

양방향 캡슐형 내시경용 1.2GHz 대역 RF 송수신기 설계 및 제작

*장경만¹, 문연관¹, 류원열¹, 윤영섭¹, 조진호^{1,2}, 최현철¹
¹경북대학교 전자공학부, ²경북대학교 의과대학 의공학교실
e-mail : rudaks@palgong.knu.ac.kr

Design and Fabrication of 1.2GHz range RF Transmitter and Receiver for Bi-directional Capsule Endoscopes

*Kyung-Man Jang¹, Yeon-Kwan Moon¹, Won-Yeol Ryu¹,
Young Seop Yoon¹, Jin-Ho Cho^{1,2}, Hyun-Chul Choi¹

¹School of Electrical Engineering and Computer Science Kyungpook National University

²Dept. of Biomedical Engineering, School of Medicine Kyungpook National University

Abstract

The Bi-directional Wireless Capsule endoscope consists of CMOS Image sensor, FPGA, LED, Battery, DC to DC Converter, Transmitter, Receiver and Antennas. The RF transmitter at 1.2GHz range is designed and fabricated with 10 mm(diameter)×1.6 mm(thickness) dimension considering the maximum permission exposure(MPE), system size, power consumption, linearity and modulation method. The fabricated RF receiver at 400MHz range can demodulate the external signals so as to control the behavior of CMOS image sensor, four LEDs and Transmitter.

에 돌입했으며, 일본의 RF Norika 에서도 배터리가 없는 무선 내시경을 개발하였다고 발표하였다. 현재 국내에서는 인체 내부에서 영상을 촬영하여 외부로 전송하고, 외부 제어에 의한 의료시술까지 할 수 있는 캡슐형 무선 내시경을 개발 중에 있다[1]~[3]. 캡슐형 내시경에서 RF시스템은 인체내부 영상신호를 전송할 수 있는 송신기 및 외부 제어신호를 수신하는 수신기로 구성이 된다. 인체내부에서 동작하는 캡슐형 무선 내시경은 알약크기로 초소형으로 제작되어야 하며, 내시경에 필요한 전력으로 배터리를 사용하기 때문에 저전력으로 설계해야 한다. 본 논문에서는 캡슐형 무선 내시경의 인체에 대한 전자과 규제와 원활한 송수신을 고려하여 시스템 규격을 제안하였고, 그에 따른 양방향 캡슐형 내시경용 RF 송·수신기를 설계 및 제작하였다.

I. 서론

최근 바이오 텔레메트리 기술의 발전으로 인체 내 장기에 투입돼 직접 질병을 진단할 목적으로 캡슐형 내시경을 개발하려고 하는 움직임이 활발하게 진행되고 있다. 캡슐형 내시경은 기존 내시경 방식에서 느끼는 불편함과 달리 약을 먹는 것처럼 입으로 삼키면 인체 내부로 들어가 각종 진단을 한다. 현재 Given Image 사가 'M2A'라는 최초의 캡슐형 내시경을 개발해 판매

II. 캡슐형 내시경의 구성과 1.2GHz 대역 RF 송수신기의 규격

영상을 전송하는 캡슐형 무선내시경 시스템은 그림 1과 같이 인체내부 영상획득을 위한 CMOS Image sensor 및 LED, 데이터 조정용 FPGA, LED 전원 공급을 위한 DC to DC Converter, Battery, 체외로 정보를 전달할 Transmitter, 외부 제어신호를 수신하는 수신기와 Antennas로 구성되어 있다. 현재 연구중인 캡

솔형 내시경은 구조가 간단하고 성능이 우수한 송·수신기 설계가 요구된다. 캡솔형 내시경용 송·수신기를 설계하기 위해 결정해야 할 사항은 전자파의 인체에 대한 영향 및 인체내의 감쇠량, 시스템 전력소모, 인접 주파수와의 간섭, 전체 시스템의 크기, 신호 대 잡음비를 고려한 변복조 방식 등이 있다. 무선 내시경용 송·수신기는 이러한 인체 내부에서의 무선 신호의 특성과 신호의 대역폭을 고려하여 설계하여야 한다.

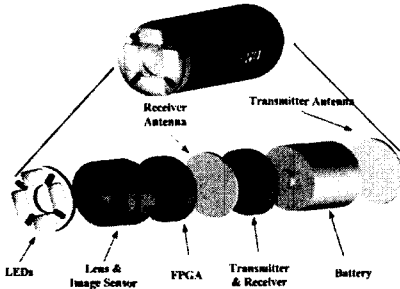


그림 1. 캡솔형 내시경 구성도

2.1 전자파 방사 규제

전자파 노출에 대한 인체 보호기준은 미국, 일본, 유럽 등지에서는 수년전부터 전자기장 노출에 관한 지침 및 권고안을 정해서 이를 시행해오고 있으며, 우리나라에서는 국제 비전리 방사선 보호위원회(ICNIRP)의 기준을 토대로 1999년 5월 「전자기장 노출에 대한 인체보호기준」을 마련하였다[4]. 전자기장 노출에 대한 RF대역에서 기본 한계를 지정하기 위해 사용된 물리적인 양은 SAR(Specific Absorption Rate)에 의해 이루어지고 있다. 또한 기본 한계치들의 초과 여부를 판단하기 위한 실질적 노출 추정을 목적으로 기준 레벨을 정하고 있다. 그림 2는 FCC(연방통신위원회), IEEE(미국전자전기학회), ICNIRP(국제 비전리 방사선 보호위원회)의 직업인들을 위한 최대 전자파 노출 규제치 기준 레벨들을 비교하고 있다.

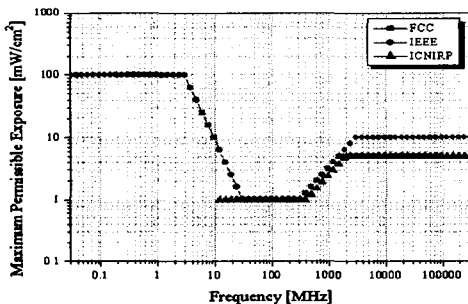


그림 2. 최대 전자파 노출 규제치

이러한 기준 레벨은 노출된 사람의 몸 전체를 공간적으로 평균한 값이며, 노출량에 대한 기본 한계를 초과하지 않는다는 중요한 단서가 달려있다. 세 가지 규제들 중에서 ICNIRP의 규제 값이 가장 엄격한 제한을 하고 있음을 알 수 있으며, 국내 규제의 경우 ICNIRP의 규제를 따르고 있다. 이러한 규제는 주로 두 가지 기준에 맞춰 제한을 두고 있는데, 자신이 전자파에 노출되고 있다는 사실을 모르는 일반인들(uncontrolled case)을 위한 제한과, 자신의 노출위험을 알고 있는 직업인 및 의료행위를 받는 사람들을 위한 경우(controlled case)의 제한이 있다. 현재 무선 내시경에 적용을 한다면, 직업인 및 의료 행위를 받는 사람들을 위한 제한을 적용해야 할 것이다[5]~[9]. 이러한 기준은 인체의 부에서의 전자파 영향을 규제한 것이며, 인체내부에서 사용되는 초소형 무선 내시경에 적용하기에는 위험 부담이 있다. 본 논문에서는 인체 외부 전자파 방사량 규제들 중에서 가장 엄격한 ICNIRP의 규제를 기준으로 하여 최대 방사량을 제한하였고, 외부 규제를 기준으로 인체내 감쇠량을 고려하여 인체 내부에서의 방사량을 제한하였다.

2.2 주파수 대역

표 1은 시스템 규격 설정시 고려해야 할 사항을 주파수대역별 비교 분석한 결과이다., 본 논문에서는 전자파의 인체조사 규정, 인체내 감쇠량, 인접주파수와의 간섭, 변조방식 및 모듈의 크기, 안테나 크기 등을 고려하여 수신기의 주파수대역은 400MHz대역, 송신기의 주파수 대역은 1200MHz대역으로 선정하였다.

표 1. 주파수 대역별 특성 비교

Frequency	300MHz Range	400MHz Range	900MHz Range	1200MHz Range	2400MHz Range
Safety Level	Worst		Good		Best
MPE[mW/cm ²]	1.0	1.33	3	4	5
Attenuation	Best		Good		Worst
Atten.Constant [dB/cm]	0.9783	1.0592	1.3965	1.6115	2.7643
15cm Body Attenuation[dB]	14.676	15.888	20.933	24.174	41.465
Tx.Output Power,max (Antenna loss)	-14.676	-14.636	-16.143	-18.154	-35.475
Interference Sources	Pager	Alarm	W-LAN, Cellular		W-LAN, μ-wave oven
Power Transmission	Best		Good		Worst
Antenna Size[9mm×9mm]	Worst	Good	Good	Good	Best

2.3 송신전력

무선 내시경의 송신전력은 인체의 전자파 감쇠량과 전자파의 인체 조사 규정 등을 고려하여 전자파 인체 규정을 초과하지 않는 범위에서 인체를 투과하여 수신기에서 수신 가능한 레벨의 신호를 송신하여야 한다.

GHz 대역에서 최대 전자파 노출 규제치(6.02 n), 수신기의 최소수신전력 레벨(-77.3 dBm), 인체 전자파 감쇠량(25 dB), 안테나 손실(20 dB)을 고려하여 수신기의 출력 전력을 0 dBm으로 설계하였다.

2.4 변조 방식

디지털 송수신 시스템은 변조방식에 따라 그 형태가 달라지게 되는데 송신기는 등진폭 특성이 우수하여 다른 변조 방식에 비해 비선형성에 강하고, 전송신호의 품질을 확보하고, 신호처리 및 시스템 구현이 간단한 FSK 변조방식을 선택하였고, 수신기는 외부 제어신호의 대역폭이 작고, 저속 전송에 효과적인 OOK 변조방식을 선택하였다[10].

III. 캡슐형 내시경용 RF 송신기 설계, 제작 및 측정결과

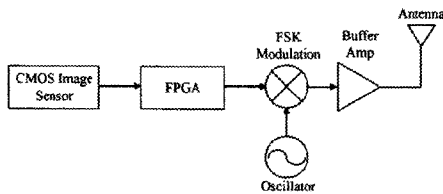


그림 3. RF 송신기 블록도

캡슐형 내시경용 송신기는 초소형으로 제작되어야 하므로 그림 3의 FSK 송신기 블록도와 같이 회로가 간단해야 한다. 본 논문에서는 시스템의 크기를 고려해서 마이크로스트립라인 형태의 공진소자를 내장한 전압 제어 발진기와 출력 및 특성 안정화를 위한 완충증폭기를 사용하여 10 mm(diameter)×1.6 mm(thickness)의 송신기를 제작하였다.

소형, 저전력화함에 따라 공진기의 Q값이 떨어지며, 이에 따라 발진기의 위상잡음 특성이 나빠지고, 또한 디지털 변조방식에서는 데이터 오류(BER)에 큰 영향을 준다. 전압제어 발진기의 위상잡음특성은 주로 트랜지스터의 잡음지수와 배랙터 다이오드 및 공진부에서 인덕터로 사용되는 공진기의 Q값에 의해 좌우한다. 따라서 마이크로스트립라인으로 구현한 인덕턴스와, 높은 Q값을 가지는 배랙터 다이오드를 이용하여 공진부의 Q 값을 높였으며, 위상잡음 특성이 우수한 1.2 GHz 대역의 VCO를 설계 제작하였으며 측정결과 -6 dBm의 출력 전력과, -108.83dBc/Hz(@100kHz offset)의 위상잡음, -11 dBc의 고조파 억압을 나타내었다.

완충증폭기는 출력파위를 증폭하는 역할 및 출력단의 임피던스 변화로 인한 발진기 주파수의 변화를

막는 역할을 한다. 완충증폭기의 Isolation특성은 발진기의 주파수 변경 및 위상잡음 특성에 영향을 미친다. 이런 특성을 고려하여 1.2GHz 대역에서 12.65의 이득과 27.75dB의 Isolation을 가지는 완충증폭기를 설계 및 제작 하였다.

채내 송신기는 VCO와 완충증폭기로 구성되며 FSK 변조 방식을 이용하였다. 변조방법은 디지털 신호를 VCO에 직접 인가하여 주파수를 변조하는 방식을 사용하였다. 제작된 송신기는 Vce=2 V, Ic=5 mA의 바이이스로 동작하며 전체크기는 10 mm(diameter)×1.6 mm(thickness)이다. 그림 4, 5 및 그림 6은 각각 제작된 송신기의 출력파워, 위상잡음, 고조파 특성을 나타내었다. 측정결과 송신기는 -0.67 dBm의 출력 전력과, -106dBc/Hz(@100kHz offset)의 위상잡음, -28.83 dBc의 고조파 억압을 나타내었다. 표 2에 제작된 송신기 전체의 특성 및 각 단별 특성을 나타내었다.

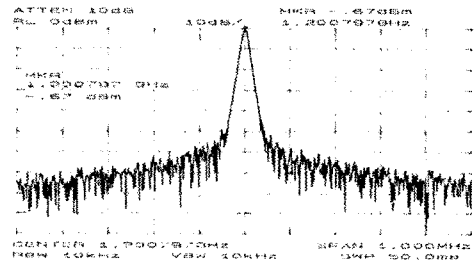


그림 4. 송신기 출력 전력 측정결과

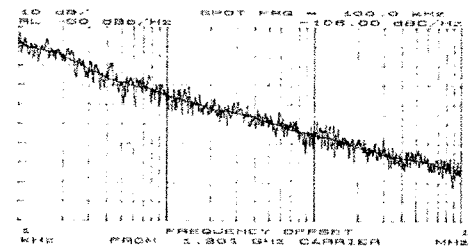


그림 5. 송신기 위상잡음 특성 측정결과

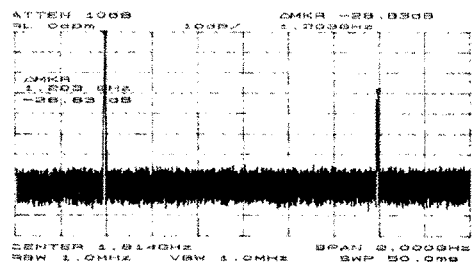


그림 6. 송신기 고조파 특성 측정결과

표 2. 송신기 전체의 특성 및 각 개별 특성

	성능	측정결과
VCO	Frequency Range	1202~1245 [MHz]
	Tuning Voltage	0~3 [v]
	Output Power	-6 [dBm]
	Phase noise (@100 kHz offset)	-108.83 [dBc/Hz]
	2nd Harmonic	-11 [dBc]
Buffer Amp	Gain	12.65 [dB]
	Isolation	-27.75 [dB]
FSK TX	Bias	3 [V] / 5 [mA]
	Modulation Frequency	1204~1225 [MHz]
	Output Power	-0.67 [dBm]
	Phase noise (@100 kHz offset)	-106 [dBc/Hz]
	2nd Harmonic	-28.83 [dBc]

Image Sensor의 병렬 디지털 데이터는 FPGA에서 직렬 데이터로 변환되어, 2Mbps의 전송속도로 송신기에 신호가 입력된다. 입력된 신호는 송신기에 의해 FSK 변조되어 소형 멀티 루프 안테나를 통해서 무선 전송되어진다. 본 논문에서는 20MHz 변위를 가지는 1.2 GHz 대역 FSK 송신기를 제작 및 측정하였다. 그림 7은 영상 입력 신호를 FSK 변조한 주파수 스펙트럼이다.

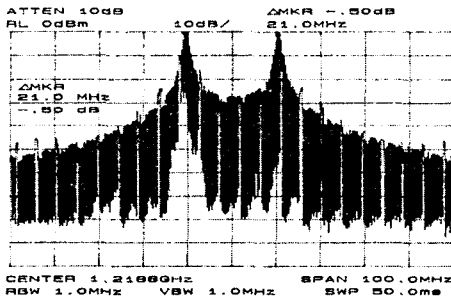


그림 7. 송신기 출력 스펙트럼

IV. 캡슐형 내시경용 RF 수신기 설계, 제작 및 측정결과

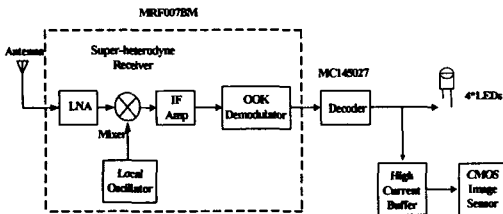
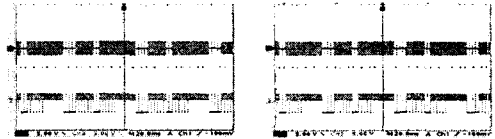


그림 8. 수신기의 블록도

체내 수신기는 ASK/OOK(On-Off Keyed) 슈퍼헤테로다인 방식의 400MHz 대역 상업용 수신기칩을 사용하여 제작하였고, 그림 8에 수신기의 구성을 블록도로 나타내었다.

캡슐형 무선 내시경에서 CMOS Image sensor의 전력 소모가 다른 모듈의 전력소모보다 훨씬 크므로 CMOS image sensor를 on/off하도록 제어하는 것이 매우 중요하다. 체내 수신기는 외부송신기의 제어신호를 받아 복조하여 CMOS Image Sensor 및 송신기, LED를 on/off 하여 배터리 소모를 줄일 수 있다[11]. 그림 9는 체외 송신기의 OOK 변조된 신호와 체내 수신기에서 복원된 신호이다. 그림 9와 같이 체내 수신기에서 수신되는 정보신호가 왜곡 없이 복원됨을 알 수 있다.



(a) Camera & Tx on/off control signal (b) LED lighting control signal
그림 9. OOK 변조신호와 수신기에서 복원된 신호

V. 캡슐형 내시경용 RF 송·수신기 제작 및 측정결과

앞에서 제작된 송·수신기를 이용하여 하나의 Layer에 통합하였다. 그림 10은 제작된 송·수신기이며 전 체크기는 10mm(diameter)×3.3 mm (thickness)이다.



(a) 송신기(Top layer) (b) 수신기 (Bottom layer)
그림 10. 제작된 송·수신기 사진

캡슐형 무선 내시경은 인체내부 실험을 통해서 성능을 확인해야 한다. 하지만, 인체내부 실험은 제한 사항이 많이 따르므로 동물실험으로 그 성능을 측정하였다. 실험을 위하여 실제 제작된 캡슐형 내시경과 사용된 외부 수신장치를 그림 11에 나타내었다. 제작된 캡슐형 내시경은 11mm×25mm의 크기를 가진다.



그림 11. 제작된 캡슐형 내시경과 외부 수신기 장치

현재 무선 내시경은 기계의 접근이 어려운 소장 질환의 진단에 일차적으로 쓰인다. 인체 내부에서 캡슐형 내시경의 이동 속도를 감안한다면 영상신호를 초당 2프레임 정도로 전송해도 무난하다. 동물 실험시 데이터 획득 장치 ADLINK LT8032를 사용하였다. 수신기에서 수신된 신호는 데이터 획득장치로부터 신호처리용 프로그램에 의해 실시간으로 모니터에 영상이 표시된다. 동물 실험에서 외부 제어장치를 이용하여 캡슐형 내시경을 제어 하면서, 실시간 모니터링에 의해 동물의 식도 및 위, 소장 등을 자세히 관찰할 수 있었다. 그림12는 동물 실험시 수신된 영상을 컴퓨터로 저장한 영상이다.

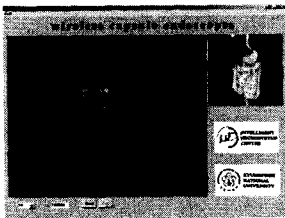


그림 12. 동물 실험시 수신된 영상

송신된 영상신호는 환자의 내부상태 진단에 어려움이 없는 깨끗하고, 영상의 찌그러짐이 없는 안정된 영상이 전송됨을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 캡슐형 무선 내시경에 대한 시스템 규격에 대하여 제안하였고, 송·수신기를 설계 및 제작하였다. 인체영향을 고려하여 설계한 1.2GHz 대역 FSK 송신기는 최대 전자파 노출 규제를 만족함을 볼 수 있다. 제작된 캡슐형 내시경용 송·수신기는 10mm(diameter)×3.3mm(thickness)이며, 1.2GHz 대역 FSK 송신기는 -0.67 dBm의 출력 전력, -106 dBc/Hz(@100 kHz offset)의 위상잡음, -28.83 dBc의 고조파 억압을 나타내었다. 초당 2프레임의 영상신호 전송에 FSK 변조 방식을 사용하였고, 20 MHz의 주파수 변위를 사용하여 영상신호를 전송하였다. 400MHz 대역 수신기는 OOK방식으로 체외 송신기에서 송신된 제어신호를 수신하여 CMOS Image Sensor 및 송신기, LED를 on/off 하여 배터리 소모를 줄일 수 있었다. 현재 제작된 내시경은 개발 1단계 과정으로 초당 2프레임 전송을 목표로 개발된 것이며, 향후 VGA급의 영상을 초당 5프레임이상으로 전송하기 위해 신호처리가 용이하면서도 외부 잡음 방해에 강하고 고품질의 영상신호를 전송할 수 있는 새로운 디지털 방식으로 전환이 필요하며, 인체 및 외부 환경에 의한 변화를 줄이

기 위한 시스템 안정성 연구가 필요하고 이에 따른 집적화가 필요할 것이다. 이 연구가 완성이 되면 초소형 무선 내시경의 상용화가 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] <http://www.microsystem.re.kr>: Intelligent Micro system Center, Seoul, Korea.
- [2] <http://www.rfnorika.com>, Japan.
- [3] <http://www.givenimaging.com>, Israel.
- [4] M. Kacarska, G. L. Olooska, S. Loskovska and L. Grcev, "Visualization of Induced Current and SAR in Human's Head in Cellular Telecommunications", IEEE-APs Int' l Conference, Sessi-on40, Digest AP- 40, no. 9, 1999.
- [5] 정보통신부, 전자파인체보호기준, 정보통신부 고시 제2001-88호, 2001.
- [6] ICNIRP, "Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [7] ANSI, "Safety Levels With Respect To Human Exposure To Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 KHz To 100 GHz", ANSI C95.1, 1982.
- [8] IEEE, "IEEE Standard For Safety Levels With Respect To Human Exposure To Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 KHz To 300 GHz", IEEE Std. C95-1, 1999.
- [9] FCC, Evaluating Compliance With FCC Guidelines For Human Exposure To Radio frequency Electromagnetic Fields, OET Bulletin 65 Edition 97-01, 1997.
- [10] Wayne Tomasi, "Electronic Communication Systems", Prentice Hall, 1998.
- [11] H.J.Park "Design of bi-directional and multi-channel miniaturized telemetry module for wireless endoscopy", *The 2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference On Microtechnologies In Medicine & Biology*, Poster 151, May, 2002.