논문 2016-11-16

스마트폰의 블루투스와 초음파를 이용한 향상된 실내 영역 결정

(Advanced Indoor Zone Detection with Bluetooth and Ultrasound of Smartphone)

권 진 세, 이 제 민, 김 형 신*
(Jin-Se Kwon, Je-Min Lee, Hyung-Shin Kim)

Abstract : Indoor zone-based services have continuously become popular by increased prevalence of smartphones. Bluetooth and ultrasound can be used for zone detection. However, bluetooth does not guarantee precise zone detection if the signal degrades due to the obstacles. Ultrasound can be easily forged by recording sound on the smartphone. For that reason, zone detection based on ultrasound has a security hole. To remedy each limitation, we propose an advanced zone detection method, that combines bluetooth and ultrasound. An authentication server issues a one-time password to the user over bluetooth. The user generates an ultrasound signal that encodes the password. In this manner, the proposed method ensures secure and accurate zone detection.

Keywords : Indoor zone detection, Zone-based authentication, Ultrasound and bluetooth beacon

I. 서 론

스마트폰의 보급이 가속화되면서 스마트폰을 이용한 다양한 영역 인증 서비스들이 상용화되고 있다 [1]. WI-FI AP(Access Point)를 이용한 광고 서비스는 AP를 접속하는 사용자에게 매장 정보를 제공해주는 서비스로써 기존 AP를 이용하는 장점이 있지만 사용자의 스마트폰 전력소모가 블루투스 대비 큰 단점이 있다 [2, 3]. 이를 보완하기 위해 BLE (Bluetooth Low Energy) 이용한 저 전력 영역 결정 서비스들이 출시되었다 [4]. 블루투스를 이용한 영역 결정 서비스를 적용한 매장을 지날 때 쿠폰이 발행되거나 해당 매장의 정보 및 할인 정보가 전송되는 사용자 편의 서비스가 제공되고 있다 [5]. 사용자가 매장에 진입하면 자동으로 매장을 인식하는 서비스도 출시되어 있으며, 대표적인 예로 초음파를 이용한 영역 인증 서비스인 스타벅스 사이렌오더 서비스가 있다 [6]. 블루투스나 WI-FI 통신은 2.4GHz 대역의 전파를 사용하므로 일반 벽에 대한 투과성이 발생한다. 따라서 출입구 기준으로 사용자의 출입여부를 정확히 결정하기 어렵다 [7]. 하지만 초음파는 벽에 대한 투과성이 없으므로 출입구를 기준으로 정확한 실내 영역 결정이 가능하다.

초음파는 실내에서 정확한 위치 결정에 사용되어져 왔다. 스마트폰이 사용되기 전부터 PDA (Personal Digital Assistant) 및 초음파 모듈을 이용한 실내 위치 추정 방법이 제안 되었다. 실내에 여러 개의 초음파 발생 모듈이 설치되어 있고, 초음파를 녹음할 수 있는 마이크로폰 모듈(listener)을 PDA에 장착하여 사용자의 위치를 인식할 수 있는 기능을 구현하였다 [8]. 최근에는 스마트폰을 이용한 실내 위치 추정을 위해 초음파 발생장치를 실내에 설치하고 스마트폰 내장 마이크로폰을 이용하여 위치를 추정하는 연구가 발표되었다 [9, 10]. 초음

*Corresponding Author (hyungshin@cnu.ac.kr)
Received: 31 Jan. 2016, Revised: 4 Feb. 2016. Accepted: 10 Mar. 2016.
J.S. Kwon, J.M. Lee, H.S. Kim: Chungnam National University
※ 본 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역혁신창의인력양성사업 (NRF-2014H1C1A1066721)과 충남대학교 학술연구비에 의해 수행된 연구임.

ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2016 June 11(3) 135-141
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2016.11.3.135

파를 이용한 영역 결정 기법으로는 초음파 발생 및 수음 장치를 하나의 모듈로 제작하여 출입문에 장착한 후 키와 어깨높이를 이용하여 고유한 사용자의 정보를 인식한다. 인식된 패턴을 이용하여 별도의 기기 없이도 사용자를 식별하고 출입을 구분하는 방법도 제안되었다 [11]. 이들 연구에서는 별도의 초음파 수음 모듈을 제작 및 장착해야 하거나, PDA 및 스마트폰에서 주파수 분석 연산을 수행하게 되므로 사용자 기기에서의 부하가 증가하게 된다. 또한 스마트폰에 내장된 마이크로폰을 이용하여 초음파를 인식하게 되므로, 초음파 신호를 녹음한 후 다른 장소에서 동일하게 재생하여 재연할 수 있는 단점이 존재한다.

본 연구는 블루투스와 초음파 수음을 위한 마이크로폰이 함께 장착된 접속장치(AP: Access Point)를 이용한다. 블루투스를 이용한 1단계 인증과 스마트폰 스피커를 이용하여 초음파를 출력하고 이를 비콘의 마이크로폰이 수음하여 분석하는 2단계의 인증 과정을 제안한다. 제안하는 기법이 실제 스마트폰 내장 스피커에 적용 가능한지 분석하였다. 스마트폰 내장 스피커의 주파수 응답 특성을 분석함으로써 스마트폰에서 발생하는 초음파를 이용한 서비스의 가능성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 영역 결정 상용서비스를 FFT 주파수 분석 통해 동작 주파수와 구동 방식을 분석하고, 3장에서는 기존 서비스의 한계점과 향상된 실내 영역 결정 기법의 차별성을 설명하고, 4장에서는 제안된 기법을 실제 다양한 스마트폰의 내장 스피커에 바로 적용 가능한지 주파수 응답 특성을 통해 분석하고자 하며, 5장에서 본 연구의 결론을 맺고자 한다.

Ⅱ. 상용 서비스 분석

스마트폰의 블루투스를 이용한 영역 결정 서비스로 스타벅스의 사이렌 오더가 있다 [12]. 사용자가 인지하지 못하는 주파수 대역인 초음파를 사용하는 서비스로써, 초음파 스피커를 장착한 비콘에서 매장 내에 초음파를 지속적으로 출력하고 이 주파수를 매장 어플리케이션 실행 동안에 스마트폰 마이크를 통해 지속적으로 획득하여 로그인 정보 없이 매장 정보를 인지하는 서비스이다.

1. 영역 결정 상용서비스

사이렌 오더의 영역 결정 서비스는 사용자가 해당 매장에 입장해야만 제공되므로 서비스 대상이 명확하다는 장점이 있다. 하지만 사이렌 오더 서비스는 일정한 주파수의 초음파가 일정한 주기로 반복되므로 이를 녹음한 후 재연하여 거짓 영역 인증 및 서비스 교란 등 악용할 가능성이 있다.

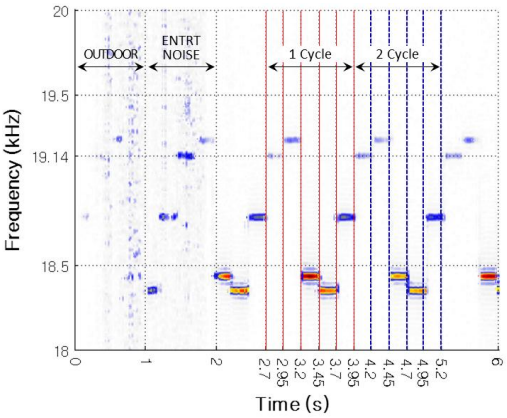


그림 1. 매장 내 소음 FFT 분석
Fig. 1 FFT Analysis of ambience noise in a store

2. 분석 방법

사이렌 오더를 분석하기 위해 Nexus 5 스마트폰의 내장 마이크로폰과 이 마이크로폰을 통해 녹음된 매장 내 소리를 MATLAB을 이용하여 분석하였다. 고 주파수 대역을 분석해야 하므로 48000Hz의 샘플링 주파수로 녹음하였고, 65536포인트의 FFT를 수행 하였다. 주파수분석으로 소모되는 전력 측정을 위해 MONSOON사의 Power-Monitor를 이용하여 전력 소모를 측정하였다. 4V의 균일한 전압을 공급하여 스마트폰의 소모 전력을 측정하였다.

3. 녹음된 소리 데이터 분석

그림 1의 그래프는 매장 외부에서 내부로 진입하면서 녹음된 파일을 FFT 분석한 것이다. 해당 그래프는 18~20kHz의 주파수를 시간에 대해서 나타내었다. 이 주파수 대역은 사람이 듣지 못하고, 목소리로 만들어내지 못한다. 따라서 잡음 대 신호비가 높기 때문에 그림 1과 같이 주파수 구분이 용이하고 간섭이 적다. 2초에서 Noise가 적어진 안정된 신호가 보이며, 이후 일정한 패턴을 형성하며 반복된 주파수가 발생한다. 하나의 주파수가 발생하는 시간은 0.25초이며 5개의 주파수가 발견되므로 총 1.25초 동안 한 주기가 발생된다.

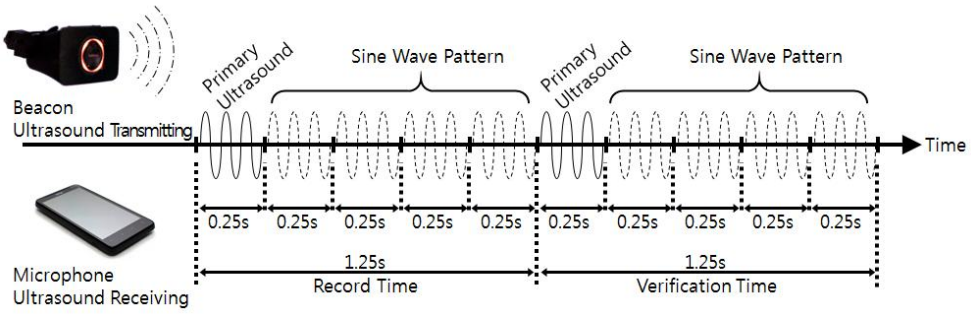


그림 2. 영역 결정 상용서비스 초음파 패턴 인식 개념도
Fig. 2 Ultrasonic pattern recognition concept for commercial zone detection service

표 1. 매장에서 사용된 초음파 주파수 (단위 : Hz)
Table 1. Ultrasonic Frequencies used in each store

구분	매장명	기준 주파수	1st (Hz)	2nd (Hz)	3rd (Hz)	4th (Hz)
a)녹음 분석 패턴	충남대 정문점	19140	19235	19325	18520	19040
	대전 둔산점	19140	19040	18960	18350	19325
	대전 터미널점	19140	19235	18435	18350	18780
	대전 터미널 이마트점	19140	18780	18870	19900	18700
	대전 터미널 후문점	19140	19800	18350	19900	18520
b)인의로 생성한 패턴	파주 운정점	19140	18350	18610	19235	19325
	광화문점	19140	18960	19325	19420	18610
	수지 동천점	19140	18520	18960	18610	18700
	대구 두류역점	19140	18960	18870	18780	19420
	부산대점	19140	18960	19420	19040	18520

5개의 주파수 중 기준이 되는 주파수를 찾아보기 위해, 5개 매장에 대해서 녹음된 파일을 분석 해본 결과, 표 1 (a)에서와 같이 19140Hz가 5개 매장 모두에서 발견되었다. 5개 매장의 내부 소리를 분석하여 사이렌 오더 서비스가 사용하는 주파수는 18~20kHz 주파수 대역을 80~90Hz 간격으로 나누어 사용하는 것을 확인하였다.

표 1에서의 주파수 패턴을 1주기(1.25 초)의 음원 파일로 생성하여 사이렌 오더 서비스에 출력할 경우 매장 인식이 되지 않고, 2주기(2.5초)의 초음파를 출력해야만 인식이 된다. 그림 2는 사이렌 오더 서비스의 초음파 패턴을 인식하는 도식을 나타낸 것이다. 처음 기준 주파수를 시작으로 1.25 초간 패턴을 녹음하여 저장하고 다음 1.25초간 녹음된 파일을 분석하여 패턴이 동일할 경우에만 패턴이 인식된다. 표 1 (b)는 사이렌 오더 동작 원리를 이용하여 주파수를 임의로 생성하여 인식된 패턴이다.

그림 1의 시나리오처럼 외부에서 매장 안으로 들어가게 되면 초기에는 노이즈로 인한 정확한 주파수 인식이 되지 않는다. 이때 기준 주파수를 놓치게 되면 다음 주기의 기준 주파수를 기다려야 하므로 1초라는 시간을 놓치게 되고 이후 2.5초 동안 패턴을 인식하는 시간이 추가적으로 들게 된다. 이후 스마트폰 연산 시간까지 더해져 총 3.5 ~ 5초의 응답시간이 필요하게 된다. 따라서 스마트폰과 서비스 시스템 사이의 응답성은 3~5초 이상이 된다. 최소 3~5초 이상 비콘에서 출력되는 초음파를 스마트폰에서 녹음 및 주파수 분석을 하게 되므로 이는 곧 바로 스마트폰의 연산 부하가 발생한다.

4. 전력 소모 분석

스마트폰에서 소모되는 전력을 측정하기 위해 배터리 대신 Power-Monitor에 연결하여 측정하였다. 상용서비스 어플리케이션의 주파수 획득 및 분석 부분의 전력 소모를 측정하였고, 본 연구에서 제안한 블루투스의 소모 전력 측정을 위해 블루투스 스캔 어플리케이션의 탐색 중 전력 소모를 측정하였다. 스마트폰에서 소모되는 다른 전력을 배제하기 위해 주파수 획득 및 분석을 측정할 때 Wi-Fi를 제외한 모든 통신 비활성화 및 화면 밝기 최소, 다른 백그라운드 작업도 모두 종료한 상태로 측정하였다. 블루투스 탐색의 전력 소모 측정을 위해서 Wi-Fi와 블루투스를 제외한 모든 통신을 비활성화 하고 위

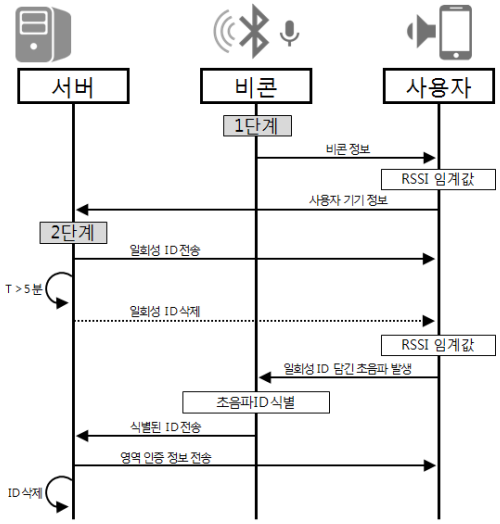


그림 3. 향상된 실내 영역 결정 기법 흐름도
Fig. 3 Sequence diagram of improved indoor zone authentication

표 2. 스마트폰의 주파수 분석 및 블루투스 탐색에 사용된 소모 전력
Table 2. Energy consumption of smartphone for frequency analysis and searching of Bluetooth

구분	소모전력(mW)	실제소비전력(mW)
대기전력	670.63	-
주파수분석	1125.32	454.69
블루투스	902.02	231.39

와 동일 상태로 측정하였다. 주파수 분석의 전력소모는 1125.32mW, 블루투스 탐색은 902.02mW 전력 소모를 측정하였다. 스마트폰의 평상시 소모 전력은 Wi-Fi와 블루투스만 활성화 하고 위와 동일한 환경으로 측정하였을 경우 670.63mW를 소모했다. 스마트폰이 기본적으로 소모하는 전력과의 차이를 통해 각 어플리케이션 기능의 소모전력을 계산하여 표 2의 결과를 얻었다. 주파수 분석에 소모되는 전력이 454.69mW, 블루투스 탐색이 231.39mW로 주파수 분석에 소모되는 전력이 블루투스 탐색보다 2배 더 소모하고 있음을 알 수 있다.

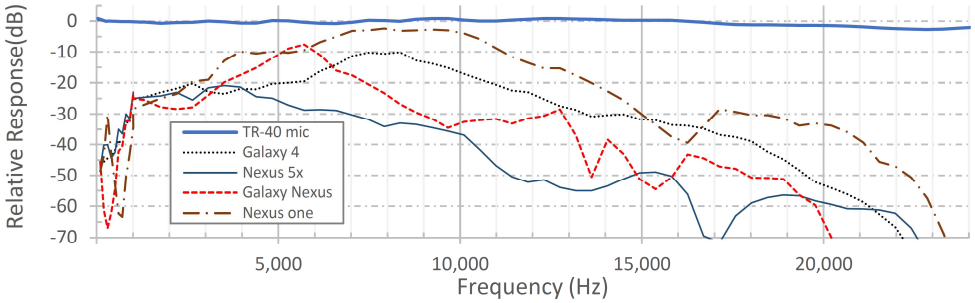
Ⅲ. 향상된 실내 영역 결정 기법 설계

영역 결정 서비스에서 중요한 문제는 스마트폰과 시스템 사이의 응답성, 스마트폰 측 연산 부하, 해당 영역에 종속된 인증 방식으로 정리 할 수 있다. 제안하고자 하는 영역 결정 서비스는 그림 3에서와 같이 2단계의 인증과정을 거치도록 하였다. 그림 3에서 영역 결정 시스템의 구성은 인증서버와 영역 내부에 설치되는 비콘 그리고 사용자의 스마트폰으로 구성된다. 사용자는 스마트폰 어플리케이션을 통해 서버와 통신한다. 1단계는 비콘에서 발생하는 블루투스 신호를 스마트폰이 수신하고 RSSI 임계값 이상일 경우 사용자 기기 정보를 전송한다. 전송된 사용자 기기 정보와 비콘 정보를 서버로 보내게 되고 서버는 일회성 ID를 유효시간 5분으로 발급하게 된다. 일회성 ID는 영역 내부에서 동일 시간에 중복되지 않는 유일한 값을 생성하도록 한다. 2단계에서 스마트폰은 부여받은 일회성 ID를 이용하여 18~20kHz사이의 주파수 대역과 반복 패턴을 생성하게 된다. 시스템 내부에서 고유한 ID를 받게 되므로 생성되는 주파수 대역과 패턴 또한 고유한 값이 된다. 블루투스 RSSI가 임계값 이하일 때 사용자가 영역에 근접하지 않았음을 의미하므로 초음파 출력을 비 활성화하여 에너지 소모를 줄인다. 블루투스 RSSI가 임계값 이상이 되었을 경우 스마트폰은 일회성 ID가 담긴 초음파를 출력하기 시작한다. 사용자가 아직 매장에 진입하지 않은 경우 초음파는 외부에서 발생하여 내부 비콘 마이크로폰에는 잡히지 않게 된다. 사용자가 매장 내부로 진입하게 되는 경우 출력된 초음파가 비콘 마이크로폰을 통해 식별된다. 식별 정보를 서버 측으로 전송하게 되고 영역 정보를 사용자에게 전송해 준다. 이때 일회성 ID를 삭제 한다. 이 과정 중 사용자의 일회성 ID가 5분 동안 식별되지 않으면 서버는 사용자에게 ID가 만료되었음을 알리게 된다 [13].

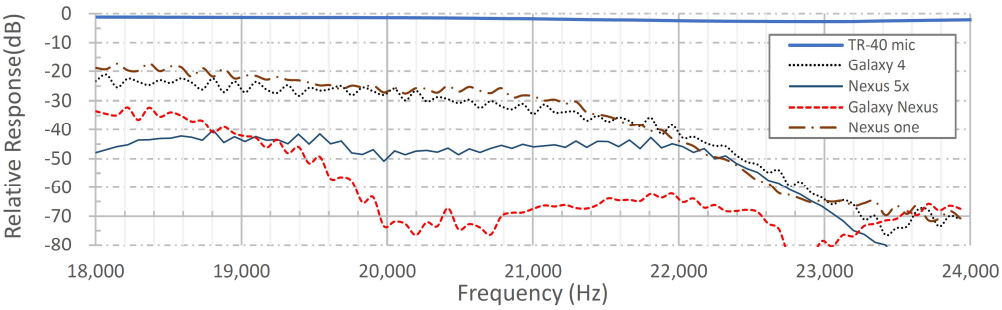
Ⅳ. 스마트폰의 초음파 출력 분석

스마트폰 내장 스피커의 경우 밸런스 아마추어 드라이버나, 소형 다이내믹 드라이버를 이용한 스피커들이 사용되고 있다 [14]. 스피커의 드라이버의 구조/재질/크기에 따른 주파수 응답 특성이 다르므로 본 연구에서 제안한 기법의 적용 가능성을 확인하기 위해 초음파 대역의 주파수 응답 특성을 분석해 보았다.

일반적인 스마트폰에서 지원하는 최대 샘플링 주파수는 48kHz이다. 주파수 응답 특성을 알아보기 위해 선형 주파수 스윕(Linear Frequency Sweep)



(a) Typical speaker volume level (20~24000Hz)



(b) Maximum speaker volume level (18~24kHz)

그림 4. 스마트폰 내장 스피커의 주파수 응답 특성
Fig. 4 Frequency Response of Smartphone internal Speaker

을 사용하였다. 50초간 20Hz부터 24000Hz까지 재생하고 이를 측정용 마이크로폰을 통해 녹음하여 스마트폰 내장 스피커의 주파수 응답 특성을 측정하였다 [15, 16]. 측정에 사용된 장비는 Audix사의 TR-40 콘덴서 마이크로폰과 RME사의 Fireface UCX 오디오 인터페이스를 사용하였다. 측정에 사용된 스마트 폰은 2010~2015년까지 스마트폰으로써 Nexus one (2010.01), Nexus Galaxy (2011.11), Galaxy 4 (2013.03), Nexus 5x (2015.09), 총 4대의 스마트폰으로 실험하였다. 정확한 측정을 위하여 TR-40 콘덴서 마이크로폰을 1m 거리에서 1kHz 94dB SPL(Sound Pressure Level)로 보정하였고, 각 스마트폰 스피커의 출력이 상이하므로, 스마트폰 내장 스피커 출력 볼륨을 1kHz 순음 사인파를 출력한 후 마이크로폰으로 입력되는 값을 69dB SPL로 출력하도록 스마트폰 출력 볼륨을 조정하였다.

그림 4 (a)는 평상시 출력 볼륨에서 각 스마트폰 내장 스피커의 주파수 응답 특성으로써 x축은 주파수를 나타내고 y축은 0dB(94dB SPL)를 기준으로 측정된 레벨을 기록한 그래프이다. 그림 4 (a)에서 측정된 데이터에서 초음파 대역의 특성을 확인해 보면 평상시 출력에서도 초음파 대역 출력이 가능한 것을 알 수 있다. Nexus 5x의 경우 다른 기종보다 출력이 낮지만 그림 4 (b)에서 스마트폰의 출력 볼륨을 최대로 사용한 경우에서는 22kHz까지의 평탄한 초음파 대역의 주파수 응답 특성을 보이는 것을 알 수 있다. Galaxy Nexus의 경우 일반적인 크기의 스피커 출력에서 19kHz까지 주파수 응답 특성을 가지고 있지만 그 이후부터 급격히 감소함을 알 수 있다. 하지만 그림 4 (b)에서와 같이 노이즈에 비하여 두드러진 특징을 가지고 있음을 알 수 있다. 일반적인 초음파 대역은 사람이 만들어 낼 수 없는 주파수 대역이고 노이즈에 강건하여 그림 4(b)에서와 같이 초음파 대역의 출력 레벨이 -60dB (39dB SPL) 이상에서는 사용 가능하다.

스마트폰 내장 스피커의 주파수 응답 특성 분석을 통해 본 연구에서 제안하는 기법을 특별한 장치 추가 없이 기존 사용자의 스마트폰을 활용하기에 충분한 초음파 대역의 주파수 응답 특성을 가짐을 확인하였다.

V. 결 론

본 연구는 스마트폰 내장 스피커를 이용하여 초음파 재생 가능 여부를 확인하였다. 기존의 방식인 외부 스피커에서 발생하는 초음파를 획득, 분석하는 방식의 단점을 개선하고자 스마트폰 내부에서 초음파를 발생하는 방식을 제안하였고, 이를 검증하기 위해 초창기 스마트폰부터 고성능 최신 스마트폰에 이르기까지 다양한 스마트폰에서 초음파를 출력하였고 이를 측정용 콘덴서 마이크로폰을 통해 주파수 응답 특성을 분석해 보았다. 초음파 주파수 대역은 사람이 만들어 낼 수 없는 소리의 대역이며 노이즈에도 강건한 대역이므로 제안하는 기법을 사용하기에 충분함을 확인하였다.

제안한 2단계 영역 인증 기법은 기존의 초음파를 이용한 영역 결정 서비스 취약점을 개선할 수 있다. 기존의 기법은 지속적인 주파수 획득 및 분석을 통해 사용자 스마트폰 측의 에너지 소모를 야기한다. 하지만 제안하는 기법은 사용자 스마트폰 측에서 초음파를 발생하므로 주파수 획득 및 분석은 비콘 측에서 하게 된다. 따라서 주파수 획득 대기시간 동안 지속적인 연산을 하는 기존 방식과 차별화하였고, 연산 부하를 감소시키고, 영역 인증까지의 응답시간을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

향후 연구로는 실제 영역인증 기반시설을 구축하여 실제 환경에서의 현장 실험을 할 계획이며 노이즈에 강건한 초음파 영역 인증 방법에 대해서 설계 및 연구 할 계획이다.

References

[1] https://yap.net/ko/service#beacon

[2] https://www.ruckuswireless.com/products/smart-wireless-services/location-services

[3] R. Friedman, A. Kogan, Y. Krivolapov, “On Power and Throughput Tradeoffs of Wifi and Bluetooth in Smartphones,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 12, No. 7, pp. 1363-1376, 2013.

[4] http://readme.skplanet.com/?p=9850

[5] http://www.syrup.co.kr/index.do#about_syrup

[6] http://www.i-popcorn.co.kr/

[7] D.J. Na, K.H. Choi, “Step Trajectory/Indoor Map Feature-based Smartphone Indoor Positioning System without Using Wi-Fi Signals,” IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 9, No. 6, pp. 323-334, 2014 (in Korean).

[8] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, “The Cricket location-support system,” Proceeding of the annual International Conference on Mobile computing and networking, pp.32-43, 2000.

[9] P. Lazik, A. Rowe, “Indoor pseudo-ranging of mobile devices using ultrasonic chirps,” Proceeding of the ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, pp. 99-112, 2012.

[10] P. Lazik, N. Rajagopal, B. Sinopoli, A. Rowe, “Ultrasonic time synchronization and ranging on smartphones,” Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, pp. 108-118, 2015.

[11] T.W. Hnat, E. Griffiths, R. Dawson, K. Whitehouse, “Doorjamb: unobtrusive room-level tracking of people in homes using doorway sensors,” Proceeding of the ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, pp. 309-322, 2012.

[12] http://www.istarbucks.co.kr/util/website_tip_view.do?seq=2397&status=app

[13] J.S. Kwon, J.M. Lee, H.S. Kim, “Indoor Zone Detection with Bluetooth and Ultrasound of Smartphone,” Proceedings of Institute of Embedded Engineering of Korea, pp. 40-43, 2015 (in Korean).

[14] http://www.knowles.com/eng/Products/Receivers-and-speakers

[15] A. Farina, “Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-Sine Technique,” Proceeding of Audio Engineering Society Conventions and Conferences, 2000.

[16] H.W. Lee, T.H. Kim, J.W. Choi, S.H. Choi, “Chirp Signal-Based Aerial Acoustic Communication for Smart Devices,” Proceeding of IEEE Conference on Computer Communications, pp. 2407-2415, 2015.

Jin-Se Kwon (권 진 세)

He received B.S degree in Mechanical Engineering from Chungnam National University, Daejeon, Korea, in 2014. He is currently a M.S. student in Department of Computer Science and Engineering at Chungnam National University, His research interests include Digital Signal Processing, Context aware computing, Mobile Sensing, Indoor Zone Detection.

Email: kwonse@cnu.ac.kr

Je-Min Lee (이 제 민)

He received his B.S. and M.S. degree in 2011 and 2013, respectively from Chungnam National University, Daejeon, Korea. He is currently working toward his Ph.D. in the Department of Computer Science and Engineering, Chungnam National University. His research interests include energy-aware computing, automated testing of mobile applications and applied machine learning.

Email: leejaymin@cnu.ac.kr

Hyung-Shin Kim (김 형 신)

He received his B.S. and Ph.D. degrees in computer science, in 1990 and 2003, respectively, from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). He received the M.Sc. degree in satellite communication engineering from University of Surrey, U.K. in 1990. He joined Chungnam National University in 2004 and he is a Professor in the department of computer science and engineering. His research interests include avionics system, energy-aware computing, and embedded system software.

Email: hyungshin@cnu.ac.kr