

# 데이터 통신망을 이용한 복수 구조요원 실내 위치 추적

## Indoor Location Tracking for First Responders using Data Network

천세범\*, 임순\*, 이민수\*\*, 허문범\*

Se-Bum Chun\*, Soon Lim\*, Min-Su Lee\*\*, Moon-Beom Heo\*

### 요 약

구조 요원 위치 추적을 위해 Wi-Fi 기반 위치 추적 기술을 이용하는 경우, 거리 측정 정보를 제공하지 않는 Wi-Fi의 특성상 RSSI 핑거프린트 데이터베이스나 신호 감쇄 모델을 이용하여 거리측정치를 생성해 내어야 한다. 그러나 구조 현장에서 임시로 구축되는 데이터 통신 네트워크에서는 사전에 데이터베이스 구축이 어려워 적용이 곤란하다. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 통신 네트워크 구축을 위해 사용된 전개식 AP의 근접 정보와 보행 항법 정보를 이용하여 복수 구조 요원의 위치 추적 방법을 연구하였다.

### Abstract

In case Wi-Fi network based First responder's position tracking system is used, range measurement must be generated from RSSI finger print database. However, it is impossible to build up finger print database and to perform rescue operation at same time in the scene of rescue. In this paper, improvised Wi-Fi network without finger print database and pedestrian dead reckoning based first responders tracking system is proposed.

Key words : Indoor navigation, Pedestrian dead reckoning, Deployable access point

### I. 서 론

화재 및 붕괴 사고 등의 현장에서 구조 활동 전개 시 구조 요원의 위치 정보는 효율적인 구조 활동 전개는 물론 구조 요원의 안전 확보를 위해 필수적인 정보이다. 구조 요원의 사망 사고 중 58.4%가 위치 정보가 제공 되었으면 피해를 방지하거나 감소시킬 수 있는 사고라는 연구도 발표되어 있다[1].

구조 활동의 효율성을 증가 시키고 인명 피해를 줄이기 위해 ‘국가문제해결형연구(NAP, National Agenda Project)’ 사업 ‘재난 예방 및 국민 안전 제고

를 위한 위성기반 위치 추적 기술 연구’ 과제에서는 구조요원의 실내/외 위치 추적 기술을 연구하고 있다.

본 과제에서는 구조 현장에서 구조 요원의 모니터링을 위해 Wi-Fi 기반의 전개식 AP (Deployable Access Point, 이하 DAP)로 구축된 통신 네트워크를 구축하며, 이를 이용하여 구조 요원의 실시간 위치를 추적하는 기술을 연구하고 있다.

Wi-Fi는 거리 측정 정보를 직접적으로 제공하지 않기 때문에 신호 수신 강도 지표 (Received Signal Strength Indicator, 이하 RSSI)의 변화를 이용하여 거

\* 한국항공우주연구원 교통항법기술연구센터/위성항법팀(Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute)

\*\* 서울대학교 자동화 시스템 공동 연구소(Automation and System Research Institute, Seoul National University)

· 제1저자 (First Author) : 천세범(Se-Bum Chun, tel : +82-32-860-7238, email : sbchun@kari.re.kr)

· 접수일자 : 2013년 11월 12일 · 심사(수정)일자 : 2013년 11월 12일 (수정일자 : 2013년 12월 23일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.810>

리를 측정한다. 그러나 구조 현장과 같이 사전 준비가 불가능한 장소에서는 정확도가 매우 낮으며, 사전 준비가 가능하다고 하더라도 안테나 방향이나 자세에 따라 크게 영향을 받는 RSSI의 특성상 안정된 거리 측정치 제공은 쉽지 않다[2, 3, 4]. 이러한 한계로 인해 DAP 단독 운용으로는 성능 측면이나 장비 운영 측면에서의 요구 사항을 만족하기 어렵다.

본 논문에서는 측정치로써의 한계를 가지고 있는 Wi-Fi 기반의 DAP를 이용하여 구조 요원의 위치 추적을 수행하기 위해 DAP 근접 정보와 보행 항법(Pedestrian Dead Reckoning, 이하 PDR)을 이용하여 위치를 추적하는 방법에 대하여 연구하였다. 특히 이러한 구성으로 구조 요원의 궤적과 방위각 사이에 존재하는 offset을 제거하여 복수 구조 요원이 활동하는 상황에서도 유용한 위치 추적 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 구조 요원 위치 추적 시스템의 구성에 대해, 3장과 4장에서 각각 PDR 기술과 DAP/PDR 통합 기술에 언급하고 5장에서는 실제 측정 데이터를 이용하여 제안된 기술의 성능을 평가하였다.

## II. 구조요원 위치 추적 시스템 구성

구조 요원 위치 추적 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 전체 시스템은 구조 요원 휴대 시스템과 DAP, 모니터링 장비로 이루어진다. 구조 요원 휴대 장비는 신발에 장착되는 관성 센서와 Wi-Fi 모듈 및 프로세서로 구성되어 있다.

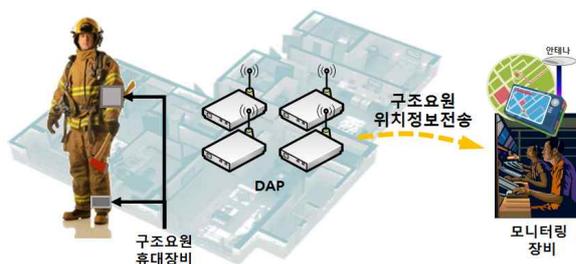


그림 1. 구조 요원 위치 추적 시스템의 구조

Fig. 1. Structure of position tracking system for first responder

구조 요원 위치 추적 시스템은 기본적으로 구조 요원 위치 추적을 위한 고정 AP나 디지털 지도 등의 인프라가 없는 곳에서의 운용을 가정한다. 또한 관성 센서나 지자기 센서의 초기 정렬 과정이 불가능하다고 가정한다.

최초의 구조 요원은 우선 복수의 DAP를 휴대하고 현장에 진입하며 현장 진입 지점 및 통신 취약 지역에 DAP를 설치한다. 설치된 DAP의 위치는 설치 순간의 구조 요원 위치로 고정한다.

설치된 DAP의 위치는 외부 지휘소의 모니터링 장비로 전송되며, 이후 해당 현장에 진입하는 구조요원 모두가 공유한다.

최초 구조 요원 이후로 진입하는 요원은 최초 구조 요원이 설치한 DAP를 이용하여 항법을 수행하게 되며, 최초 구조 요원이 지나지 않은 경로로 진출할 경우 통신 품질에 따라 추가로 DAP를 설치하게 된다.

이러한 방법은 초기 구조 요원의 PDR 결과에 의해 DAP의 위치가 결정되므로 실제 위치와는 drift나 offset 등이 존재할 수 있으나 구조 요원 사이의 상대적인 위치 파악이 중요한 구조 현장의 특성상 크게 문제되지 않는다.

## III. PDR

구조 요원 위치 추적 시스템이 운용되는 실내 환경에서는 각종 구조물로 인한 전파 차단으로 DAP 측정 정보의 오차가 증가하거나 충분한 수의 DAP를 전개하지 못하여 수신에 불량해지는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황을 대응하고 DAP 설치시의 위치를 결정하기 위해 독립적인 위치 추적 수단이 요구된다.

외부의 도움 없이 독립적으로 위치를 추적할 수 있는 기술로는 관성 항법이 가장 일반적이다. 그러나 기술적 한계로 인하여 구조 요원이 휴대 가능한 사이즈의 관성 센서는 성능이 제한적이다. 관성 센서의 성능 한계로 인하여 순수 관성 항법으로는 위치 추적이 불가능하므로 PDR 등의 보행 특성을 이용한 오차 감소 기술 적용이 필수적이다.

PDR은 검출된 걸음 사이의 보폭을 추정하여 이동 거리를 추정하며 이동거리간의 방위각 변화를 추정

하여 보행자의 위치를 추적하는 방법이다.

본 논문에서 적용된 PDR은 신발에 부착된 가속도/각속도 측정치를 이용하여 걸음을 인식하고, 이를 통하여 발꿈치가 지면과 접촉하고 있어 정적 상태를 가정할 수 있는 stance phase(입각기, 立脚期)를 감지한다. Stance phase에서는 영속도 보정 (Zero velocity UPdaTe, 이하 ZUPT)을 수행하여 매 보행시의 보폭을 추정한다[5]. 초기 방위각은 지자기 센서 값에 의존하며 이후 관성 센서 측정값을 이용하여 이동 중 방위각 변화를 추정한다.

#### IV. DAP/PDR 통합

PDR의 적용으로 DAP가 없더라도 항법 해의 발산을 억제할 수 있으나 완전한 제거는 어려우며, 특히 개별 구조요원 간의 위치 및 방위각의 Offset은 극복이 불가능하다. 이러한 이유로 DAP와 보행 항법의 통합사용은 복수 구조 요원 항법 시스템 구성에 있어서 필수적이라고 할 수 있다.

##### 4-1 RSSI 특성

RSSI를 이용한 거리 측정은 핑거프린트(Fingerprint) 데이터베이스나 감쇄 모델을 이용하나 사전에 준비가 불가능하고 다양한 방해물이 있는 실내 환경에서는 안정적인 거리 측정치 확보가 불가능하다. 이러한 이유로 DAP에 특정 거리 이내로 접근했다는 근접 정보만을 이용하여 위치를 추적하였다.

그림 2는 AP와의 거리를 변화시켜가며 실측된 RSSI와 분산을 나타낸 것이다.

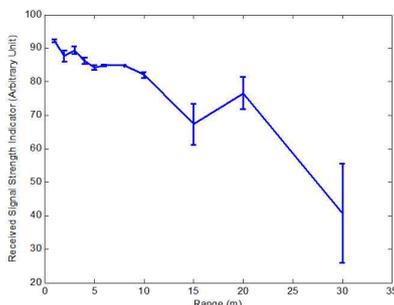


그림 2. 거리에 따른 RSSI 및 RSSI 분산 변화  
Fig. 2. RSSI and variance of RSSI against range change

그림 2에서 볼 수 있듯이 RSSI는 거리에 반비례하며 RSSI 분산은 거리에 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다. DAP 근접 여부 판단의 신뢰성을 높이기 위해 RSSI와 RSSI 분산을 모두 이용하며 RSSI가 특정 값 이상이고 RSSI 분산이 특정 값 이하로 떨어질 경우에 DAP 근접 상황으로 판단한다.

##### 4-2 PDR 모델

식 (1)은 PDR 모델을 나타낸 것이다.

$$X_{t+1} = \begin{bmatrix} N + (\Delta N \cdot \cos(\varphi_t + \delta\varphi_t) - \Delta E \cdot \sin(\varphi_t + \delta\varphi_t)) \\ E + (\Delta E \cdot \sin(\varphi_t + \delta\varphi_t) + \Delta N \cdot \cos(\varphi_t + \delta\varphi_t)) \\ \varphi_t \\ \delta\varphi_t \end{bmatrix} + w_t, w_t \sim N(0, Q_t) \quad (1)$$

여기서,

$X = [N \ E \ \varphi \ \delta\varphi]^T$   
 $N, E$ : north/east position  
 $\varphi$ : heading offset  
 $\delta\varphi$ : heading drift  
 $\Delta N, \Delta E$ : position increment by pedestrian dead reckoning

식 (1)에서 볼 수 있듯이 PDR은 비선형 모델로 표현된다. 이 경우 정확한 초기치를 제공하지 않으면 확장 칼만 필터(Kalman filter) 등을 적용할 경우 선형화 오차의 증가 등으로 필터 거동을 불안정하게 할 수 있다.

##### 4-3 DAP/PDR 통합 위치 추적 알고리즘 구성

DAP/PDR 통합 위치 추적 알고리즘의 구성은 그림 3과 같다.

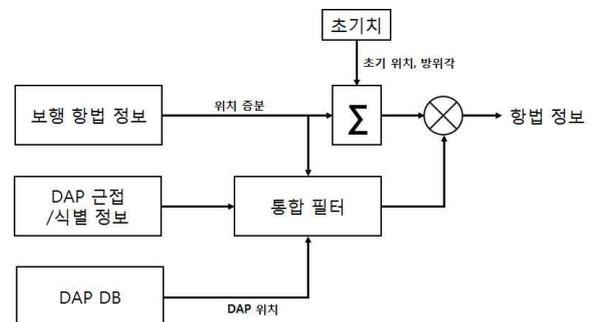


그림 3. DAP/PDR 통합 위치 추적 알고리즘의 구조  
Fig. 3. Structure of DAP/PDR integrated position tracking algorithm

PDR은 비선형 시스템 모델을 가지고 있으며, RSSI를 이용한 근접 정보의 오차는 white-Gaussian 분포를 갖지 않는다. 이러한 문제를 극복하기 위해 Sampling Importance Resampling(SIR) 방식의 파티클 필터(particle filter)를 적용하였다[6, 7].

### V. DAP/PDR 통합 위치 추적 성능

DAP/PDR 통합 위치 추적 성능의 평가를 위해 실측 정보를 이용한 성능 평가를 수행하였다. 실험은 4개의 DAP를 이용하였으며 3명의 구조 요원 위치를 동시에 추적한다고 가정하였다.

#### 5-1 성능 평가 시나리오

실험 시나리오는 다음과 같다.

- 진입구에 DAP #1 설치
- 구조 요원 #1 진입
- 이동 후 DAP #2 설치
- DAP #1, #2를 이용하여 구조 요원 #1위치 추적 수행
- 구조 요원 #2 진입
- DAP #1, #2를 이용하여 구조 요원 #2위치 추적 수행
- 이동 후 DAP #3 설치
- 이동 후 DAP #4 설치
- 구조 요원 #3 진입
- DAP #1~4를 이용하여 구조 요원 #3위치 추적 수행

DAP의 설치 위치는 통신망 구축 및 위치 추적을 위한 최적의 위치로 선정 되어야 하나 본 실험에서는 건물의 형상을 기반으로 사전에 적절한 설치 위치를 선정하였다. DAP 설치 위치는 모든 구조 요원들에게 공유된다고 가정하였다.

#### 5-2 PDR 단독 성능

그림 4는 3명의 구조 요원의 위치를 PDR 단독으로 추정한 것이다. 상대 비교를 위해 초기 위치는 특정 지점에 일치하였다.

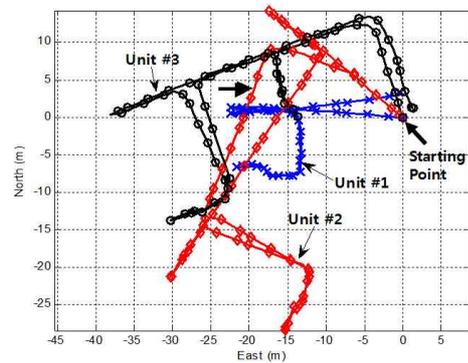


그림 4. 복수 구조 요원의 위치 추적 결과 (PDR 단독)  
Fig. 4. Position tracking result of multiple unit (pure PDR)

그림 4에서 초기 방위각의 경우 지자기 센서를 이용하나 각 센서가 가지고 있는 오차로 인해 offset이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 시간이 지남에 따라 방위각 drift가 발생하며, 잘못된 걸음 인식으로 인한 방위각 오차 (Unit #2 궤적의 화살표 부분) 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 결과로 인해 발생한 구조 요원 궤적 상호간의 offset은 구조 요원 위치 추적 시스템의 운용을 어렵게 할 수 있다.

#### 5-3 DAP/PDR 통합 위치 추적 성능

그림 5는 구조 요원 #1이 최초 진입하여 2기의 DAP를 설치한 상황이다. 그림 6은 구조 요원 #2이 진입하여 DAP #1, 2를 이용해 위치 추적을 수행하며 구조 요원 #1의 진입 지점 보다 더 깊이 진입한 후 DAP #3, 4를 설치한 상황이다. 그림 7은 설치된 DAP#1~4를 이용하여 구조 요원 #3의 위치를 추적한 결과이다. 건물 도면과 비교를 위해 구조 요원 #1의 방위각은 건물의 방위각과 일치 시켰다.

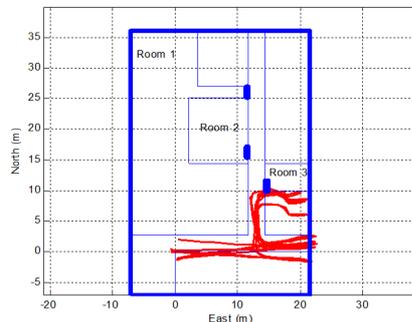


그림 5. 구조 요원 #1의 궤적 (DAP/PDR)  
Fig. 5. Trajectory of unit #1

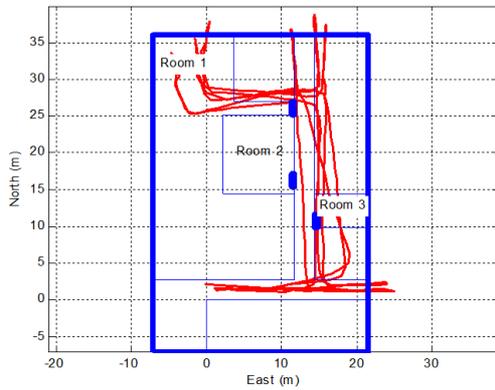


그림 6. 구조 요원 #2의 궤적 (DAP/PDR)  
Fig. 6. Trajectory of unit #2

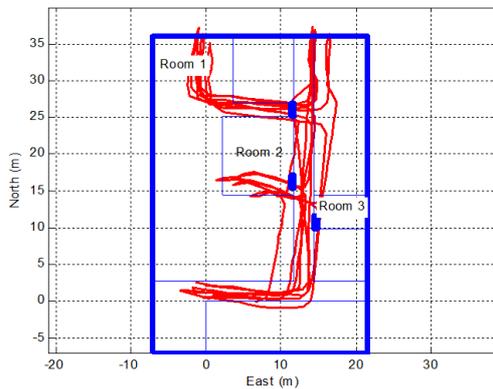


그림 7. 구조 요원 #3의 궤적 (DAP/PDR)  
Fig. 7. Trajectory of unit #3

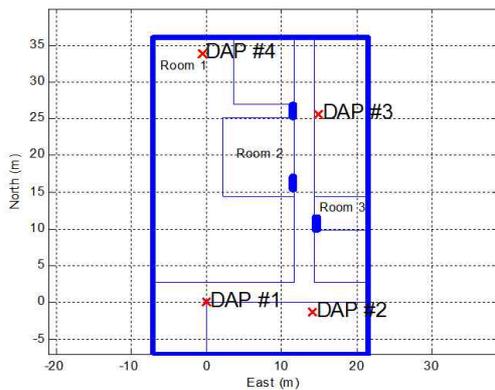


그림 8. DAP의 추정 위치  
Fig. 8. Estimated position of DAPs

그림 6에서 DAP #1~2를 이용하여 구조 요원 #1의 궤적과 offset을 추정하여 제거하였음을 확인할 수 있다. 또한 추가로 설치한 DAP #3~4를 이용하여 drift를 보상함으로써 반복된 궤적 이동시 오차의 증가가 없음을 확인할 수 있다.

그림 7에서 구조 요원 #3은 DAP #1~4를 모두 이용하여 항법을 수행하며 타 구조요원 궤적과의 offset 및 drift 없이 위치 정보를 추정해 내고 있음을 확인할 수 있다. 또한 구조 요원 #1, 2가 지나온 궤적을 이탈하여 Room 2에 진입하였는데도 안정적인 위치 추적 결과를 제공해 주고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8은 DAP #1~4가 설치된 위치이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 구조 현장에서 구조 요원 모니터링을 위해 DAP를 이용해 구축된 Wi-Fi 통신 네트워크를 이용하여 복수 구조 요원의 위치를 추적하는 기술에 대해 연구하였다. 이때 DAP 사이의 음영 지역을 대응하기 위해 보행 항법 기술을 적용하였으며, PDR의 발산은 DAP 근접 정보를 이용하여 보상하였다.

제안된 DAP/PDR 통합 위치 추적 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 실제 실내 환경에서 실험을 수행하였다. 실험은 3명의 구조 요원이 투입되었으며, 이 결과 구조 요원에 의해 설치된 DAP에 의해 단일 구조 요원 궤적의 drift는 물론 구조 요원 간 궤적의 offset이 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 "재난예방 및 국민안전제고를 위한 위성기반 위치추적기술 연구" 과제의 일환으로 수행 되었으며 지원에 감사드립니다.

## Reference

[1] J. Kim, *A Study on Firefighter Position Tracking System*, Dissertation for Degree of Master, Feb. 2011.  
[2] C. Pu *et al*, "An Integrated Approach for Position Estimation using RSSI in Wireless Sensor Network," *Journal of Ubiquitous Convergence Technology*, Vol. 2, No. 2, Nov. 2008.

- [3] Y. Gu *et al*, "A Survey of Indoor Positioning System for Wireless Personal Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorial*, vol. 11, no. 1, First Quarter, 2009.
- [4] G. Glanzner *et al*, "Personal and First-Responder Positioning: State of the Art and Future Trends," *Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS)*, Oct. 2012.
- [5] C. Park *et al*, "Implementation of Real-time Dead Reckoning System Considering Pedestrian Gait Motion," *ICROSS 2013*, May. 2013.
- [6] B. Ristic *et al*, *Beyond the Kalman Filter*, Artech House, 2004.
- [7] A. Doucet *et al*, *Sequential Monte Carlo Methods in Practice*, Springer, 2001.

천 세 범 (Se-Bum Chun)



2000년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2002년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 대학원 (공학석사)  
 2008년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 대학원 (공학박사)

2008년 1월 ~ 2010년 3월 : (주)마이크로인피니티 (책임연구원)  
 2010년 4월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 (선임연구원)  
 관심분야 : GNSS, 관성항법, 센서퓨전, 비선형 시스템 상태 추정

임 순 (Soon Lim)



2007년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)  
 2009년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 대학원 (공학석사)  
 2009년 11월 ~ 2013년 1월 : 한국천문연구원 (연구보조원)

2013년 1월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 (연구원)  
 관심분야 : GNSS, Software simulator, Anti-spoofing

허 문 범 (Moon-Beom Heo)



1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학사)  
 1997년 12월 : Illinois Institute of Technology 항공기계공학과(공학석사)  
 2004년 12월 : Illinois Institute of Technology 항공기계공학과(공학박사)  
 2005년 10월 ~ 현재 : 항공우주연구원 선임연구원  
 관심분야 : GNSS, 위성항법, 항행시스템 등

이 민 수 (Min-Su Lee)



2008년 2월: 서울대학교 기계항공공학부 졸업.  
 2008년~현재: 서울대학교 기계항공공학부 박사과정 재학 중.  
 관심분야: 관성항법시스템 및 보행자 항법 시스템 개발