

# 비콘 실내측위 기반 치매 환자 보호 시스템

김준영, 전소연, 조윤수, 한혜정, 문호\*, 이형준  
 이화여자대학교 컴퓨터공학과  
 \*한전KDN 차세대전력계통TF  
 e-mail: solainejsy@gmail.com

## IoT Home System for Dementia Care based on Beacon Indoor Positioning

JunYeong Kim, SoYeon Jeon, YoonSoo Cho, HyeJung Han,  
 Ho Moon\*, and HyungJune Lee  
 Department of Computer Science and Engineering, Ewha Womans  
 University

\*Power Grid Business Department, KEPCO Knowledge Data & Network  
 Co., Ltd.

### 요 약

최근 고령화에 따른 치매 환자 증가 추세로 인해 실내 치매 환자 케어 시스템이 주목받고 있다. 본 논문에서는 비콘과 센서를 이용한 치매 환자의 배회 방지 및 위험 장소 접근 알림 시스템을 개발하였다. 치매 환자의 실내 위치를 추적하기 위해 비콘을 실내 곳곳에 부착하고, 치매 환자의 위험 행동을 감지하기 위해 센서를 위험지역에 설치한다. 스마트폰을 사용하여 비콘 신호를 측정하고 측정된 비콘 신호를 사용하여 치매 환자의 위치를 계산하여 치매 환자가 위험에 처했다고 판단되면 이를 간병인에게 알린다. 위 시스템을 통해 간병인의 부담을 덜고, 간병 비용을 절약할 수 있다.

### 1. 서론

고령화가 진행되고 노인 인구가 증가하면서, 치매 환자도 가파르게 증가하고 있다. 치매 환자가 증가함에 따라 치매 환자를 간병하는 사회적 비용도 증가하고 있다. 2013년 기준 치매 환자 1인당 간병인의 시간 비용, 간접비용을 포함하여 연간 2,030만 원, 국가적으로는 총 11.7조 원의 간병비가 소요되었다. 또한 치매 환자 간병 비용은 해마다 증가하고 있으며 2050년에는 총 43.2조 원이 소요될 것으로 예상된다[1].

현실적으로 비용 문제로 인해 간병인이 항상 치매 환자를 주시하는 것은 불가능하다. 이 때문에 가정과 요양원에서 치매 환자의 배회에 의한 실종 위험이나 실내 돌발 행동에 의한 사고 위험이 산재한다. 특히 치매 환자의 70%는 배회 증상을 동반하고 있으며[2], 통계 자료에 의하면 배회에 의한 치매 환자의 실종은 2014년에는 8207건, 2015년에는 9046건, 2016년에 이르러서는 9869건으로 매년 증가하는 추세이다[3]. 또한, 2014년 장성 요양병원에서 발생한 화재 참사의 경우 간병인 부재 시 치매 환자의 방화 때문에 21명의 사상자가 발생하였다. 대한노인요양병원협회의 진단 결과 높은 간병인 비용 부담 때문에 야간에 간병 인력을 배치하지 못한 것이 참사를 막지 못한 주요 원인으로 지적되었다[4].

국내 치매 환자 복지 정책에는 지문 사전등록제, 치매 환자 배회감지기 보급, 인적사항 인식표 부착 등이 있다. 그중 배회감지기 보급은 목걸이 형태로 된 GPS 위치추적

기를 환자의 목에 걸어 환자가 배회 시 간병인에게 알리는 정책으로, 가장 실효성 있는 방안이다. 관련 연구에 의하면 배회감지기를 부착한 환자의 배회 행동과 간병인의 불안이 유의하게 감소함을 볼 수 있다[5]. 하지만 일반가정에서 배회감지기를 신청할 시 신청 절차와 등급 심사가 까다롭고 분실 시 신청자에게 배상 책임이 발생하기에 실제 가정 내 배회감지기 보급률은 1%에 그친다[6].

본 논문에서는 비콘 핑거프린팅(finger-printing) 알고리즘과 센서를 활용하여 환자의 배회를 방지하고 환자의 위험 행동을 간병인에게 알리는 시스템을 제안한다. 또한, 간병인의 스마트폰을 활용하여 접근성을 높였다. 간병 환경을 개선하여 간병인의 정신적, 신체적 부담을 덜고 치매 간병 비용을 절약하는 것을 목적으로 한다.

2장에서는 기존 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 시스템의 상세 설계를 기술한다. 또한 4장에서는 본 시스템의 구현 및 테스트 결과를 분석하고 5장에서는 본 논문의 결과 및 향후 계획에 관해 서술하였다.

### 2. 관련 기술과 연구 현황[7][8][9][10]

<표 1> 기존 치매 환자 위험 방지 시스템

| 구분             | 내용                           | 주요기술             |
|----------------|------------------------------|------------------|
| 실종 방지 시스템      | 치매 환자의 위치 파악, 간병인에게 위험 알람 전송 | RFID, NFC, 비콘    |
| 가정 내 사고 방지 시스템 | 치매 환자의 위험 행동 파악              | 동작감지 센서, 가스누출 센서 |

### 2.1 기존 시스템과의 차이점

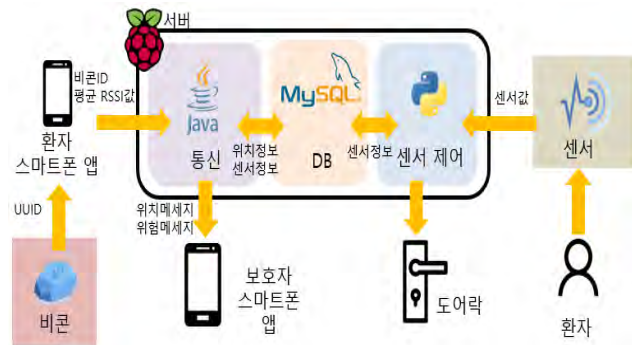
실종 방지 시스템의 경우 치매 환자의 위치만 파악할 뿐 구체적인 위험 행동은 알아낼 수 없다. 가정 내 사고 방지 시스템의 경우 센서에 감지된 대상이 치매 환자인지 아닌지를 알 수 없어 불필요한 알람이 발생할 위험이 있다. 따라서 본 논문에서는 센서와 비콘을 같이 활용하여 치매 환자의 위험 행동을 감지하고, 치매 환자의 위험 행동에 한정하여 간병인에게 알람을 전송하도록 하였다.

<표 II> 기존 시스템과 Be-Care 시스템의 비교

| 구분             | 위치 파악         | 위험 행동 파악        |
|----------------|---------------|-----------------|
| 실종 방지 시스템      | 실내 측위 부정확     | 구체적 위험 행동 파악 불가 |
| 가정 내 사고 방지 시스템 | 불가능           | 치매환자 구분 불가능     |
| Be-Care 시스템    | 실내 측위 부정확성 개선 | 치매환자 구분 가능      |

## 3. 시스템 설계

### 3.1 시스템 아키텍처



(그림 1) 시스템 구성도

환자/보호자 스마트폰 앱, 비콘, 라즈베리파이, 도어락, 불꽃/인체감지 센서가 시스템을 구성한다. 이 시스템은 크게 환자의 위치를 추적하는 환자 실종 방지 모듈과 환자의 위험을 막고 알리는 가정 내 사고 방지 모듈로 이루어져 있다.

### 3.2 시스템 개발 환경구성

<표 III> 개발환경

|      |   |
|------|---|
| HW   | 라즈베리파이3, 비콘, 인체 감지 센서(HC-SR501 PIR 센서 모듈), 불꽃 감지 센서(FS-1), 디지털-아날로그 컨버터(MCP3008), Servo 모터, 보호자 스마트폰(갤럭시노트4), 환자 스마트폰(갤럭시노트5) |
| SW   | Jessie lite OS(Raspbian Jan 2017), Android 6.0.1  |
| 개발환경 | 안드로이드 스튜디오, 이클립스, MySQL(5.1.73)   |
| 언어   | Python(센서 제어), Java(통신, 서버)   |

### 3.3 시스템 기능

시스템 기능은 크게 비콘을 통한 환자의 위치 파악과

센서를 통한 환자의 위험 감지, 그리고 환자의 위치와 위험을 알리는 보호자 알람으로 구성되어 있다.

#### 3.3.1 환자 위험 감지

환자가 위험 상황에 있는지 판단하기 위해 가스레인지에 불꽃감지 센서를, 출입문에 인체감지 센서와 도어락을 부착하고, 각 센서는 별개의 프로세스로 라즈베리파이에 의해 제어된다. 인체감지 센서에 움직임이 감지되었다면 라즈베리파이는 데이터베이스의 Door 테이블에 감지 정보를 저장하고, Location 테이블에 저장된 환자의 현재 위치와 인체감지 센서가 부착된 구역을 비교하여 환자가 출입문 근처에 있다고 판단되면 도어락을 잠긴 상태 그대로 유지하고, 환자가 출입문 근처에 없다는 것이 확인되면 Door 테이블에 도어락 OFF 정보를 저장하고 도어락 잠금을 풀어 출입문이 열린다. 불꽃감지 센서에 불꽃이 감지되었다면 라즈베리파이는 Flame 테이블에 감지 정보를 저장하고, Location 테이블에 저장된 환자의 현재 위치와 가스레인지의 위치를 비교한다. 환자가 가스레인지 근처 노드에 있다면 환자가 가스레인지를 작동시켰다고 판단하여 보호자에게 위험 알람을 보낸다.

#### 3.3.2 환자 위치 파악

환자 스마트폰 앱에서 저장된 Estimate Cloud에 ID/PW로 로그인하여 등록된 Nearable 비콘들의 Identifier 정보를 수신한다. 수신된 Identifier 정보를 기반으로 환자 스마트폰 주위의 비콘을 탐색하기 시작한다. 0.5초 간격으로 비콘 탐색이 이루어지며 탐색된 비콘들의 RSSI값을 저장한다. 2.5초 간격으로 저장된 비콘들의 RSSI 값들의 평균을 계산하여 해당 비콘의 Identifier 정보와 쌍을 이룬 메시지를 라즈베리파이로 송신한다.

라즈베리파이에서 수신한 메시지의 비콘 RSSI값들의 평균, Identifier정보를 기반으로 각 노드의 평균 비콘 RSSI값들과 대조한다. 이때 수신된 RSSI 값들의 평균과 가장 유사한 평균 RSSI값을 가진 후보 노드를 3위까지 계산한다. 1,2,3위 후보 노드들의 순서를 기반으로 각 노드의 순서 목록을 탐색한다. 탐색 결과 일치하는 순서를 가진 노드가 있을 시, 해당 노드를 새로운 환자 위치로 저장한다. 만일 새로운 환자 위치가 이전에 기록된 환자 위치와 다르다면 보호자 알람을 실행한다.

#### 3.3.3 보호자 알람

보호자 알람은 두 가지 경우에 발생한다.

첫째, 라즈베리파이에서 비콘 위치파악 시 새로운 환자 위치가 이전에 기록된 환자 위치와 다른 경우, 새로운 환자 위치 정보로 이루어진 메시지를 보호자 스마트폰 앱에 송신한다. 보호자 스마트폰 앱에서 수신한 메시지의 위치 정보를 기반으로 Map Fragment의 환자 아이콘을 새로운 위치에 해당하는 노드로 이동한다.

둘째, 라즈베리파이에서 환자 위험판단 시 위험발생인 경우, 위험발생의 상세 정보(위험종류, 발생시간)으로 이루어진 메시지를 보호자 스마트폰 앱에 송신한다. 보호자 스마트폰 앱에서 수신한 메시지의 위험종류를 기반으로 화재이면 불꽃 아이콘을, 배회알림이면 문잠김 아이콘을 Map Fragment에 생성한다. 위험종류, 발생시간을 기반으로 Log Fragment에 새로운 위험목록을 생성한다. 현재 저장된 알림 설정을 기반으로 푸시알림의 발생여부와 그에 따른 진동/알림음 동반 여부를 결정한다.

### 3.4 비콘 세기 활용 좌표맵 알고리즘 설계



(그림 2) 현재 환자 위치 계산 과정

비콘 좌표맵은 각 구역들의 테스트 RSSI값, 평균 RSSI값, 현재 환자 위치로 구성한다.

테스트 RSSI값은 각 구역의 3번 노드에서 20회 측정된 모든 비콘의 RSSI값들을 정렬한 배열이다.

평균 RSSI값은 테스트 RSSI값들의 평균을 계산해 각 구역 순으로 정렬한 배열로, 테스트 RSSI 값이 NULL인 경우 측정 불가 값을 의미하는 -105로 계산한다.

현재 환자 위치는 임의의 위치에서 측정된 RSSI값들을 기준으로 각 구역의 평균 RSSI값들과 대조하여 가장 유사한 평균 RSSI값을 가진 구역을 탐색하여 나온 구역이다. 가장 유사한 평균 RSSI값은 임의의 위치의 RSSI값과 평균 RSSI값의 차를 제곱의 합이 최소값인 평균 RSSI값이다.

### 3.5 시스템 동작 흐름도

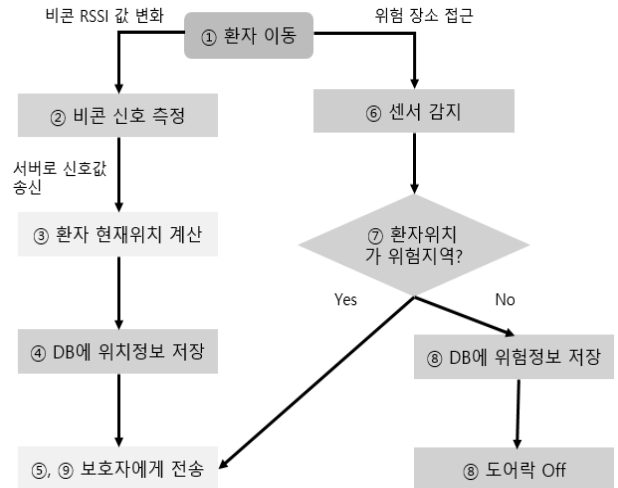
- 1) 환자는 환자용 앱을 실행한 환자 스마트폰을 휴대한 채 비콘이 부착된 실내에 있다.
- 2) 환자 스마트폰 앱이 환자의 현재 위치에서 감지된 각 비콘의 RSSI 값을 측정하여 평균을 구한다.
- 3) 라즈베리파이는 계산된 비콘 RSSI 평균값은 라즈베리파이로 전송받아 환자의 현재 위치를 계산한다.
- 4) 계산된 환자 위치는 현재 시간과 함께 데이터베이스의 Location 테이블에 저장된다.
- 5) 라즈베리파이는 환자의 위치를 보호자 스마트폰 앱으로 전송한다.
- 6) 인체감지 센서가 현관문 근처 사람의 움직임을 감지하

고, 불꽃감지 센서가 가스레인지 사용을 감지한다.

7) 센서가 감지된 경우 라즈베리파이는 환자의 현재 위치를 바탕으로 환자 위치가 위험지역인지를 확인한다.

8) 인체감지 센서가 감지되었으나 환자의 위치가 배회 위험지역이 아니라면 환자가 아닌 보호자가 인식되었다고 판단, 도어락을 해제해 현관문을 연다.

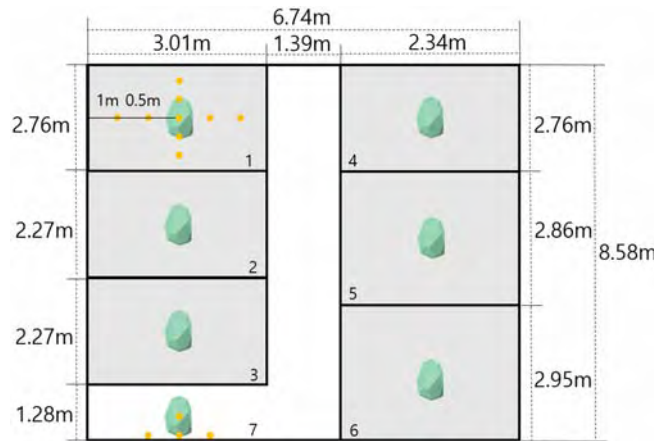
9) 환자의 위치가 위험지역이라면 라즈베리파이는 보호자 스마트폰 앱에게 알림 메시지를 전송한다.



(그림 3) S/W 시스템 흐름도

## 4. 구현 및 평가

### 4.1 실험환경 구성



(그림 4) 실험 장소 규격도

가로 6.74m, 세로 8.58m의 직사각형 방에 유리벽으로 왼쪽 벽에 3개, 오른쪽 벽에 3개의 방을 두고 중간에 복도가 있는 이화여자대학교 아산공학관 109호 오픈SW팀프로젝트실에서 실험하였다. 각 방의 천장 중앙과 문 위에 비콘을 부착한다. 각 방과 문을 구역으로 가정하고 각 구역 정중앙에 3번 노드를 배치하고 각 방에는 0.5m, 1m 반경 사방에 각각 4개의 노드를, 문에는 0.5m, 1m 반경 좌우에 각각 2개의 노드를 추가로 배치하였다.

## 4.2 테스트 진행

테스트는 환자로 가정된 사람이 스마트폰을 들고 실험 공간 곳곳을 돌아다니면서 진행되었다. 환자가 각 방 중앙에서 0.5m, 1m 떨어질 때 10번씩 비콘 신호 세기를 측정하여 환자의 실제 위치와 환자 위치 계산 결과를 비교하였다.

## 4.3 테스트 결과 및 분석

580개의 표본을 살펴본 결과 알고리즘을 적용한 후에 정확도가 79.83%에서 92.09%로 향상됨을 알 수 있었다. 평균적으로 각 방 중앙에서 측정한 정확도는 95.71%이며 중앙에서 0.5m 떨어졌을 때 91.43%, 1m 떨어졌을 때 91.67%이다.

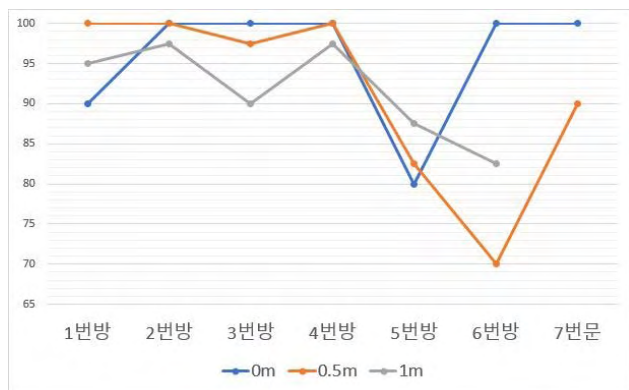
<표 V> 알고리즘 적용 전 정확도

|      | 1번방    | 2번방    | 3번방    | 4번방    | 5번방    | 6번방    | 7번방    | 전체     |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 정확도  | 85.56% | 91.11% | 69.89% | 96.89% | 84.44% | 41.11% | 98.89% | 79.83% |
| 0m   | 58.89% | 89.89% | 90.89% | 100.0% | 100.0% | 82.50% | 89.89% | 84.64% |
| 0.5m | 97.50% | 100.0% | 76.00% | 100.0% | 80.00% | 47.50% | 97.50% | 85.38% |
| 1m   | 91.25% | 91.25% | 57.50% | 97.50% | 85.00% | 37.50% |        | 76.67% |

<표 VI> 알고리즘 적용 후 정확도

|      | 1번방    | 2번방    | 3번방    | 4번방    | 5번방    | 6번방    | 7번방    | 전체     |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 정확도  | 95.87% | 96.88% | 94.44% | 95.89% | 84.44% | 78.89% | 92.89% | 92.10% |
| 0m   | 95.89% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 89.00% | 100.0% | 100.0% | 95.71% |
| 0.5m | 100.0% | 100.0% | 97.50% | 100.0% | 82.50% | 70.00% | 90.00% | 91.43% |
| 1m   | 95.00% | 97.50% | 90.00% | 97.50% | 87.50% | 82.50% |        | 91.67% |

<표 IV> 알고리즘 적용 후 정확률 그래프



환자가 구역의 중앙 노드에 설치된 비콘과 떨어질 수록 위치 계산 정확도가 떨어질 것으로 예상했으나, 실험결과 1m보다 0.5m일 때 정확도가 더 떨어진다. 이는 비콘 6번의 신호 세기가 다른 비콘들 보다 상대적으로 약해 6번방에서 위치 계산 시 주변 비콘 신호 세기로부터 잡음이 발생한 것이 원인이다.

## 5. 결론

### 5.1 결과분석 재해석

본 논문에서는 기존의 치매 노인(또는 미아)의 위치 추적 시스템을 보다 정확하게 개선하고, 센서를 이용해 환

자의 위험을 방지하는 시스템을 제안하였다. 또한, 환자와 환자가 아닌 사람을 구분하여 환자가 아닌 사람은 시스템이 설치된 공간에서 불편을 느낄 수 없이 있을 수 있다.

## 5.2 확장성

본 시스템은 다양한 분야에 응용할 수 있을 것으로 기대된다. 가정 외에 대형 요양원, 병원에서도 치매 환자 사고 방지 목적으로 사용할 수 있다. 병원 외에도 박물관 등 대규모 실내 공간에서도 미아 방지 용도로 사용할 수 있다. 또한 비콘맵 구성 프로세스를 자동화한다면 박물관, 전시회 등 수시로 구조물을 설치 및 철거하는 실내 공간에서도 간단하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] 보건복지부, “제3차 치매관리종합계획”, p.2-3, 2015
- [2] “배회 구조 안내”, 한국치매가족협회, <[http://www.alzza.or.kr/sub/rescue/rescue\\_info.asp](http://www.alzza.or.kr/sub/rescue/rescue_info.asp)>
- [3] 경찰청, “실종아동등 신고접수 및 처리현황”, 2016-12-31, <[http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1610](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1610)>
- [4] 송성철, “장성요양병원 화재참사원인, ‘간병인’ 부재”, doctors news, <<http://doctorsnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=116163>>, (2017-03-31)
- [5] 전성숙, “제가 치매노인 배회감지기 적용의 효과”, 한국보건사회연구원, 보건사회연구 제36권 3호, p.393-427, 2016
- [6] 김인성, “배회감지기 보급 결돈다, 치매노인 실종대책 ‘유명무실’”, MBC news, <[http://imnews.imbc.com/replay/2016/nwdesk/article/3964373\\_19842.html](http://imnews.imbc.com/replay/2016/nwdesk/article/3964373_19842.html)>, (2016-05-07)
- [7] 정명숙, 조성제, “RFID/USN 환경에서 치매환자 실종자 찾기 시스템 모델”, 글로벌사회복지연구 제1권 제2호, p. 81-99, 2011.
- [8] 이기영외 2인, “블루투스 및 NFC 기반 사회약자 사고방지 시스템 설계 및 구현”, 한국인터넷방송통신학회 제13권 제6호, p. 131-136, 2013.
- [9] “IoT 기반 치매 대책, 비콘 이용 배회방지시스템”, 「주간기술동향」, 1689호, 2015.04.01, p.27-31.
- [10] 하은실, “치매 환자를 위한 스마트 케어 시스템 구현”, 한국산학기술학회논문지, 제15권 제6호, p.3832-3840, 2014.

“본 논문은 2017년 한이음 ICT멘토링 프로젝트의 결과물입니다.”