

## User Visit Certification System using Inaudible Frequency

Myoungbeom Chung\*

\*Assistant Professor, Dept. of Faidea, Sungkyul University, Anyang, Korea

### [Abstract]

In this paper, we propose and test the efficacy of an easy-to-use user location certification system for public places that relies on frequencies outside the audible range for humans. The inaudible frequencies come in signal frequency between 18–20 kHz and are generated by general audio speaker. After an individual's smart device detects the signal frequency, it sends the frequency value, user's personal ID, and user's location to a system server that certifies the user's visit location currently. The system server then saves a user visit record and categorizes it by individual. To show the usefulness of this proposed system, we developed a user visit certification application for smart devices linked to a system server. We then conducted a user visit certification experiment using the proposed system, with the result showing 99.6% accuracy. For a comparison, we then held a user visit certification experiment using a QR code, which confirmed that our proposed system performs better than QR code location certification. This proposed system can thus provide restaurants and other facilities reliable user contact tracing and electronic visitor access lists in the age of COVID-19.

▶ **Key words:** Visit certification, Inaudible frequency, QR code, Electronic access list, User certification

### [요 약]

본 연구는 가청 주파수 범위 중 사람들에게 들리지 않는 주파수를 이용하여 사용자가 방문한 곳을 손쉽게 인증하는 시스템을 제안한다. 비가청 주파수는 일반 스피커에서 생성할 수 있는 18kHz ~ 20kHz 범위에서 신호 주파수를 발생하며, 스마트 기기는 그 주파수를 인식하여 신호 값과 사용자의 ID, 위치 정보를 서버로 전송하여 현재 사용자가 방문한 곳을 인증한다. 그리고 서버에서는 사용자의 방문 이력을 개인별로 분류하여 저장한다. 제안 방법의 효용성을 확인하기 위해 스마트 기기 기반 사용자 인증 애플리케이션을 개발하고 서버 시스템을 구축하여 사용자 인증 실험을 하였으며, 그 결과 99.6%의 정확성을 나타냈다. 그리고 QR 코드를 이용한 방문 인증 비교 실험 결과 제안 방법이 보다 우수함을 확인하였다. 즉, 제안 방법은 코로나 시대에 개별 사용자의 역학 조사 활용, 식당 및 시설에 전자 출입 명부 등에 활용할 수 있다.

▶ **주제어:** 방문 인증, 비가청 주파수, QR 코드, 전자출입명부, 사용자 인증

---

• First Author: Myoungbeom Chung, Corresponding Author: Myoungbeom Chung  
\*Myoungbeom Chung (nzine@sungkyul.ac.kr), Dept. of Faidea, Sungkyul University  
• Received: 2021. 06. 28, Revised: 2021. 07. 19, Accepted: 2021. 07. 19.

## I. Introduction

최근 코로나(COVID-19)로 인해 식당, 공연장, 상점 등 다양한 상업 시설에서 비대면(언택트:Untact) 서비스 기술들이 많이 제공되고 있다. 그 중에서도 사람들의 매장 방문 기록이 필수가 된 이 시기에 맞추어 Quick Response(QR) 코드를 이용한 체크인, 전자 출입 명부 서비스는 사용자가 출입하는 곳 어디서나 볼 수 있다.

QR 코드는 세 꼭짓점의 큰 사각형과 나머지 한 꼭짓점에 근접하는 작은 사각형이 존재하며, 숫자는 최대 7,089자 아스키 문자는 최대 4,296자를 저장하는 것이 가능하다[1]. 2020년 6월부터 코로나19 사태로 인해, 다중이용시설 출입 시 작성하게 되는 전자 출입 명부(KI-PASS)에도 QR 코드를 활용하기 시작하였으며, 현재 대부분의 시설 건물 내부로 들어가려고 할 때 QR코드를 인식하거나, 발신자 전화번호 출입관리인 콜체크인을 통해 진입할 수 있도록 제한하고 있다[2-4].

QR코드를 이용한 전자 출입 명부 인증 방법은 크게 2가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 사용자의 스마트 기기를 이용하여 네이버나 카카오에서 제공하는 QR 체크인을 사전에 등록하여 인증 코드를 발급 받은 후, 시설에 설치된 스마트 기기의 카메라에 그 코드를 인식하게 하는 방식이다[5]. 그리고 설치된 스마트 기기는 인식한 코드의 데이터를 스마트 기기에 그대로 저장하지 않고, 지정된 서버로 전송하여 방문자들의 정보를 관리하게 된다. 이 방법은 스마트 기기에 사용자 정보가 있기 때문에 해당 출입 시설에서 전자 출입 명부를 위한 스마트 기기, 애플리케이션과 서버를 구축해야 한다. 두 번째 방법은 사용자의 스마트 기기에 QR 코드 인식 애플리케이션을 설치하고 해당 방문 시설에 비치된 QR 코드를 인식하면, 애플리케이션은 인식된 데이터와 함께 사용자 정보를 지정된 서버에 전송하여 방문자들의 정보를 관리하는 방식이다[6]. 이 방법은 사용자의 스마트 기기에 해당 애플리케이션이 설치되어 있어야 하며, 사용자의 정보가 등록되어 있어야 한다. 단, 전자 출입 명부를 위한 스마트 기기를 출입 시설에서 설치할 필요가 없으며, 시설 정보가 들어 있는 QR 코드만 프린트하여 시설에 배치해 두면 되는 장점이 있다. 그러나 이 2가지 방법 모두 QR 코드를 인식 시키거나, 인식해야 하는 사용자의 특정 행동이 필요하다. 예를 들어 식당 방문 시 입구에 스마트 기기가 설치된 경우, 네이버나 카카오 톡을 이용한 QR 체크인을 실행하여 인식 시켜야 한다. 반대로 QR 코드만 프린트가 되어 있는 식당의 경우 특정 애플리케이션을 실행시켜 QR 코드를 인식해야 한다. 즉, 위의 두

가지 방식은 통일되지 않은 두 가지 방식에 의해 사용자는 어떠한 방식을 써야 하는지 혼란이 생길 수 있으며, 여러 명이 함께 방문할 때 QR 코드 인식을 위해 입구에서 차례로 줄을 서야 하는 경우가 종종 발생하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 입구에서 줄을 설 필요 없이 시설에 입장하면서 애플리케이션만 실행하여 전자 출입을 인증할 수 있는 가청 주파수 범위 중 사람들에게 들리지 않는 주파수를 이용한 사용자 방문 인증 시스템을 제안한다. 시중에 출시된 대부분의 스피커는 사람들이 들을 수 있는 범위인 20Hz ~ 22kHz를 출력할 수 있으며, 스마트 기기에 내장된 마이크 또한 해당 범위의 주파수를 인식하고, 인식된 소리를 분석하여 특정 신호를 검출할 수 있다[7]. 제안 시스템은 특정 신호로써 기존 고주파를 이용한 데이터 통신 연구에 사용되는 18kHz ~ 20kHz 구간을 50Hz 간격으로 사용하며, 신호가 발생하는 공간 내에 위치한 스마트 기기가 그 소리를 인식하고, 분석하여 지정된 신호가 검출 되었을 때 신호 값, 사용자 Identification(ID), 위치 정보를 서버로 전송함으로써 사용자 방문 인증을 수행하게 된다. 서버는 수신한 데이터의 오류 유무를 확인하고, 그 결과 값을 다시 스마트 기기로 전송하여 인증을 완료하며, 수신한 정보들은 개인별, 기관별로 각각 저장하여 사용자의 역학 조사, 기관별 방문자 정보 검색에 활용할 수 있다. 우리는 제안 시스템의 성능을 확인하기 위해 비가청 주파수를 활용한 스마트 기기 기반 방문 인증 애플리케이션과 그와 연동 되는 서버 시스템을 개발하였으며, 총 20대의 스마트 기기를 이용한 방문 인증 실험을 진행하여 평균 99.6%의 인증 성공률을 나타냈다. 그리고 기존 방식인 QR 코드를 이용한 방문 인증 방법과 비교 실험을 진행한 결과 제안 방법이 인증 시간을 보다 절약할 수 있는 것을 확인하였다. 즉, 제안 시스템은 사람들에게 들리지 않는 고주파와 스마트 기기의 마이크를 이용한 다중이용시설 출입 시 전자 출입 인증을 할 수 있는 기술로써, 코로나 19 사태 이후 사회에서 요구되는 비대면 서비스들 중에 큰 기여를 할 수 있는 유용한 기술이 될 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 제안 방법에서 사용하는 가청주파수 영역에서의 고주파를 이용한 기존 연구들을 설명하며, 제 3장에서는 제안 애플리케이션과 서버를 이용한 사용자 방문 인증 시스템의 흐름과 절차를 설명한다. 제 4장에서는 제안 애플리케이션과 사용자 방문 인증 시스템의 성능 확인을 위한 실험 및 그 결과를 보이며, 제 5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. Related Work

최근 가청주파수 영역에서의 고주파를 이용한 연구들은 사람들에게 거의 들리지 않는 고주파이면서 대중적으로 많이 사용되는 스피커에서 출력할 수 있고, 스마트 기기의 마이크에서 인식할 수 있는 범위인 18kHz ~ 22kHz 주파수를 사용해왔다. 해당 범위에서 두 개의 주파수를 선정하여 트리거(Trigger) 신호로 사용한 연구들로는 Bihler의 박물관 스마트 가이드 시스템, Chung의 대중교통 하차 알림 애플리케이션과 공간 사용자 밀집도 분석 시스템, Kim의 스마트 기기와 PC 간의 사용자 인증 방법 등이 있다.

Bihler는 20kHz, 22kHz 를 이용하여 Frequency Shift Keying(FSK)기술을 적용한 신호를 생성하며, 이때 신호 전달의 오류를 검증하기 위해 해밍 코드를 함께 적용한 트리거 신호를 제안했다[8]. Kim은 15.8kHz ~ 20kHz 범위에서 두 개의 고주파 조합을 이용하여 동시에 4비트 신호를 전달할 수 있게 하였으며, 인증을 위한 신호는 2바이트 길이를 약 8초 소요하여 보내는 방식을 제안하였다[9]. Chung의 대중교통 하차 알림 애플리케이션 또한 Kim의 제안 방법을 활용한 것으로 18kHz ~ 22kHz 범위에서 100Hz 단위로 총 41개 중 2개를 선별하여 송출하며, 대중교통의 스피커를 통해 정류장 안내 방송이 나올 때 이 선별된 신호가 함께 발생 하게 된다[10]. 이 방법은 약 3초 시간 동안 트리거 신호를 발생하여 현재 대중교통의 위치를 스마트 기기가 인식하고 사용자에게 알림을 주는 방식이다. 그리고 Chung은 동일한 신호를 이용하여 특정 공간에 사람들이 몇 명 위치해 있는지에 파악 할 수 있는 공간 사용자 밀집도 분석 시스템을 제안하기도 하였다[11]. 그러나 이러한 한 쌍의 고주파를 이용한 방식은 전달을 위해 소요되는 시간 대비 전달되는 데이터 값이 적은 단점이 있다.

이를 보완하기 위해 Chung은 On-off Keying 기법과 Cyclic Redundancy Check(CRC) 기법을 활용하여 두 개의 주파수가 아닌 18kHz ~ 22kHz 범위에서의 다양한 주파수를 이용한 스마트 기기 간에 근거리 데이터 전송 방법을 제안하였다[12]. 이 방법은 보다 많은 데이터를 짧은 시간 안에 보내기 위해 데이터 주파수 프로토콜을 미리 정의한 후, 기존 방식들에서 우려했던 주파수 간의 간섭 범위인 600Hz 간격을 제외하며 그 간격을 25Hz ~ 100Hz 범위로 변화시키며 최적 전송 값을 찾고자 하였다. 그리고 주파수 간의 간섭에 의한 데이터 전송 오류를 방지하기 위해 CRC 기법을 적용하여 CRC 데이터 8비트를 제외한 32비트 데이터를 1초 이내에 전달할 수 있었다.

## III. User Certification System using Inaudible Frequency

본 장에서는 가청주파수 내의 고주파를 이용한 사용자 방문 인증 애플리케이션과 서버 시스템의 동작 흐름과 제안 방법에 사용된 신호 전달 기술을 설명한다. 사용자 방문 인증 애플리케이션과 서버 시스템의 동작 흐름은 기존 QR 코드를 이용한 인증 방식과 유사하며, Fig. 1과 같이 표현된다. Fig. 1에서 스피커는 다중이용시설에 설치되어 있는 스피커를 사용하며, 사람들의 시설 출입 확인이 필요한 시간 동안 정해진 간격으로 트리거 신호를 발생한다.

이때 발생하는 트리거 신호는 신호를 듣는 시설 관리자들에게 큰 영향을 주지 않을 것이며[13], 스마트 기기의 데이터 주파수 프로토콜(DFP: Data frequency protocol)에 정의된 CRC 계산을 포함하여 인코딩 된 값을 스피커로

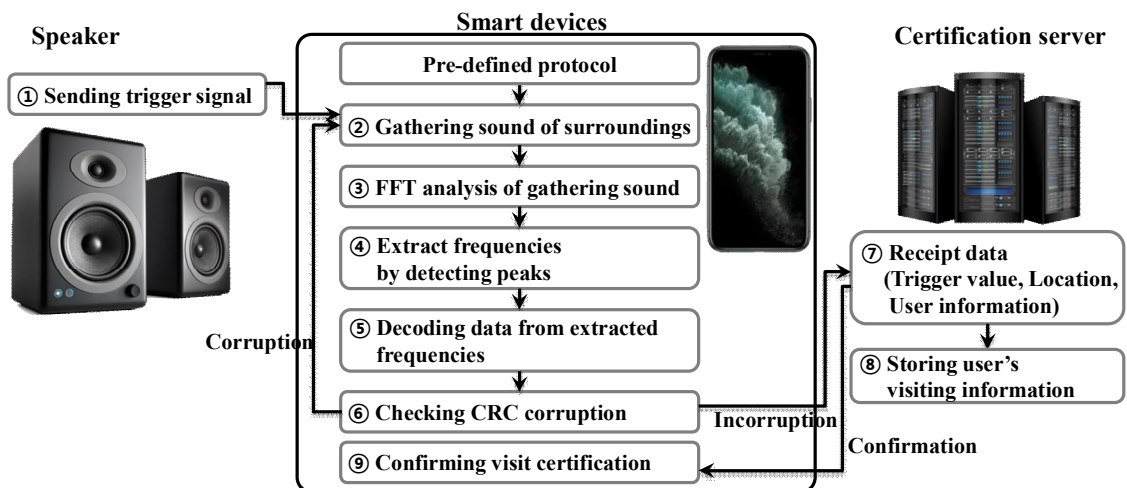


Fig. 1. The process flow of user visit certification system

출력한다(④). 다중이용시설에 방문하는 방문자가 스마트 기기에 설치된 제안 애플리케이션을 실행하면, 애플리케이션은 방문자 주변의 소리를 수집하고(②), Fast Fourier Transform(FFT) 분석을 수행한다(③). 애플리케이션은 FFT 분석 결과로부터 피크 값을 검출을 통해 유효한 주파수 값을 추출하며(④), 미리 설정한 DFP를 바탕으로 추출한 주파수 값을 비트 데이터로 디코딩한다(⑤). 마지막으로 CRC 체크를 통해 디코딩한 데이터에 에러가 존재하는지 확인하여(⑥) 데이터 변형이 있는 경우 ② 순서로 되돌아가 트리거 신호 분석을 다시 수행하며, 데이터 변형 없는 정확한 데이터인 경우 스마트 기기는 인증 서버로 트리거 신호 값, 방문자 위치, 방문자 ID를 전송한다. 인증 서버는 전송 받은 데이터들을 확인하고(⑦), 개인별, 기관별로 각각의 데이터를 저장하여 사용자의 역학 조사, 기관별 방문자 정보 검색에 활용할 수 있도록 한다(⑧). 그리고 서버에서 사용자 위치 정보를 확인한 후 스마트 기기로 그 정보를 전달하여, 사용자 방문 인증 확인을 완료한다(⑨).

이때 미리 정의된 프로토콜(Pre-defined protocol)은 Chung이 제안한 방법을 사용한다. 고주파를 이용한 비트 데이터는 Fig. 2와 같이 비트간의 간섭을 피하기 위해 매핑 된 주파수 양 옆에 GB(Guard bandwidth)를 두며, 비트 간격(Bit range)은 그 두 배를 사용하고, 해당 비트를 나타내는 값은 중앙에 위치하여 On-off Keying 기법에 따라 값을 추출한다.

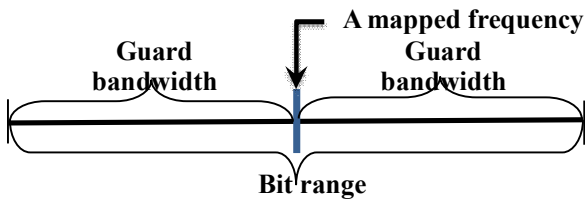


Fig. 2. Definition of guard bandwidth and bit range

예를 들어 18kHz ~ 20kHz 범위에서 50Hz의 GB를 사용할 경우 비트 간격은 100kHz가 되고, 매핑 되는 비트 위치는 18.05kHz, 18.15kHz, 18.25kHz, ... .., 19.75kHz, 19.85kHz, 19.95kHz로 총 20개로 사용할 수 있으며, 이는 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{df} = B_r(fa) \tag{1}$$

식 1에서  $B_r$ 은 비트 범위를 의미하며,  $fa$ 는 주파수 범위를 의미한다. 따라서 GB 50Hz, 비트 간격 100Hz, 주파수 범위 18kHz ~ 20kHz를 사용하는 경우  $P_{df}=100Hz(18kHz-20kHz)$

와 같이 표시되며, 데이터의 길이는 20bit임을 알 수 있다. 즉, 스피커에서 발생하는 트리거 신호는  $P_{df}$ 로 정의한 값을 이용하여 CRC를 포함한 인코딩을 수행하여 출력하게 된다.

다음으로 스마트 기기의 마이크는 주변 소리를 수집하여 FFT 분석을 통해 데이터를 인식하는데, 분석한 FFT 값으로부터 On-off Keying 기법을 변형하여 수신한 데이터 디코딩을 수행한다. 각 비트에 매핑 된 주파수가 신호에 포함되어 있는 경우 해당 비트 값을 1, 주파수가 존재하지 않는 경우 0으로 설정한다. 한 예로 Fig. 3과 같이  $P_{df}=100Hz(18kHz\sim 19kHz)$ 로 DFP가 정의된 FFT 분석 결과를 받은 경우 유효한 피크는 18.0~18.1kHz, 18.1kHz~18.2kHz, 18.5kHz~18.6kHz, 18.8kHz~18.9kHz 총 4개의 범위라 판단할 수 있으며, 이 영역 주파수의 중앙 값 18.05kHz, 18.15kHz, 18.55kHz, 18.85kHz와 매핑 된 비트의 위치인 첫 번째, 두 번째, 다섯 번째, 아홉 번째가 비트 1을 표현하는 것을 알 수 있다. 따라서 디코딩 된 비트 값은 10bit 데이터 1100010010을 받은 것이라 할 수 있다.

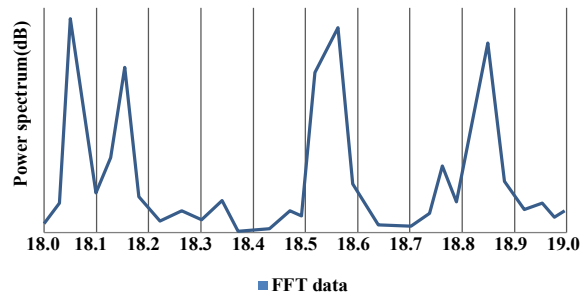


Fig. 3. The example of decoding data from FFT result

그러나 Fig. 3에서 피크를 추출하는 기준 값에 따라 18.7kHz~18.8kHz 구간의 작은 피크를 유효한 값으로 인정할 수도 있다. 이러한 오류를 방지하기 위해 본 연구에서는 CRC 기법을 사용하여 에러를 검출한다.

CRC는  $m$ 비트 에러 검출에 사용할 경우, 모든 상황에 대하여 최소  $(1-2^{-m})\times 100\%$ 의 에러 검출률을 보장하며, 데이터  $m$ 비트는 별도로 전송하는 데이터가 아닌 실제 데이터의 뒤에 추가되어 함께 전송된다. 즉,  $m=3$ 일 경우 10비트 데이터 1100010010 중 맨 뒤 3개의 비트 010은 에러 검출을 위해 추가된 데이터로 사용되며, 실제 전송하고자 하는 데이터는 앞의 7개 비트인 1100010이라 할 수 있다.

제안 방법에서는  $n$ 개의 비트를 사용하여 다중이용시설 출입을 위한 트리거 신호를 스피커를 통해 전송하며, 스마트 기기의 애플리케이션은 DFP를 바탕으로 주파수 값을 비트 데이터로 디코딩한 후 CRC 검토를 통해 트리거 데이터를 검출한다. 그리고 트리거 데이터는 사용자 ID, 사용

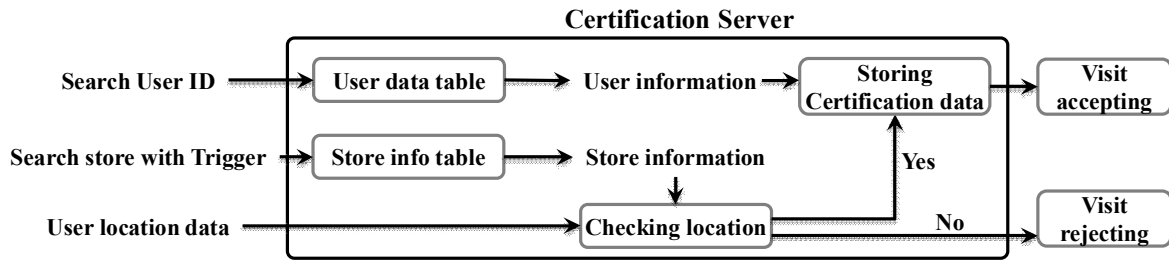


Fig. 4. The process flow of user visit certification at certification server

자 위치 정보와 함께 인증 서버로 전송되며, 서버에서는 Fig. 4와 같이 사용자 ID를 이용하여 등록된 사용자 정보를 찾아오고 트리거 데이터로부터 데이터베이스에 저장된 다중이용시설 정보를 찾아온다. 그 후 다중이용시설 정보와 전달 받은 사용자 위치 데이터를 체크하여 사용자가 유효한 범위 내에 위치한 것을 확인하면 서버는 사용자가 해당 다중이용시설에 방문한 것으로 인증하고 방문 확인 정보를 다시 스마트 기기에 전송하게 되며, 유효한 범위를 벗어난 경우 방문한 것으로 인증하지 않게 된다.

#### IV. Experiments and Evaluation

본 장에서는 비가청 주파수를 이용하여 사용자가 방문한 곳을 인증하는 애플리케이션을 소개하며, 제안 애플리케이션과 인증 서버를 이용하여 다중이용시설 방문 인증 실험 및 그 결과를 분석한다. 사용자 방문 인증을 위한 제안 애플리케이션의 화면 구성은 Fig. 5와 같으며 iOS 기반 iPhone 12 사용에 적합하게 개발하였다. Fig. 5에서 왼쪽 스마트 기기 이미지는 사용자가 방문 인증을 위해 처음 애플리케이션을 실행했을 때 나타나는 화면으로 오른쪽 아래 원 위치에 인증을 위해 소요되고 있는 시간을 초 단위로 표시하고 있다. 애플리케이션 실행 후 주변의 소리를 인식하여, 제안 방법에 해당하는 트리거 신호가 존재하는 경우 애플리케이션은 Fig. 1의 순서로 인증 절차를 수행하며, Fig. 4의 방문 인증(Visit accepting)이 완료 되면

Fig. 5의 오른쪽 그림을 표시하게 된다. 이는 방문 인증 성공을 사용자에게 안내 하는 것으로 서버로부터 방문한 시설의 정보를 받아와 그림 아래에 인증된 다중이용시설 이름, 시설 등록 ID, 등록된 시설의 주소를 나타낸다.

이때 애플리케이션의 방문 인증을 위해 사용한 트리거 신호 DFP는  $P_{df}=50\text{Hz}(18\text{kHz}\sim 20\text{kHz})$ 로 하여 Table 1과 같이 임의의 40bit 데이터 5개 사용하여 스피커로 출력하였다.  $P_{df}$ 를 위와 같이 사용한 이유는 Chung의 실험에서 FFT 분석을 위한 샘플링 레이트(Sampling rate) 32768에서 99.88% 전송 정확도를 나타냈기 때문이다. 그리고 40bit 데이터는 32bit 정보 데이터와 8bit CRC로 구성되며, CRC 데이터를 32bit 데이터 뒤에 붙인 형태를 갖는다. CRC 데이터는 WCDMA 무선 통신에서 사용하는 생성 다항식(Generator polynomial)  $0x9B(x^8+x^7+x^4+x^3+x+1)$ 을 사용하여 32bit 데이터에 맞는 CRC를 생성하였다[14].

다음으로 실험을 위한 공간은 동일 건물 동일 층에 위치한 가로 7m×세로 4m 연구실 5 곳을 정하였다. 각 공간별 트리거 신호는 Table 1의 First부터 Fifth까지 차례로 설정하여 스피커로부터 신호가 발생하게 하였으며, 스피커는 각 실험실의 입구 옆 1 m 이내의 위치에 배치하였다. 실험을 위한 스마트 기기 사용자는 10명이 참여하였으며, 참가자들은 각 공간을 차례로 10회씩 동시에 방문하여 제안 애플리케이션을 실행하고 방문 인증을 하도록 하였다. 이때 방문 인증 승인과 인증 정보 저장을 위해 사용한 서버 시스템은 Apache 2.2.14, PHP 5.2.12, MySQL 5.1.39를 사용하였으며, Intel(R) Core(TM) i5 CPU 750, 8G Ram

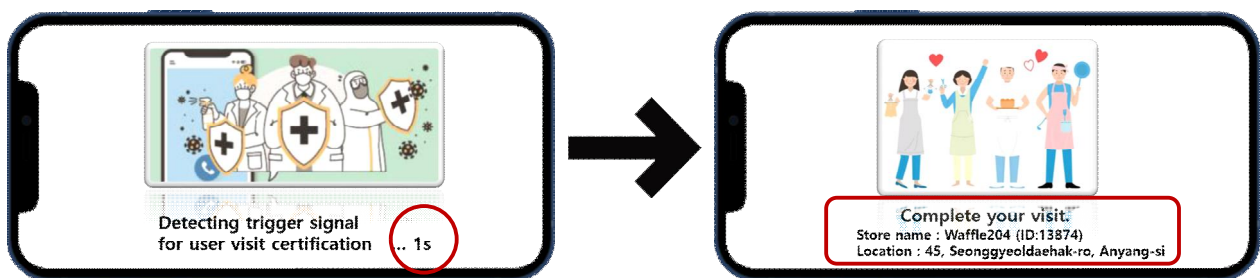


Fig. 5. Detecting view and result view for user visit certification of the proposed application

Table 1. Five random data with 40 bits for experiments

	32bit data	8bit CRC	Hexadecimal
First	10011100 10110100 01100111 01100011	00001101	0x9CB467630D
Second	11000100 00100010 00110100 10101010	11111010	0xC42234AAFA
Third	10100110 11101101 11010010 10010001	10100010	0xA6EDD291A2
Fourth	00010001 00110001 10010110 01011111	11011001	0x1131965FD9
Fifth	11001000 11101111 11001101 11101011	01101011	0xC8EFCDEB6B

하드웨어를 사용하였다. Fig. 6은 실험에 대한 결과를 각 공간별로 나타낸 것이다.

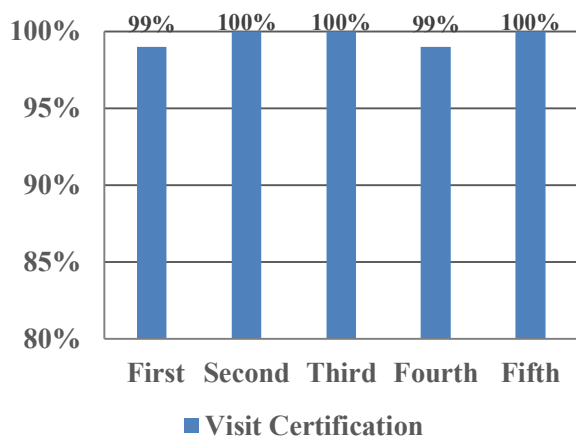


Fig. 6. The experiment result of user visit certification using the proposed application at five spaces

Fig. 6에서 First ~ Fifth는 실험 공간 1에서 5를 의미하며 각 공간은 공간 이름과 동일하게 Table 1의 해당 트리거 신호가 지속적으로 발생하였고 각 공간에 실험자 10명이 동시에 10회씩 방문 인증을 실시하도록 하였다. 이때 공간별 인증 시도는 방문 시 1회만 하였으며, 인증 오류가 발생하는 경우 더 이상 인증 시도를 하지 않게 하였다. Fig. 6의 실험 결과에 분석하면 1 공간 99%, 2 공간 100%, 3 공간 100%, 4 공간 99%, 5 공간 100% 인증 성공률을 나타냈으며, 전체 5 공간의 인증 성공률 평균은 99.6%으로 높은 정확도를 보임을 확인할 수 있다. 1 공간과 4공간에서 각각 1%의 인증 실패가 발생하였는데, 이는 실험 공간의 창문을 열어둔 경우거나, 실험 참가자가 인증 시도 시 스마트 기기의 마이크 부분을 가리거나 하여 트리거 신호가 정확히 인식되지 않고 인증 절차가 진행되지 않은 것으로 예상된다.

다음 실험으로 블루투스 BLE 비콘 신호를 트리거 신호로 사용한 방문 인증 애플리케이션을 개발하여 앞의 실험과 동일한 공간에서 동일한 조건으로 실험을 진행하였다. 제안 방법 성능 테스트를 위해 사용한 스피커와 동일한 위치에 BLE 비콘을 배치하였으며, 10명의 참여자가 각 공간

을 차례로 10회씩 동시에 방문하였다. 실험에 사용한 BLE 비콘은 Helptor Korea회사에서 판매하는 i4 비콘을 사용하였으며, Fig. 7은 BLE 비콘을 사용한 실험 결과이다.

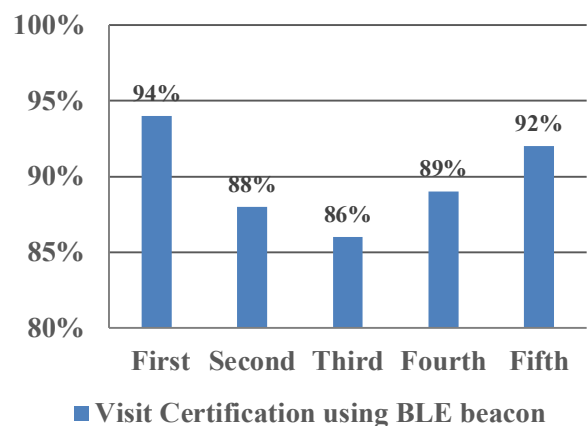


Fig. 7. The experiment result of user visit certification using BLE beacon at five spaces

Fig. 7과 같이 실험 1~5 공간에서 BLE 비콘을 사용한 방문 인증 정확도는 94%, 88%, 86%, 89%, 92%이며, 전체 평균 정확도는 89.8%이다. 제안 방법에 비해 BLE 비콘을 사용한 애플리케이션의 정확도가 각 공간에서 낮은 이유는 바로 옆에 위치한 공간에서의 BLE 신호들에 간섭 때문으로 예상되며, 실험 결과에 따라 제안 트리거 신호를 이용한 방문 인증 방법이 BLE 비콘을 사용한 것보다 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 게다가 BLE 비콘을 사용하는 경우 실험 진행 중 사용자가 항상 블루투스 기능을 켜 놓아야 동작하기 때문에 이를 끄고 있는 경우 제대로 인식되지 않는 경우도 발생하기도 하였다.

다음으로 QR 코드를 이용한 방문 인증 방법과 비교 실험을 위해 방문자가 QR 코드를 인식하는 방식의 애플리케이션을 제작하고, 연구실 5곳에 QR 코드를 프린트하여 각각 배치하였다. 실험 방법은 각 연구실에 10명의 실험 참가자가 차례로 입장하며 QR 코드 인증을 하는데 걸리는 시간을 측정하였으며, 오류로 인한 인증 실패 시 다시 시도하여 인증을 완료하게 하였다. 제안 방법을 사용하는 실험에서도 10명의 실험 참가자가 차례로 입장하며 제안 애플리케이션을 실행하여 방문 인증을 하는데 걸린 시간을

측정하였으며, QR 코드 실험과 동일하게 오류 발생 시 다시 시도하여 인증을 완료하게 하였다. 두 실험 모두 인증을 위해 애플리케이션을 실행한 후부터 인증이 완료되기까지의 시간을 측정하였으며, 각 공간 별 인증 시험은 총 10회 실시하였고 Fig. 8은 비교 실험의 결과이다.

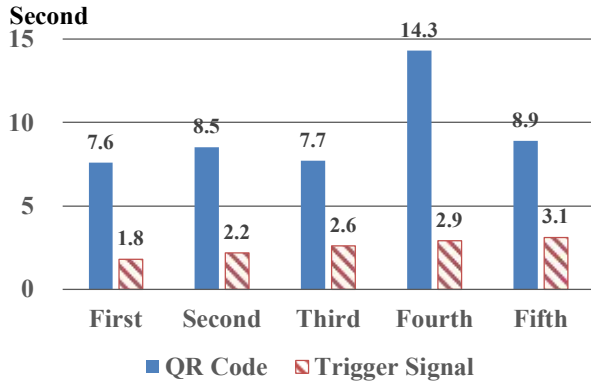


Fig. 8. The result of time measurement for user visit certification using QR code and the proposed application

Fig. 8에서 QR 코드를 이용한 방문 인증은 1~5공간에서 각각 7.6초, 8.5초, 7.7초, 14.3초, 8.9초가 소요되어 평균 9.4초가 걸렸다. 대부분의 공간에서 7~9초 소요가 되는 반면 4 공간에서 14.3초가 걸린 이유는 QR 코드 인식 시 조명의 영향을 받았거나, QR 코드 인식을 위한 카메라 위치를 적절히 배치하지 못한 문제로 예상되며, 4 공간을 제외한 1~5공간에서의 소요 시간은 8.18초이다. 반면에 제안 방법은 1.8초, 2.2초, 2.6초, 2.9초, 3.1초로 평균 2.52초이며, 모든 공간에서 오류 없이 약 3초 이내에 인증하는 것을 확인함으로써 제안 방법이 QR 코드 인식보다 우수한 성능을 보임을 확인했다.

마지막 실험으로 동일한 건물이 아닌, 50 m 이상 떨어진 다른 세 개 공간에서 동일한 트리거 신호 사용 시 제안 애플리케이션의 방문 인증 성능에 대한 실험을 진행하였다. 이는 동일 트리거 신호를 사용하더라도 사용자의 위치 정보에 따라 정확한 방문 인증을 제공하기 위한 것이다. 스피커의 위치는 첫 실험과 동일한 조건으로 하였으며, 실험 방법은 1명의 실험 참가자가 각 공간 10회, 20회, 50회, 100회 방문 인증을 실시하였고, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. The experiment result of visit certification using the proposed application at each space

Times	A space	B space	C space
10	100%	100%	100%
20	100%	100%	100%
50	99%	100%	100%
100	100%	100%	99%

Table 2에서 각 공간은 A, B, C space로 하였으며, 각 공간의 GPS 값은 A(37.379297, 126.927540), B(37.380938, 126.926215), C(37.380499, 126.928816)이고, 10회와 20회 인증 시도 시 모든 공간에서 100% 인증한 것을 확인 할 수 있다. 50회에서는 A 공간에서 99%, 그 밖에 공간에서는 100% 인증 성공 하였으며, 100회에서도 C 공간을 제외한 100% 인증 성공을 보였다. 즉 10회, 20회, 50회, 100회 점진적인 인증 실험에서 99% 이상의 인증 성공을 보임으로써 제안 방법이 32bit 값을 사용하더라도 여러 지역에서 활용 가능한 것을 확인했다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 스마트 기기의 내장 마이크와 실내 공간에 설치된 스피커를 이용하여 새로운 방법의 사용자 방문 인증 시스템을 제안하였다. 그리고 고주파 트리거 신호를 활용하는 제안 애플리케이션과 서버 시스템을 사용한 사용자 인증 방법이 QR 코드나 BLE 블루투스를 이용한 방법에 비해 우수한 성능을 보이는 것을 실험을 통해 확인하였다. 즉, 제안 시스템은 다중이용시설 방문자들이 방문 인증을 할 때 보다 빠른 속도와 높은 정확도를 보이는 유용한 기술로 활용 될 수 있을 것이다.

추후 연구로는 제안 애플리케이션과 서버 시스템을 이용하여 서버 시스템에 저장된 개별 사용자의 방문 이력을 활용한 이동 경로 추적 애플리케이션을 개발할 것이다. 이는 코로나19 사태에 반드시 필요한 기술로써 개별 사용자들이 방문한 이력을 추적하는 자동화 시스템을 마련함으로써 코로나 확진자 발생 시 빠른 역학 조사 뿐 아니라, 같은 공간에 함께 있었던 사람들의 정보 또한 동시에 파악할 수 있는 유용한 기술로 활용될 수 있도록 할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research project was supported in part by the Ministry of Education under Basic Science Research Program(NRF-2020R1F1A1048133), respectively.

## REFERENCES

- [1] Denso Wave Incorporated, QRcode.com. Aichi(JP): Denso Wave Incorporated 2014, <http://www.qrcode.com/en/>
- [2] S. Biswas, W. Banerjee, S. Saha, S.S Maity, T. Bhattacharyya, and S. Sadhu, "GPS tracking, QR code scanner based application to help the health workers and common citizens during Covid-19," In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1797, No. 1, pp. 012026, February 2021.
- [3] K.H. Jeong and W. Han, "A study on the vitalization plan of local tourism and corona blue alleviation by using the electronic access register (KI-Pass) System," *The KIPS Spring Conference 2021*, pp. 75-77, Ewha Womans University, Seoul, South Korea, May 2021.
- [4] K.J. Kim, Tech companies offer their own takes on visitor logs, <https://koreajoongangdaily.joins.com/2021/06/09/business/industry/kakao-naver-pass/20210609165900369.html>, June 2021.
- [5] U. Lee and A. Kim, "Benefits of mobile contact tracing on COVID-19: Tracing capacity perspectives," *Frontiers in Public Health*, Vol. 9, pp. 586615, March 2021. DOI:10.3389/fpubh.2021.586615
- [6] T. K. Sharma, Jeju Island in South Korea launches blockchain-based app to track COVID-19, <https://www.blockchain-council.org/blockchain/jeju-island-in-south-korea-launches-blockchain-based-app-to-track-covid-19/>, January 2021.
- [7] K. Won, S. Yeoum, B. Kang, M. Kim, Y. Shin, and H Choo, "Inaudible transmission system with selective dual frequencies robust to noisy surroundings," *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1-6, Las Vegas, USA, January 2020. DOI:10.1109/ICCE46568.2020.9042989
- [8] P. Bihler, P. Imhoff, and A. B. Cremers, "SmartGuide-A smartphone museum guide with ultrasound control," *Procedia Computer Science*, Vol. 5, pp. 586-592, 2011. DOI: 10.1016/j.procs.2011.07.076
- [9] J. B. Kim, J. E. Song, and M. K. Lee, "Authentication of a smart phone user using audio frequency analysis," *Journal of Korea Institute of Information Security and Cryptology*, Vol. 22, No. 2, pp. 327-336, April 2012.
- [10] M.B. Chung, "A disembarking notification system in public city buses using smart device and high frequency," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 25, No. 8, pp. 55-63, October 2020. DOI:10.9708/jksoci.2020.25.08.055
- [11] M.B. Chung, "User density estimation system at closed space using high frequency and smart device," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 22, No. 11, pp. 49-55, November 2017. DOI:10.9708/jksoci.2017.22.11.049
- [12] M.B. Chung, "Short distance data transmission method using inaudible high-frequencies between smart devices," *Telecommunication Systems*, Vol. 70, No. 4, pp. 583-594, April 2019. DOI:10.1007/s11235-018-0497-2
- [13] J.T. Kim, "The effects of noise on the human body(I) - Mystery of listening," *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 243-252, October 1992.
- [14] H.G. Yon, D.W. Kim, J.G. Yook, and H.K. Park, "Physical layer standard for CDMA2000 spread spectrum systems, 2000," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 86, No. 3, pp. 1170-1173, 2003.

## Authors



Myoungbeom Chung received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Dept. of Digital Media from Soongsil University, Korea, in 2004, 2006 and 2010, respectively. Dr. Chung worked on BK21 project as a post-doctoral

follow at the Soongsil University at Seoul, in 2010 and 2011. From 2012 to 2014, he was with the School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University (Korea). Since 2015, he is now an assistant professor of Division of Computer Engineering, Sungkyul University (Korea). His research interests include high frequency communication, copyright protection technique, mobile computing, mobile software development, audio signal processing, and recommendation system.