

저가의 통신채널 확보를 위한 가청주파수 한계대역에서의 초음파 모뎀 구현

전성배* · 이동원** · 정 해*

금오공과대학교 *전자통신공학과, **소프트웨어공학과

Implementation of an Ultrasonic Modem in the Audio Frequency Limit Band for Low
Cost Communication Channel

Seong-bae Jeon* · Dong Won Lee** Hae Chung*

*Electronics and Communications Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**Software Engineering, Kumoh National Institute of Technology

E-mail : hchung@kumoh.ac.kr

요 약

최근 출시되고 있는 PAN 용 통신부품으로 Bluetooth와 Zigbee가 선호되고 있으나 가전제품을 비롯하여 오디오 기기, 휴대폰, PC 등에서 비교적 저속으로 단순한 메시지를 전달하는데 있어서 이러한 통신부품을 장착하기에는 다소 부담스럽고 제품이 복잡해진다. 본 논문에서는 제품에 이미 장착되어 있는 스피커와 마이크를 이용하여 가청 한계 대역에서 초음파를 이용한 무선 통신 방법을 제안한다. 오디오 신호에 영향을 주지 않고 데이터 전송을 가능하게 하기 위하여 가청 한계 대역에서 ASK와 FSK 송수신 방식을 제시하고, 초음파 통신 모뎀을 설계 및 구현한다. 구현된 통신 모뎀은 배경 잡음이 있는 환경에서 실험을 통해 제안한 초음파 통신 모뎀의 성능을 검증한다.

ABSTRACT

Recently, communication components prefer Bluetooth or Zigbee for PAN. However, using these makes expensive and complicated products such as audio equipments, mobile phones, PC, etc. for transmitting simple messages with low rate. In this paper, we propose wireless communication method using ultrasonic in the audio frequency limit band with speakers and microphones which are in products. We suggest transmitting and receiving methods in the audio frequency limit band for transmitting data without affecting audio signal, and implement an ultrasonic communication modem. Finally, we verify the performance of the ultrasonic communication modem by experiments in an environment with background noise.

키워드

Ultrasonic Communication, Audio Frequency, ASK, FSK

1. 서론

최근 무선 통신 서비스의 근황은 Bluetooth와 Zigbee를 부착한 IT (Information Technology) 제품들이 많이 보급되면서 사용자들에게 관련 서비스들이 제공되고 있지만, 응용 서비스에 대한 시장 확보가 되지 않아 문제시 되고 있다 [1]. 그 문제점을 살펴보면 제공되는 서비스에 비해 부품의 단가가 높고, 응용 서비스 개발을 위한 기술적 어려움을 원인으로 볼 수 있다. 이러한 문제의 해결 방안은 통신 융합 기술에서 찾을 수 있으며, 최근 많은 연구가 진행되고 있는 기술들 중 하나

로 LED (Light Emitting Diode)를 이용한 가시광 무선 통신이 있다 [2]. 가시광 통신의 특징은 LED가 발광 역할을 하면서 송신 역할도 하는 것이다. 이러한 통신 융합 기술은 전파를 이용하는 통신과 다르게 안테나 등의 부품을 사용하지 않고, 제품에 장착된 부품을 이용하는 것에 의의가 있으며, 저가의 통신 모뎀을 개발하기 위한 초석이 될 수 있다. 저가의 통신 모뎀 개발은 근거리 무선 통신의 목표 중 하나이며, 새로운 응용 서비스 개발의 촉진제 역할을 할 수 있고, 사용자들에게 저렴한 서비스를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 IT 제품에 장착되어 있는 부품들을 이용하여 근거리 통신을 위해 간단한 구조를 가지는 저가의 초음파 통신 모델을 구현한다. 기존의 초음파 통신에 사용되고 있는 부품은 초음파 센서를 이용하여 40 KHz의 주파수를 사용하지만, CORAL (Common Object Remote Acoustic Link)에서는 스피커와 마이크를 이용하기 위해 23 ~ 25 KHz의 대역폭을 사용하고 있다 [3]. 하지만 일반적인 마이크의 입력 특성과 스피커의 출력 특성은 20 KHz 이상에서 -5 dB이하로 떨어지게 되어 부가적인 회로가 필요하게 되므로 모델의 구조를 간단하게 하기 위해서는 대역폭의 조정이 필요하다.

본 논문의 구성은 2절에서 마이크의 입력 특성을 고려하여 제안하는 초음파 통신의 전체 시스템 구조를 살펴보고, 3절에서 송신 방법을 설명한다. 4절에서는 제안하는 초음파 통신 모델의 수신부 구조를 설명하고, 5절에서 실험을 위해 구현된 초음파 통신 모델의 성능을 검증하고, 마지막 6절에서 결론을 맺는다.

II. 전체 시스템

본 논문에서 제안하는 통신 모델의 전체 시스템의 블록도는 그림 1과 같으며, 송신부는 변조 및 부호화된 데이터 패킷을 음원으로 변환시켜 스피커를 이용하여 송신하고, 수신부는 마이크를 통해 패킷을 수신하고 복조 및 복호화를 수행한다. 수신부의 마이크로프로세서는 수신된 패킷을 해석하여 명령을 수행한다.

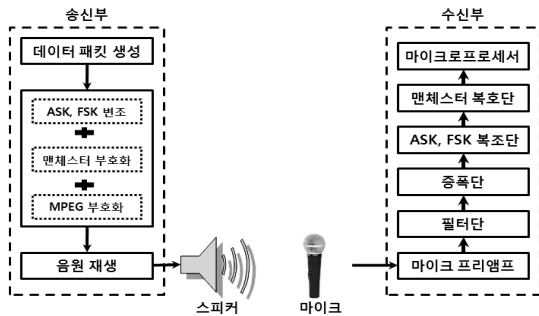


그림 1. 전체 시스템 블록도

데이터 패킷은 테스트를 위해 간단한 구조로 가지며, 버스트 형태의 가변 길이를 가지는 유효 부하를 고려해서 그림 2와 같이 선행자 (Preamble), 구분자 (Delimiter), 패킷 길이 (Length), 아이디 (ID), 유효부하 (Payload), CRC (Cyclic Redundancy Check)로 구성한다.

단위 : Byte					
7	1	2	1	0 ~ 256	2
Preamble	Delimiter	Length	ID	Payload	CRC

그림 2. 데이터 패킷의 구조

III. 송신 방식

송신부는 데이터 패킷의 정보를 음원으로 변환시켜 스피커로 송신하기 위해서 먼저 데이터 패킷을 맨체스터 부호화한다. 맨체스터 부호는 Self-Clocking 기능을 가지고 있어서 데이터 신호들 사이에서 클럭과 함께 임의의 이진 순서를 부호화하는 간단한 방법이다 [4]. 그러므로 클럭 동기를 잃어버리거나 수신이 좋지 못한 환경에서 저주파수의 이동으로 인한 비트에러를 방지할 수 있다 [5]. 맨체스터 부호화된 데이터 패킷은 비교적 간단하게 구현이 가능하고 수신단의 구조가 비슷한 ASK (Amplitude Shift Keying) 혹은 B-FSK (Binary Frequency Shift Keying)로 변조하고, 변조하기 위해 사용되는 신호는 가청 주파수 대역의 18 KHz와 20 KHz의 주파수를 가지는 MPEG (Moving Picture Group) 음원을 사용한다. 이때 18 ~ 20 KHz의 대역폭을 사용하는 것은 1절에서 언급된 바와 같이 마이크 출력 특성과 마이크의 입력 특성을 고려하고, MPEG 부호화된 음원을 디지털 변조된 신호로서 사용하기 위해 MPEG 부호화 과정에서 크리티컬 밴드에 의해 20KHz 이상의 주파수는 부호화되지 않는다. MPEG 부호화는 음원 서비스를 제공할 때 많이 사용되고, MPEG 복호화기를 많은 제품에서 지원하기 때문이다. MPEG 부호화는 기존의 MPEG 부호화 프로그램을 사용할 경우 샘플링 과정에서 18 KHz와 20 KHz의 음원은 엘리어싱에 의해 그림 3과 같이 잡음 신호가 함께 부호화되어 스피커로 출력된다 [6]. 변조를 위해 사용되는 음원은 그림 4와 같은 특성을 가지는 것을 사용하기 위해서 MPEG 부호화 과정을 이해하기 쉽고, 복호화 처리가 간단하며, 데이터 편집이 용이한 MPEG-1 Layer-1으로 부호화된 음원을 사용한다 [7].

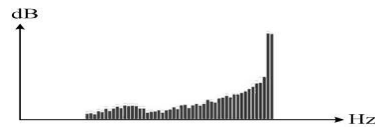


그림 3. MPEG 부호화된 음원 1



그림 4. MPEG 부호화된 음원 2

IV. 수신 방식

수신부는 아날로그부와 디지털부로 구분되며, 사용되는 부품은 누구나 쉽게 구현할 수 있도록 시중에 판매되는 칩을 이용하여 간단하게 구현한다.

아날로그 부분은 마이크 프리앰프단, 필터단, 증폭단 그리고 복조단으로 구성한다. 마이크 프리앰프는 소신호 증폭용 NPN 트랜지스터를 이용하여 마이크로 입력된 신호를 증폭시킨다. 필터단은 마이크 특성을 고려하여 차단 주파수가 17 KHz 가 되도록 4차 고역 통과 필터로 설계한다. 이때 필터단의 입력이 소신호임을 감안하여 Rail to Rail 증폭기를 이용하여 설계한다 [8],[9]. 증폭단은 입력 신호를 증폭시킨 신호가 공급전압의 동작 범위를 넘어서 포화되던 신호를 잃어버리게 되므로 필터단의 뒤에 오도록 설계하고, 증폭률은 복조화기의 입력에 맞게 설정한다. 복조화기는 ASK와 B-FSK의 수신부의 구조는 비슷하므로 Tone Detector를 사용하여 ASK 복조화기를 설계하거나, 수십 KHz 대역에서의 FSK 신호를 복조할 수 있는 JRC사의 NJM2211칩을 사용하여 B-FSK 복조화기를 구성한다.

디지털부는 Xilinx사의 CPLD (Complex Programmable Logic Device)와 Atmega사의 AVR (Alf Vegard Risc) 8 비트 마이크로프로세서로 구성된다. 데이터 패킷은 버스트 형태로 수신되므로 마이크로프로세서는 폴링 방식으로 데이터를 수신하는 것보다 인터럽트 방식으로 데이터를 수신하는 것이 효율적이지만, 인터럽트 방식으로 데이터를 수신할 경우 프로세싱 부하 증가하므로 맨체스터 복호화는 복조단에서 출력되는 디지털 신호를 받아 CPLD에서 수행한다. 이때 복조단의 디지털 출력은 그림 5와 같이 지터가 발생한다.

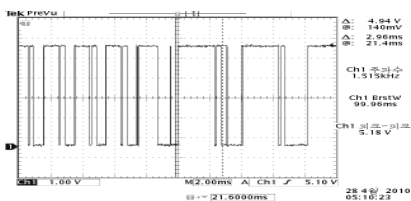


그림 5. 복조단 출력

그림 5와 같이 발생하는 지터는 심볼 타이밍 동기 문제를 유발한다. 이것을 해결하기 위해서 가드너 방식을 이용하거나 변형된 형태의 가드너 방식으로 루프필터를 이용하여 지터의 평균을 계산하여 지터로 인하여 발생하는 심볼 동기 문제를 해결할 수 있다 [10],[11]. 그러나 두 가지의 방법을 사용할 경우 동기 모듈을 구현하기 위해 CPLD의 로직 소모가 많고, 추가적인 회로 구성이 필요하므로 복호단은 그림 6과 같이 데이터

전송률의 4배 빠른 샘플링 클럭 (Sampling_clk)으로 샘플링하고, 샘플링된 데이터는 첫 번째와 마지막에 샘플링된 비트 심볼을 제외한 나머지 비트 심볼들을 기준으로 일정 시간동안 이진 데이터를 판별한다. 이때 카운터 값 (Lock_cnt)을 이용하여 유효한 심볼 구간에서 샘플링 타이밍을 고정시켜 심볼 타이밍 동기를 유지하는 방식을 사용하여 로직 소모를 줄인다. 수신된 패킷이 유효함을 판별하기 위해서 선행자의 맨체스터 부호를 Self-Clocking하여 생성된 클럭 (Gen_clk)이 공급될 때마다 수신된 데이터 (D_in)가 저장된 버퍼 (Tmp_buf)와 저장된 구분자의 값을 비교하고, 마이크로프로세서에게 패킷의 시작과 유효함을 알릴 수 있는 동기 모듈을 구성한다. 마이크로프로세서는 복호단으로부터 패킷의 시작과 패킷의 유효함을 알리는 신호 (Data_valid)를 받으면 맨체스터 복호화된 데이터 출력 (D_out)을 저장하여 패킷을 해석하고, 관련 명령을 수행한다.

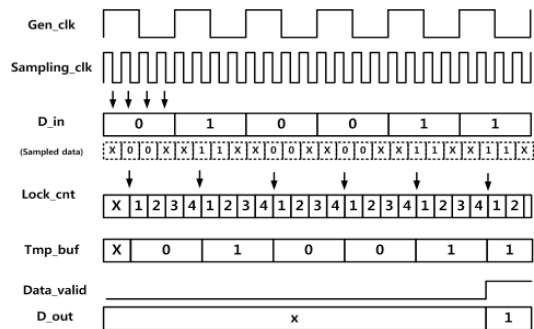


그림 6. 복호화 타이밍도

마이크로프로세서는 디버깅하거나 수신된 데이터를 출력하기 위해서 LCD (Liquid Crystal Display)와 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 인터페이스를 구성한다. 이때 LCD는 CPU의 제한된 I/O 포트를 효율적으로 사용하기 위해서 Memory Mapped I/O 방식을 이용하여 LCD를 구동하고, 수신된 패킷의 명령어를 수행한 내용을 출력한다.

V. 시스템 실험 및 결과

실험은 그림 7과 같이 컴퓨터에 연결된 스피커와 구현된 초음파 모뎀의 거리가 2 m 가 되도록 설정하고, 조용한 환경과 배경 잡음이 있는 환경에서 수신된 데이터의 BER (Bit Error rate)을 측정한다. 배경 잡음이 있는 환경에서의 실험은 음악을 재생시키는 환경으로 설정하고, 수신된 데이터는 마이크로프로세서의 UART를 통해 컴퓨터의 하이퍼 터미널에서 확인한다. 송신할 데이터 패킷은 선행자와 구분자를 제외하고 9 바이트의 길이를 가지며, 유효부하는 4 바이트의 16진수

0xF0F0로 설정하여 1 Kbps의 속도로 100 회 송신하여 BER을 측정한다. 그림 8과 그림 9는 각각 조용한 환경과 배경 잡음이 있는 환경에서 수신된 데이터를 하이퍼 터미널에 출력된 결과의 샘플이다.

실험의 결과는 조용한 환경에서 수신된 데이터는 총 7200 비트 중에서 59 비트의 비트 오류가 발생하여 약 0.82 %의 BER이 측정되었고, 배경 잡음이 있는 환경에서 수신된 데이터는 총 7200 비트 중에서 361 비트의 비트 오류가 발생하여 약 5.01 %의 BER이 측정되었다. BER 측정시 발생한 비트 오류는 임의의 위치에서 발생되었다.



그림 7. 초음파 통신 모델 실험

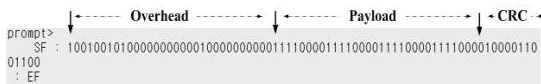


그림 8. 조용한 환경에서 수신된 데이터 샘플



그림 9. 배경 잡음이 있는 환경에서 수신된 데이터 샘플

VI. 결론

저가의 통신 모델 개발은 저렴한 가격의 다양한 서비스를 제공하고, 무선 통신 서비스에 대한 시장 확보를 위해서 필요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 제품에 이미 부착되어 있는 스피커와 마이크를 이용하여 가청 주파수 한계 대역에서 저가의 초음파 통신 모델을 구현하기 위해 송신 방법을 제시하고, 구현된 모델은 실험을 통해 조용한 환경에서 약 0.82 %와 배경 잡음이 있는 환경에서 약 5.01 %의 BER을 확인하였다. 구현된 통신 모델은 사용자들이 음악이나 광고 등의 음원 서비스를 이용할 때 초음파 신호를 수신하여 그것들의 정보를 받을 수 있거나 텔레비전을 시청하면서 이메일의 내용을 휴대 전화의 마이크를 통해 확인할 수 있는 응용 서비스 등에 활용이 가능할 것으로 보인다. 이를 위해서 추후에는 구현된 초음파 통신 모델의 BER 성능을 향상시키

위한 방안을 모색하고, 수신 거리를 증가시키는 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 서대회, 이임영, “차세대 근거리 무선 통신 기술 고찰,” 한국정보보호학회, 제14권 제3호, 2004. 6.
- [2] 강태규, 이권형, 김대호, 임상규, “LED 조명을 이용한 유비쿼터스 가시광 무선통신 서비스,” 한국인터넷정보학회, 제10권 제1호, 2009. 3.
- [3] S. Pandya, J. Engel, J. Chen, Z. Fan and C. Liu, "CORAL: Miniature Acoustic Communication Subsystems Architecture for Underwater Wireless Sensor Networks," The 4th IEEE International Conference on Sensors, Irvine, California, Nov, 2005.
- [4] T. V. Muoi, "Receiver Design for Digital Fiber optic Transmission Systems Using Manchester (biphase) Coding," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-31, pp. 608-619, 1983.
- [5] Jingbin Zhang, Zhanxiang huang, Xinyu Liu, "Acoustic Communication in Wireless Sensor Networks," CS651, Wireless Sensor Networks, Dec 2005.
- [6] 송종관, “디지털 오디오의 이해,” 나남출판, pp. 74 ~ 100, 2000.
- [7] 후지와라 히로시, “그림으로 보는 최신 MPEG,” 교보문고, pp. 198 ~ 219, 1995
- [8] Walter G. Jung, Walt jung, "Op Amp Applications Handbook," Butterworth Heinemann, pp. 309 ~ 605, 2005
- [9] Wai-Kai Chen, "The Circuits and Filters Handbook," CRCPress, P.2391 ~ P.2424, 2002.
- [10] Floyd M. Gardner, "A BPSK/QPSK Timing-Error Detector for Sampled Receivers," IEEE Trans. on Communications, COM-24, May 1986.
- [11] 김주경, 이주형, 송현근, 김재명, 김승원, “적응적 루프필터의 지터 평균값을 이용한 ATSC DTV 심볼 타이밍 동기방식,” 전자공학회 논문지 제 42권 TC편 제10호, 2005. 10.