Journal of the Korea Industrial Information Systems Research Vol.28 No.1, Feb. 2023 :9-16
http://dx.doi.org/10.9723/jksiis.2023.28.1.009 ISSN:1229-3741

저비용 대화 상호작용 정보 수집 시스템 설계+

(Low-cost system design to collect interaction information during conversation)

조 상 진[1], 박 재 현[2]*, 홍 운 기[3]*
(Sangjin Cho, Jaehyun Park, and Woonki Hong)

요 약 산업 현장에서 해결해야 할 문제가 다양해지고 복잡해짐에 따라 팀 활동의 중요성이 더욱 커지고 있다. 팀의 성과는 팀원 성과의 단순한 합이 아니라 팀 내 상호작용에 따라 시너지를 얻거나 감소하기도 한다. 이러한 팀 활동에 관한 분석적 연구를 진행하기 위해 ICT 기술을 이용한 연구가 이루어졌지만, 이러한 기술을 개발하고 활용하는 것은 시간과 비용이 많이 소요되어 현장 실무자들과 연구자가 활용하기 어려운 한계점이 있다. 본 연구에서는 아두이노와 라즈베리 파이를 활용하여 저비용으로 대화 상호작용 정보를 수집하는 시스템을 설계한 뒤 여러 장치로부터 대화 상호작용 정보를 수집하여 데이터베이스에 올바르게 저장됨을 검증하였다. 본 연구에서 제안하는 저비용 정보 수집 시스템을 통해 산업정보의 다양한 분야에서 후속 연구가 이루어질 수 있는 환경을 조성하고자 한다.

핵심주제어: 팀 활동, 상호작용, 저비용, 정보 수집 시스템

Abstract The importance of team activities increases as the problem to be solved in the industrial field become more diverse and complex. Team performance is not simply the sum of team members' performances, but synergies are gained or reduced depending on the team's interactions. Analytical research on team activities using ICT has been conducted, but developing and utilizing these technologies is time-consuming and costly, making it difficult for field practitioners and researchers to utilize them. In this study, we design a system that collects interaction information during conversations at a low cost using Arduino and Raspberry Pi and verify that conversation interaction information is collected from multiple devices and correctly stored in the database. Through the low-cost information collection system proposed in this study, we intend to create an environment where follow-up research can be conducted in various fields of industrial information.

Keywords: Team activity, interaction, low-cost, information collection system

* Corresponding Author: jaehyun@ulsan.ac.kr, woonki@konkuk.ac.kr
+ 이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 일반공동연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020S1A5A2A03041137).
Manuscript received December 09, 2022 / revised January 04, 2023 / accepted January 06, 2023
1) 주식회사 지메이드
2) 울산대학교 전기공학부, 공동교신저자
3) 건국대학교 경영학과, 공동교신저자

1. 서 론

ICBM(사물인터넷 IoT, 클라우드 컴퓨팅 Cloud, 빅데이터 Big Data, 모바일 Mobile) 등의 기술은 사회 전반에 많은 영향을 주고 있다. 이러한 기술은 직원들의 채용, 교육, 평가 등에서 활용될 뿐만 아니라, 조직행동 연구에도 적용되고 있다(Tong et al. 2021). 이러한 기술을 활용을 활용한 융합 연구는 전통적 연구에서 해결하지 못한 다양한 질문에 답하고, 새로운 질문을 통해 기존 연구를 확장시킬 수 있다(George et al. 2016). 하지만, 이러한 기술을 개발하고 활용하는 것은 시간과 비용이 많이 소요되어 현장 실무자들과 연구자들에서 활용하는 것에는 아직까지 많은 한계가 있다.

본 연구에서는 팀의 상호작용을 측정하고 시각화 할 수 있는 상호작용 정보 시스템을 저비용으로 구축하여 실무뿐만 아니라 연구에서 활용할 수 있도록 돕는 것을 목표로 한다. 팀 연구는 조직행동 연구에서 매우 중요하다(Ilgen et al. 2005). 개인의 역량에 의해 얻을 수 있는 결과보다 팀으로 주어진 과제를 수행할 때 더 나은 결과를 얻을 수 있다. 이러한 팀 활동은 팀 내 상호작용이 원활하게 이루어지는지 아닌지에 따라 각 팀원의 역량을 합친 것 이상의 성과를 얻을 수 있거나 더 적은 성과만을 얻을 수 있다. 이렇게 팀 활동이 이루어지는 동안 팀원들 사이의 효율적인 의사소통과 협업은 팀의 학습 및 경쟁우위를 만들어 내는 매우 중요한 요소이다 (Argote and Ingram, 2000).

팀원들 사이의 상호작용에 관한 연구는 일반적으로 설문조사와 관찰을 통해 이루어져 왔다(예: Bunderson, 2003). 팀 활동 이전과 이후의 설문조사를 통해 팀 활동을 평가하고 이를 통해 얻을 수 있는 성과를 예측하였다. 하지만 이 경우 팀 활동이 이루어지는 동안의 팀 내 상호작용을 정확히 판단할 수 없으며 팀 내 상호작용이 어느 정도 이루어지고 있으며 더 나은 성과를 얻기 위한 실시간 피드백을 전달할 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 IT 기술을 도입하여 팀 내 상호작용을 분석하는 융합연구가 시도되고 있다 (Chaffin et al. 2017; George et al. 2016; Waber 2013). 미국 MIT의 미디어 랩을 중심으로 착용형 정보 수집 시스템을 이용하여 소규모 팀에서 대화 중에 발생하는 상호작용에 관한 연구를 진행하고 있다 (Kim et al. 2012; Matusik et al. 2019). 센서를 통해 수집한 정보를 바탕으로 팀원들이 대화에 얼마나 활발하게 참여하였는지, 몸의 움직임과 같은 비언어적 행동을 통해 상호작용을 하였는지, 팀원 사이의 물리적 거리를 판단하여 팀 활동 성과에 대한 예측을 수행하고자 하였다. 이에 반해 국내에서는 ICT 기술을 이용하여 팀 내 상호작용에 관한 연구가 미진한 실정이다.

소규모 팀 내에서 이루어지는 상호작용은 음성, 표정, 손동작, 사람 사이의 거리 등 다양한 정보를 토대로 이루어진다. 표정, 손동작 등의 정보를 획득하여 분석하는 방법 중 대표적인 방법은 대화를 영상으로 녹화하여 이를 기반으로 분석하는 방법이 있다(예: Curhan and Pentland, 2007). 하지만 영상을 분석하기 위해서는 전통적인 영상처리 기법이나 인공지능 등을 활용해야 하며 이를 위한 비용이 많이 든다. 또한, 동영상은 많은 개인정보를 담고 있어 유출 시 사생활 침해의 가능성이 크고 이에 따라 활용할 수 있는 분야가 제한된다.

이와 같은 문제점을 해결하고 저비용 시스템을 구현하여 활용도를 높이기 위해 본 논문에서는 실제 대화 내용을 녹음하는 것이 아니라 목소리를 내는지 아닌지와 움직임 정보, 대화 참여자 사이의 거리 정보만을 수집하는 저비용 시스템을 설계하여 산업정보 분야에 새로운 영역을 더하고자 한다.

2장에서는 본 논문에서 구현한 대화 중 상호작용 정보 수집 시스템의 구성 및 동작 방식에 관해 설명하고 3장에서 실험을 통해 구현한 시스템의 동작을 검증한 뒤 4장을 통해 결론짓고자 한다.

2. 대화 중 상호작용 정보 수집 시스템

2.1 시스템 구성 및 동작

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 대화 중 상호

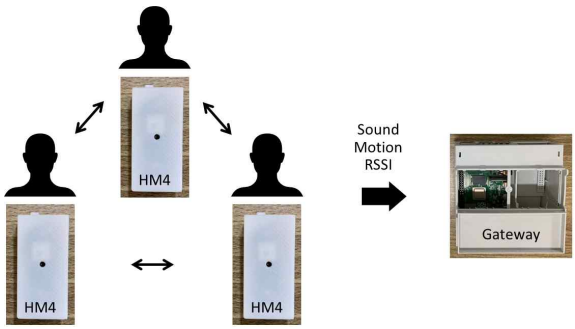

Fig. 1 Overview of HM4 system

작용 정보 수집 시스템의 구성을 보여주고 있다. 위에서 기술한 정보를 수집할 수 있는 소형의 수집 시스템 HM4를 착용하고 대화에 임하게 되면 각각의 시스템은 소형 마이크와 가속도와 각속도를 측정할 수 있는 관성 측정 장치(Inertial Measuremnt Unit), BLE(Bluetooth Low Energy)를 이용하여 게이트웨이의 신호세기 정보를 수집하여 게이트웨이로 전달한다. 게이트웨이는 수집된 데이터를 데이터베이스에 저장함과 동시에 실시간으로 출력할 수 있다.

뱃지와 게이트웨이의 동작 및 운용 방식은 Fig. 2와 같다. 뱃지에 전원이 공급되면 뱃지의 ID 정보를 포함하여 advertising을 수행하며 BLE 연결을 기다린다. 게이트웨이도 전원이 공급되면 주변의 BLE 장치를 scan하여 사전에 목록에 등록된 뱃지들을 확인하여 BLE 연결을 수행한다.

BLE 연결이 성립되면 뱃지는 대화 상호작용 정보를 수집하여 게이트웨이로 전송하는 동작을 반복한다. 게이트웨이는 목록에 존재하는 모든 뱃지와 BLE 연결이 성립되면 연결된 뱃지를 순차적으로 접근하여 뱃지가 수집한 데이터를 받아온다. 받아온 데이터는 추후 분석을 편하게 수행하기 위하여 게이트웨이의 내부 시간을 포함하여 데이터베이스에 저장한다. 저장된 데이터는 필요시 실시간 그래프로 출력하여 대화에 참여하는 사람들 사이의 상호작용 정보를 확인할 수도 있다. 그래프 출력이 이루어지고 있다면 해당 그래프를 업데이트하고 다음 뱃지에 접근하여 데이터를 가져온 뒤 데이터베이스에 기

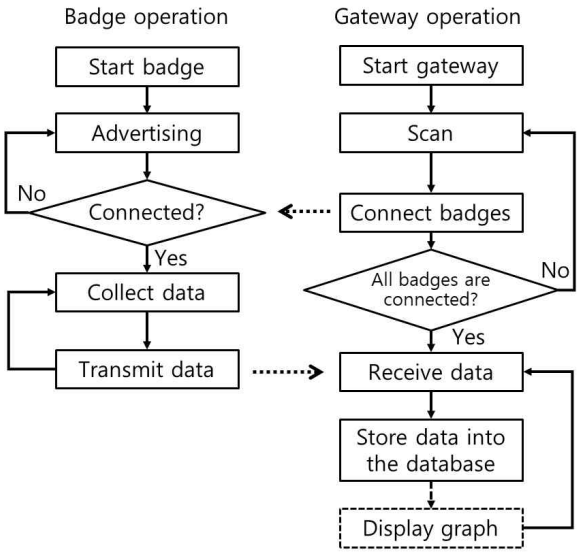

Fig. 2 Operation of HM4 system

록하는 동작을 반복한다.

2.2 뱃지 하드웨어 설계

착용자의 대화 중 상호작용 정보를 수집하기 위한 뱃지는 Fig. 3과 같이 Arduino Nano 33 BLE 보드를 사용하였다. Arduino Nano 33 BLE 보드는 STMicroelectronics 사의 MEMS 마이크 MP23DT05-A와 9축 IMU LSM9DS1, u-blox 사의 NINA-B306 Bluetooth 모듈이 장착하고 있어 본 연구에 필요한 센서를 모두 갖추고 있다. NINA-B306 모듈은 64MHz로 동작

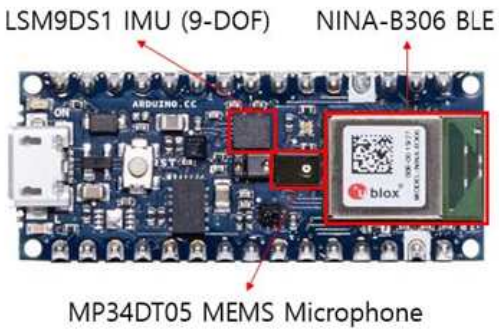

Fig. 3 Arduino Nano 33 BLE

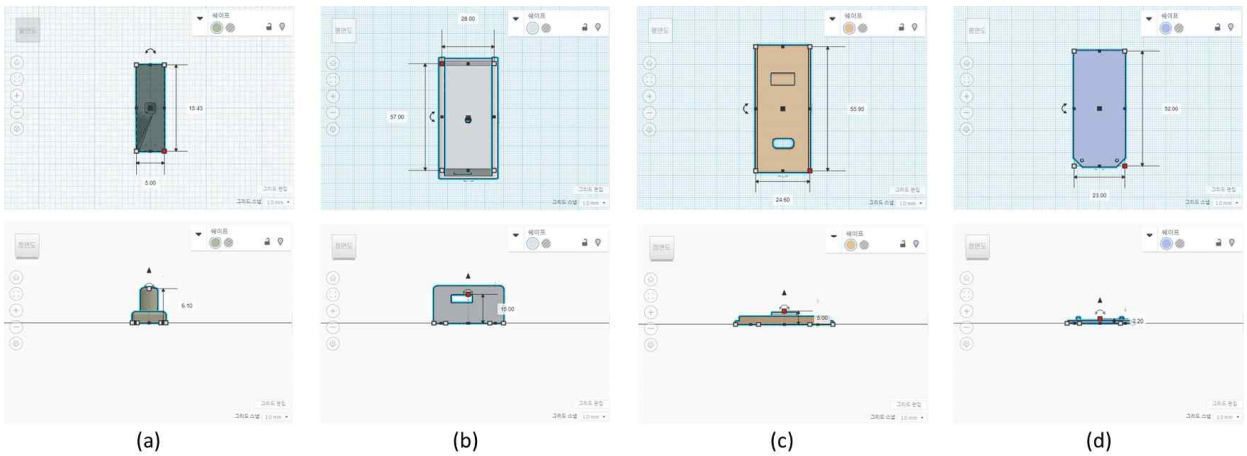

Fig. 4 Case design for HM4 (a) Button (b) Housing (c) Slide lid (d) middle plate

하는 ARM Cortex-M4를 내장하고 있으며 Bluetooth 5를 지원하여 마이크와 IMU로부터 음성 정보와 가속도 정보를 수집하여 처리한 후 BLE로 전송하기에 충분한 성능을 제공한다.

데이터 수집 환경에서 사용자는 뱃지를 목에 착용하고 대화에 임하게 된다. 따라서 전원을 공급하기 위한 배터리 연결과 사용 편의성을 위해 3D 프린터를 이용하여 케이스를 제작하였다. 케이스는 Fig. 4와 같이 (a)버튼, (b)본체, (c)뚜껑, (d)중간판으로 이루어져 있으며 외부 온도 변화와 충격에 의한 변형에 강인하도록 PLA 재질로 제작하였다.

버튼은 전원부에 고정되어 HM4 외부에서 전원을 켜고 끄기 쉽게 설계하였다. 본체는 음성 신호를 감쇠 없이 측정할 수 있도록 센서의 위치에 맞게 마이크를 위한 구멍을 배치하였으며 뚜껑을 슬라이드 방식으로 결할 할 수 있도록 설계하였다. 뚜껑은 옷핀과 같은 클립을 사용하여 착용자의 옷에 고정할 수 있도록 클립 고정대를 윗부분에 배치하였고 아랫부분에는 홈을 만들어 본체와 결합 또는 분리가 쉽고 미끄러지지 않도록 설계하였다. 타겟 보드가 외부 충격에 흔들리지 않도록 보드의 나사 구멍 부분에 원기둥을 배치하였다.

Fig. 5(a)는 3D 프린터를 통해 출력된 케이스를 보여주고 있다. Arduino Nano 33 BLE 보드에 전력을 공급하기 위해서 CR2032 리튬 코인 배터리 2개를 직렬로 연결하여 사용하였다. Fig. 5(b)와 같이 중간판 뒷면에 배터리 케이스를 이용하여 부착하였으며 Arduino Nano 33 BLE 보드는 중간판 앞면에 마이크가 보이도록 고정하였다. 이후 마이크가 본체 밑면을 향하여 마이크 구멍에 마이크가 위치하도록 배치한 후 뚜껑을 닫아 조립을 마무리하였다. Fig. 5(c)는 Arduino Nano 33 BLE 보드가 케이스에 수납된 모습과 완성된 HM4의 앞면과 뒷면 모습을 보여주고 있다.

2.3 뱃지 소프트웨어 설계

뱃지에서 마이크는 PDM (Pulse Density Modulation) 방식으로 음성 정보를 수집하여 NINA-B306 모듈에 전달하며 IMU는 I2C를 통해 가속도 정보를 전달한다. 또한, GPIO를 통해 BLE 통신 연결 상태를 표시한다. 개발 과정에서 디버깅을 위해 UART를 사용하였다. BLE 통신을 통해 peripheral 모드로 동작하는 뱃지는 central 모드로 동작하는 게이트웨이와 연결되어 정보를 주고받았다.

뱃지의 초기 설정 동작은 다음과 같다. 뱃지의 동작이 시작되면 디버깅을 위한 UART를 초기화하고 PDM 데이터가 준비되었을 때 불릴 callback 함수를 등록한다. 이후 IMU를 초기화하고 마이크를 16kHz 모노로 동작하도록 설정

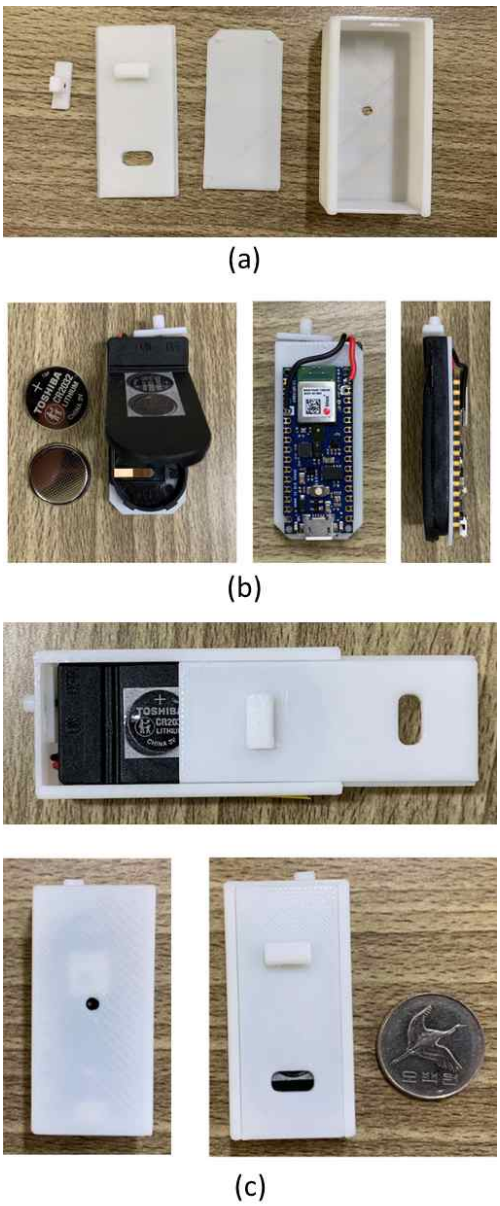

Fig. 5 Assembled HM4 system

한 뒤 BLE 동작을 시작한다. 마이크에 데이터가 준비되면 사전에 등록한 callback 함수를 호출하여 이용 가능한 데이터 크기만큼 읽어와 임시 버퍼에 기록해 놓는다.

BLE를 통해 음성정보와 게이트웨이의 신호세기, 동작 정보를 제공하기 위한 service를 정의하였으며 뱃지에서 수집한 정보는 개별적인 UUID (Universally Unique IDentifier)를 가지는 characteristics 3개를 통해 각각 notify 되도록 설정하였다. 개별 뱃지를 구분하기 위해 개별 이름을 설정한 후 게이트웨이와의 연결을 위해 advertising 모드로 진입한 후 게이트웨이에서 뱃지로 연결을 시도하는 것을 기다린다.

게이트웨이와 BLE 연결이 이루어지면 먼저 주황색 LED를 켜 사용자에게 BLE 연결이 성공했음을 알린다. 이후 BLE 연결이 유지되는 동안 매 0.1초마다 버퍼에 수집된 음성 정보의 원시값(raw data)을 해당 시간 동안의 세기로 변환한다. 마이크로부터 PDM 데이터를 읽어 버퍼를 채우는 동작은 인터럽트에 기반하여 메인 코드와 별도로 동작하므로 메인 코드에서는 준비된 데이터를 세기로 변환하여 사운드 크기를 표시하기 위한 characteristic에 기록하는 동작만 수행한다. 또한, 음성 자체가 아니라 발화 여부만 판단할 수 있는 세기로 변환하기 때문에 개인 정보 유출에 대한 우려가 없다. 마찬가지로 가속도 정보도 읽어 온 후 각 축에서 이전 값과의 차이를 계산한 후 이를 누적하여 모션 변화량을 계산한 뒤 해당 characteristic에 기록한다. 마지막으로 게이트웨이에서 송출되는 무선 신호의 세기를 측정하여 뱃지 신호 세기를 표시하기 위한 characteristic에 기록한다. BLE 연결이 종료되면 동작을 나타내기 위한 LED를 끈 뒤 동작을 멈춘다.

2.4 게이트웨이 설계

대화 중 상호작용을 분석하기 위해서는 대화에 참여하는 모든 사람의 목소리를 내는지 아닌지와 움직임 정보, 대화 참여자 사이의 거리 정보를 수집하여야 한다. 또한, 상호작용을 올바르게 분석하기 위해서는 각 참여자가 착용하고 있는 HM4에서 수집된 정보가 동기화되어 저장되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 라즈베리파이4에 MySQL 서버를 설치하고 Python을 통해 사운드 크기, 뱃지 신호 세기, 모션 변화량 정보를 수집하는 게이트웨이를 설계하였다. 또한, 데이터베이스에 저장된 정보를 실시간으로 확인하고 대화 참여자에게 정보를 제공해 줄 수 있는 실시간 그래프 출력 기능도 구현하였다.

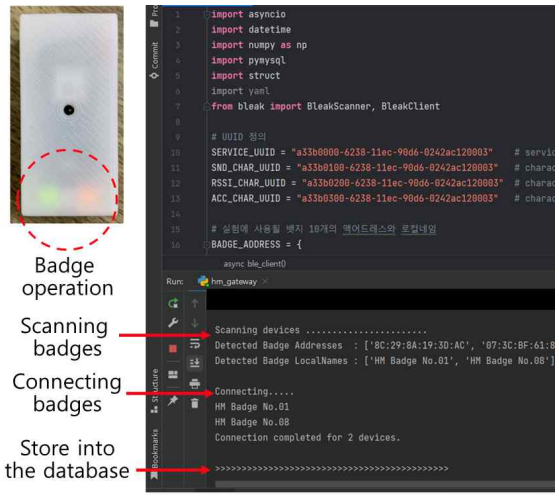

Fig. 6 Connection between the badge and gateway

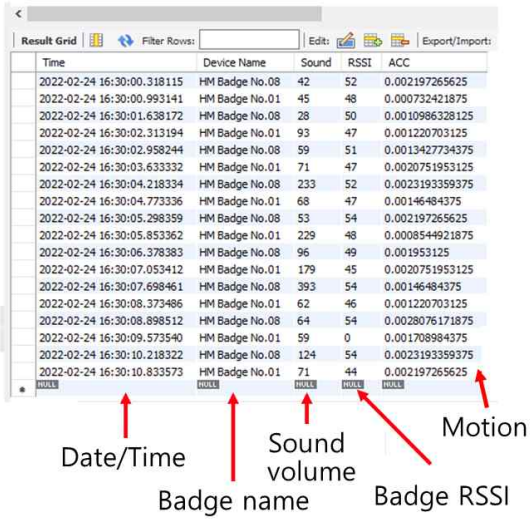

Fig. 7 Collected interaction information

게이트웨이 프로그램이 수행되면 먼저 비동기 입출력 모듈을 이용하여 목록에 정의된 뱃지가 연결 가능한지를 확인한다. Bleak 모듈을 사용하여 5초간 스캔하여 주변에 Advertising하고 있는 BLE 장치 목록을 만든다. 해당 목록은 HM4 모듈 이외의 BLE 장치도 포함하고 있으므로 뱃지의 MAC 주소를 이용하여 연결 가능한 뱃지의 목록을 생성한다.

생성된 연결 가능한 뱃지 목록을 이용하여 비동기 입출력 방식으로 뱃지에서 정보를 획득한다. 구체적으로 데이터베이스를 연결한 뒤 연결 가능한 뱃지 목록에 대해 BleakClient 객체를 생성한 뒤 연결을 시도한다. 연결 가능한 모든 뱃지에 대해 연결을 시도하여 연결된 뱃지 리스트를 생성한다. 이후 연결된 모든 뱃지에 대해 순차적으로 사운드 크기, 뱃지 신호 세기, 모션 변화량에 해당하는 characteristics 값을 읽은 뒤 라즈베리 파이의 시간 정보와 뱃지 이름과 함께 데이터베이스에 저장하는 동작을 반복한다. 만약, 키보드 인터럽트가 발생하면 모든 뱃지에 대한 연결을 해지한 뒤 데이터베이스 연결을 해지한다.

게이트웨이 기능 중 뱃지로부터 데이터를 획득하는 기능은 필수적인 기능인데 비해 수집한 데이터를 실시간으로 출력하는 기능은 항상 필요한 기능이 아니다. 이를 위해 실시간 그래프 출력 기능은 별도의 Python 프로그램으로 작성하여 필요한 경우에만 사용될 수 있도록 설계하였다. 실시간 그래프 출력을 위해 dash 모듈을 사용하였으며 각 장치의 데이터를 20개까지 출력하도록 설계하였다. 프로그램 수행 시 연결한 데이터베이스로부터 매초 데이터를 가져와 그래프를 갱신한다. 이렇게 실시간으로 출력되는 그래프는 웹 브라우저를 통해 변화를 확인할 수 있다.

3. HM4 시스템의 동작 검증

3.1 뱃지 동작 검증

뱃지의 동작을 검증하기 위해선 게이트웨이와 연결이 이루어져야 한다. 또한, 대화 중 상호작용 정보를 수집하기 위해선 2개 이상의 뱃지와 BLE 연결을 이루고 데이터를 순차적으로 가져와야 한다. 이를 검증하기 위해 먼저 2개의 뱃지와 게이트웨이를 이용하여 BLE 연결, 게이트웨이의 순차적 뱃지 데이터 획득, 데이터베이스 기록 유무, 획득한 데이터에 대한 검증을 진행하였다.

뱃지에 전원이 공급되지 않으면 모든 LED가 꺼져 있지만 3D 프린트를 통해 제작한 버튼을 이용하여 전력을 공급하면 녹색 LED가 켜지며 BLE 동작이 시작하면 개별 장치에 설정한 이름으로 advertising을 수행한다. 이후 게이트웨이

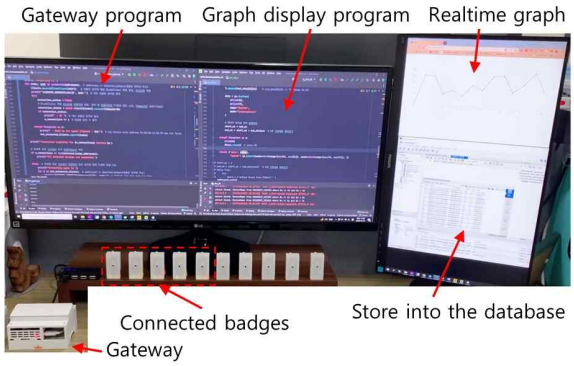

Fig. 8 Operation of HM4 system

의 동작을 시작하면 Fig. 6에서 보이는 것처럼 주변에 존재하는 뱃지를 검색하여 목록을 만들고 해당 뱃지의 정보를 출력한다. 이후 생성된 목록에 존재하는 뱃지에 BLE 연결을 시도하고 연결된 뱃지의 이름과 연결된 뱃지의 개수를 출력한다. 이와 같이 게이트웨이와 뱃지가 연결되면 뱃지는 주황색 LED를 켠다. HM4의 케이스는 PLA 재질로 반투명하게 제작되었기 때문에 전면부에 보이는 LED를 통해 각 뱃지의 동작 상태를 알 수 있다.

이어서 게이트웨이는 각 뱃지로부터 상호작용 정보를 수집하여 MySQL 데이터베이스에 저장한다. 게이트웨이는 리눅스 시스템이 동작하고 있으므로 시스템의 날짜와 시간 정보를 사용할 수 있다. 각 뱃지로부터 수집한 상호작용 정보를 데이터베이스에 저장할 때 게이트웨이의 시스템 날짜와 시간, 뱃지의 이름을 함께 저장하여 데이터 분석 시 각 뱃지의 데이터를 특정함과 동시에 뱃지 사이의 데이터 동기화 문제를 해결할 수 있다. Fig. 7은 뱃지 1번과 8번이 상호작용 정보를 수집하는 모습을 보여주고 있다. 먼저 시스템의 날짜와 시간 정보를 이용하여 μs 단위로 정보수집 시간을 측정하며, 해당 데이터를 수집한 장치의 이름과 사운드 크기, 뱃지 신호 세기, 모션 변화량을 데이터베이스에 기록하는 것과 동시에 사용자가 동작 상황을 살펴볼 수 있도록 화면에 출력한다. 해당 화면을 통해 뱃지 1번과 8번의 상호작용 정보가 데이터베이스에 번갈아 가며 기록되는 것을 확인할 수 있다.

3.2 게이트웨이 동작 검증

뱃지의 동작을 검증하는 과정에서 게이트웨이의 기능 중 주변에 존재하는 뱃지를 BLE 통신을 통해 연결하고 상호작용 정보를 수집하는 기능은 검증되었다. 여기에 더해 현재 수집되는 상호작용 정보를 실시간으로 파악하고 필요할 경우 대화 참여자에게 피드백을 줄 수 있는 실시간 그래프 출력 기능에 대한 검증을 수행하였다.

앞에서 서술한 바와 같이 실시간 그래프 출력 기능은 선택적 기능으로 모든 상황에서 필요한 기능은 아니므로 뱃지에서 데이터를 수집하는 데이트웨이 프로그램과 별도의 프로그램으로 구현하였다. 게이트웨이의 실시간 그래프 출력 기능과 3개 이상의 뱃지로부터 상호작용 정보 수집 기능을 검증하기 위하여 총 5개의 뱃지와 게이트웨이를 사용하고 게이트웨이 프로그램과 실시간 그래프 프로그램을 동시에 실행하였다. Fig. 8과 같이 게이트웨이와 BLE 통신에 성공한 뱃지들은 녹색과 주황색 LED가 모두 점등되며 웹 브라우저를 통해 데이터베이스에 기록된 데이터가 선형 그래프로 출력되며 실시간으로 갱신되는 것을 검증하였다.

4. 결 론

팀 내 상호작용은 팀의 성과를 좌우할 만큼 중요한 요소이다. 하지만 기존에 팀 내 상호작용에 관한 연구는 팀 활동 전후의 설문조사 등과 같은 간접적인 방법을 통해 이루어져 왔다. 이러한 한계점을 극복하고자 최근 ICT 기술을 이용하여 팀 활동 중의 상호작용 정보를 분석하고자 하는 시도가 있었다. 하지만 기존의 정보 수집 시스템은 접근이 쉽지 않은 단점이 있다 (Kayhan et al. 2018). 이에 본 논문에서는 구조가 단순하여 저비용으로 구현할 수 있고 대화 참여자의 정보를 동기화하여 수집할 수 있으며 실시간으로 대화 참여자에게 피드백을 줄 수 있는 시스템을 구현하고 동작을 검증하였다. 이를 통해 팀 활동에 대한 구조적인 접근 및 분석이 가능해짐으로써 조직론 등 경영학 및 산업정보 분야에서 다양한 연구가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

References

Argote, L. and Ingram, P. (2000). Knowledge transfer: A basis for competitive advantage in firms, *Organizational behavior and human decision processes*, 82(1), 150-169, https://doi.org/10.1006/obhd.2000.2893.

Bunderson, J. S. (2003). Recognizing and utilizing expertise in work groups: A status characteristics perspective. Administrative science quarterly, 48(4), 557-591, https://doi.org/10.2307/3556637

Chaffin, D., Heidl, R., Hollenbeck, J. R., Howe, M., Yu, A., Voorhees, C. and Calantone, R. (2017). The promise and perils of wearable sensors in organizational research, Organizational Research Methods, 20(1), 3-31.

Curhan, J. R. and Pentland, A. (2007). Thin slices of negotiation: Predicting outcomes from conversational dynamics within the first 5 minutes, Journal of Applied Psychology, 92(3), 802-811.

George, G., Osinga, E., Lavie, D. and Scott, B. (2016), Big data and data science methods for management research, Academy of Management Journal, 59(5), 1493-1507.

Ilgen, D. R., Hollenbeck, J. R., Johnson, M. and Jundt, D. (2005). Teams in organizations. Annual review of psychology, 56, 517-543.

Kayhan, V. O., Chen, Z. C., French, K. A., Allen, T. D., Salomon, K. and Watkins, A. (2018). How honest are the signals? A protocol for validating wearable sensors. Behavior research methods, 50(1), 57-83.

Kim, T., McFee, E., E., Olguin, D. O., Waber, B. and Pentland, A (2012). Sociometric badges: Using sensor technology to capture new forms of collaboration, Journal of organizational behavior, 33(3), 412-427.

Matusik, J. G., Heidl, R., Hollenbeck, J. R., Yu, A., Lee, H. W. and Howe, M. (2019). Wearable bluetooth sensors for capturing relational variables and temporal variability in relationships: A construct validation study, Journal of Applied Psychology, 104(3), 357-387.

Tong, S., Jia, N., Luo, X. and Fang, Z. (2021). The Janus face of artificial intelligence feedback: Deployment versus disclosure effects on employee performance. Strategic Management Journal, 42(9), 1600-1631.

Waber, B. (2013). People analytics: How social sensing technology will transform business and what it tells us about the future of work. FT Press.

조 상 진 (Sangjin Cho)

- 울산대학교 전자공학과 공학사
- 울산대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- (현재) 주식회사 지메이드 대표이사
- 관심분야: 신호처리

박 재 현 (Jaehyun Park)

- 정회원
- 서울대학교 전기공학부 공학사
- 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 공학박사
- (현재) 울산대학교 전기공학부 조교수
- 관심분야: IoT 시스템, 비휘발성 메모리 시스템, 저전력 시스템

홍 운 기 (Woonki Hong)

- 고려대학교 산업공학 학사
- 고려대학교 경영학 석사
- University of Illinois at Urbana-Champaign. Human Resource and Industrial Relations 박사
- (현재) 건국대학교 경영학과 부교수
- 관심분야: 팀웍, 팀 상호작용