

초광각 무선 디지털 전자 내시경 모듈에 관한 연구

A Study on a Ultra-wide-angle Wireless Digital Electronic Endoscope Modules

심 동 하* · 김 형 오* · 이 봉 주* · 홍 승 철** · 이 재 선** · 차 재 상[†]

(Dongha Shim · Hyung-O Kim · Bong-ju Lee · Seung-Cheol Hong · Jason Lee · Jaesang Cha)

Abstract - This paper proposes a wireless digital endoscope with a ultra-wide-angle view. Two key components are implemented to demonstrate the feasibility of the proposed endoscope. First, a ultra-wide-angle lens module with the field of view of 144 degree and F-number of 2.2 is designed and manufactured. Second, a wireless module for a high-speed video transfer is implemented using a USB device server and wireless LAN router. The wireless module can directly transfer a streaming video to a computer with the resolution of 1920x1080, frame rate of 30 fps, and data rate of 53.3 Mbps without an internet connection. Since the wireless module supports two USB devices, two spots can be simultaneously observed using the proposed endoscope.

Key Words : Electronic digital endoscope, Ultra-wide-angle lens module, Wireless video transfer

1. 서 론

전통적인 광학식 내시경은 릴레이 렌즈(relay lens)와 광섬유를 통해 영상과 광원을 전송하기 때문에 구조가 복잡하고 화질이 떨어지며 가격이 높은 단점을 가진다 [1]. CCD(Charge Coupled Device) 이미지 센서가 등장하면서 내시경의 영상 전송 방식은 전자식으로 바뀌었지만, 광원 전송은 여전히 광섬유를 이용한 광학식이 널리 사용되어 왔다. 최근 CMOS 이미지 센서 및 LED 광원 기술의 비약적인 발전으로 전자소자만으로 구성된 디지털 전자 내시경을 구현할 수 있게 되었다 [2]. 전자 내시경은 광학부품을 사용하지 않기 때문에 구조가 단순해 내구성과 성능이 우수하며 가격이 싼 장점을 가진다. 따라서 고가의 기존 의료용 내시경을 대체하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 의료용과 같은 높은 성능과 신뢰성이 요구되지 않는 산업용 유선 전자 내시경 제품들의 경우 이미 시장에 출시되고 있다 [3]. 특히 최근 Wi-Fi를 이용해 무선으로 편리하게 영상을 전송할 수 있는 산업용 무선 내시경이 상용화 되었는데, 대표적인 제품이 60도의 화각(Field of view)과 VGA급(640x480) 해상도를 가지고 있다 [4]. 그러나 고성능 의료용 내시경이 140도 이상의 넓은 화각과 HD급의 화질을 제공하는 것을 고려하면, 현재의 상용 무선 내시경은 다양한 산업 및 의료 분야에서 요구되는 성능에 크게 미치지 못하고 있다 [5].

본 논문에서는 상용 전자 내시경의 이러한 제한된 성능을 향상시킨 초광각 무선 디지털 전자 내시경을 제안하고, 핵심 부품인 초광각(ultra-wide-angle) 렌즈 모듈과 HD급 영상

데이터를 고속으로 무선 전송할 수 있는 무선통신 모듈을 구현하였다. 무선모듈은 두 개의 USB 장치를 지원해 두 개의 내시경 카메라를 동시에 장착할 수 있는 특징을 가진다. 제안된 내시경은 복잡하고 위험한 전기 및 기계 설비의 진단/유지/보수 작업을 용이하게 하고, 나아가 성능과 신뢰성 향상을 통해 원격 진료나 U-헬스케어(U-healthcare) 등의 의료 분야로 그 응용이 확대될 것으로 기대된다.

2. 초광각 무선 디지털 전자 내시경 모듈

그림 1은 제안된 초광각 무선 전자 내시경 모듈의 개념도를 보여준다. 내시경은 크게 초광각 카메라 모듈, USB 케이블, 무선통신 모듈로 구성된다. 카메라 모듈은 다시 초광각 렌즈 모듈, 이미지 센서, 카메라 프로세서, LED 광원으로 구성되며, USB 케이블을 통해 디지털 영상 데이터가 무선통신 모듈로 전송된다. 무선통신 모듈은 카메라 모듈을 네트워크 장치로 변환시킬 수 있는 USB 장치서버(USB

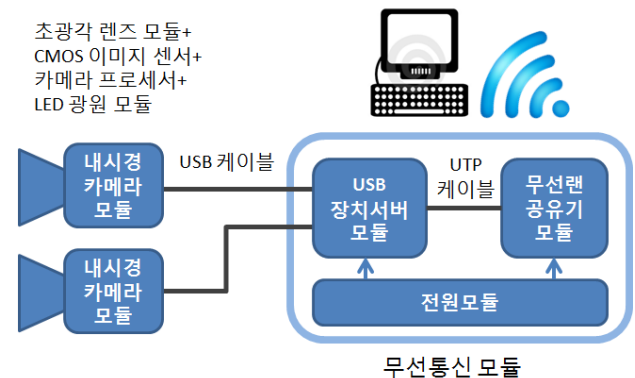


그림 1 제안된 초광각 디지털 무선 전자 내시경의 개념도
 Fig. 1 Architecture of the proposed digital wireless electronic endoscope

[†] Corresponding Author : Seoul National University of Science & Technology, Korea

E-mail : chajs@seoultech.ac.kr

* Seoul National University of Science & Technology, Korea

** Haesung optics Co., Ltd, Suwon, Korea

Received : March 24, 2014; Accepted : March 28, 2014

device server) 모듈과 UTP(Unshielded Twisted Pair) 케이블을 통해 연결된 데이터를 무선으로 전송하는 무선랜공유기(Wireless LAN router) 모듈로 구성된다. 카메라 모듈은 일반적인 USB 웹캠과 유사한 구조를 가지며 자체적인 네트워크 기능이 없기 때문에 USB 장치서버를 통해 독립적인 IP를 가진 장치로 변환되어 무선랜공유기에 연결된다. USB 장치서버는 두개의 USB 포트를 가지고 있기 때문에 두개의 내시경 카메라를 연결해 동시에 사용할 수 있는 장점을 가진다. 카메라 이외에도 다양한 USB 장치의 연결이 가능해 내시경의 기능을 확장 시킬 수 있다. 전원모듈은 무선통신 모듈에 필요한 전원을 공급한다. 영상 데이터는 무선랜공유기를 통해 컴퓨터로 전송된다.

구현된 초광각 내시경 렌즈의 주요사양은 표 1과 같다. 광선추적(Raytracing), MTF(Modulation Transfer Function), 초점관통 MTF(Through focus MTF), 구면수차(Field curves) 등의 기법을 이용해 설계를 진행 하였다 [6]. 설계된 렌즈 모듈의 화각과 F-수(F-number)는 각각 144 도와 2.2로, 충분한 화각과 밝기를 얻을 수 있었다 [7]. 그림 2는 설계된 초광각 렌즈의 단면도를 보여 준다. 5장의 렌즈가 사용되었으며 가공성과 성능을 고려해 렌즈의 재질과 두께를 결정하였다. 렌즈를 감싸고 있는 경통(Barrel)은 렌즈간의 간격을 조절하여 광축을 맞추고 렌즈의 기울어짐을 보정

표 1 초광각 내시경 렌즈 모듈 주요사양
Table 1 Main specifications of the ultra-wide-angle endoscope lens module

주요사양	설계치
화각 (Field of view)	144도
F-수 (F-number)	2.2
TV 왜곡 (TV distortion)	-15%
초점 거리 (Focal length)	1.9 mm

렌즈 (Lens)

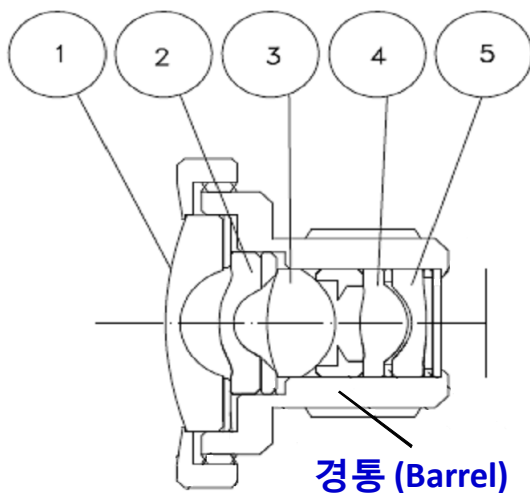


그림 2 설계된 초광각 렌즈 모듈의 단면
Fig. 2 Cross-section of the designed ultra-wide-angle lens module

하는 역할을 한다.

설계된 렌즈모듈은 렌즈 및 경통 사출공정, 렌즈 커팅공정, 렌즈 코팅공정, 렌즈 모듈 자동조립 공정, 성능검사를 통해서 통해 제작되었다. 그림 3은 제작된 카메라 렌즈 모듈의 사진을 보여준다. MTF 고속 자동 해상력 측정기와 CTF(Contrast Transfer Function)-수동 해상력 측정기를 이용해 해상도(Resolution) 검사를 진행하였다.

무선통신 모듈은 무선으로 영상을 컴퓨터로 전송하는 역할을 하며, 그림 4에 보인 것처럼 3개의 서브 모듈인 USB 장치서버 모듈, 무선랜공유기 모듈, 전원 모듈로 구성된다. USB 인터페이스의 내시경 카메라를 IP를 가진 독립적인 네트워크 장치로 변환시키기 위해 Silex사의 USB 장치서버(USB device server)인 SX-DS-4000U2가 사용되었다 [8]. 이 모듈은 800 MHz의 고성능 컴퓨팅 능력으로 다양한 종류의 USB 장치들을 가상적인 네트워크 장치로 만들어 범용 USB 장치들이 네트워크에 연결되어 공유될 수 있도록 한다. 컴퓨터에 무선으로 영상을 전송하기 위하여 TP-LINK



그림 3 제작된 초광각 렌즈 모듈 사진
Fig. 3 Photo of the manufactured ultra-wide-angle lens

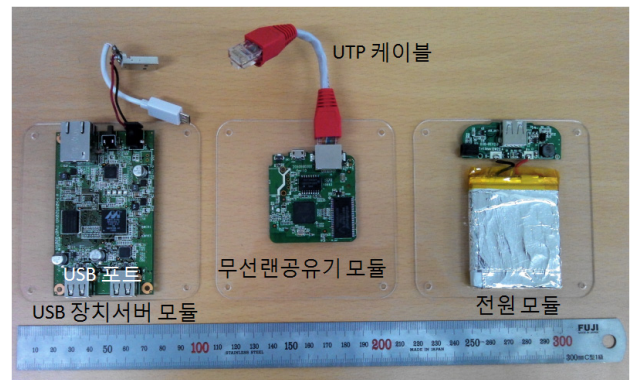


그림 4 제안된 내시경 무선통신 모듈의 구성
Fig. 4 Components for the wireless module of the proposed endoscope module

사의 소형 무선랜공유기인 TL-WR702N를 사용하였다 [9]. 802.11 b/g/n을 지원하는 150 Mbps급 공유기로, 무선통신 모듈에서 AP(Access point) 모드로 동작한다. 상용 무선 내시경처럼 인터넷에 연결되지 않은 상태에서 무선랜공유기를 통해 컴퓨터의 무선랜어댑터(Wireless LAN adaptor)로 데이터를 직접 전송하게 된다. UTP 케이블(RJ45)을 사용하여 USB 장치서버 모듈과 무선랜공유기 모듈을 연결 하였다. 전원 모듈은 3.3 V 리튬이온(Li-ion) 배터리의 출력전압을 5 V로 승압시켜 USB 장치서버 모듈과 무선랜공유기 모듈에 공급하며, 5 V의 외부전원으로부터 배터리를 충전 시키는 역할을 한다.

개발된 초광각 렌즈모듈을 사용한 내시경 카메라의 제작이 진행 중인 관계로, 상용 산업용 USB 내시경 카메라인



그림 5 성능 평가를 위해 상용 내시경 카메라(Supereyes C001) 및 웹캠(Logitech C920)과 연결된 무선통신 모듈

Fig. 5 Wireless module connected to an endoscopy camera (Supereyes C001) and webcam (Logitech C920) for performance evaluation

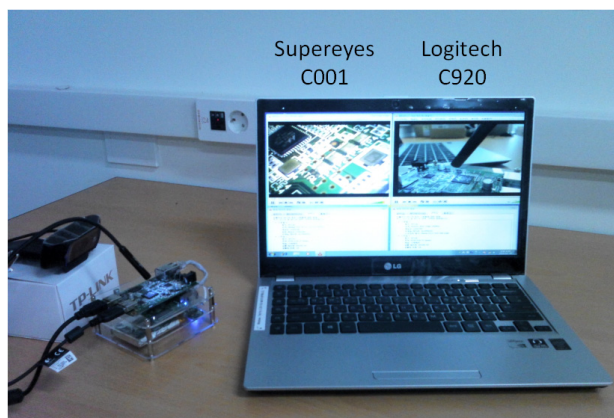


그림 6 무선통신 모듈을 통해 컴퓨터로 동시 전송된 PCB(USB 장치서버 모듈)의 내시경 카메라(Supereyes C001) 및 웹캠(Logitech C920) 영상

Fig. 6 Displayed images simultaneously transferred by the wireless module from an endoscopy camera (Supereyes C001) and webcam (Logitech C920)

표 2 단일 카메라에 대한 내시경 무선통신 모듈의 영상 전송 성능

Table 2 Video transfer performance using a single camera

평가 항목	Supereyes C001	Logitech C920
해상도 (Resolution)	320x240	1920x1080
압축포맷 (Compression format)	무압축 (YUV 4:2:2)	M-JPEG
프레임 속도 (Frame rate)	30 fps	30 fps
데이터 전송속도 (Data transfer rate)	33.1 Mbps	53.3 Mbps

표 3 두 개의 카메라에 대한 내시경 무선통신 모듈의 동시 영상전송 성능

Table 3 Performance of the simultaneous video transfer using two cameras

평가 항목	Supereyes C001	Logitech C920
해상도 (Resolution)	320x240	320x240
압축포맷 (Compression format)	무압축 (YUV 4:2:2)	M-JPEG
프레임 속도 (Frame rate)	30 fps	30 fps
데이터 전송속도 (Data transfer rate)	32.8 Mbps	7.5 Mbps

Supereyes사의 C001과 Logitech사의 USB 웹캠인 C920을 사용하여 영상전송 성능을 평가하였다 [3],[11]. 그림 5는 C001 및 C920과 연결된 무선통신 모듈을 보여준다. 오픈 소스 크로스 플랫폼(Open-source-cross-platform) 멀티미디어 재생기인 VLC Media Player 프로그램을 이용하여 영상의 해상도(Resolution), 프레임 속도(Frame rate), 데이터 전송 속도(Data transfer rate)를 측정하였다 [10]. 측정시 무선통신 모듈은 인터넷에 연결되지 않은 상태에서 컴퓨터로 직접 데이터를 전송한다. 영상 출력을 위해 Intel사의 Dual Band Wireless-AC 7260 무선랜어댑터를 내장한 LG사의 14UD530 랩탑 컴퓨터를 사용하였다. 단일 카메라를 이용해 영상을 전송할 경우 C001을 이용해 320x240의 해상도와 30 fps의 프레임 속도로 압축되지 않은 영상을 보낼 수 있으며, 데이터 전송속도는 33.1 Mbps로 측정되었다 (표 2). C920을 이용해 M-JPEG(Motion-JPEG) 포맷으로 압축된 영상을 전송할 경우 1920x1080의 해상도와 30 fps의 프레임 속도로 HD급 영상의 무선 전송이 가능하며, 데이터 전송속도는 53.3 Mbps이다 (표 2). C001과 C920를 통해 동시에 영상을 전송할 경우 320x240의 해상도에서 영상 전송이 가능한 것

을 확인하였으며, 측정결과는 표 3과 같다. 그림 6은 두 카메라를 통해 동시에 전송된 PCB(USB 장치서버 모듈)의 영상을 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 넓은 화각을 가지며 영상 데이터의 무선 전송이 가능한 새로운 초광각 무선 디지털 전자 내시경의 구조를 제안하고, 그 핵심 부품인 초광각 렌즈 모듈과 무선 통신 모듈을 구현하였다. 제작된 초광각 렌즈 모듈은 144도의 화각으로 넓은 시야각과 F2.2의 밝은 영상을 제공할 수 있다. 또한 USB 장치서버 모듈과 무선랜공유기를 이용하여 HD급 영상 데이터를 무선으로 전송할 수 있는 무선통신 모듈을 구현하였다. 단일 상용 USB 웹캠에 대해 1920x1080의 해상도와 53.3 Mbps의 속도로 HD급 영상 전송이 가능한 것으로 평가 되었다. 또한 무선통신 모듈에 두 개의 내시경 카메라 모듈을 장착할 수 있어 하나의 내시경으로 두 지점을 동시에 관찰할 수 있는 장점을 가진다. 실제 측정을 통해 320x240의 해상도로 두 카메라의 영상이 동시에 전송되는 것을 확인할 수 있었다. 제안된 내시경은 인터넷에 연결될 경우 독립적인 IP를 가진 네트워크 장치로 동작할 수 있다. 따라서 네트워크를 통해 멀리 떨어진 지점에서 영상의 관찰이 가능해 원격 진료가 요구되는 U-헬스케어 분야나 원격 진단/유지/보수가 요구되는 위험한 산업 현장에서 효과적으로 활용될 수 있다. 또한 스마트기와 연동이 가능하기 때문에 최근 크게 주목 받고 있는 IoT(Internet of Things) 기술과 연계되어 다양한 새로운 응용이 창출될 수 있을 것으로 기대된다 [12].

감사의 글

본 논문의 연구는 산업통상자원부에서 시행한 광역경제권 거점기관지원사업(전자의료기기부품소재 산업화기반 구축사업 #A004300013)의 지원으로 수행됨.

References

[1] J. M. Edmonson, "History of the instruments for gastrointestinal endoscopy," *Gastrointestinal endoscopy* 37 (2 Suppl): S27-S56, 1991.
 [2] *Endoscopes Quick Reference Guide*, Texas Instruments, 2012.
 [3] Supereyes C001, <http://www.supereyes.cc/main.html>.
 [4] Generaltools iBorescope DCiS1, http://www.generaltools.com/DCiS1--iBorescope-Wifi-Enabled-Real-Time-Video-Capture_p_1937.html.
 [5] Pentax Medical, "The i10 endoscope series".
 [6] Rudolf Kingslake, *Lens Design Fundamentals*, Academic Press, 1978.

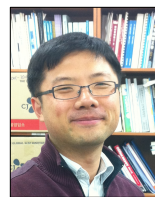
[7] J. Lee, M. Kang, and J. Lee, "A Design of Ultra-wide-angle lens module for UWB Endoscope". Fall conference proceedings, Korean Society of Internet Information, vol. 14, no. 2, p. 255, 2013.
 [8] Silex SX-DS-4000U2, <http://www.silexeurope.com/90c47845196cc64c009aa4332ffbd6ac/en/home/products/usb-device-servers/sx-ds-4000u2.html>.
 [9] TP-LINK TL-WR702N, <http://www.tp-link.com/en/products/details/?model=TL-WR702N>.
 [10] VLC Media player, <http://www.videolan.org/vlc/index.ko.html>.
 [11] Logitech HD Pro Webcam C920, <http://www.logitech.com/en-us/product/hd-pro-webcam-c920>.
 [12] Kevin Ashton, "That 'Internet of Things' Thing: in the real world, things matter more than ideas.," *RFID Journal*, June, 2009.

저 자 소 개



심 동 하 (沈 東 河)

1996년 서울대학교 원자핵공학과 공학사, 1998년 서울대학교 전기공학부 공학석사, 1998년~2005년 삼성전자 종합기술원 근무, 2011년 University of Florida, ECE Dept. 공학박사, 2011년 9월~현재 서울과학기술대학교 MSDE전공 조교수
 관심분야 : 고주파 집적회로 및 시스템



김 형 오 (金 炯 午)

2003년 전남대학교 대학원 메카트로닉스 석사, 2012년~현재 서울과학기술대학교 NID 대학원 방송통신융합프로그램 박사과정
 관심분야 : 영상처리, LED통신, 위치인식 등



이 봉 주 (李 奉 宙)

서울과학기술대학교 MSDE전공 재학 (2009년 입학).



홍 승 철 (洪 承 哲)

2011년 한신대학교 정보통신학과 졸업
(학사), 현재 해성옵틱스(주) 부설과전자
연구소 근무



이 재 선 (李 在 鮮)

2002년 연세대학교 경영학과 졸업(학사),
현재 해성옵틱스(주) 상무이사.



차 재 상 (車 載 祥)

2000년 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공
학과 공학박사, 2000년~2002년 한국전자
통신연구원(ETRI) 무선방송 기술연구소
선임연구원, 2002년~2005년 서경대학교
정보통신공학과 전임강사, 2008년 미국
Florida University, Visiting Professor,
2005년~현재 서울과학기술대학교 전자IT
미디어공학과 부교수
관심분야 : LED통신, 조명IT융합신기술,
LBS, ITS, UWB, 무선 홈네트워크, 무선
통신 및 디지털방송 등