인 I 픽처가 가장 높았고, 두 번째가 P픽처, 그리고 B픽처의 순서가 됨을 알 수 있다. 입체 내시경 영상과 표준 입체영상의 경우 모두에서 압축 부호화 할 때 효율이 가장 좋은 방식은 필드 픽처 구조 방식이었고, 그 다음 순서가 독립 채널식, 사이드 필드 포맷 방식 순서로 나타났다.

결 론

본 연구에서는 양안 입체 방식의 필드 순차적 동영상 다중화기를 설계하고, 입체 내시경 동영상

압축을 위해 3가지 영상 포맷 구성에 따른 Full D1 규격의 입체 영상 압축 부호화와 그 효율성을 실험하였다. 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 표준 입체영상에서 전송을 증가에 따른 신호대 잡음비 값이 높은 순서는 Manege, Acua, Tunnel 순서로써, Manege 시퀀스가 다른 표준 입체 영상 시퀀스보다 부호화 효율이 높게 나타났다.
- (2) 입체내시경 영상에서 부호화 방식을 독립채널 방식, 사이드 필드포맷, 그리고 인터레이스 포맷으로 각각 부호화 했을 때 전송을 변화에 따른 신호대 잡음비의 크기는 인터레이스 포맷(프레임 픽처 구조와 필드픽처구조 각각에 대한 평균 값)이 가장 부호화 효율이 높게 나타났다.
- (3) 전송율을 16 MB/sec로 부호화시, 동일 프레임에서 신호대 잡음비 값은 독립채널 방식은 39.47 dB, 사이드 필드포맷은 38.4 dB, 그리고 인터레이스 포맷은 40.35 dB를 나타냄으로써, 본 연구에서 제안한 입체영상의 부호화 방식의 효율이 가장 높게 나타났다.

참고문헌

- [1] R.M. Satava, "3D vision technology applied to advanced minimally invasive surgery systems," Surg. Endosc., Vol.7, pp. 429-431, 1993
- [2] A.F. Durrani, G.M. Preminger, "Three dimensional video imaging for endoscopic surgery," Comput. Biol. Med. Vol 25, No.2, pp.237-247, 1995
- [3] J. Zobel, "Basics of three-dimensional endoscopic vision," Endo. Surg. Vol.1, pp. 36-39, 1993
- [4] S. Sethuraman, M.W. Siegel, and A.G. Jorgan, "A Multiresolution Framework for Stereoscopic Image Sequence Compression," Proc. ICIP'94, pp. 361-365, Oct. 1994
- [5] A. Puri, R.V. Kollarits, B.G. Haskell, "Stereoscopic video compression using temporal scalability," Proc. SPIE Vol.2501, pp.745-756, 1995
- [6] MPEG Draft International Standard: ISO/IEC 13818-2:Generic coding of moving pictures and associated audio, 1995
- [7] CCETT, "Description of Stereoscopic Test Sequences: Train and Manege," Oct., 1994

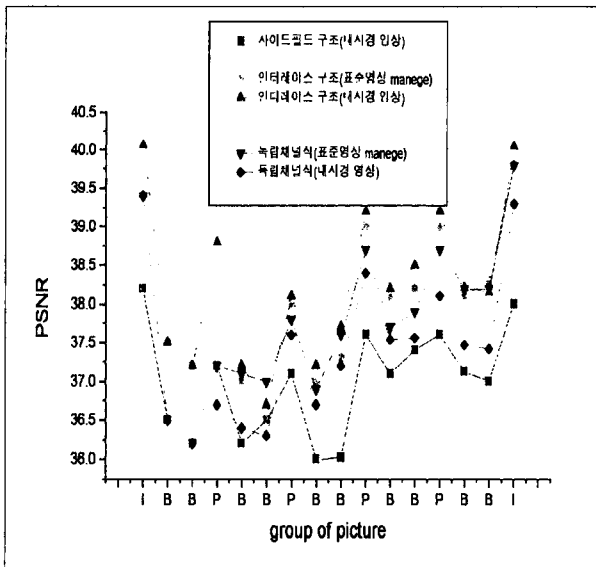


그림 7 한 GOP에 대한 신호대 잡음비

본 연구는 '96년도 보건의료기술 연구개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임(# HMP-96-G-1-5)