

최적 무선통신 기술을 활용한 붕괴지형 매몰자의 2차원 매몰위치 결정 모델

문현석^{1*}, 이우식², 이건우³, 한동수³

¹한국건설기술연구원 ICT융합연구소, ²한국건설기술연구원 창의전략연구소

³한국과학기술원 전산학과

A 2-D Location Determination Model of Buried Persons in Collapsed Shape using Optimal Wireless Communication Technology

Hyoun-Seok Moon^{1*}, Woo-Sik Lee², Gun-Woo Lee³, Dong-Soo Han³

¹ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology

²Creative Strategy Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

³School of Computing, Korea Advanced Institute of Science and Technology

요약 도심지에 지진과 같은 재난 발생시 건물이나 기타 지하부를 갖는 지하철, 터널 공간 등의 붕괴사고로 인해 수많은 인명 및 재산피해가 발생된다. 특히 붕괴 잔해에 매몰된 인명의 생존 상태를 파악하거나 매몰자의 매몰위치를 정확하게 파악하는 것이 곤란하여 구호에 상당한 시간과 인력이 투입되는 실정이며, 추가 붕괴에 따라 2차 피해가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 무선통신 기술을 활용하여 2차원 평면에서 매몰자의 휴대기기 위치를 측위하여 구호 정보를 제공할 수 있도록 하는 확률적 방법론을 제안하는 것이 목적이다. 즉, Wi-Fi 무선신호 기반의 매몰자 탐지 방식을 선정하여, 거리별 신호 강도 특성을 확인하였으며, 2차원 평면에서의 확률적 기반 위치 탐지 모델을 제안하였다. 이는 향후 국가 재난발생시 신속한 매몰자 구호를 위한 단서를 제공함으로써, 국민의 안전과 인명을 보호 할 수 있는 핵심기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract When the disaster like earthquake in urban area occur, due to the collapse accidents for subway, tunnel space with buildings or underground area, enormous property and human damage are happened. Specially, since it is difficult to identify survived status of humans within collapsed debris and accurately buried locations of the humans, inputs of considerable time and manpower for rescuing them are required. Besides, secondary damage can be occurred by additional collapses. The aim of this study is to propose a stochastic location positioning method that enables to provide aid information by determining locations of mobile devices for buried persons in 2-D plane using wireless communication technologies. This study selected a detection method for buried persons based on Wi-Fi signal, and identified characteristics of signal strengths by distance unit. Using these methods, a stochastic location detection model in 2-D plane was built. It is expected that this technology will be utilized as a core technology that can protect safety and human life of the public by providing data for rescuing quickly buried persons in cases of national disasters for future.

Keywords : Wi-Fi, Bluetooth, Buried Person Detection, Collapsed Area, Correlation

본 논문은 한국건설기술연구원의 주요사업인 “(15주요-대2-지하붕괴5) 재난지역 붕괴형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Hyounseok Moon (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0486 email: hsmoon@kict.re.kr

Received August 4, 2015

Revised December 3, 2015

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

1. 서론

2014년 4월 발생한 세월호 사건을 계기로 국가적 차원에서 재난관리 체계의 구조적인 변화가 일어났다. 해상사건 뿐만 아니라, 도심지의 싱크홀 붕괴로 인해 지하 시설물의 통합관리 필요성에 대한 인식이 널리 확대되었다. 인명구조를 위해서는 우선, 전체적인 붕괴지형을 입체적으로 파악한 후 매몰지점 상부와 하부에서 신속하고 정확하게 매몰자의 위치정보를 취득하여 구조자와 공유함으로써 원활한 구조활동을 수행할 수 있다.

특히 재난발생시 도심지의 건물이 붕괴되거나 싱크홀 등으로 지하철 및 지하차도 등이 붕괴될 경우 매몰자가 발생한다. 기존 구호방식을 활용할 경우 구호인력이 붕괴지형 상부로 투입이 되어 생존자를 탐색하므로 많은 시간과 비용이 발생되고 이에 따른 신속한 생존자 탐지가 어려우며, 잔해들의 추가 붕괴 가능성에 따라 2차 피해가 발생할 수 있다[1]. 따라서 구호인력의 붕괴지점에서의 직접 투입 방식을 지양하면서 매몰자의 위치를 신속하고 정확하게 탐지하기 위한 기술개발이 무엇보다 필요하다. 기존 연구에서는 무선 AP(Access Point) 데이터 베이스를 활용한 건물의 실내공간의 위치 측위[8]에 관한 연구가 주를 이루고 있어 인프라가 붕괴된 매몰지에서의 적용에는 한계가 있다. 이러한 이슈를 해결하기 위해 무선통신 기술을 활용하여 재난상황을 가정하여 2차원 평면에서 매몰자의 휴대기기 위치를 정확히 측위하여 구호 정보를 제공할 수 있도록 하는 확률적 방법론을 제안하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 매몰자 탐지를 위한 최적 무선 방법론을 선정하고 이를 활용하여 무선신호의 거리별 감쇄 특성을 분석하여 탐지 커버리지의 확인과 재난환경에서의 적절성을 검증하였다. 또한 2차원 환경에서의 매몰자 휴대기기 위치를 탐지하기 위한 확률적 위치측위 방법론을 도입하였다. 본 연구는 매몰지 환경이 아닌 이상적인 개활지 환경을 기반으로 테스트하는 것을 연구범위로 한다.

이는 향후 다양한 무선통신 기반의 위치측위 기술로 활용될 수 있으며, 재난분야의 신속한 구호를 위한 핵심 기술로 활용될 것으로 기대한다.

2. 국내외 위치인식 기술 동향 분석

2.1 국내 기술 동향 분석

국내의 무선신호를 활용한 위치 인식기술은 주로 실내공간을 중심으로 이루어졌다. 현재 등록된 AP 기기의 위치 즉 AP DB를 기준으로 범위 내에 탐지되는 실내 휴대기기의 신호를 감지하여 사용자의 위치를 정확하게 탐지해 내는 기술을 개발한 바 있다. 이러한 기술을 활용하여 백화점 및 대형 쇼핑몰에서 주차된 차량의 위치를 인식하거나 사용자의 구매 선호도를 고려하여 선호하는 가게의 위치나 구매 정보를 표현해주는 기술들이 실용화되고 있다. 또한 실내공간 지도(Radio Map) 구축 [2]을 통한 서비스 개발에 따라 실내 내비게이션(myCOEX) 등에 활용된 바 있다[9]. 또한 모바일 기기와 실시간 실내 측위 시스템과의 연동을 통해 실내 위치 정보를 제공하기 위한 기술(버추얼빌더스; IndoorLBS Mobile)을 개발[10]한 바 있다. SKT는 비콘(Beacon) 기술을 활용하여 실내 위치 측위 플랫폼을 개발[11]하였으며, 이를 통해 길 찾기, 쿠폰, 광고 등 생활 서비스 관련 기술 개발이 이루어지고 있다. 또한 건물 내의 사용자 위치를 층 단위까지 알려주는 ‘차세대 복합측위 시스템(enhanced Hybrid Positioning System; eHPS)를 개발한 바 있다. 이는 GPS 신호가 도달하지 않는 건물 내에서 스마트폰 고도계 센서와 와이파이 신호 정보를 활용, 사용자의 위치를 층 단위까지 확인할 수 있도록 하였다. ETRI는 쇼핑몰 내 실내 측위를 통해 고객이 원하는 물건을 쉽게 찾고, 해당 상품 정보를 제공하도록 하는 기술을 개발[12][13]한 바 있다. 본 기술은 쇼핑몰에 설치된 LED 센서를 통해 LED 전등으로 측위를 하는 방식으로 각 위치에 따라 LED 조명의 가시 주파수를 조정하고, 이를 LED 센서로 인지하여 위치별로 부여된 위치 아이디를 블루투스를 통해 스마트폰 쇼핑 센서 지도 애플리케이션으로 전송하는 기술이다. 2013년 5월 국토교통부는 주요 다중이용시설의 실내공간정보를 구축하여 실내 이동경로, 긴급대피로 안내 및 긴급 상황 위치 알람 등의 서비스에 목적으로 위치정보 서비스를 구축한 바 있다.

KAIST에서는 실내 위치 인식을 위해 라디오 맵[2] 구축을 자동화하고 관련 위치 인식 알고리즘을 개발하여 참여형 스마트폰 실내 위치인식 시스템[3](KAILOS)을 구축한 바 있다.

최근 이동통신사는 경찰과의 공조를 통해 위급상황에서 제한적으로 개인 스마트폰의 Wi-Fi 기능을 강제로 활성화시켜 경찰의 긴급출동을 위해 사용자의 위치 정보를 활용한 바 있다. 또한 2014년 10월 방송통신위원회 주도

로 실내외 와이파이 정보 활용 플랫폼을 구축하여 관련 국가기관에 정보를 제공하고 있었으나, 스마트폰 와이파이가 비활성화 되어 있을 경우 정보 확인이 불가능하였다. 본 플랫폼은 화재, 구급, 납치, 등 긴급 상황에서 전국의 Wi-Fi 액세스 포인트(AP) 데이터베이스(DB) 정보 활용을 통해 긴급구호의 신속성과 정확성을 높일 수 있도록 하고 있다. 이를 위해 긴급구조 요청 시 와이파이를 강제 활성화하여 위치추적을 가능하도록 하는 ‘위치정보의 보호 및 이용 등에 관한 법률 일부 개정안’이 발의된 바 있으나, 여전히 국회에 계류 중이다.

2.2 국외 기술 동향 분석

일본 Sony는 Wi-Fi를 활용하여 다수의 불특정 AP로부터 송출되는 신호 정보를 이용하여 위치 인식을 실시하는 방식을 개발한 바 있다. 미국 구글은 구글 맵스와 함께 주요 대형 실내공간 지도 서비스[4]를 제공하고 있으며, Wi-Fi 측위를 통해 실내공간에서의 간단한 경로 안내 서비스를 제공하고 있다. 미국의 스타트업 기업인 바이트라이트[14]는 LED 조명을 활용하여 실내 위치 추적 시스템을 개발한 바 있다. 이는 실내 LED 조명에 식별번호를 부여하고, 스마트폰 카메라를 통해 LED 빛을 감지하여 식별번호 데이터베이스와 대조하여 현재위치를 파악하는 방식이다.

애플은 스마트폰 센서와 Wi-Fi 신호 퓨전을 통해 실내위치 측위기술을 개발하였으며, 2.5m 이내의 오차범위로 실시간 위치추적이 가능하도록 하였다. 벨 연구소는 Wi-Fi 핑거프린트 방식으로 실내위치 측위시스템을 개발하였다. 유럽의 필립스는 비콘을 이용한 스마트폰의 위치 측위 기술을 개발한 바 있다.

최근 Wi-Fi 신호를 활용하여 벽체 뒤의 사람의 움직임을 인식하여 어떠한 행동을 하고 있는지의 패턴을 추정할 수 있는 기술이 개발 중에 있다. 또한 움직임에 따라 Wi-Fi 신호 세기 및 패턴을 기록하여 이를 인식함으로써 주변의 기기를 명령어 형태로 작동시킬 수 있는 기술도 개발된 바 있다.

Wi-Fi를 활용한 대표적인 재난분야 위치 측위 사례로서 스위스 로잔공과대학에서는 2014년 지진이나 산사태 혹은 기타 재난이 발생하였을 경우 실종자를 신속하게 탐색할 수 있는 무선신호 기반 위치 탐지 드론(Drone)을 개발한 바 있다[6]. 이는 실종자가 보유한 스마트폰의 와이파이 신호를 짧은 시간간격으로 감지하여 실종위치를

10m 오차로 추정할 수 있는 기술을 개발하였다. 현재 재난상황에서 실종자의 위치를 가장 신속하게 추정 가능한 기술로 평가된다.

2.3 소결

상기 기술들의 특징은 주로 재난이 발생되지 않은 이상적인 환경인 실내공간의 위치 측위[7]에 중점을 두고 있으며, 활용범위가 주로 대형 건물내의 위치정보기반 서비스로 제공된다. 기존 Wi-Fi AP 데이터베이스를 활용하여 사전 기준 위치 정보를 알고 있는 상태에서 사용자의 위치를 추정하므로 상대적으로 정확한 값으로 위치를 결정할 수 있다. 그러나 재난시 모든 인프라가 붕괴된 상태에서 매몰된 지형 내부에서는 이러한 정보를 참조할 수 없어 기존 위치측위 기술의 활용은 무의미해지며, 2차 붕괴위험을 초래할 수 있어 대부분의 경우 구조자의 접근이 곤란하다. 또한 무선신호를 통한 위치측위가 불가능하여 새로운 형태의 매몰자 위치 탐지기술 개발이 필요하다.

3. 매몰자 탐지를 위한 최적 무선기술 방식 선정

3.1 기존 매몰자 탐지 기술

기존 매몰자 탐지방식은 주로 영상, 음향 및 전파를 활용하여 매몰자의 상태 및 위치를 확인하였다. 영상탐지 장비로는 주로 LED가 탑재된 내시경 카메라를 활용하여 내부 상태를 영상으로 탐색하는 장비가 있다. 이는 소형 건물 붕괴시 소수 인원 구호에는 활용될 수 있으나 대형 붕괴 현장에서는 구조인력의 접근 제약과 장비의 연결선 길이 문제로 인해 신속한 위치 탐지는 곤란하다. 음향 탐지 기기로는 지진 등으로 붕괴된 구조물, 산사태, 광산 붕괴 등으로 인해 매몰자가 보내오는 진동 및 음향을 탐지하여 상태를 측정하는 기기이다. 이는 얇은 깊이 of 매몰자 구호에 활용이 가능하나, 다수의 지점을 측정해야 하는 단점과 주변 소음이 많은 대형 재난 붕괴 현장에서의 활용에서는 제약이 있다. 최근 활용빈도가 높은 장비로서 전파 탐지방식은 매몰자의 불규칙적 움직임과 호흡시 흉부 움직임을 감지하여 매몰자의 위치 및 생존여부를 탐지하게 된다. 주로 UWB(Ultra Wideband) 기술을 통해 실시간 움직임을 초광대역으로 탐지하고 최

Table 1. Comparison and Analysis of Indoor Positioning Techniques

Type	Accuracy	Positioning Method	Strengths	Weakness
Wi-Fi	2 ~ 3 m	Triangulation, Fingerprinting	<ul style="list-style-type: none"> - The most widely used - Location positioning using the installed AP and Wi-Fi receiver of mobile devices (No additional expenses) 	<ul style="list-style-type: none"> - Demands of advance information of indoor location positioning infra by each building (radio map, indoor map etc.) - Direct installation of AP module by each solution
Bluetooth	1 ~ 2 m	Fingerprinting, Triangulation, Proximity	<ul style="list-style-type: none"> - Using basic bluetooth modules embedded into mobile devices - Low cost H/W infra (Using low power BLE tag) 	<ul style="list-style-type: none"> - Needs of infra establishment by each building (Installation of tag or beacon and building of these location information)
UWB	< 15 cm	Triangulation (TDOA / AOA)	<ul style="list-style-type: none"> - High location accuracy using Impulse - Good permeability to the walls - Strong environment to Multipath 	<ul style="list-style-type: none"> - Location positioning coverage is narrow since UWB is used with short distance communications with about 10 m - Due to conflicts to the other devices, electrical power restrictions are required. - Needs of infra construction for indoor location positioning
LED	> 10 m	Proximity	<ul style="list-style-type: none"> - Development with slightly changing existing infra (LED replacement etc.) - Unnecessary external power supply - Commercial solutions exist (Byte Light) 	<ul style="list-style-type: none"> - Identification by cameras (Not recognized in the bags or pockets) - Needs of infra construction cost
Ultrasound	< 10 cm	Triangulation	<ul style="list-style-type: none"> - Accurate location positioning - Many commercial system exist (cricket) - Suitable for room identification (Low wall permeability) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conflict occurrence according to the transmitter arrangements - Error occurrence due to signal loss according to the status of door switches - Needs of infra construction for indoor location positioning
Infrared	< 10 cm	Proximity, Triangulation	<ul style="list-style-type: none"> - Possible to determine accurate locations with securement of LOS (Line of Sight) - Many commercial system exist (Active Badge) 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossible wall penetration - Shore recognition distance - Performance degradation within sunlight - Needs of infra construction

대 30m의 탐지 성능을 갖는다. 이 또한 낮은 깊이의 탐지 성능을 가지며, 구조자가 붕괴지역으로 접근해서 측정해야 하므로 2차 붕괴위험이 존재한다. 이 외에도 미국에서는 2012년 바퀴벌레 로봇을 개발하여 매몰지 투입을 통해 센서 네트워크를 활용하여 초보적인 수준의 매몰자의 목소리를 감지하고 인공 전자 더듬이를 활용하여 이동을 제어할 수 있는 기술이 개발된 바 있다.

이와 같이 영상, 음향 및 전파 등을 이용한 탐지 장비들은 탐지 거리의 한계와 더불어 구조자가 붕괴지역으로 접근해서 장비를 운영해야 하는 제약이 있다. 이는 2차 붕괴위험을 가질 수 있으며, 장비의 셋팅과 투입에 일정 시간이 소요되는 단점이 있어 신속한 매몰자 위치 탐지에는 한계가 있다. 특히 다수의 매몰자가 넓은 지역에 매몰되었을 경우 탐지 거리를 벗어난 매몰자는 구조가 어렵고, 범위 내에 있다고 하더라도 신속한 매몰자 탐색 시간을 확보할 수 없다. 그러므로 구조자의 접근 방식이 아닌 비 접근 방식의 무선신호 탐지를 통한 매몰자 탐지 방식이 대안이 될 수 있다.

3.2 무선통신방식의 비교 검토

기존의 무선통신 기반 위치추위 기술은 Wi-Fi 등을 활용하여 건물의 실내공간을 가정하여 개발되었다. 그러나 붕괴 지형과 같은 재난상황에서는 건물의 매몰 형태를 특정할 수 없으며, 기존 실내위치 추위와 같이 무선 AP DB 정보를 활용할 수 없는 환경이 발생된다. 붕괴지형의 특성은 건물이 붕괴된 이후 관련 인프라도 손실되어 모든 통신망이 작동되지 않은 상태에 놓이게 된다. 이러한 이슈를 해결하기 위해 기존 통신망이 작동하지 않은 상태에서 위치를 탐색하기 위한 Bluetooth, UWB를 활용한 정밀 위치탐지 기술이 개발되고 적용되고 있다.

실외 위치추위의 경우 주로 GPS를 활용하여 기점의 위치를 추정하고 있으며 이러한 위치정보는 기지국 정보보다 정확도는 높으나, 정확한 실내추위가 곤란하고 대형건물 등 주변 환경의 영향을 받는 경우 인식에 실패할 가능성이 높다. 또한 오차가 50~100m로 그 편차가 커서 재난 환경의 매몰자 위치 탐지에는 한계를 갖는다.

3.2.1 Wi-Fi 측위 기술

Wi-Fi기반 위치는 주로 Wi-Fi가 송출하는 신호의 감도에 따라 위치 정확도가 달라진다. 신호 감도가 높을 경우 상대적으로 정확한 위치를 탐지할 수 있으며, 거리와 장애물에 따라 신호세기가 감쇄되어 위치탐지 확률이 감소된다. Wi-Fi를 활용한 위치 측위방식은 크게 삼각측량(Triangulation) 방식과 AP에 대한 신호 세기 정보를 활용하는 Fingerprint 방식이 있다. 삼각측량 방식은 지정된 AP 위치로부터의 신호세기를 통해 거리를 계산하는 방식이다. 수신되는 신호가 주변 환경에 따라 차이가 발생되므로 오차도 크게 발생된다. 반면에 Fingerprint 방식은 위치 측위 공간을 다수의 셀로 분할하고 각 셀에서의 신호세기와 신호를 보낸 대상의 정보를 함께 저장한다. 이는 라디오 맵으로 구성되고 자신의 신호와 비교하여 위치를 결정하는 방식이며, AP 구축 수준에 따라 2m 내외에서 위치를 결정할 수 있다.

3.2.2 Bluetooth 측위 기술

Bluetooth는 Wi-Fi와 비슷한 2.4GHz 대역폭을 활용하므로 상호 유사한 특성을 갖는다. 이 또한 삼각측량 및 Fingerprint방식을 활용하나, AP가 없기 때문에 해당 위치에 Bluetooth Beacon을 설치해야 한다. 최근 Bluetooth 4.0표준에서 저 전력 기술을 도입하여 단거리의 위치 신호를 정확히 측정하는데 활용된다. 그러나 수많은 Beacon을 설치해야하는 단점이 있으며, 송신거리가 짧아 대형 붕괴지형의 매몰자 탐지에는 한계를 갖는 기술이다.

3.2.3 기타 측위 기술

그 외 방식으로는 UWB[5]를 활용하는 방식이 있다. 이는 Wi-Fi나 Bluetooth와 달리 넓은 대역폭을 사용하므로 타 주파수와와의 간섭이 발생된다. 이를 통한 측위방식은 TDOA(Time Difference of Arrival)[5] 혹은 AOA(Angle of Arrival) 방식을 활용한 삼각측량이 이용된다. 그러나 UWB의 경우 현재 보급률 및 적용 대상이 적고, 추가 인프라 구축이 필요한 단점이 있다. LED의 경우 고속의 깜빡임을 스마트폰 카메라가 인식하여 위치를 탐지한다. 이는 스마트폰 배터리 소모를 높이며, 위치 인식 범위에 제한적이다. 이외에 적외선이나 초음파의 경우에도 삼각측량 방식으로 위치를 측위 할 수 있다. 그러나 적외선은 근접 인식으로 위치 인식을 해야 하며, 기

본적으로 벽을 투과하지 못한다는 단점이 있다. 특히 적외선은 태양광에 취약하며, 초음파는 창문과 문의 개폐 여부에 따라 오차가 많이 발생한다.

3.3 최적 무선통신 방식 결정

상기에 분석한 바와 같이 초음파와 적외선은 근접 탐지가 이루어져야 하며, 붕괴현장에 존재하는 벽을 투과하지 못하는 단점이 있다. LED의 경우 스마트폰의 활용에 제약이 있으며, 차폐된 공간에서의 LED인식은 어려운 측면이 있어 측위 정확도가 매우 낮다.

정확도 측면에서는 Wi-Fi보다는 Bluetooth가 Bluetooth보다는 UWB[5]가 정확하다. 그러나 Bluetooth는 신호세기가 약하여 인식거리가 짧으며, UWB는 벽 투과는 가능하나 또한 탐색 범위가 짧고, 추가 수신기의 부착이 요구되는 단점이 있다.

주파수 측면에서는 일반적으로 주파수가 낮은 전파일수록 회절성이 강하고, 높을수록 투과성이 강해진다. 회절성이 강한 경우 벽 등의 장애물 사이의 빈 공간을 통해 전파가 도달할 가능성이 높아지며, 투과성이 높으며 벽 등의 비 회절성 물체를 통과하여 전파가 전달될 가능성이 커진다. Wi-Fi가 타 GPS나 RF의 경우와 달리 높은 대역폭을 가지므로 회절성보다는 투과 또는 반사의 특성을 가지므로 붕괴된 지형내부에서의 위치탐지를 위한 최적의 기술로 선정하였다.

Wi-Fi를 활용한 실제 측위의 가장 큰 장점은 어느 정도의 벽에 대한 투과성이 있으며, 대부분의 사람이 스마트폰을 소유하고 있기 때문에 인프라 구성에 비용이 크게 들지 않는다는 점이다. Wi-Fi 송수신기는 스마트폰에 기본적으로 내장되어 있고, 스마트폰 초기 모델에서도 모바일 데이터를 Wi-Fi를 통해 다른 기기와 공유하는 기능이 포함되어 있다. 이는 인프라 구성 측면에서 시스템 구성에 제약이 거의 없음을 의미하며, Wi-Fi를 이용한 시스템 구성에 성공하였을 때, 보다 많은 사용자가 혜택을 받을 수 있다.

4. 무선신호의 거리별 신호 감쇄 특성 분석

4.1 무선신호 측정을 위한 현장 테스트

4.1.1 Wi-Fi 센서 데이터 수집 및 추출

본 연구에서는 Wi-Fi 신호의 탐지 커버리지를 확인하기 위하여 스마트폰의 센서 값을 주기적으로 수집하는 어플리케이션인 Sensor Collector를 안드로이드 플랫폼을 기반으로 개발하였다. 수집대상은 Wi-Fi와 Bluetooth 신호이며, 일반 수집모드로서 수집되도록 설정하였으며, 시작을 활성화하면 센서 수집이 실행된다. 예를 들어 Wi-Fi 신호 정보 스캔을 위해 Wi-Fi 모듈을 생성하여 스캔이 이루어지도록 하였으며, 수집 로그정보는 화면에 시간과 함께 수집되는 센서를 확인할 수 있다. Wi-Fi 센서의 수집 정보는 스캔 시작 및 종료 시간과 AP id 정보가 DB에 저장된다. 수집이 완료되면 선택된 센서에 대한 DB로부터 자료를 추출하게 된다.

4.1.2 Wi-Fi 센서 데이터 수집을 위한 현장 테스트

상기 개발된 Sensor Collector를 활용하여 실제 이상적인 현장에서 Wi-Fi 신호의 탐지 커버리지 확인 및 거리별 신호 감쇄특성에 대한 타당성을 분석하기 위해 실증 테스트를 수행하였다. 실제 붕괴현장을 대상으로 테스트를 수행하여야 하나 붕괴현장의 내부 공동에 매몰된 매몰자의 휴대기기 신호가 상부까지 잘 전달 될 수 있음을 가정하여 진행되었다. 이는 일반 지형과 유사한 형태로 신호 감쇄 특성을 나타낼 수 있음을 가정하여 수행하였다. 본 실험을 통해 실제 이론적으로 무선신호가 Log 감쇄곡선을 갖는지 확인한다.

사용된 장비는 Galaxy Edge, Optimus Vu, Vega, Nexus 5 등 4대의 안드로이드 스마트폰을 선정하였다. 이를 통해 Wi-Fi 및 Bluetooth 신호의 상호 특성을 파악하고 거리에 따른 무선신호의 변화를 확인하였다. Wi-Fi 신호 분석은 측정지점을 5m 간격으로 55m길이로 설정하였으며, Bluetooth는 1m 간격으로 10m길이로 측정지점을 설정하였다. 각 간격의 기준점에서 무선신호의 세기를 검토였다.

1) Wi-Fi 신호 테스트

신호 데이터의 수집은 각 기기별로 수행되었으며, 일반적으로 Wi-Fi 신호 강도는 송신기로부터 거리가 멀어질수록 Log-scale로 감소하는 LDPL (Log-distance path loss) 모델을 따른다. 만약 Wi-Fi기반 위치인식 기법을 사용할 경우 LDPL 모델을 고려하지 않는다면 결과의 정확도 손실을 가져올 수 있다. 이를 고려하여 적합도 테스트를 수행하므로 이론과 신호의 실제 특성의 유사도

여부를 판단한다.

Wi-Fi 신호 테스트는 5m 단위로 측정되므로 5m 간격의 측정지점사이를 이동하면서 시간에 따른 신호세기를 측정하였다. Fig. 1은 기기별로 거리에 따른 Wi-Fi 신호 변화 양상을 나타낸 것이다.

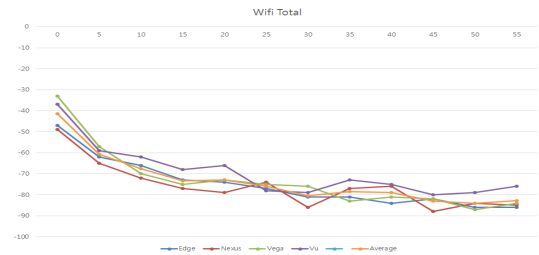


Fig. 1. Wi-Fi Signal Curve by Each Smart Phone with Android OS

X축은 송신기로부터 55m 끝 지점까지 걸어가는 시간을 나타내며, Y축은 이동 시간 즉 거리에 따른 신호의 세기를 나타낸 것이다. 신호의 세기는 '-db'로 나타내며 값이 클수록 신호의 세기도 강함을 의미한다. 적색 점선은 측정지점에서의 시간을 기록한 것을 나타낸다.

2) Bluetooth 신호 테스트

Bluetooth 신호 테스트는 1m 간격으로 10m길이로 수행되었으므로 신호 수집 거리가 짧아 이동시간이 아닌 측정지점에서 신호를 수집하였다. Fig. 2는 기기별 거리에 따른 Bluetooth 신호 변화 형태를 보여주는 것이다. X축은 송신기와 수신기의 거리차이를 나타내며, Y축은 수신기가 수신한 송신측 측 휴대기기의 Bluetooth 신호 강도를 나타낸다.

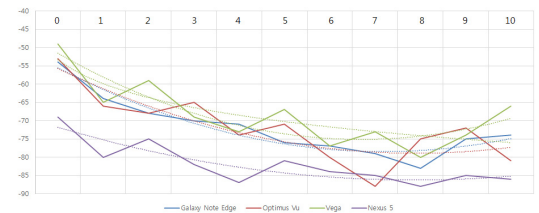


Fig. 2. Bluetooth Signal Curve by Each Smart Phone

수신 신호의 강도는 평균값을 사용하여 도출 되었으나, 기기별로 사용되는 Bluetooth Module별로 신호 강

도의 차이가 발생되었다. 또한 측정 시간에 따라 서로 다른 결과를 보일 수 있음을 알 수 있었다. 그래프에서 보는 바와 같이 10m 지점에서 강한 신호가 수신되었으나, 이는 측정지점의 신호 바운딩으로 인해 왜곡된 결과로 확인된다.

4.2 거리별 무선신호 감쇄 특성 분석 결과

Fig. 1에서처럼 신호변화 그래프에 대해 해당 곡선을 확인하면 log의 형태로 신호가 감쇄하는 것을 볼 수 있다. 기기의 Wi-Fi 모듈에 따라 송신하는 강도가 상이하므로 감쇄의 양상이 다소 차이가 있으나, 그 비율은 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 약 10m 정도의 거리까지는 Wi-Fi 신호가 급격히 감소하고, 이후 거리가 멀어짐에 따라 신호의 감소 비율이 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 또한 각 기기별 거리에 따른 Wi-Fi 신호의 양상과 그 평균을 보여주며, 기기 별로 절대적인 신호 값은 다를 수 있으나, 그 차이가 크지 않고 비슷한 양상을 보인다는 것을 확인 할 수 있다.

블루투스와 Wi-Fi 신호의 커버리지 확인 테스트를 통해 블루투스 신호의 가용 범위는 약 10-15m, Wi-Fi 신호의 가용범위는 60-70m 정도인 것으로 확인하였다. 그러나, 모듈 또는 환경에 따라 커버리지는 어느정도 달라질 수 있다. 또한 실제의 신호가 이론적으로 알려진 것과 다르지 않고 거리에 따라 신호의 강도가 감쇄하는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험을 통해 확인한 분석 결과는 이후 진행될 적합도 테스트 등에 활용될 것이다.

5. Wi-Fi를 활용한 2차원 매몰자 위치 결정 모델 구축

5.1 2차원 매몰자 위치 결정 모델

4장의 실제 휴대기기별 거리에 따른 Wi-Fi 신호 강도의 이론적 검증을 통해 본 절에서는 휴대기기의 위치 측위 알고리즘의 적합도 실험에 Wi-Fi를 적용하였다. 우선 2차원 평면상에서 Wi-Fi 신호만으로 측위가 가능한지 실측 데이터를 수집하여 가설을 검증하였다. Fig. 3은 2차원에서 AP를 통해 해당 휴대기기의 위치를 확률적으로 측위 할 수 있는 절차를 나타낸다.

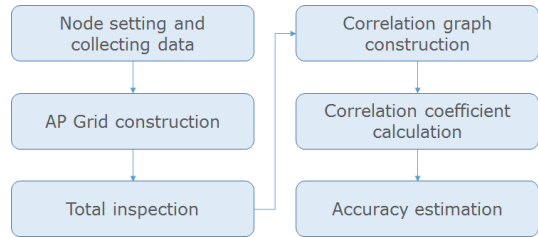


Fig. 3. 2-D positioning process with Wi-Fi

우선, 매몰자의 휴대기기와 고정노드 즉 드론을 가상의 2차원 공간으로 설정하여 배치한다. 실제 데이터들의 노드 간 신호와 거리 관계를 수집된 데이터를 통해 분석한다. 실제 위치 값을 알고 있는 상태에서 전수검사를 통해 논리적 위치 측정이 가능한지 검토한다. 이러한 데이터들은 상관분석을 통해 각 상황별로 상관계수를 구하고, 가장 높은 상관도를 보인 노드들의 배치와 실제 값의 노드 배치를 비교하여 그 정확도를 비교하도록 하였다.

5.2 2차원 매몰자 위치 추정

실험은 임의의 운동장 가로 세로 각 10m 지역에서 각 셀을 1m×1m 공간으로 분할하였다. 데이터 수집을 위해 개발된 Sensor Collector가 사용되었으며, 노드별로 3분씩 데이터를 수집하였다. 한 기기는 나머지 다른 4개 기기의 Wi-Fi 무선신호를 수집하고 저장하였다. 이를 통해 Ground truth를 결정하고, 이에 대한 거리와 무선 신호와의 관계를 AP Grid로 구성하여 논리적 거리에 대한 AP Grid를 전수 검사를 통해 수행하였다. 각 셀에 대한 모든 노드를 이동시키며, 각 경우의 수에 대한 상관계수를 도출하여 가장 높은 값을 가지는 경우의 수가 결정된다. 본 실험은 3개의 휴대기기가 존재하므로 100만 번의 전수검사가 이루어지고, 이 중에서 가장 높은 값을 갖는 노드들의 배치와 앞서 도출한 정답 배치와의 비교를 통해 정확도를 도출한다. 이후 각 경우에 대해 X축 거리, Y축은 두 노드간의 신호차를 나타내는 Correlation graph가 도출된다. 이는 표시지점의 변화 상태를 가지적으로 확인할 수 있다. Fig. 4는 전수검사 결과 노드들의 실제 위치(왼쪽)와 높은 상관 값을 갖는 노드들의 배치(오른쪽)를 보여준다.

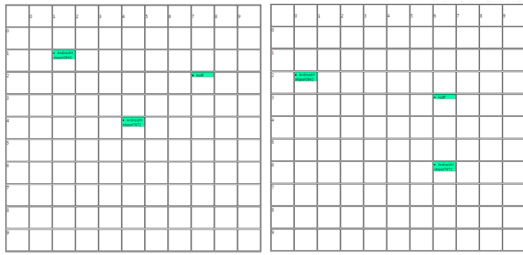


Fig. 4. Total inspection result and node deployment

두 Space grid를 비교해보면 최대 상관계수 값을 갖는 Space grid와 정답 Space grid의 거리 차는 약 1.8m로 매우 정확한 값을 나타냈다. 이는 평균 1.5 cell 수준의 정확도를 보여주는 것으로 의미 있는 결과로 판단할 수 있다. 현재는 이동 노드가 3개이므로 100만 번의 Correlation 계산을 수행하였다. 이를 통해 X축의 상관계수 범위와 Y축의 거리 오차를 갖는 상관 그래프를 구성하였으며, 해당 범위에 1개의 Space grid가 존재하면 검정색으로 표시하였다. 이를 정규화 하였으며, 최대 상관계수 값과 Ground truth의 상관계수 값을 도출하였다. 즉 적합도 테스트에서 Near optimal이면 Near truth이고, Near truth이면 Near optimal이라는 필요충분조건을 만족하고 있다.

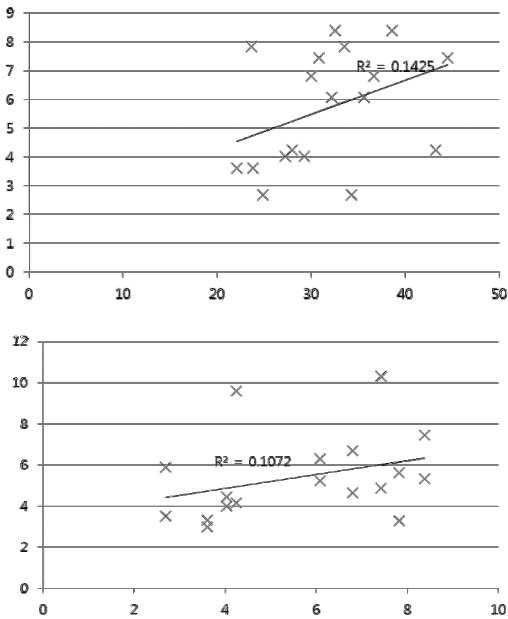


Fig. 5. Correlation Analysis Graph

이러한 가설을 만족시키기 위해서는 정답 Space grid의 상관계수는 Optimal 값으로 올리고 그렇지 않는 Space grid들에 대해서는 Score를 낮출 필요가 있다. 이때 LDPL 모델을 적용할 수 있다. 이를 통해 회귀분석에서 e값(Path Loss Exponent)의 변화에 따라 R^2 의 값이 안정적으로 변해 감을 Fig. 5와 같이 확인하였다.

6. 결론 및 논의

최근 재난발생시 위급상황에서 실종자나 매몰자를 위치를 정확히 파악하여 신속하게 구조하는 것이 가장 중요한 구호 프로세스일 것이다. 기존의 방식은 다양한 장치를 활용하였으나, 2차 사고의 위험과 탐지 성능의 한계로 인해 활용도가 높지 않은 실정이다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 무선통신 기술을 활용한 매몰자 2차원 위치 측위 기술을 개발하였다. 우선 국내의 기술 분석을 통해 연구의 타당성을 확인하였으며, 다양한 무선통신 기법 중 어떠한 기술이 재난상황에 적절한 무선통신 기술인지를 정성적으로 평가하였다. 그 결과 Wi-Fi가 최종선정 되었으며, 실제 현장의 무선신호 감쇄 특성 분석을 위해 테스트를 수행하였다. 이를 통해 이론적인 Log 곡선의 감쇄 특성을 갖는 것으로 확인되었으며, Wi-Fi의 경우 이상적인 환경에서 60-70m의 신호 가용 범위를 갖는 것으로 확인하였다. 이를 토대로 실제 2차원 평면상에서의 휴대기기 위치를 측위하기 위한 확률적 방식을 고안하였다. 분석 결과 1.8m 오차 즉 1.5 cell 수준의 정확도를 확보하였으며, LDPL 모델을 고려하여 상관성 분석의 가설을 검증하였다.

본 연구에서 구성한 방법론은 2차원 평면에서의 매몰자 휴대기기 탐지 방법으로 개발되었다. 그러나 재난환경에서 붕괴지 내의 매몰자는 지상부 또는 지하부에 위치하기 때문에 본 연구의 이상적 환경에서는 또 다른 결과가 도출될 수 있다. 이를 위해 붕괴지형의 유사한 환경에서 테스트를 실시하여 검증할 필요가 있다. 또한 매몰자의 깊이를 확인하기 위한 Z값의 고도 즉 매몰 깊이 값을 추정하는 기법을 개발해야 하며, 매몰 위치 측위의 정확도 및 정밀도 향상을 위해 휴대기기에 탑재된 다양한 센서들의 Fusion을 통해 보정될 필요가 있다.

춘각을 다투는 매몰된 긴급한 상황에서는 정확한 위치정보가 필수적이다. 이러한 측면에서 본 기술은 재난

붕괴현장에 신속한 구호 프로세스를 지원할 수 있는 기술로 활용될 수 있을 것이다.

[14] Bytelight.<http://www.bytelight.com/>, 2015

References

- [1] H. S., Moon, C. Y., Kim, and W. S., Lee, "Wireless Communication-based Buried Person Detection Considering Characteristics of Collapsed Surface in Disaster Area", *Proc. of 2015 Civil Expo & Conference*, pp. 00-00, Nov. 2015
- [2] S. H., Kim, and D. S., Han, "A study on constructing WiFi radio map by walking survey", *Proc. of Korea Intelligent Transport System*, pp. 155-158, 2013
- [3] D. S., Han, and S. H. Jeong, "Global Indoor Locating and Integrated Indoor/outdoor Navigation System", *The Korean Institute of Communications and Information Sciences (Information and Communication)*, 32(2), pp. 89-97, 2015
- [4] Google Indoor Map, [cited 2015 Oct. 10], Available From: <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/> (Accessed Oct. 10, 2015)
- [5] H. M., Kong, T. K., Sung, and Y. M., Kwon, "Comparison of TDOA Location Algorithms for Indoor UWB Positioning", *Journal of the Institute of Electronic Engineers of Korea (Telecommunications)*, 42(1), pp. 9-15, 2005
- [6] S. Rosati, K. Kruszelecki, L. Traynard, and B. Rimoldi, "Speed-aware routing for uav ad-hoc networks," *IEEE GLOBECOM 2013, 4th International IEEE Workshop on Wireless Networking & Control for Unmanned Autonomous Vehicles: Architectures, Protocols and Applications*, 2013
- [7] X. L., Yang, Y., Li, S. S., Shin, Y., Xia, G. B., Kim, and H. Y., Bae, "The Research of indoor Location Detection Method in Sparse Wi-Fi Environment", *Journal of Korean Institute of Next Generation Computing*, 7(1), pp. 27-36, 2011
- [8] I. H., Jeong, C. M., Kim, Y. S., Choi, S. B., Kim, and Y., Lee, "A study of Establishment on Radiomap that Utilizes the Mobile device Indoor Positioning DB based on Wi-Fi", *Journal of The Korean Society for Geospatial Information System*, 22(3), pp.57-69, 2014
- [9] Attractive Indoor Navigation Techniques, What kinds of the techniques, <http://platum.kr/archives/21956>, 2015
- [10] Virtualbuilders, 3D Indoor GIS Development and Utilization Techniques, <http://www.seoulappfestival.org/seoul2013/keynote/4.Government%203D.pdf>, 2013
- [11] Bloter, News of Location Positioning as a Service by SKT, Beacon Service Start-up, <http://www.bloter.net/archives/190876>, 2015
- [12] D. K., Kim, "Wi-Fi based Indoor Positioning Techniques", ETRI, 2015
- [13] I. Y., Kong, and H. J., Kim, "Experiments and its analysis on the identification of Indoor Location by Visible Light Communication using LED lights", *The journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*. 15(5), pp. 1045-1052

문 현 석(Hyoun-Seok Moon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 경상대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2009년 8월 ~ 2011년 1월 : Teesside University (UK), CCR 센터 방문연구원
- 2012년 2월 ~ 2013년 1월 : University of Michigan, Post-Doc.
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 수석연구원

<관심분야>

BIM, 건설관리, 프로세스 최적화, 4D CAD, 드론

이 우 식(Woo-Sik Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2002년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

건설관리, GIS, 건설IT 융복합

이 건 우(Gunwoo Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전산학과 박사과정

<관심분야>

전산학, 정보통신, LBS, Pervasive Computing

한 동 수(Dongsoo Han)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 계산통계학 (공학석사)
- 1996년 2월 : 교토대학교 정보공학 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 1992년 2월 : (주)삼성전자 연구원
- 1996년 4월 ~ 1996년 7월 : 일본 NEC C&C 연구소 연구원
- 1996년 9월 ~ 1997년 10월 : (주)현대정보기술 연구소 책임 연구원
- 1997년 12월 ~ 2009년 2월 : 정보통신대학교 정보통신공학과 교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전산학과 교수

<관심분야>

전산학, 정보통신, LBS