

Detection system of Robust High Frequency Range via Noise Collection and Analysis

Myoungbeom Chung*

Abstract

Recently, there are various researches using inaudible high frequencies like as wireless communication based smart devices, data transmission algorithm, indoor positioning trace technologies. However, when they use high frequencies of inaudible range, they have a problem that the accuracy of data transmission with high frequencies was low because of interference from ambient noise in our real life. To solve this problem, in this paper, we proposed an application based on smart phone and server system for collection of ambient noise and detection of robust high frequency range. The server system could detect the robust high frequency range from statistical analysis of collected noise and the robust high frequency could avoid interference from ambient noise. We tested the proposed application's ability to gather noise and high frequencies for a certain period of time to evaluate performance. According to the testing results, we confirmed that the proposed application and server system could detect a robust high-frequency range via noise analysis in real life. Therefore, the proposed application and server could be a useful technology for future research on inaudible high frequencies.

▶ Keyword : Smart device, Robust high frequency, Inaudible frequency, Wireless communication, Data transmission technology

1. Introduction

최근 스마트 기기의 무선 통신 기술과 하드웨어 성능이 급격히 향상됨에 따라 스마트 기기의 애플리케이션 기반 데이터 수집 기술이 많이 연구되고 있다. 관련 연구로는 스마트 기기와 스마트 밴드를 이용한 사용자의 운동량을 측정하는 기술 [1][2], 스마트 기기의 다양한 내장 센서를 이용한 사용자 이동 및 활동 분석 기술 [3][4], 스마트 기기 내에 애플리케이션을 설치하여 사용자의 스마트 기기 사용 행태를 분석하는 기술 [5] 등이 있다. 그리고 이러한 연구는 대부분 빅데이터 분석을 위해 서버와 연동된 기술을 활용한다 [6]. 예를 들어 사용자 이동 및 활동 분석 기술은 수집한 데이터들을 서버로 전송하여 많은 사용자들이 지나가는 경로 및 머물러 있는 장소를 분석하고, 그 정보를 통해 사람들이 주로 찾는 장소, 선호하는 위치 등과 같은 다양한 서비스 모델로 활용할 수 있다 [7]. 사용자의

스마트 기기 사용 행태 분석 기술도 이에 머무르지 않고, 서버에 데이터를 지속적으로 보내고 그 정보를 분석함으로써 그 사용자의 스마트 폰 사용 중독 정도를 판단하는 기술도 점차 연구되고 있다 [8].

스마트 기기를 이용한 다른 연구로는 스마트 기기의 내장 스피커와 마이크를 이용한 새로운 통신, 데이터 전송 기술들이 제안되고 있다. Kim은 스피커가 출력할 수 있는 가청주파수 범위 중 18kHz ~ 22kHz의 고주파를 사용하여 PC와 스마트 기기간의 사용자 인증을 하는 기술이 제안 되었으며 [9], Bihler는 MCU와 Piezo 스피커를 이용하여 고주파를 통한 스마트 박물관 가이드 애플리케이션을 개발하였다 [10]. 그리고 Chung은 고주파를 이용하여 근거리에서 위치한 스마트 기기에 광고 제공 기술을 제안하였을 뿐 아니라, 여러 대의 스마트 기기들 간에 데이터를 동시에 공유할 수 있는 기술을 개발하였다 [11-13]. 그러나 이와 같은 기술들은 단지 사람의 귀에 들리지 않는 범위에서 고주파를 사용한다는 장점이 있을 뿐, 실생활에서 발생할 수 있는 주변 소음의 간섭은 전혀 고려하지 않고 있는 문제

*First Author: Myoungbeom Chung, Corresponding Author: Myoungbeom Chung

*Myoungbeom Chung(nzin@ssu.ac.kr), Division of Computer Engineering, Sungkyul University

Received: 2016. 11. 09, Revised: 2016. 11. 14, Accepted: 2016. 12. 19.

This research project was supported in part by the Ministry of Education under Basic Science Research Program (NRF-2013R1A1A2061478) and (NRF-2016R1C1B2007930), respectively.

점이 있다. Bihler의 제안 방법을 실생활에서 사용할 경우 데이터 전송 정확도는 50%도 되지 않을 뿐 아니라, Chung이 제안한 방법의 실험 환경도 실생활이 아닌 단지 스피커를 통한 정해진 소음만 있을 뿐이기 때문에 실생활에서 주변 소음의 간섭으로 인해 데이터 전송 정확도가 낮아질 가능성이 있다.

따라서 본 논문에서는 스마트 기기에 내장된 마이크를 이용하여 실생활에서 발생하는 소음들의 고주파를 수집 및 분석하고, 서버를 통해 수집된 데이터를 통계 처리하여 주로 발생하지 않는 고주파 영역(강인한 고주파 영역)을 검출하는 시스템을 제안한다. 스마트 기기의 내장 마이크를 사용한 고주파 수집 분석을 위해 FFT 분석 알고리즘 기반 애플리케이션을 개발하며, 이 애플리케이션은 사용자가 스마트 기기를 들고 다니면서 주변에서 발생하는 모든 소음을 수집, 소음에 포함된 다양한 고주파를 분석한다. 그리고 강인한 고주파 영역을 검출하는 서버는 애플리케이션에서 수집된 고주파 값들을 지속적으로 전송 받아 데이터베이스에 저장한 후 각 고주파의 발생 빈도가 낮은 것을 높은 순위로 하여 강인한 고주파 영역을 검출한다. 우리는 제안 애플리케이션과 강인한 고주파 영역 검출 시스템의 성능을 확인하기 위해 7일 동안 제안 애플리케이션과 서버를 이용한 실생활 소음을 수집 하였으며, 이를 통해 실생활 소음의 간섭을 받지 않는 강인한 고주파 영역을 검출 할 수 있는 것을 확인 하였다. 즉, 제안 시스템을 통해 주변 소음의 간섭을 받지 않는 강인한 고주파 영역을 검출함으로써, 기존 연구에서 사용되는 고주파 활용 기술들의 데이터 전송 성능을 향상할 수 있는 유용한 기술이 될 것이다.

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

II. Related Work

한편 장에서는 가청주파수 영역에서의 고주파를 이용한 다양한 통신 연구들을 소개한다. 가청 주파수 범위는 보통 16 Hz~20 kHz의 주파수 대역이며, 스마트 기기에 내장된 마이크는 가청 주파수 범위를 충분히 포함하는 10 Hz~22 kHz의 주파수 대역을 인식할 수 있다. 이러한 특징을 이용하여 가청 주파수 범위의 고주파는 초음파를 대신하여 실내의 사용자 위치를 찾는 신호로 초기 사용되었다 [14, 15]. 그리고 스마트 기기의 CPU 성능이 발달함에 따라 내장 마이크를 통해 인식되는 소리를 실시간 처리 하는 것이 가능해졌으며, 고주파를 하나의 무선 신호로 사용하는 연구들이 활발히 이루어졌다.

Bihler는 고주파와 WiFi를 함께 사용하여 박물관에서 스마트 가이드를 제공하는 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 사용

자의 스마트 기기에 고주파를 이용한 트리거 신호(Trigger signal)를 전송하며, 이를 인식한 스마트 기기는 서버로부터 해당 전시물의 정보를 제공하게 된다. 이때 Bihler가 사용한 고주파는 20 kHz와 22 kHz 이며, 이 두 주파수를 이용하여 Frequency Shift Keying(FSK) 기술을 사용함으로써 208ms 동안 총 8 bits의 데이터를 전송할 수 있다. 그리고 데이터 전송 시 발생할 수 있는 오류를 처리하고자 8 bits 데이터에 해밍 코드를 적용하였다. 그러나 이 신호는 짧은 시간 동안 주파수가 급격히 변화하기 때문에 스피커에서 잡음이 발생하며, 1m 이상 거리가 떨어진 경우 데이터 전송 정확도가 50%조차 되지 않는 단점이 있다. Kim은 고주파를 이용하여 스마트 기기와 PC 간의 사용자 인증 방법을 제안하였다. 인증을 위한 고주파는 15.8 kHz ~ 20 kHz 영역을 사용하며, 두 개의 주파수를 선정하고 2채널 비트 신호를 보낸 후 그 값에 대한 인증 값을 다시 WiFi를 통해 전송하여 인증하는 방식이다. 이 방법은 1초 간격을 두고 4번의 신호를 발생 시키며, 총 8초 동안 2 byte의 데이터를 보낼 수 있다. 그러나 이 방법은 전송한 데이터에 대한 오류를 판단할 수 없고, 17 kHz 이하의 주파수를 사용하기 때문에 사람들에게 쉽게 인식되는 문제점이 있다.

다음으로 Chung은 고주파와 WiFi를 이용하여 근거리에서 위치한 스마트 기기들 간에 데이터를 공유하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 3개의 고주파를 이용하는데, 2개의 변하지 않는 기반 신호와 1개의 변경 되는 low-latency를 사용한다. 이때 low-latency는 근거리 데이터 공유 시 주파수 key 값을 적용하는 것으로 고주파 신호를 받는 스마트 기기에서 트리거 신호로 인식할 코드 값이다. 그리고 이 방법은 실제 데이터 전송으로 WiFi를 사용하기 때문에 앞선 연구들과는 달리 트리거 신호에 대한 시간 대비 데이터 전송 크기가 주요한 역할을 하지 않았다.

III. Application for Analysis of Ambient noise and Detection System of Robust High Frequency Range

본 장에서는 스마트 기기를 이용하여 주변 소음의 고주파를 분석하고 분석 데이터를 서버로 전송하여 강인한 고주파 영역을 검출하는 시스템에 관하여 설명한다. 제안 시스템의 전체적인 흐름은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 스마트 기기는 주변에서 발생하는 TV 소리, 공사장 소음, 차량 버스 등에 의한 실생활 소음들을 내장 마이크를 통해 수집한다. 수집한 소음은 실시간 Fast Fourier Transform (FFT) 변환 처리를 하며, 사람들이 들리지 않는 고주파 영역 15 kHz ~ 22 kHz 데이터만을 선별하여 스마트 기기 내 데이터베이스에 저장한다. 그리고 저장한 고주파 영역 데이터들은 일정량 이상의 데이터가 모이면, 서버로 저장된 데이터를 전송한 후 삭제한다. 서버는 스마트 기기들로부터 전달받은 고주파 영역 데이터들을 수집하며, 통계 분석

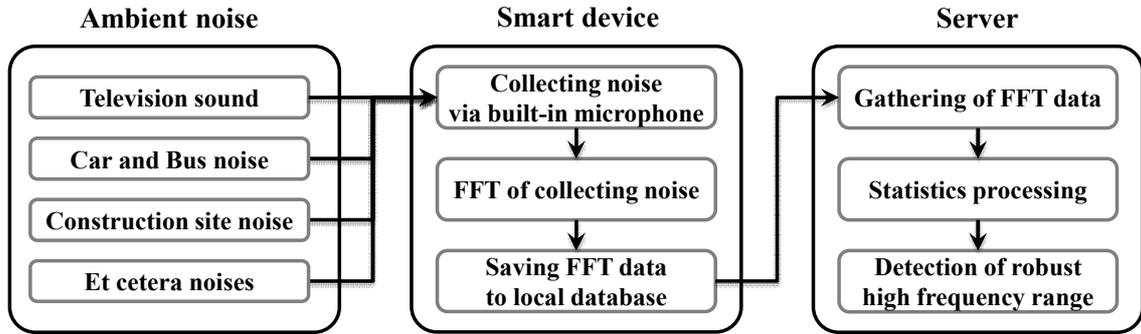


Fig. 1. The flow of the proposed application and server

을 하여 실생활 주변 소음에서 발생 빈도수가 적은 고주파 영역을 선별하여 강인한 고주파 영역을 검출한다.

이때 스마트 기기에서 수집하는 고주파 데이터는 100 Hz 단위로 수집하며, 각 단위에 대하여 주파수 bin(Frequency bin)의 수에 따라 해당 주파수의 존재 유무를 판단하고 그 수치를 스마트 기기내의 데이터베이스에 저장한다. 100 Hz 단위로 수집하는 이유는 앞선 대부분의 고주파 연구가 100 Hz 단위로 주파수 신호를 사용해왔기 때문이며, 그보다 낮은 단위의 주파수 구분을 사용할 경우 간섭에 의한 오류가 발생하기 때문이다. 즉, 스마트 기기는 아래 Fig. 2(a)와 같은 주변 소음을 수집하고, FFT 변환하여 Fig. 2(b)와 같이 다양한 주파수들로 구성된 것을 확인 할 수 있다.

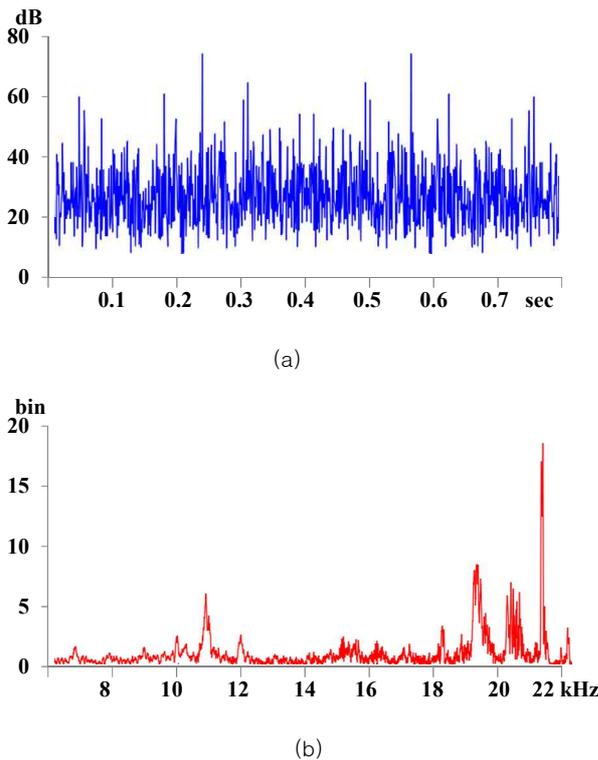


Fig. 2. An example about collected noise via built-in microphone and FFT data from the collected noise; (a) noise wave around smart device, (b) frequencies group via FFT from noise wave

그리고 Fig. 2(b)에서 주파수 값이 15 kHz 이상이면서, 주파수 bin의 개수가 일정 값 α 를 초과 하는 경우 현재의 소음에 해당 주파수가 존재하는 것으로 판단한다. Fig. 2(b)의 15 kHz ~ 22 kHz 영역을 보다 상세히 100 Hz단위로 나누면 아래 Fig. 3과 같다.

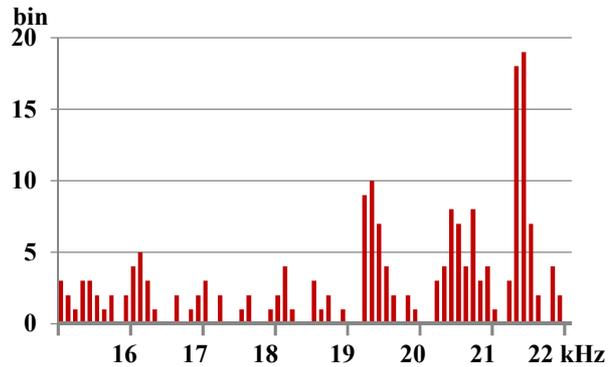


Fig. 3. FFT data from 15 kHz to 22 kHz from noise wave

Fig. 3에서 주파수 Bin 값이 5를 초과하는 고주파는 19.2, 19.3, 19.4, 20.4, 20.5, 20.7, 21.3, 21.4, 21.5 kHz 인 것을 확인할 수 있으며, 그 밖에 영역에서는 5 이하의 값을 갖는다. 즉, 스마트 기기에서는 실시간으로 FFT 분석을 하여 위와 같은 100 Hz 단위에 대한 각 주파수 별 Bin 값을 확인 하고, 일정 값 α 를 5로 하는 경우 총 아홉 개의 위치에서 고주파 값이 존재한다고 판단한 후 그 위치에 주파수 Bin 값을 스마트 기기의 데이터베이스에 분석한 시간과 함께 저장한다. 다음으로 서버는 스마트 기기에서 전송 받은 데이터를 수집한 시간과 함께 실제 데이터 수집 테이블에 입력하며, 그와 동시에 일정 값 α 를 초과하는 값들에 대하여 존재 유무를 구별하고 통계 테이블을 업데이트 한다. 데이터 수집 테이블은 스마트 기기에서 전송한 데이터를 가공 없이 저장하는 것으로 일정 값 α 를 초과하는 데이터들 모두 15 kHz ~ 22 kHz 범위의 주파수 Bin 값 그대로 저장한다. 즉 아래 Table 1과 같은 schema를 갖는다.

Table 1. System Environment

| Schema | Type | Descript |
|---------------------|---------|---|
| no | int(10) | Number for counting of FFT data |
| time | int(13) | Time stamp when FFT data was saved at smart device |
| s150 ... s220 | int(2) | Frequency bin value of FFT data from 15.0 kHz to 22.0 kHz |
| reg_date | int(13) | Time stamp when FFT data from smart device was saved |

그리고 강인한 고주파 영역 검출을 위한 통계 테이블은 Table 1의 데이터 수집 테이블과 동일한 schema를 가지며, 스마트 기기에 FFT data가 저장된 시간을 나타내는 time 필드를 갖지 않는다. 통계 테이블은 데이터 수집 테이블과 달리 해당 고주파가 있는지 유무만을 체크하는 것이므로, 스마트 기기로부터 데이터를 전송 받을 시 저장된 데이터를 불러와 존재하는 고주파 값을 추가하여 업데이트 한다. 그리고 통계 테이블에 누적된 각 고주파 영역별 값을 통계 넘으로서 실생활의 다양한 소음으로부터 발생하는 고주파들을 확인할 수 있으며, 발생 빈도수가 적은 고주파 영역을 선정함으로써 강인한 고주파 영역을 추출할 수 있다.

IV. Experiments and Evaluation

본 장에서는 강인한 고주파 영역 검출을 위해 실생활의 주변 소음을 수집하기 위해 개발한 스마트 기기 기반 애플리케이션을 소개하며, 제안 애플리케이션과 서버 시스템을 이용한 실험 및 결과를 분석한다. 먼저 실생활 주변 소음을 수집하는 애플리케이션은 iOS 기반으로 개발하였으며, 아래 Fig. 4와 같은 구성을 갖는다.

Fig. 4에서 왼쪽에 위치한 그래프(①)는 현재 수집한 고주파 영역의 각 주파수 범위에 주파수 Bin 값을 나타낸 것으로 16.4~17.0, 18.0~18.5, 19.0~19.5, 20.8~21.1 kHz 고주파 영역이 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 오른쪽(②)에 위치한 “Frequency check” 버튼은 사용자가 터치 했을 때 현재의 주변 소음을 분석하고, FFT data 값을 왼쪽 그래프에 나타내게 된다. 이때 FFT 분석을 위한 알고리즘은 48,000 샘플링 레이트를 사용하였으며, Baoshe Zhang이 구현한 FFT library를 사용하였다 [16]. 그 아래 위치한 “Start gathering noise”는 사용자가 터치를 하면서부터 일정 간격으로 지속적인 주변 소음을 수집, 분석하기 시작하며 데이터를 수집한 시간은 아래에 GTime 부분(③)에 나타나게 된다. 즉, GTime 옆의 00:08:21은 애플리케이션이 주변 소음을 총 8분 21초 동안 수집해 오고 있다는 것이다. 다음으로 “Send gathering data” 버튼을 사용자가 터치하는 순간 스마트 기기 내에 현재까지 수집했던 모든 FFT 데이터를 서버로 전송하게 되며, 화면의 맨 오른쪽 아래 위치한 Last send에 최종적으로 데이터를 전송한 시간이 나타나게 된다. 물론 데이터가 지정한 크기 이상 저장되었을 경우 사용자가 “Send gathering data” 버튼을 터치하지 않더라도 스마트 기기가 자동으로 전송하게 되어 있다.

다음으로 개발한 애플리케이션과 데이터 통합 서버를 이용하여 강인한 고주파 영역을 검출 실험을 실시하였다. 실험자는 제안 애플리케이션을 아침 9시-10시, 점심 12시-1시, 저녁 6시-7시와 같이 하루 총 3시간씩 7일간 실행하여 일상생활을 보냈다. 실험자가 실험 기간 동안 활동한 영역은 집, 커피숍, 연구실, 출근 길 지하철, 버스 정류장, 퇴근길 버스 등과 같이 다양한 환경이었다. 이때 스마트 기기의 애플리케이션은 2분 간격으로 1회 주변 소음을 분석 수집하게 하였으며, 실험자는 매 수집이 끝나는 시간에 “Send gathering data” 버튼을 터치하여 데이터를 서버로 전송하게 하였다.

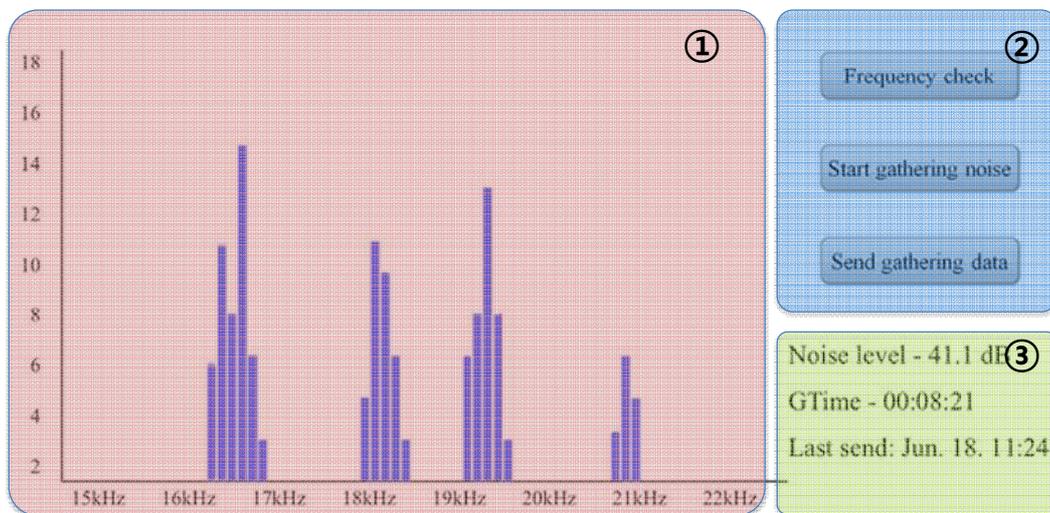


Fig. 4. Main screen composition of the proposed application for collecting around noise

| no | time | s150 | s155 | s160 | s165 | s170 | s175 | s180 | s185 | s190 | s195 | s200 | s205 | s210 | s215 | s220 | reg_date |
|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| 1 | 1463356872 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1463360475 |
| 2 | 1463356992 | 0 | 3 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 3 | 1463357112 | 0 | 3 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 4 | 1463357232 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 5 | 1463357352 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 6 | 1463357472 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1463360475 |
| 7 | 1463357592 | 0 | 11 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 8 | 1463357712 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 9 | 1463357832 | 0 | 3 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1463360475 |
| 10 | 1463357952 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1463360475 |

Fig. 5. The example of gathering FFT data from smart device

데이터를 수집, 통계 처리하는 서버 환경 Apache 2.2.14, PHP 5.2.12, MySQL 5.1.39를 사용하였으며, Intel(R) Core(TM) i5 CPU 750, 8G Ram 하드웨어를 사용하였다. 통계 서버의 데이터 수집 테이블은 본 실험을 통해 총 630개의 실생활 소음 분석 레코드를 수집하였으며, Fig. 5는 수집 테이블 일 부분을 가져온 예시이다. Fig. 5에서 time 필드에 있는 값은 실험 설명에서와 같이 스마트 기기에 해당 레코드의 값이 저장된 시간이다. time 값은 1970년 1월 1일 00시 00분 00초를 시작으로 한 값이며, 첫 레코드에 있는 값 1463356872는 2016년 5월 16일 9시 1분 12초를 의미한다. 그리고 s150에서 s220까지 총 71 필드에 15.0 kHz ~ 22.0 kHz 영역의 고주파 주파수 Bin 값을 저장하였으며, Fig. 5에서는 그 중 일부만을 선택하여 보여주고 있다. 그리고 reg_date는 10개의 레코드가 같은 값을 가지는데, 이는 스마트 기기의 FFT data가 전송되어 저장되는 시간으로 동일한 시간에 데이터가 저장된 것을 확인할 수 있다. 다음으로 데이터 수집 테이블의 데이터로부터 해당 고주파 영역의 존재 유무를 저장하는 통계 테이블의 결과는 아래 그림 6과 같다.

Fig. 6은 7일간의 데이터를 수집한 후 통계 테이블의 고주파 영역별 발생 빈도를 그래프로 표현한 것으로 15.0 kHz ~ 15.2 kHz, 15.8 kHz ~ 16.2 kHz, 17.2 kHz ~ 17.5 kHz, 18.2 kHz ~ 18.5 kHz, 20.1 kHz 21.5 kHz 등에서 고주파가 거의 존재하지 않는 것을 볼 수 있다. 즉, 위의 그래프에서와 같이 고

주파가 존재하지 않는 영역이 실생활에서 발생 빈도수가 적은 영역임을 알 수 있다. 따라서 본 시스템을 통해 실생활의 소음으로부터 발생 빈도수가 적은 고주파 영역을 검출할 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 스마트 기기의 내장 마이크를 이용하여 실생활의 주변 소음으로부터 고주파를 수집 분석하는 애플리케이션과 서버를 통해 통계 처리하여 주로 발생하지 않는 고주파 영역을 검출하는 시스템을 제안하였다. 그리고 실험을 통해 제안 애플리케이션이 실생활 주변 소음을 실시간 수집 분석하며, 서버로 정확히 고주파 FFT 데이터를 전송하고, 통계 테이블을 통해 주로 발생하는 고주파와 그렇지 않은 고주파를 분류할 수 있는 것을 확인하였다. 즉, 제안 시스템은 주변 소음의 간섭을 받지 않는 강인한 고주파 영역을 검출하는 유용한 시스템이 될 것이며, 기존 연구에서 사용되고 있는 고주파 활용 기술들의 데이터 전송 성능을 향상할 수 있는 효과적인 기술이 될 것이다.

추후 연구로는 본 논문에서는 제안 애플리케이션과 서버를 이용한 실험으로 고주파의 유무를 판단하기 위한 일정 값 α 를 5로 고정하여 사용하였기 때문에 이 값을 변화시키면서 고주파 영역 빈도수를 통계 처리하는 실험이 필요하다. 그리고 본 연구에서는 전 일정이 아닌 하루 3시간으로 데이터 수집 시간을 정하였기 때문에 보다 많은 데이터 수집이 필요하다.

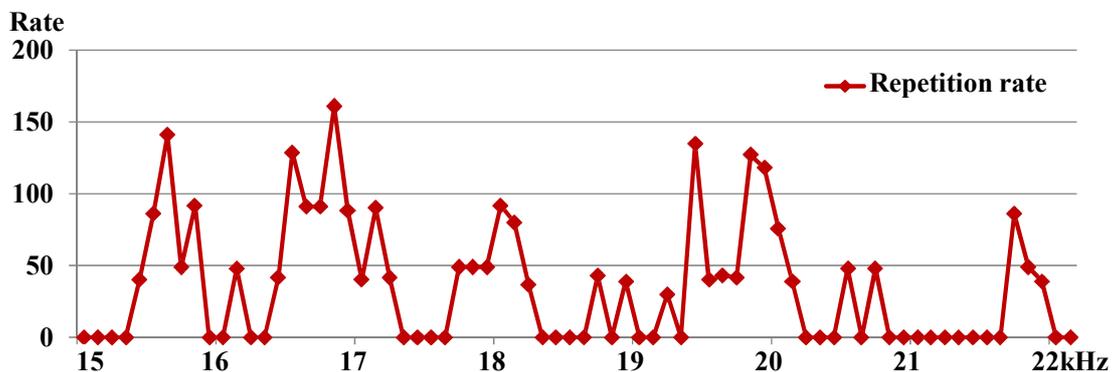


Fig. 6. The high frequency chart from statistics table of server

따라서 전 일상생활과 보다 오랜 기간 동안의 고주파 데이터 수집을 통한 빅 데이터 기반 통계 처리 연구를 진행할 것이다.

REFERENCES

- [1] J. T. Park, H. S. Hwang, and I. Y. Moon "Study of Wearable Smart Band for a User Motion Recognition System," *International Journal of Smart Home*, Vol. 8, No. 5, pp. 33-44, September 2014.
- [2] S. Jhajharia, S. K. Pal, and S. Verma "Wearable Computing and Its Application," *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 5, No. 4, pp. 5700-5704, 2014.
- [3] C. Bo, L. Zhang, X. Y. Li, Q. Huang, and Y. Wang, "Silentsense: Silent User Identification via Touch and Movement Behavioral Biometrics," *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Computing & Networking*, pp. 187-190, 2013.
- [4] X. Wu, K. N. Brown, and C. J. Sreenan, "Analysis of Smartphone User Mobility Traces for Opportunistic Data Collection in Wireless Sensor Networks," *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 9, No. 6, pp. 881-891, December 2013.
- [5] H. Falaki, R. Mahajan, and D. Estrin, D. "SystemSens: A Tool for Monitoring Usage in Smartphone Research Deployments," *Proceedings of the 6th International Workshop on MobiArch*, pp. 25-30, 2011.
- [6] G. Chittaranjan, J. Blom, and D. Gatica-Perez "Mining Large-scale Smartphone Data for Personality Studies," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 17, No. 3, pp. 433-450, March 2013.
- [7] M. Abe, D. Fujioka, and H. Handa, "A Life Log Collecting System Supported by Smartphone to Model Higher-level Human Behaviors," *Proceedings of the 6th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS)*, pp. 665-670, 2012.
- [8] J. Y. Mok, S. W. Choi, D. J. Kim, J. S. Choi, J. Lee, H. Ahn, and W. Y. Song, "Latent Class Analysis on Internet and Smartphone Addiction in College Students," *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, Vol. 10, pp. 817-828, May 2014.
- [9] J. B. Kim, J. E. Song, and M. K. Lee, "Authentication of a Smart Phone User using Audio Frequency Analysis," *Journal of the Korea Institute of Information Security and Cryptology*, Vol. 22, No. 2, pp. 327-336, April 2012.
- [10] P. Bihler, P. Imhoff, and A. B. Cremers, "SmartGuide: A Smartphone Museum Guide with Ultrasound Control," *Procedia Computer Science*, Vol. 5, pp.586-592, August 2011.
- [11] M. B. Chung, and H. S. Choo, "Near Wireless-control Technology between Smart Devices using Inaudible High-frequencies," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 74, No. 15, pp. 5955-5971, August 2015.
- [12] M. B. Chung, "An Advertisement Method using Inaudible Sound of Speaker," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 20, No. 8, pp. 7-13, August 2015.
- [13] M. B. Chung, "Effective Near Advertisement Transmission Method for Smart-devices using Inaudible High-frequencies," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 75, No. 10, pp. 5871-5886, May 2016.
- [14] V. Filonenko, C. Cullen, and J. D. Carswell, "Indoor Positioning for Smartphones using Asynchronous Ultrasound Trilateration," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 2, No. 3, pp. 598-620, June 2013.
- [15] B. Thiel, K. Kloch, and P. Lukowicz, "Sound-based Proximity Detection with Mobile Phones," *Proceedings of the 3rd International Workshop on Sensing Applications on Mobile Phones*, pp. 4, 2012.
- [16] Z. Baoshe, Java FFTPack, <http://jfftpack.sourceforge.net>

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 fellow

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 copyright protection technique, mobile computing, mobile software development, audio signal processing, and recommendation system.