

초음파 변조와 블루투스 애드혹 네트워크를 이용한 재난 경보 시스템

(A Disaster Warning System Using Ultrasound Modulation and Bluetooth Ad-hoc Network)

권진세, 이제민, 김형신*

충남대학교 컴퓨터공학과

(Jinse Kwon, Jemin Lee, Hyungshin Kim)

(Dept. of Computer Science and Engineering, Chungnam National University)

Abstract: A warning system is important to protect people and property from a disaster. Current disaster warning system could easily be collapsed by a disaster because it strongly depends on cell towers for mobile communication. In this paper, we present the ad hoc network to easily and rapidly update the disaster information using the ultrasound modulation and Bluetooth advertising mode in the communication failure state. Our system shows that a smartphone can detect modulation packets up to 720bit/s with bit-error-rate lower than 10^{-3} . In addition, the Bluetooth ad hoc network in an advertising mode reduces the round trip delay between nodes and battery loss by adjusting the advertising period.

Keywords : disaster, ultrasound modulation, bluetooth advertising mode, ble ad-hoc

1. 서론

최근 국내에서 규모 5.8의 강진이 발생하였고 연이어 규모 2.0 이상의 여진이 150회 이상 지속적으로 발생하였다[1]. 지진 발생과 동시에 국민안전처에서는 CBS(Cell Broadcasting System)를 이용하여 기지국 기반 재난 문자를 발송하였다[2]. CBS는 기지국 기반 서비스이므로 전원 공급에 문제가 생길 경우를 대비하여 비상용 배터리를 가지고 있다. 각 기지국의 비상용 배터리는 3~6 시간 정도의 용량을 가지고 있지만, 기지국이 파손될 경우에는 재난 문자 발송 및 개인 단말기의 통신은 원천적으로 차단된다[3]. 2011년 동일본 대지진 당시에도 기지국 파괴로 인해 이동통신이 가장 빨리 마비되었지만, 국가 기관의 무전 통신 체계는 긴급 복구하여 사용이 가능하였다[4]. 따라서, 해당 재난 지역에 있는 통신 불능 상태의 개인 단말에 재난

메시지를 전달해 주는 시스템이 필요하다.

재난 상황에서 개인 스마트 단말을 이용한 근거리 통신방법은 지속적으로 연구되고 있다. 초토화 상황에서 기지국 없는 근거리 통신을 위해 스마트폰 간에 Wi-Fi 다이렉트를 이용한 방식이 제안되었다[5]. Wi-Fi 다이렉트는 대용량 데이터 전송이 가능한 장점이 있지만, 연결하고자 하는 상호 기기 간에 오너와 피어를 결정한 후에만 통신이 가능하므로 신속한 데이터 전송과 다중 기기 간 데이터 전송이 어렵다. 통신 불능 시 Wi-Fi 애드혹 네트워크를 이용하는 Serval 프로젝트도 있다[6]. Wi-Fi를 통한 일대일 통신을 이용하므로 대용량 음성통화나 데이터 전송이 가능하다. 하지만, AP 사용이 불가능한 경우 핫스팟(HotSpot)을 이용해야 하므로 배터리의 전력 손실이 크다. 기존 연구들은 Wi-Fi를 이용한 근거리 재난 통신 방식으로 배터리 사용량이 많고, 재난 방송 시스템으로부터 독립되어 있어 실시간 재난 상황을 갱신 받을 수 없다.

본 논문에서는 통신 불능 재난 상황을 가정하여 신속하게 현재 위치한 지역의 재난 상황을 전달하기 위한 시스템을 구현하였다. 음향 시스템을 통한 재난 경보 전달을 위해 초음파 대역에 진폭 천이 변조 기법을 사용하였다. 변조 성능은 초당 720비

* 교신저자(Corresponding Author)

김형신: 충남대학교 컴퓨터공학과

※ 이 논문은 2014년도 교육부와 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014R1A1A2059669)

트를 전송할 수 있으며, 10^{-3} 이하의 비트 에러율을 갖는다. 음향 시스템의 음영 지역을 위해 블루투스 광고모드를 이용한 애드혹 네트워크를 구성하였다. 애드혹 네트워크는 각 노드 간 최대 25m 까지 지원되며 다수의 노드가 연결될 경우 더 먼 거리까지 재난 경보를 전달 할 수 있다. 다수의 노드가 연결될 경우 블루투스 광고 발송 주기를 조절하여 배터리 소모를 줄일 수 있다.

논문의 구성은 2장에서 재난 경고 시스템의 필요성과 시스템 구성요소에 대해 설명하고, 3장에서 각각의 구성요소가 갖는 데이터 전송 방식과 세부적인 내용을 다룬다. 4장에서 구현된 시스템의 성능을 평가하고, 5장에서 최종 결론을 맺는다.

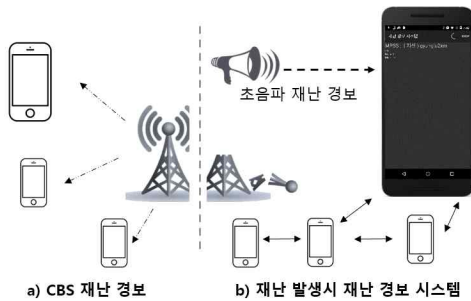


그림 1. 재난 경고 시스템 개요

Fig. 1. Overview of the disaster warning system

II. 재난 경고 시스템 구성

기지국이 파괴되는 재난이 발생한 경우 개인용 스마트 단말까지 재난 경보를 전송할 수 있는 방법이 사라지게 된다. 이때 비상용 발전기가 설치되어 있는 공공기관이나 행정당 무전 시스템은 빠른 복구 가능하지만 이동통신 시스템은 기지국 기반 시설을 정비할 때까지 복구가 어렵다. 따라서 재난 상황 시에 공공기관의 지역 내 재난 경보를 개인용 스마트 단말로 전달하는 시스템이 필요하다.

본 연구에서 제안하는 지역 내 재난 경고 시스템의 개념은 그림 1과 같다. 지역 내 사이렌 또는 건물 내/외부의 전관 방송 스피커 시스템으로 변조된 초음파를 출력한다. 이때 스마트 단말은 마이크를 통해 소리 신호를 획득하고 이를 복조하여 블루투스를 통해 발신하게 된다. 이때 블루투스 광고 채널을 이용하여 지속적으로 발송하고, 동시에 수신하면서 주변 스마트 단말과의 애드혹 네트워크를 형성하게 된다. 애드혹이 형성된 상태에서 새로운 재

난 경보를 다른 노드에서 수신할 경우 이를 다시 갱신하여 발송함으로써 신속한 재난 경고 시스템을 구축할 수 있다.

III. 데이터 전송 방식

본 연구에서 제안하는 재난 시스템의 데이터 전송 방식은 2가지로 구성 되어있다.

첫째, 초음파 대역의 변조를 통한 데이터 전송 방식을 사용하고 있다. 초음파 변조에 사용된 주파수 대역은 18kHz ~ 20kHz로 가청 주파수 대역에 포함되지만 사람이 듣지 못하여 데이터 변조 대역으로 활용 가능성이 높다. 또한 대부분의 개인 스마트 기기의 하드웨어 성능이 44.1/48kHz 샘플링 비율을 지원하므로 22/24kHz의 주파수까지 입출력이 가능하다.

둘째, 블루투스를 이용한 애드혹 네트워크를 사용한다. 블루투스 4.0 출시 이후 저전력 광고 방송이 가능하게 되었고, 안드로이드 5.0 버전부터 스마트 기기 자체가 비콘과 같이 방송 모드를 사용할 수 있게 되었다. 따라서 기존의 블루투스 페어링 방식이 아닌 블루투스 광고 모드와 스캔을 이용한 애드혹 네트워크 구성이 가능해졌다.

1. 초음파를 이용한 데이터 전송

초음파 변조에 진폭 천이 변조(Amplitude Shift Keying)를 사용하였고 그 중 가장 대표적인 방법인 온오프 변조(On-off Keying)를 적용하였다. 온오프 변조는 반송 주파수(Carrier Frequency)를 데이터 비트에 따라 On/Off 한다고 하여 온오프 변조라고 불리며, 변조과정이 복잡하지 않고 저속 데이터 전송에 적합하다. 하지만 노이즈에 취약한 단점이 있지만, 실제 초음파 대역에서 발생하는 노이즈가 상대적으로 적어 사용하기에 적합하다[7].

그림 2와 같이 전송하고자 하는 패킷을 받아와 18~20kHz 주파수 대역을 온오프 변조하였다. 데이터 전송 성능을 위해 24개의 주파수를 사용하여 1회 24bit씩 초당 30회 전송하여 720bit/s의 전송 속도를 구현하였다. 최종 변조된 데이터는 외부 오디오 데이터와 합하여 스피커를 통해 출력된다. 출력된 오디오 데이터가 개인 스마트 단말의 마이크를 통해 입력되면, 고역 통과 필터를 통해 초음파 대역만 통과 시킨다. 그리고 변조된 데이터를 복조하여 패킷을 분석하게 된다. 전송된 패킷의 구조는 표 1과 같다. 초음파를 통한 데이터 전송의 크기는 16byte로 하였다. 이 값은 다음 절에서 설명할 블

루투스 광고 패킷의 UUID(Universally Unique Identifier)에 해당하는 크기이다. 따라서 Payload에 2바이트가 담기고, ID는 3bit로 총 8개의 ID를 전송할 수 있으므로, 16바이트의 데이터가 담기게 된다. 그리고 전송된 데이터의 에러를 방지하기 위해 순환 중복 검사(CRC, Cyclic Redundancy Check)를 하여 올바른 패킷만 수신한다.

2. 블루투스를 이용한 애드혹 네트워크

안드로이드 5.0 부터는 개인 스마트 단말이 광고모드를 사용할 수 있게 되었다. 따라서 그림 2와 같이 개인 스마트 단말에서 광고와 수신을 모두 사용하는 애드혹 네트워크 구성이 가능해졌다[8].

블루투스 광고 모드와 스캔을 이용한 애드혹 네트워크는 아이비콘 패킷을 이용하여 구성하였다. 아이비콘 패킷은 스마트 단말의 제조사에 상관없이 블루투스 사용가능한 기기에서 모두 이용할 수 있는 장점이 있다. 아이비콘 패킷의 구조는 제조사 고정 접두사 9바이트, UUID 16바이트, Major 2바이트, Minor 2바이트, TX 파워 2바이트로 총 31바이트로 구성되어있다. 이 중 재난 정보 전송을 위해 사용한 영역은 표 2와 같이 UUID 16바이트이다. UUID의 목적은 개체 식별 및 구별을 위해 활용되고 있고, 일반적인 표시 형식으로 4-2-2-2-6 바이트로 그룹을 지어 활용한다. 따라서 앞에 4바이트를 아스키코드로 변환된 국민안전처(MPSS, Ministry of Public Safety and Security)의 약자를 적어 식별 가능하도록 하였다. 그리고 국민안전처에서 정한 재난 유형 24개를 식별할 수 있도록 1바이트와 Payload로 사용될 11바이트를 구성하여 단문의 메시지를 보낼 수 있도록 하였다[9].

표 1. 초음파로 전송할 재난 정보 패킷의 구조
Table 1. The Ultrasound Modulation Packet

3 [bits]	16 [bits]	5 [bits]
ID	Payload	CRC

표 2. 블루투스로 전송할 재난 정보 패킷 구조
Table 2. The Bluetooth Advertising Packet for UUID

4 [Bytes]	1 [Bytes]	11 [Bytes]
"MPSS"	Disaster #	Payload

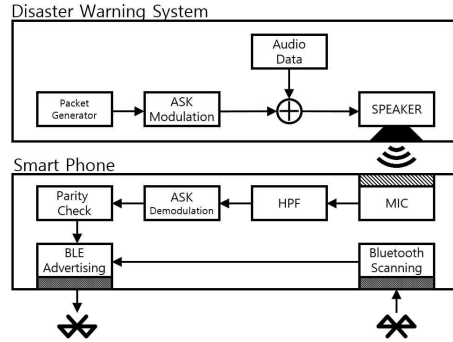


그림 2. 제안하는 재난정보 시스템 구조
Fig. 2. The architecture of the disaster warning system

IV. 시스템 성능 평가

조음과의 변조, 복조 성능을 실험해 보기 위해 임의의 데이터를 전송하여 신호 대 잡음 비율(SNR, Signal to Noise Ratio)에 따른 비트 에러율(BER, Bit Error Rate)을 측정하였다. 그림 3의 데이터는 조용한 실내에서 컴퓨터 스피커와 스마트폰 마이크가 서로 바라보고 30cm 떨어진 거리에서 측정하였다. 신호 대 잡음 비율에서 잡음은 실내 공간의 조용한 상태를 기준으로 하였고, 스피커와 마이크의 소리 품질은 48kHz의 샘플링 비율을 사용하였다.

측정 결과 그림 3과 같이 신호 대 잡음비 6 dB 이상에서 비트 에러율이 0.003 이하의 값을 가지고 있음을 확인하였다. 이는 1000개의 비트 중 3개의 비트에러가 발생하는 수준으로 높은 에러율이지만 실제 사용하는 비트의 수는 초당 최대 720비트 중 128비트이므로 실제 시스템에서 사용하기에 충분하다. 실제 전관방송용 음향장비를 이용할 경우 신호 대 잡음비가 더욱 커지기 때문에 비트 에러율은 더 줄어든다.

블루투스 애드혹 네트워크 성능 평가를 위해 왕복지연시간(RTD, Round Trip Delay)을 측정하였다. 벽이 없는 실외에서 2대의 Nexus 5x 스마트폰을 이용하여 실험하였다. 블루투스 광고와 스캔 주기는 200ms로 설정하고, 노드의 개수와 거리를 변경하여 왕복지연시간을 측정하였다.

그림 4는 두 대의 스마트 폰을 이용하여 거리에 따라 데이터의 왕복 시간을 측정한 결과이다. 두 대의 스마트 폰을 붙여놓은 상태에서 측정된 값은 최소 1.47 초로 두 개의 노드에서 애드혹이 형성되는데 필요한 최소 시간이다. 이 시간은 기본적으로 블루투스 광고 주기와 스캔 주기가 각각 200ms씩 소요되고, 추가로

스캔된 패킷을 다시 광고 패킷으로 생성하고 반송하게 되면서 생기는 시간 지연이다. 25m의 거리에서 30초의 왕복지연시간이 발생하고, 25m 이상의 거리에서는 각 노드들은 서로 데이터를 수신하지 못하였다. 이는 그림 4의 RSSI 값에서 보듯이 신호의 세기에 따른 블루투스 패킷 에러율 높아지기 때문이다. 이 결과를 기본으로 하여 블루투스 애드혹의 각 노드 간 최대 거리는 25m이며 단방향 전송에는 최소 15초 이상 걸리는 것을 확인하였다. 따라서 블루투스 애드혹 네트워크의 최적의 조건은 각 노드간격을 20m이하로 유지하는 것이다. 노드 간격을 20m로 하여 100m의 애드혹을 형성하였을 경우 단방향으로 30초가 소요된다. 더 많은 노드로 100m 애드혹을 구성할 경우 최소 20초 내에 단방향으로 재난 경보를 전송할 수 있다.

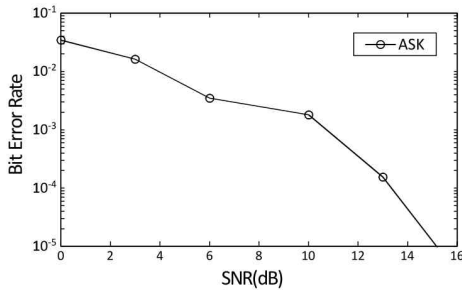


그림 3. 신호 대 잡음비에 따른 비트 에러율
Fig. 3. BER of the ultrasound modulation as the SNR

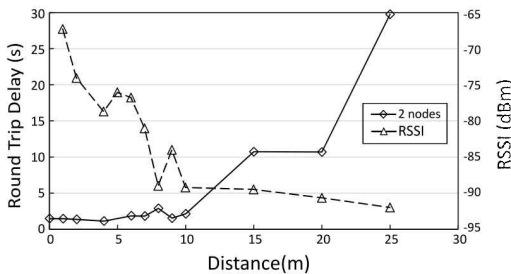


그림 4. 블루투스 애드혹의 왕복 지연시간과 RSSI
Fig. 4. The Round Trip Delay and RSSI in Bluetooth AdHoc Network

V. 결 론

재난 발생 시 많은 인명을 구할 수 있는 방법은 재난 경보를 실시간으로 전달받아 미리 대처하고 실시간 대응 방법에 따르는 것이 최선이다. 하지만 통신 불능 상황은 여러 가지 원인으로 불가피하게

발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 재난 지역 내 애드혹 네트워크를 구성하는 방법을 제안하였다.

초음파를 이용한 변조 기법을 통해 각 노드들이 언제든지 재난 경보를 열람할 수 있고, 갱신할 수 있으므로 재난 경보를 획득할 수 있는 기회가 증가하였다. 또한 블루투스 광고 모드를 이용한 네트워크 방법은 앞서 실험 결과를 통해서 보았듯이 더 많은 노드들이 연결될 경우 광고주기를 천천히 할 수 있다. 이때 광고주기를 길게 조정할 경우 재난 상황 시 가장 중요한 개인 스마트 단말의 전력 소모를 줄일 수 있으므로 재난 시 가장 적절한 통신 방법으로 활용 될 수 있을 것이다.

향후 연구로는 실제 재난 상황을 고려하여 다양한 장소와 노드 개수를 추가하여 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 기상청 국내 지진 발생 목록 , http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/domesticlist.jsp
- [2] 국민안전처 긴급 재난 문자 방송, <http://211.236.67.11:8080/WEB/cbs/cbs.html>
- [3] 연합뉴스 대형정전 발생하면 통신도 블랙아웃, http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LS_D&mid=sec&sid1=105&oid=001&aid=0006297129
- [4] 남재성, “동일본 대지진 당시 일본 경찰의 역할과 정책적 시사점”, 한국행정학회 학술발표논문집, 111-131쪽, 2013.
- [5] 유대훈, 최웅천, “재난 후 상황에서의 모바일 응용 설계 및 구현”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 18권, 제 3호, 97-105쪽, 2013.
- [6] The Serval Project : Mesh, Chat, Maps, <http://developer.servalproject.org>
- [7] G. E. Santagati, T. Melodia, “U-Wear: Software-Defined Ultrasonic Networking for Wearable Devices”, In Proc. of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, NewYork, USA, pp.241-256, 2015.
- [8] Android API Reference : bluetooth.le, <https://developer.android.com/reference/android/bluetooth/le/package-summary.html>
- [9] 국민안전처 재난 유형별 정보, <http://www.mpss.go.kr/home/safetys/disasterTypeInfo/disasterTypeInfo1/0003/>