

다중 음향 모듈을 통한 탄력적 음향신호 실험 환경 구성 자동화 프레임워크 제안

Proposed Framework for Automated Configuration of Elastic Acoustic Signal Experimentation Environment using Multi- Acoustic Modules.

박세현
세종대학교
시스템보안 연구실
서울, 대한민국
hyuniverse12@gmail.com

안성규
세종대학교
시스템보안 연구실
서울, 대한민국
yiimfn@gmail.com

박기웅^{*1}
세종대학교
정보보호학과
서울, 대한민국
woongbak@sejong.ac.kr

^{*1} 교신저자

요약

디지털 기술과 아날로그 기술의 융합이 활성화됨에 따라, 다양한 컴퓨팅 시스템이 개발되고 기존 시스템의 발전이 가속화되고 있다. 이러한 환경에서 음향과 같은 아날로그 신호와 디지털 신호의 융합 기술은 다양한 환경에서 활용할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 하지만 음향신호 처리과정에서는 음향 신호 처리를 위한 아날로그 신호 연산장치를 새롭게 구성해야 하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해소하기 위해, 음향 신호 자동화 구성 프레임워크를 이용한 테스트베드를 구성함으로써, 다양한 환경의 음향 신호 처리 시스템을 손쉽게 구성할 수 있는 연구를 제안한다. 본 연구를 통해 음향 신호 구성에 있어 편의성을 제공할 수 있으며, 이를 통해 추 후 음향 신호 및 디지털 신호 구성에 있어 손쉽고 빠른 구성을 위한 테스트 베드 기술을 제공할 것으로 기대한다.

키워드 : 하드웨어 개발, 임베디드 컴퓨팅, 프레임워크, 음향신호처리

1. 서론

최근 디지털 기술과 아날로그 기술의 융합은 새로운 컴퓨팅 시스템 기술의 고도화를 촉진하고 있다[1]. 일례로, 자동차, 가전제품, 의료기기 등 다양한 분야와 사용되는 음향신호는 진폭, 주파수, 위상 등 다양한 채널의 분석이 가능하여 이를 통해 기존 디지털 정보와 새로운 조합의 적용이 가능하다 [2,3]. 더불어 이러한 음향신호와 디지털 신호의 융합 기술은 기존 음향신호 처리시스템을 기반으로 활용됨으로 시스템 개발에 있어 경제성 및 편의성을 제공한다 [4].

그러나 음향 신호를 활용한 기술 개발 과정에서는 기존의 음향 신호 처리 시스템에 있는 아날로그 센서의 신호를 처리를 위해 새로운 연산 장치를 구성해야 하는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해소하기 위해 음향 신호 입출력 모듈의 자동인식을 지원하는 테스트베드인 BAST(Bidirectional Audio Signal Testbed) 제안함으로써, 아날로그 신호 연산 및 처리 환경을 구성하는 과정에서 발생 가능한 오버헤드를 최소화할 수 있는 환경을 제공한다. 이러한 테스트베드 환경은 음향신호 입출력 모듈의 연결에 기반하여 모듈의 물리적 전원 인가 제어와

입출력 데이터의 병렬적 신호 처리 기능을 제공함으로써 음향 신호와 관련된 실험 구성 과정에서의 편의성 및 경제성을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 본 논문에서 제시하는 테스트베드 환경과 관련된 관련연구를 제시한다. 3 장에서는 본 논문에서 제시하는 BAST에 대한 디자인 및 구조를 제시한다. 4 장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련연구

본 논문에서 제안하는 음향 테스트베드는 임의 개수의 마이크 및 스피커 인식을 자동화하여 탄력적인 실험 환경을 제공한다. 테스트베드 설계 시 다수 모듈과의 통신은 필연적으로 고려되어야 한다. 이와 관련된 연구는 지속적으로 수행되어 왔다. 본 장에서는 다수 모듈과 통신을 수행하는 기술과 음향 신호 처리에 관련된 기존 연구들에 대해 분석한다.

음향 모듈과의 통신에는 I2S(Inter-IC Sound)과 TDM(Time-Division Multiplex)이 사용된다. I2S는 오디오 전용 규격으로 오디오 데이터 전송을 다루기 위해 제정된 프로토콜로 좌우스피커채널과의 통신이 가능하다. TDM은 I2S의 확장으로, 다중채널과의 통신에 적합하다. 이때, 다채널로부터의 이상적인 소리 출력을 위해 각

오디오 채널에 일정 간격으로 클럭을 할당하여 음향 신호를 전달한다. 이와 같은 프로토콜은 오디오를 출력 혹은 입력만 하는 단방향 데이터 전송 환경에서 적합하다.

이에원[5]은 기존 음향신호 구성 방식 중 DAC(Digital-Analog Convert)를 이용한 무선 스피커 환경에서 I2S 통신과 스마트 증폭기를 이용하여 음원 손실 및 잡음을 낮추고 소비전력과 출력을 개선한 시스템을 제안하였다.

ECHOES[6]는 IoT 기술의 고도화로 복잡한 연산에 대한 효율적인 처리가 요구되는 가운데, 주파수 도메인에서의 고속 연산이 가능한 칩 개발 시 I2S 규격을 적용하여 광범위한 주변 기기를 대상으로 신호 수집이 가능하도록 하였다.

그러나 이러한 음향 테스트베드는 오디오 입력 장치와 출력 장치를 모두 사용하기 때문에, 위와 같은 통신 시스템을 적용할 경우 일반적으로 오디오 출력장치들간 등간격 통신이 불가하다. 이에 본 논문에서는 새로운 모듈 시스템 및 적합한 통신 프로토콜을 제안한다.

3. BAST 프레임워크 디자인 제안

본 논문에서 제안하는 BAST는 음향 입출력 모듈을 자동으로 인식하고 실험환경에 맞춘 펌웨어 데이터를 생성하여 궁극적으로 실험환경이 자동으로 구축되도록 설계했다. [그림 1]은 BAST의 전반적인 모식도이다. BAST의 디자인은 크게 PC-허브-서브모듈의 연결로 구성되어 있다.

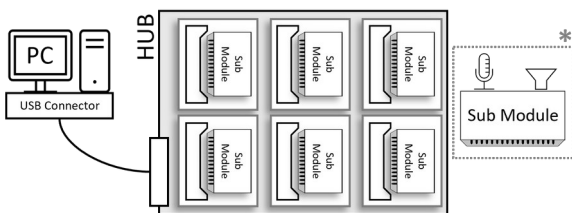


그림 1. BAST 상세 구조

허브의 경우 서브 모듈에서 발생한 신호를 수집하여 PC로 전달하는 역할을 수행한다. 허브는 n 개의 슬롯과 1 개의 마이크로컨트롤러 (MCU)로

구성되어 있으며, 각 슬롯에 1 개의 서브 모듈을 장착할 수 있다. [그림 2]는 허브를 구성하는 요소 중 MCU와 슬롯의 구성 및 허브에 장착되는 서브모듈의 구조를 나타낸다.

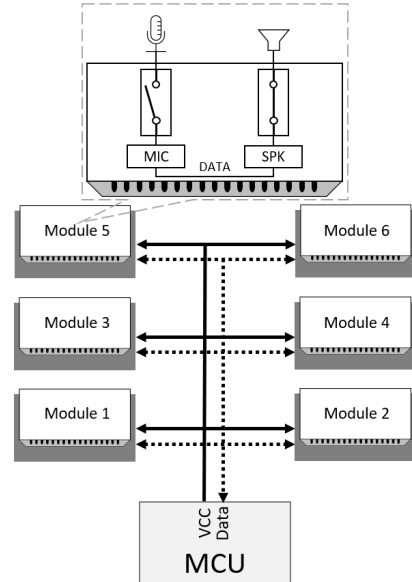


그림 2. 허브와 서브모듈 상세 구조

[그림 1]과 [그림 2]의 경우 허브가 6 개의 슬롯을 갖는 경우로, 최대 6 개의 서브모듈을 연결할 수 있다. 서브모듈은 실제 마이크 및 스피커가 장착되어 음향 신호를 송출하거나 입력 받는 역할을 수행한다. 이때 마이크와 스피커 소자는 각 1 개씩 연결되어 있으며, 각 소자의 사용여부는 사용자가 결정할 수 있다. MCU와 서브모듈들의 연결은 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신을 기반으로 하며, 각각 마스터와 슬레이브로 간주한다. 이는 전이중 통신(Full-Duplex)을 지원하는 동기식 통신으로, 마스터의 클럭 속도에 맞춰 슬레이브와 동시에 데이터를 송수신할 수 있다. 때문에 일정한 클럭 간격에 맞춰 각 서브모듈의 마이크/스피커와 통신을 진행하여 오디오 출력 품질의 손실을 최소화하면서도 음향 신호를 수집할 수 있다.

PC는 허브에서 수집된 음향 신호를 실질적으로 처리하는 역할을 수행한다. 허브와 PC는 USB 통신을 기반으로 한다. [그림 3]은 구체적인 통신 프로세스 모식도이다. 이때, 패킷 처리를 위한

로직은 각 통신 주체에 정의되어 있음을 전제한다.

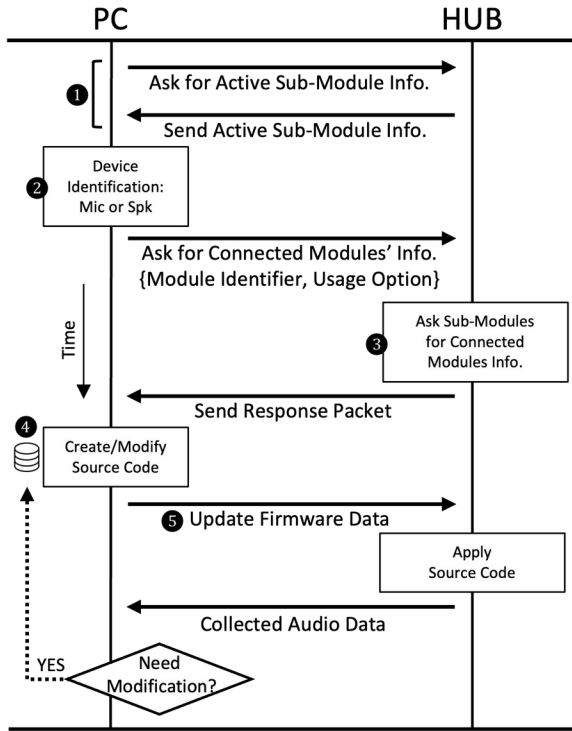


그림 3. PC와 허브의 통신 프로세스

Step 1. USB 형태의 통신 장치 연결 시 PC는 허브에 활성 서브모듈 정보를 질의한다. 이를 수신한 허브는 연결된 서브모듈과 순차적으로 통신하며, 서브모듈의 응답을 바탕으로 활성상태를 담은 응답을 생성한다. 생성된 응답패킷은 PC로 전송된다.

Step 2. 서브모듈 활성 정보 패킷을 바탕으로 PC는 모듈 정보를 수신하기 위한 질의 패킷을 생성한다. 질의 내용은 사용되는 스피커 및 마이크 소자의 식별정보 및 사용 옵션으로 구성된다.

Step 3. 허브는 응답패킷 생성을 위해 각 서브모듈에 질의한다. 응답패킷은 크게 각 서브모듈에 연결된 모듈의 식별자와, 각 모듈의 사용 여부로 구성된다. 이때, 스피커 및 마이크의 사용여부에 대한 정보는 2비트로 구분한다. 각 비트에 대한 스피커 및 마이크 소자의 사용 여부는 아래 <표 1>과 같다.

표 1. 각 비트별 사용 소자 사용 여부

송신 비트	소자 사용 여부
11	스피커 및 마이크 사용

01	마이크만 사용
10	스피커만 사용
00	스피커 및 마이크 미사용

이때, 스피커 및 마이크 소자 사용 옵션은 스위치 단자를 이용해 물리적으로 전류를 인가 혹은 차단한다. 총 n 개의 서브모듈에 대한 모듈 정보는 순차적으로 응답패킷에 작성되어 PC에 전송된다.

Step 4. PC에서는 허브로부터 전달받은 응답패킷을 바탕으로 신규 펌웨어 데이터를 생성한다. 생성된 데이터에는 각 모듈의 동작과 통신 속도에 대한 사항이 반영된다. 응답 패킷 내 모듈 식별자와 데이터베이스 상에 정의되어 있는 기존 정보를 대조해 모듈 종류를 구분한다. 이를 기반으로 마이크 혹은 스피커에 대한 소스코드를 생성한다. 기본 소스코드는 텍스트 형식으로 데이터베이스에 저장되어 있으며, 이를 바탕으로 서브모듈 정보 및 서브모듈 및 스피커 및 마이크 소자 사용 옵션 정보를 조합하여 각 모듈에 대응하는 펌웨어를 생성한다.

Step 5. PC는 Step4에서 생성된 펌웨어 데이터를 기반으로 허브의 펌웨어를 업데이트 한다. 허브는 업데이트 된 펌웨어를 바탕으로 음향 신호를 출력 및 수집하며, PC와 지속적으로 데이터를 주고받는다. 출력 주파수 또는 출력 주기 등이 변경되는 경우, PC는 새로운 펌웨어를 생성하여 허브를 업데이트한다.

4. 결론

본 논문은 음향 실험 테스트베드 상 모듈 플러그인 시 모듈 인식 및 펌웨어 환경 구축을 자동화하여, 실험 구성 과정에서의 오버헤드를 최소화한 테스트베드인 BAST를 제안한다. 음향 데이터의 전송 방향이 상이한 모듈을 복합 사용하는 실험 환경을 고려하여 서브 모듈 시스템을 제안하였다. 이때, SPI 통신 프로토콜의 채택으로 신호 출력 품질 저하를 최소화하고자 했다. 또한

서브 모듈의 물리적 전원 인가 제어 시스템 도입으로 모듈 사용 옵션의 자율성에 기반한 실험 환경의 다양성을 지원한다. 본 BAST는 유연하고 효율적인 실험 플랫폼을 제공함으로써 마이크, 스피커의 개수 및 배치를 독립변수로 하는 실험의 구성에서의 편의성을 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 연구로는, GUI 형태의 펌웨어 관리 프로세스를 구성함으로써, 보다 효과적인 음향 신호 실험 환경을 구성하는 연구를 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송기술국제공동연구사업(Project No. RS-2022-00165794, 40%), 국방 ICT 융합사업 (Project No. Project No.2022-0-00701, 10%), 실감콘텐츠핵심기술개발사업(Project No. RS-2023-00228996, 10%), 대학 ICT 연구센터 육성지원사업(Project No. 2023-2021-0-01816, 10%) 및 한국연구재단 개인기초연구과제(Project No. RS-2023-00208460, 30%)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 민윤지. "디지털 기술경쟁력이 무역비용에 미치는 영향분석." 통상정보연구 22.1 (2020): 333-350.
- [2] Padhy, Swarup, et al. "Emergency signal classification for the hearing impaired using multi-channel convolutional neural network architecture." 2019 IEEE Conference on Information and Communication Technology. IEEE, 2019.
- [3] Pedersoli, Fabrizio, et al. "Estimating Visual Information From Audio Through Manifold Learning." arXiv preprint arXiv:2208.02337 (2022).
- [4] 김정준, and 조기환. "음향센서를 활용한 CNC 공구떨림 감지 및 안정화 기법." 한국정보전자통신기술학회 논문지 12.2 (2019): 120-126.
- [5] 이예원, and 김영진. "I2S 통신을 이용한 스마트 앰프 시스템." 한국통신학회논문지 45.5 (2020): 813-

819.

- [6] Sinigaglia, Mattia, et al. "Echoes: a 200 GOPS/W Frequency Domain SoC with FFT Processor and I2S DSP for Flexible Data Acquisition from Microphone Arrays." arXiv preprint arXiv:2305.07325 (2023).