DBpia

논문 20-45-05-08 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '20-05 Vol.45 No.05
https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.5.813

I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템

이 예 원•, 김 영 진°

Smart Amp System Using I2S

Ye-won Lee•, Young-Jin Kim°

요 약

기존에 개발된 무선 스피커는 PC나 스마트폰의 음원을 Bluetooth 통신을 이용하여 무선 스피커의 MCU (Micro Controller Unit)에 전달하며 MCU에서는 DAC (Digital to Analog Converter)를 통해 앰프로 음원을 출력한다. 이때 오디오에서 실시간으로 데이터를 처리하면서 아날로그적인 오류가 발생하거나 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하는 과정에서 음원 손실, 잡음 첨가, 음질 열화 등의 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 DAC를 이용한 무선 스피커와 달리 I2S (Integrated Interchip Sound) 통신과 스마트 증폭기를 이용하여 음원 손실 및 잡음을 낮추고 소비전력과 출력을 개선한 시스템을 제안한다.

Key Words : I2S, Smart Amp, Bluetooth

ABSTRACT

A conventional wireless speaker delivers the sound source of a PC or a smartphone to its micro-controller unit (MCU) using bluetooth communication, and it outputs a sound source through a digital to analog converter (DAC) to an amplifier. At this time, analog errors may occur while processing data in real time in audio, and there are problems such as loss of sound source, noise addition, and sound quality degradation in the process of converting a digital signal to an analog signal. In this paper, unlike a conventional wireless speaker using a DAC, we propose a system that reduces sound loss and noise, improves power consumption and output by using I2S (Integrated Interchip Sound) communication and a smart amplifier.

Ⅰ. 서 론

최근 소형 IoT (Internet of Things) 디바이스와 휴대용 모바일 기기 등이 발전하면서 이와 연동하여 사용할 수 있는 무선 스피커가 각광받고 있다. 사용자에게 편리한 통신 연결 환경과 PC나 스마트폰 등의 음악을 무선 스피커로 출력하기 위해 대개 Bluetooth, Wi-Fi (Wireless Fidelity), Zigbee 등이 사용된다[1].

이중에서도 다양한 Profile을 이용하여 미디어 정보를 전송할 수 있고 소비전력이 낮은 Bluetooth를 주로 이용하여 PC나 스마트폰 등을 무선 스피커와 연결한다[2]. 또한 별도의 주파수 대역 사용 비용이 필요하지 않고 이기종 간의 호환성이 높으므로 많은 곳에서 Bluetooth를 사용하고 있다.

기존의 무선 스피커는 DAC (Digital to Analog Converter)를 이용하여 Bluetooth Chipset에서 Sound IC (Integrated Circuit)으로 음원 데이터를 전송하였다. 이때 DAC는 디지털 처리 고유의 음질 열화가 발생하는 문제가 있다. 따라서 무선 스피커에서 음원 출력 시 원음 대비 음원 손실 및 잡음이 발생하게 되어

※ 본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2018R1A2B6005466)으로 수행되었습니다.
• First Author : Ajou University Department of IT Convergence, dldpdnjs1566@naver.com, 학생(석사), 학생회원
° Corresponding Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, youngkim@ajou.ac.kr, 정교수, 정회원
논문번호 : 201912-332-B-RN, Received December 8, 2019; Revised January 23, 2020; Accepted February 26, 2020

www.dbpia.co.kr

사용자에게 안정적으로 음원을 출력하기 어렵다.

본 논문에서는 위의 문제를 해결하기 위해 무선 스피커의 MCU (Micro Controller Unit)에서 Sound IC로 데이터를 전송할 때 I2S (Integrated Interchip Sound) 통신과 스마트 증폭기를 결합하여 음원 손실 및 잡음을 낮추고 음원 출력 및 저음을 강화한 스마트 앰프 시스템을 제안한다. 오디오 전용 규격으로 제정된 I2S 통신은 PCM (Pulse Code Modulation) 데이터를 전송하기 위해 사용되는 전기 직렬 인터페이스로 다양한 PCM 오디오 데이터를 전송할 수 있으므로 아날로그 신호 변환 시 발생하는 오차, 음질 열화, 디지털 음원 전송 시 발생하는 손실 및 잡음을 최소화할 수 있다. 따라서 I2S 통신을 이용하여 무선 스피커의 MCU에서 Sound IC로 데이터를 전송하므로 기존 시스템의 문제를 개선한다. 또한 본 시스템의 Sound IC로 저 전력 스마트 증폭기를 사용하여 사용자가 오랜 시간 동안 더 큰 음량과 풍부한 저음을 청취할 수 있는 무선 스피커 시스템을 구성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 통신 규격과 시스템 모델의 구성을 설명한다. 3장에서는 I2S 통신을 이용한 스마트 앰프의 성능을 확인한다. 마지막으로 4장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

Ⅱ. 본 론

2.1 통신 규격

2.1.1 I2S

PCB (Printed Wiring Board) 보드에서 Chipset 간 통신을 하는 방법은 I2S, I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Perihperal Interface Bus), CAN (Controlloer Area Network), UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 등이 있다. 이중에서도 I2S는 오디오 전용 규격으로 오디오 데이터 전송만을 다루기 위해 제정되었다.

오디오에서 실시간으로 음악 데이터를 처리하다보면 아날로그적인 오류가 발생할 수 있다. 오류가 발생하면 잡음이 생기거나 음질이 저하되어 사용자가 안정적으로 음원을 청취하기 어렵다. 기존의 무선 스피커들은 대부분 DAC를 이용하여 스피커로 음원을 출력한다. 미세한 신호를 사람이 들을 수 있는 수준으로 출력을 올린 뒤 이어폰, 헤드폰, 스피커 등의 출력기기로 전송한다. 이때 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하면서 발생하는 손실과 잡음을 최대한 줄이고 원음이 손상되지 않도록 기술이 발전하고 있다. 하지만 신호 변환 과정에서 연속적인 파형을 이산적인 수치로 변환하면서 오차가 발생하고 디지털 처리 고유의 음질 열화를 방지할 수 없으므로 손실 및 잡음을 개선하는 데는 한계가 있다. 즉, 원래의 디지털 신호를 아날로그 신호로 완벽하게 복원하기 어렵다. 이를 위해 I2S 통신이 제정되었다.

I2S 통신은 다른 장치로 PCM 데이터를 전송하기 위해 사용되는 전기 직렬 인터페이스이다. 통신을 위해 SCK (Serial Clock), WS (Word Select), SD (Serial Data)로 구성된 3가지 라인을 사용한다. SCK는 Bit Clock으로 Clock이 발생할 때마다 SD 라인을 통해 전송된 데이터를 읽는다. 이때 전송받은 SD의 값은 0 또는 1의 데이터가 존재하는데 이 Data를 연속적으로 읽으면 음악을 재생할 수 있다. WS는 Left/Right 정보로 각각의 스피커에서 다른 소리를 낼 수 있도록 한다. WS가 Low일 경우에는 Left용 Data를 읽고, High일 경우 Right용 Data를 읽는다.

SD 라인의 데이터는 PCM으로 변환된 Analog 음원을 Digital로 변환하면서 얻게 되는 Sample들을 일렬로 나열한 후 전송한다. 이때 해당 Sample들은 Data에 담긴 정보인 PCM Data를 의미한다. 이런 연속적인 Data가 SD 라인을 통해 Sound IC에 전달되고, Sound IC는 PCM Data를 아날로그화 하여 스피커나 이어폰 등의 출력장치로 내보내게 된다.

SCK, WS, SD 외에도 Master Clock과 Upload용 Data Line이 필요하다. Sound IC는 스스로 Clock을 생성할 수 없으므로 MCU의 Master Clock을 이용한다. Master Clock을 기준으로 Sound IC는 내부 산술연산 작업을 통해 SCK, WS 신호를 발생하게 된다. Upload용 Data Line은 SD와 같은 용도의 Upload 전용 Data Line으로 Bit Data들이 전송된다.

2.1.2 I2C

I2S 통신은 Sound Data를 전송하기 위한 표준 규격이기 때문에 Sound IC를 제어하기 위한 통신이 별도로 필요하다. Sound IC를 제어하기 위해 SPI, I2C, Serial 통신 등을 사용할 수 있으며 이중에서도 주로 I2C 통신을 이용한다. I2C 통신은 마이크로프로세서와 저속 주변장치 사이의 통신을 위해 개발된 규격으로 Two Wire Interface (TWI)라고도 불린다. 주로 볼륨 조절, LED (Light Emitting Diode) 제어, 센서 제어 등 간단한 데이터 전송에 사용한다.

I2C 통신은 SCL (Serial Clock), SDA (Serial Data)으로 구성된 두 개의 라인으로 이루어져 있으며, SCL는 동기화를 위한 클럭 전송 시 사용하고 SDA는

www.dbpia.co.kr

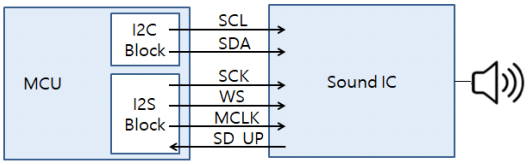


그림 1. I2C와 I2S 연결
Fig. 1. Connect I2C and I2S

실제 데이터를 전송한다. 즉, 그림 1과 같이 I2S 통신을 위한 SCK, WS, SD_IN, SD_OUT, MCLK과 I2C 통신을 위한 SCL, SDA가 무선 스피커의 MCU와 Sound IC 간에 연결되어야 Sound IC를 제어하고 음원을 출력할 수 있다.

2.1.3 Bluetooth

Bluetooth는 ISM Band를 사용하는 근거리 무선 통신으로 저렴한 가격, 적은 전력 소모 등의 이점이 있다. 이를 통해 무선 스피커 등의 음원 출력

장치들과 휴대폰 및 PC 등의 장치들을 연결하여 안정적으로 음성 통화 및 음악 스트리밍을 가능하도록 한다. 또한 지속적인 Version Up을 통해 통신 거리 및 안정성을 높이고 있으며 다양한 Profile을 지원한다[3].

Bluetooth Profile은 특정 Application마다 구분된 프로토콜을 규정한 것으로 대표적으로 GAP (Generic Access Profile), SDAP (Service Discovery Application Profile), HFP (Heads-Free Profile), A2DP (Advanced Audio Distribution Profile) 등이 있으며 현재 30여개의 Profile이 지원되고 있다.

현재 Bluetooth는 Bluetooth SIG (Special Interest Group)에서 관리하고 있으며 통신 규격 개발 및 인증을 담당하고 있다.

2.2 System Model

본 논문에서는 I2S 통신과 스마트 증폭기를 이용한 스마트 앰프 시스템을 그림 2와 같이 제안한다. PC나 스마트폰 등의 소스 기기와 Bluetooth를 이용하여 스마트 앰프와 연결하여 음원을 Bluetooth Chipset으로 전송 받는다. Bluetooth Chipset과 Sound IC 간에는 I2S 통신을 이용하여 데이터를 전송하여 스피커에서 음원을 출력할 수 있도록 구성한다. 본 시스템의 Bluetooth Chipset은 QCC3005를 이용하였으며 Sound IC는 MAX98390을 사용한다.

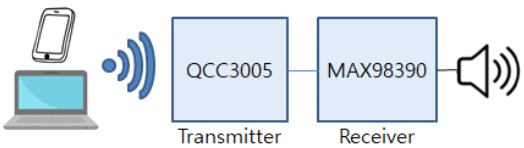


그림 2. 시스템 모델
Fig. 2. System Model

QCC3005는 Bluetooth 5.0 버전을 지원하며 SBC (Sub-Band Codec), aptX, aptX-LL, aptX-HD, AAC (Advanced Audio Coding) 등의 다양한 Codec을 지원한다. 다양한 Codec을 이용하여 전송 지연 시간과 음원 손실을 낮출 수 있다. 또한 I2S 통신을 지원하여 I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템의 Bluetooth Chipset으로 사용하였다.

MAX98390은 마이크로 스피커의 효율적으로 소리를 더 크고 풍부하게 전달하기 위해 DSM (Dynamic Speaker Management) 알고리즘을 통합한 스마트 증폭기이다. 1~3W 초 전력 정격의 소형 스피커를 최대 5.1W까지 높은 전력으로 구동할 수 있으며 기존의 5V 증폭기보다 최대 2.5배 더 큰 음량과 풍부한 저음을 출력하여 오디오 성능을 극대화 한다. 또한 DSM의 PPR (Perceptual Power Reduction)을 통해 최저 대기 전력 소비를 지원하여 배터리 사용시간 및 배터리 수명이 긴 장점이 있다[4].

기존의 소형 스마트 증폭기들은 스피커의 크기가 작아지면서 음량이나 음압 레벨이 낮아지고 공진 주파수가 증가하여 저음대역이 약한 문제가 있었다. 또한 과열 및 과도 출력으로 인해 스피커가 손상되는 경우가 빈번하였다. 이를 해결하기 위해 MAX98390은 DSM 알고리즘을 통해 전류 및 전압을 자동 감지하여 과열 및 과도 출력을 방지하고 Excursion 보호기능을 통해 공진 주파수 한계보다 최대 2옥타브 낮은 소리를 출력할 수 있도록 구성되었다. 따라서 휴대폰이나 PC 등의 기기에서 스피커로 음원 전송 시 디지털 신호 손실을 최소화하고 음원 출력을 최대화하기 위한 I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템에 MAX98390을 Sound IC로 사용한다.

2.2.1 시스템 흐름도

본 논문에서 제안하는 I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템의 흐름도는 그림 3과 같이 구성된다. I2S 통신을 이용하기 위해서는 정보를 전송하기 위한 Transmitter, 정보를 수신하기 위한 Receiver가 필요하며, 본 시스템에서는 QCC3005 Bluetooth Chipset을 Transmitter, MAX98390을 Receiver로 구성한다. 디바이스 On 후 Bluetooth Chipset이 Sound IC에서 필요한 I2C 및 I2S 통신 관련 정보를 Initialize한다.

www.dbpia.co.kr

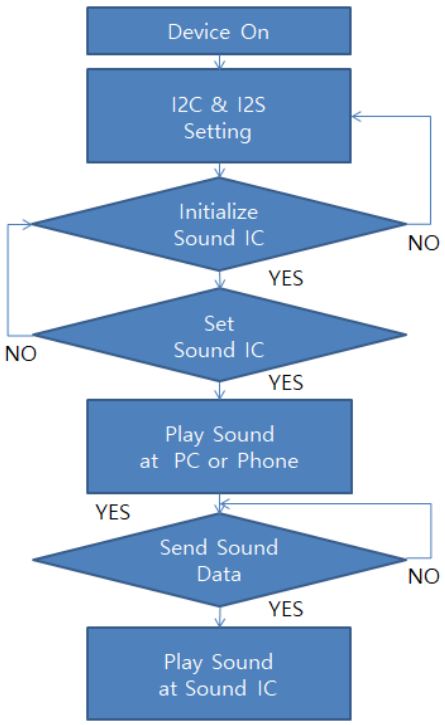


그림 3. 시스템 흐름도
Fig. 3. System Flow Chart

Sound IC가 정보를 전송받는 Receiver 이므로 Bluetooth Chipset과 Sound IC의 Sampling Rate, Bit Per Sample, Channel 수 등을 동일하게 설정한다. 그 후 Sound IC가 동작 가능하도록 I2C 통신을 통해 Sampling Rate, Bit Per Sample, Channel 수 등의 정보를 전송하고 SCK과 WS를 해당 음원에 맞게 Bluetooth Chipset에서 설정한다. 위의 설정이 모두 끝나면 Bluetooth Chipset은 SD 라인을 통해 Digital Data가 Sound IC로 전달되며 PCM 데이터가 DAC를 거쳐 Analog로 변환되어 스피커나 이어폰을 통해 음악을 재생할 수 있다.

2.2.2 시스템 구조

본 시스템에서 PC와 Phone 등의 소스 기기와 Bluetooth 통신을 이용하여 음원을 전송하며 Bluetooth Chipset과 Sound IC 간의 연결은 I2C 및 I2S 통신을 통해 그림 4와 같이 구성한다.

(1) Bluetooth Chipset

본 시스템의 Bluetooth Chipset으로 QCC3005를 사용하며 시스템 구현을 위해 그림 5의 Evaluation Board를 이용한다. QCC3005의 ADK (Accessory

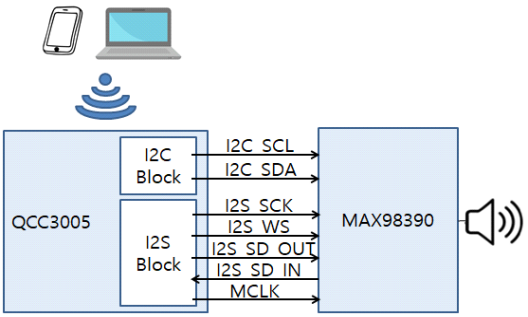


그림 4. 시스템 구조
Fig. 4. System Architecture

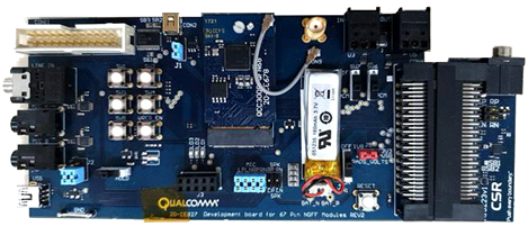


그림 5. QCC3005 테스트 보드
Fig. 5. QCC3005 Evaluation Board

Development Kit)에서는 Configuration Tool과 PS (Persistent Store) Tool을 제공하는데 Configuration Tool은 기본적인 펌웨어 동작을 설정할 수 있다. 그리고 PS Tool은 파라미터를 저장하고 검색할 수 있는 영구적인 저장 공간인 PS Key를 설정한다. PS Key에는 Bluetooth Device Address나 Device Name, Equalizer, 통신 설정 등의 정보가 기록되며 .psr 확장자 파일로 저장된다.

QCC3005에서 I2C 통신을 사용하기 위해 몇 가지 설정이 필요하다. Configuration Tool에서 아날로그 오디오 입력 시 사용하는 PIO (Programmed Input/Output)를 Disable 한다. 그리고 Audio Channel의 End Point Hardware Type을 Default 값인 DAC에서 I2S로 변경한다.

Sound IC 제어 시 필요한 정보를 I2C 통신으로 전송하기 위해 PS Tool이나 .psr 파일에서 SCL PIO와 SDA PIO를 Initialize 한다. SCL PIO는 0000, SDA PIO는 0001로 설정하며 PS Key의 0x25f9 영역에 해당 정보를 저장한다. .psr 파일에서 Initialize 하는 경우에는 sink_system_qcc300x.psr에 0x25f9 영역을 추가하여 I2C 설정 값을 입력한 뒤 psr Merge를 실행한다. I2S 통신 및 I2C 통신을 위한 Sampling Rate는 48000Hz, Bit Per Sample는 12,288MHz, Channel 수는 16개로 설정한다.

www.dbpia.co.kr

(2) Sound IC

본 시스템의 Sound IC는 MAX98390을 사용하며 시스템 구현을 위해 그림 7의 Evaluation Board를 이용한다. 디바이스 On 후 시스템 초기화 시 MAX93890 관련 설정을 수행하도록 구성하며 MAX98390의 내부 구조는 그림 6과 같다.

첫 번째로 MAX98390의 Reset을 수행하고 3ms 후 MAX98390의 Initialize를 실행한다. 두 번째로 Left의 Sound IC에 레지스터 값을 삽입한다. Left 영역의 주소 영역은 0x70이며 0x2000~0x23ff의 레지스터 중에 Write 가능한 영역의 값을 초기화한다. 레지스터 데이터 설정이 끝나면 0xffff 영역에 0xff 값을 Write 해야 레지스터 설정이 완료된다. 세 번째로 Right의 Sound IC에 레지스터 값을 삽입한다. Right 영역의 주소 영역은 0x72이며 Left와 동일한 영역의 레지스터에 값을 설정한다. Left와 Right의 레지스터 값 설정을 동일하게 설정해도 되고 상이하게 설정해도 되며 본 시스템에서는 Left와 Right의 레지스터 값을 동일하게 설정한다.

레지스터에는 Sampling Rate, Bit Per Sample, Channel 수, Equalizer 등의 정보가 저장되며 Sampling Rate는 0x2027 영역, Bit Per Sample는 0x2046, Channel 수는 0x2024 영역에 입력된다. 본 시스템에서는 Sampling Rate는 48000Hz, Bit Per Sample는 12,288MHz, Channel 수는 16개로 QCC3005와 동일하게 설정한다.

디바이스 Off 시에는 MAX98390의 Shut Down을 실행하여야 한다. Shut Down을 하지 않으면 디바이스는 Off된 상태이지만 MAX98390에서 배터리를 지속적으로 사용하므로 디바이스 사용시간이 현저히 줄어들게 된다. 따라서 디바이스 종료 시 Left Sound IC와 Right Sound IC에 0x23ff 레지스터를 0x00으로 변경한다. 그 후 MAX98390 Reset PIO를 True, VBat과 VDD PIO를 False로 설정하여 안정적으로 Shut Down하도록 한다.

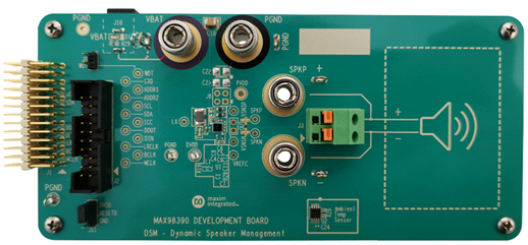


그림 6. MAX98390 테스트 보드
Fig. 6. MAX98390 Evaluation Board

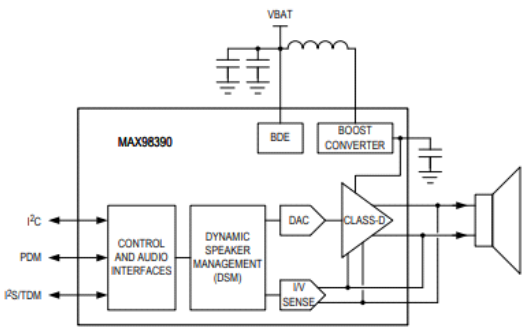


그림 7. MAX98390 구조
Fig. 7. MAX98390 Architecture

(3) Hardware

QCC3005와 MAX98390의 I2S 통신 라인과 I2C 통신 라인을 연결한다. QCC3005의 I2C_SCL, I2C_SDA와 MAX98390의 I2C_SDA, I2C_SCL를 각각 연결한다. 그리고 QCC3005의 I2S_SD_IN, I2S_SD_OUT, I2S_WS, I2S_SCK, MCLK과 MAX98390 I2S_SD_IN, I2S_SD_OUT, I2S_WS, I2S_SCK, MCLK를 각각 연결한다.

I2S 통신과 I2C 통신 외에도 MAX98390의 초기화, Watch Dog 제어, Inter Chip Communication을 위해 AMP Reset 라인, Watch Dog Timer 라인, Inter Chip Communication 라인을 QCC3005와 MAX98390 간에 연결한다.

Ⅲ. 성능평가

본 연구 결과의 성능을 평가하기 위하여 2가지의 항목을 선정하였다. 첫 번째로 DAC를 이용한 시스템과 I2S를 이용한 시스템의 신호 대 잡음비를 분석하였다. 이때 시스템 평가를 위해 스피커에서 출력되는 음원의 신호 대 잡음비, 통신 회선 간의 영향을 나타내는 Crosstalk, 오디오 신호에서 발생하는 음의 왜곡률을 나타내는 THD (Total Harmonic Distorition) 등을 이용할 수 있으며 본 논문에서는 가장 범용적으로 사용되는 신호 대 잡음비를 이용하였다. 두 번째로 기존의 소형 무선 스피커와 제안하는 시스템의 블루투스 버전, 출력 전력, 주파수 대역, 사용 시간 등을 비교하여 스피커 성능 분석을 실시하였다.

3.1 신호 대 잡음비 분석

QCC3005 Bluetooth Chipset과 MAX98390 Sound IC를 이용한 I2S 무선 스피커의 성능을 확인하기 위

www.dbpia.co.kr

해 오디오 신호 전송 방식을 DAC와 I2S로 각각 설정하여 신호 대 잡음비를 측정하였다. QCC3005 Configuration Tool의 Endpoint Hardware Type에서 설정을 바꿀 수 있으며 Bluetooth aptX Codec을 이용하며 샘플링 주파수가 44.1kHz인 MP3 (MPEG-1 Audio Layer-3) 파일을 재생하였다. 이때 무선 스피커와 Bluetooth를 통해 연결되는 스마트폰과의 거리는 1m로 지정한 뒤 Adaptive White Gaussian Noise (AWGN)을 Analyzer를 통해 신호 대 잡음비를 측정한다. 이때 I2S 통신을 이용하는 경우에는 그림 9와 같이 500kHz 이상에서 약 -25dB를 의미하는 빨간색 잡음이 사라졌으며 DAC를 이용하는 경우에는 그림 10과 같이 800kHz 이상에서 빨간색 잡음이 사라졌다. 따라서 동일한 음원을 재생했을 때 I2S 통신을 이용한 시스템의 신호 대 잡음비가 더 낮은 주파수 대역에서 사라지는 것을 확인하였다.

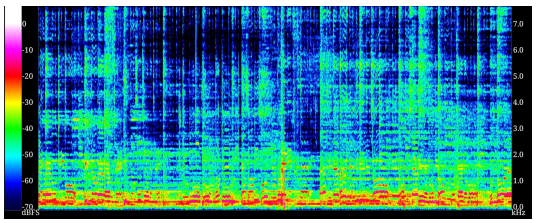


그림 8. I2S의 신호 대 잡음비
Fig. 8. S/N of I2S

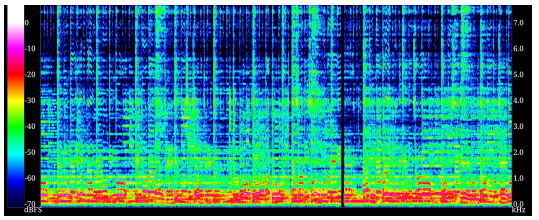


그림 9. DAC의 신호 대 잡음비
Fig. 9. S/N of DAC

3.2 스피커 성능 분석

QCC3005 Bluetooth Chipset과 MAX98390 Sound IC를 이용한 무선 스피커의 소모 전류를 확인하기 위해 410mA, 3.7V 리튬 이온 배터리를 이용한다. 측정 시 배터리 전압은 완전히 충전한 후 사용하며 기존의 400mAh, 3.7V 배터리를 사용하는 소형 무선 스피커의 성능과 비교하였다. 측정 결과는 표 1과 같으며 기존의 소형 무선 스피커 대비 출력 전력은 높으면서 사용시간이 0.5 ~ 1.5시간 증가하는 것을 확인하였다.

표 1. 스피커 성능 비교
Table 1. Speaker Performance Comparison

	Bluetooth Version (W)	Output Power (W)	Frequency (Hz)	Volume 50% Play Time(hr)
Acriylic Speaker	3	3	20-20k	3.5
BZ-A50	4,1	3	80-20k	4
Luna	5.0	4	20-20k	4.5
System Model	5.0	4.2	20-20k	5

Ⅳ. 결 론

기존의 무선 스피커는 PC나 스마트폰의 음원을 Bluetooth 통신을 이용하여 MCU에 전달하며 MCU에서는 DAC를 통해 앰프로 음원을 출력한다. 이 과정에서 아날로그적인 오류가 발생하거나 디지털 오디오 신호를 아날로그 오디오 신호로 변환하면서 잡음이 첨가되어 신호 대 잡음비가 증가하거나 음질 열화 등의 문제가 있었다. 따라서 본 논문에서는 I2S 통신과 스마트 증폭기를 이용하여 음원 손실 및 잡음을 낮추는 I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 MCU에서 Sound IC로 데이터를 전송할 때 PCM 데이터를 송신하기 위해 사용되는 전기 직렬 인터페이스인 I2S 통신과 더 큰 음량과 풍부한 저음을 청취할 수 있는 저 전력 스마트 증폭기를 사용한다. 따라서 신호 대 잡음비를 낮추어 사용자가 안정적으로 오랜 시간 동안 더 큰 음량과 안정적인 오디오 사운드를 청취할 수 있다. 본 시스템을 이용하여 무선 스피커뿐만 아니라 차량의 Audio-Video-Navigation, Wearable 기기 등에도 적용이 가능할 것으로 예상한다.

References

[1] H. J. Kim, "Various technology trends based on future IoT technology," *J. KIISE*, vol. 35, no. 11, pp. 38-44, Nov. 2017.

[2] H. S. Im, "Realization of speakers using near field communication," in *Proc. KIIT Conf.*, pp. 691-695, Korea, Nov. 2012.

[3] Martin Woolley, *Bluetooth 5*(2019), Retrieved Nov. 01, 2019, from https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth_5-

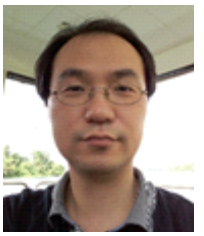
www.dbpia.co.kr

FINAL.pdf
[4] Maxim Integrated, *MAX98390*(2019), Retrieved Dec. 8, 2019, https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/audio/MAX98390.html

이 예 원 (Ye-won Lee)

2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 졸업
2019년 9월~현재 : 아주대학교 IT융합대학원 석사과정
<관심분야> 임베디드, 무선통신
[ORCID:0000-0001-6745-8436]

김 영 진 (Young-Jin Kim)



1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
1999년~2003년 : ETRI 연구원
2008년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
2008년~2011년 : 선문대학교 컴퓨터공학과 전임강사, 조교수
2011년~2019년 8월 : 아주대학교 전자공학과 조교수, 부교수
2019년 9월~현재 : 아주대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 임베디드 시스템 및 소프트웨어, 디스플레이 시스템 및 영상 처리, 저전력 기술
[ORCID:0000-0002-7095-6505]

www.dbpia.co.kr