

모바일 단말기 및 CSS PHY를 이용한 실내 위치안내와 원격관제 서비스의 설계*

남영진^{0*}, 박영균^{*}, 강신재^{*}, 김범준^{**}

^{*}대구대학교 컴퓨터·IT공학부, ^{**}계명대학교 전자공학과
yjn@daegu.ac.kr

Design of Indoor Navigation and Remote-Monitoring Service Using Mobile Device and CSS PHY

Young Jin Nam^{0*}, Young Kyun Park^{*}, Sin Jae Kang^{*}, Beom Joon Kim^{**}

^{*}School of Computer and Information Technology, Daegu University

^{**}School of Electronics Engineering, Keimyung University

요 약

무선통신 환경이 발전하면서 사용자의 위치에 따른 서비스를 제공하는 기술들이 많이 개발되고 있다. 사물의 위치를 파악하는 기술에는 여러 가지가 있지만 GPS를 이용한 차량용 네비게이션이 대표적인 기술이라 할 수 있다. 하지만 GPS는 위성과 통신하는 관계로 실내와 같은 음영지역에서는 사용할 수 없는 단점이 있다. 근래에는 실내에서도 거리측정 및 위치파악이 가능한 RF가 개발되고 있는데, 본 논문에서는 이러한 CSS 변조 방식을 이용하는 RF와 모바일 단말기를 이용해 실내 위치안내와 원격지에서 모니터링이 가능한 서비스를 제안한다.

1. 서 론

근래의 대형 건물들을 보면 식당가, 영화관, 운동시설, 문화공연장 등 많은 시설들이 함께 들어서지만 처음 방문 한다면 단번에 원하는 곳으로 찾아가기가 힘든 경우가 있다. 또한 종합병원의 경우에도 진료 및 입원을 위해서는 여러 부서를 다녀야 하지만 바닥이나 벽에 표시된 안내표지만 보고 찾아가기는 어려운 경우가 많다. 만일 실내 위치정보나 건물 내 시설을 이용하는데 유용한 정보를 실시간으로 알 수 있다면, 이동이나 시설물 이용에 많은 도움이 될 것이다. 그리고 노인 인구가 급증함에 따라 요양보호시설도 많이 생기는데 시설 내에서 뿐만 아니라 시설 외 근거리까지 실시간으로 위치와 건강상태가 파악 및 기록이 된다면 위험상황이 발생하더라도 좀 더 신속한 대처가 가능하다. 이러한 기술은 요양보호시설에만 국한되지 않고 u-헬스케어 시스템이 적용되는 전 분야에 통합될 수 있다.

위치 기반 서비스(Location-based Service:LBS)[1]는 사용자의 변경되는 위치에 따라 특정 정보를 제공하는

무선 콘텐츠 서비스를 의미하며, 목적지 안내, 교통정체 상황 알림, 전시관 안내, 사용자 맞춤형 광고 등 다양한 응용들이 존재한다. LBS의 핵심은 사용자의 위치를 측정 및 추정하는 측위 기술로서 실외에서는 GPS가 이미 널리 사용되고 있고, 실내에서는 IEEE 802.15.4a[2]를 지원하는 CSS 변조방식의 RF가 사용되고 있는 추세이다. 위치측위는 고정된 장치와의 거리를 측정하고 그 거리를 이용해 사용자의 위치를 계산하는 방법이 있고, 단순히 신호의 수신 상태, 신호의 세기 등을 이용해 어느 지역에 있다고 추정하는 방법 있다.

본 논문에서는 실내에서 목적지까지 안내하고 원격지에서 실시간으로 사용자의 이동경로 및 위치를 파악할 수 있는 서비스 제공하기 위한 전반적인 시스템을 제안한다. 또한, 실제 구현을 위해 32bit MCU와 QVGA LCD등으로 구성된 모바일 단말기를 제작하고 웹 서버를 구축하며 실험을 통해 성능을 검증한다.

2. 관련연구

위치인식을 위한 기술은 이미 영상처리, 초음파, RFID 등을 이용한 기법과 같이 많이 연구되어 왔고 GPS를 이용한 차량용 네비게이션과 같이 상용화된 경우도 있다. 특히 GPS의 경우 실내에서는 위성신호를 받을 수 없어 사용이 불가능했으나 근래에는 실내에서 위치 인식을 할

* 본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업 및 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

수 있는 다양한 기술들이 연구 및 개발되고 있다. 위치 인식 기술은 일반적으로 두 가지로 나눌 수 있다. 앵커 노드 혹은 비컨노드로 불리는 고정된 노드와 이동 단말 간 거리를 측정해 위치를 계측하는 기술과 별도의 거리 측정 없이 위치를 추정하는 기술로 나눌 수 있다. 거리를 측정하는 기술로는 신호가 전송되는데 걸리는 시간과 속도를 이용하는 ToA[3]기법, 속도가 다른 두 신호의 도착 시간차이를 이용하는 TDoA[4]기법, 수신된 신호의 각을 이용하는 AoA[3][4]기법, 수신된 신호의 세기(RSS)[5]를 이용하는 기법이 대표적이다.

하지만 이러한 거리 측정 기법에는 두 노드 간 시간 동기화가 되어야 하는 문제 혹은 각을 측정할 수 있는 별도의 장치가 필요한 문제가 있다. 2007년 IEEE에서 WPAN의 표준으로 제정한 IEEE 802.15.4a는 이러한 문제를 극복할 수 있는 SDS-TWR 거리 측정 기법을 포함하고 있어 본 논문에서는 거리 측정의 정밀도를 높이기 위해 SDS-TWR 거리 측정 기법을 이용한다. 측정된 거리를 이용해 위치를 계측하는 기법에는 고정된 세 노드와의 거리로 교차점을 찾는 삼변측량 기법과 거리뿐만 아니라 각도도 이용하는 삼각측량이 대표적이거나 본 논문에서는 선행 연구되었던 이변측량[6]기법을 이용한다.

3. 실내 위치안내 및 원격관제 서비스 설계

실내 위치안내는 실내에 설치된 인프라를 통해 사용자의 위치를 계측하고 사용자가 원하는 목적지까지 안내하는 기술을 말한다. 여기서 인프라라 함은 GPS를 이용하는 네비게이션과 달리 실내에서 사용자의 현재 위치를 파악하고 원하는 목적지까지 경로 안내 서비스를 제공하기 위해 실내 곳곳에 설치된 RF노드 및 WPAN 망을 의미한다. 실내에서 위치안내 서비스를 제공하기 위해서는 이러한 인프라 외에도 사용자에게 해당 건물의 실내 맵 정보를 제공해야하며, 사용자는 위치인식을 위한 RF노드가 내장되어 있거나 연결된 단말기를 이용해야한다.

원격관제는 실내 위치안내 기술을 다양한 분야에 응용하기 위한 기술로서, 원격지에서 사용자의 위치 및 상태를 실시간으로 파악하여 갑작스러운 위험에 처한 경우나 위치에 기반한 특정 서비스를 제공하는 기술에 적용될 수 있다. 예를 들어 백화점, 대형마트, 종합병원 등 방문자도 많고 건물 구조도 복잡한 곳에서 입장하는 미취학 아동 및 연소자에게 단말기를 착용시킨다면 미아가 발생한 경우 관제실에서 즉시 해당 미아의 위치를 파악 가능하다. 일반 소비자도 층별로 매장안내 및 이벤트 등의 정보를 알 수 있으며, 운영자는 사용자별 이동경로를 분석해 마케팅에 활용할 수도 있다. 그리고 요양원에 적용

할 경우 시나리오를 예상해보면, u-헬스케어와 연동되어 요양보조원이 옆에 없더라도 환자의 건강상태 및 위치를 실시간으로 파악가능하며 단말기를 통해 환자의 치료활동 스케줄을 전달하거나 환자의 호출요청을 받아 신속히 대처 할 수 있다. 이처럼 다양한 분야에 응용될 수 있는 실내 위치안내 및 원격관제 서비스의 전체 시스템 구조를 보면 그림 1과 같다.

3.1 WPAN 통신 인프라

WPAN 통신 인프라는 레퍼런스 노드 및 사용자 단말과 연결되는 이동 노드, 그리고 게이트웨이에 연결되는 싱크 노드로 구성된다. 그림 1과 같이 사용자의 위치인식을 위해 건물 내 천장에 설치되는 레퍼런스 노드는 기본적으로 갈림길에 설치되며 직선 경로가 긴 경우 적당한 위치에 추가로 설치한다. 레퍼런스 노드는 단순히 사용자 단말기와 위치인식에 사용될 뿐만 아니라 사용자의 위치 및 상태정보를 관제서버로 보내기 위한 라우터역할도 수행한다. 경우에 따라서는 레퍼런스 노드이면서 목적지가 될 수도 있으며 레퍼런스 노드 및 이동 노드는 기본적으로 거리측정이 가능해야 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a와 호환되고 CSS 변조방식을 이용해 거리 측정 및 데이터 전송이 가능한 나노트론사의 RF를 사용한다.

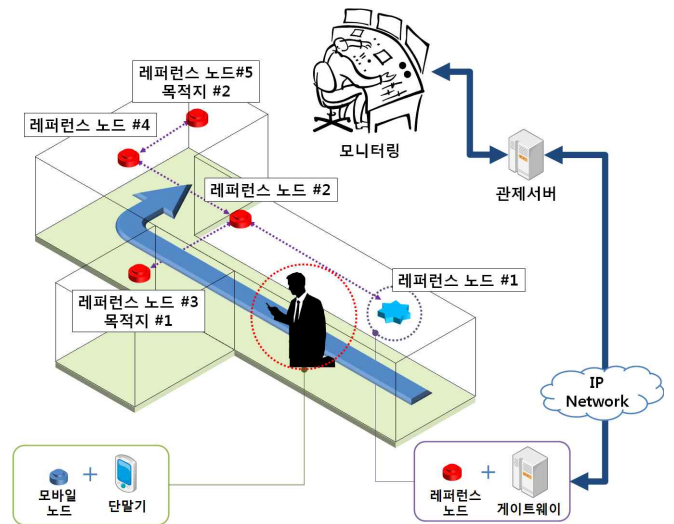


그림 1. 실내 위치안내 및 원격관제 서비스 구조

3.2 사용자 단말기

사용자 단말기는 레퍼런스 노드와의 거리측정 및 통신을 위해 레퍼런스 노드와 동일한 RF로 구성된 이동노드와 연결된다. 이 둘은 시리얼 인터페이스로 연결되며 UART로 통신하도록 구성한다. 또한 사용자에게 위치정

보 및 응용서비스의 정보를 제공하고 사용자로부터 입력을 받기 위해 입·출력 장치들로 구성된다. 단말기는 사용자가 휴대하고 다녀야 하므로 작고 가벼워야 하며 내장된 배터리로 동작하면서 전력소모가 적도록 구성한다.

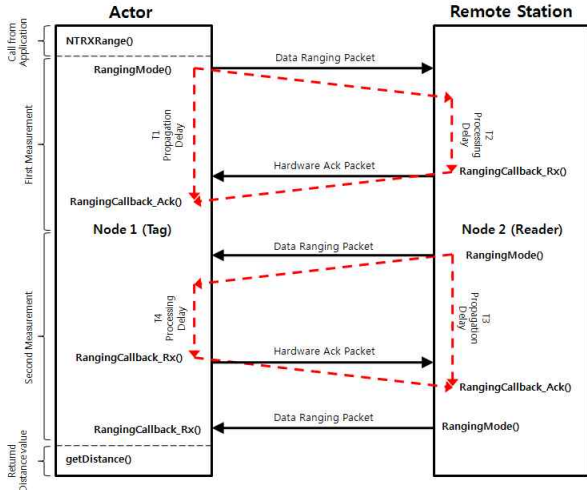


그림 2. SDS-TWR 의 순서

단말기는 WPAN을 통해 수신한 실내 맵 정보를 사용자에게 출력하고 목적지를 입력받으면 최단거리를 계산해 안내를 시작하는데, 산출된 경로 상에 위치한 레퍼런스 노드들을 임시로 출발지와 목적지로 지정한다. 레퍼런스 노드와의 거리 측정 방식은 SDS-TWR방식을 이용하며, 사용자의 위치는 두 개의 레퍼런스 노드로부터 측정된 거리 값만 이용하는 이변측량 기법을 이용한다.

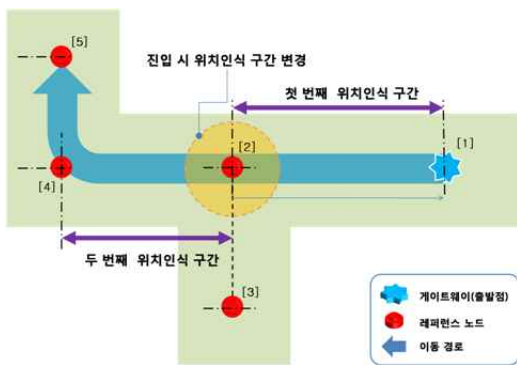


그림 3. 경로 안내를 위한 위치인식 구간의 예

예를 들어 그림 3과 같이 게이트웨이에서 레퍼런스 노드 5까지 이동한다고 가정하자. 사용자 단말기는 우선 게이트웨이-레퍼런스 노드 2 사이에서 게이트웨이를 임시 출발지, 레퍼런스 노드 2를 임시 목적지로 가정한다. 이후 임시 출발지, 임시 목적지와 각각 거리 측정을 하고 두 거리를 이용해 임시 목적지까지의 남은 거리를 계산해 현재 위치로 표시한다. 이후 임시 목적지까지 남은

거리가 1m 이하로 계산되면, 다음 위치인식 구간의 두 레퍼런스 노드와 거리를 계산해 남은 거리 및 현재 위치를 표시한다. 사용자 단말기는 위치계산을 하면서 임시 출발지 노드로 위치정보 및 상태정보를 주기적으로 전송한다. 레퍼런스 노드는 이 정보를 관제서버로 전송하기 위해 라우팅 테이블을 이용해 다음 레퍼런스 노드로 포워딩한다. 전송되는 사용자 위치 및 상태정보는 그림 4와 같은 구조를 가진다.

Octets : 1	1	1	2	1
USER ID	Ref-Node 1	Ref-Node 2	Distance	Status

그림 4. 원격관제를 위한 사용자 위치 및 상태정보 구조

그림 4에서 Ref-Node1은 임시 목적지가 되는 레퍼런스 노드의 주소가 되고 Ref-Node2는 임시 출발지가 되는 레퍼런스 노드의 주소이다. 즉, 현재 사용자가 위치한 위치인식 구간을 나타낸다. Distance는 임시 목적지까지 남은 거리를 나타내며 Status는 사용자의 상태를 나타낸다. Status는 응용에 따라 다양한 값을 정의해서 사용할 수 있으며 필요에 따라 데이터 구조를 변경할 수 있다.

3.3 게이트웨이

게이트웨이는 WPAN 망과 관제서버 간의 프로토콜 변환 기능과 실내 맵 정보 및 응용서비스를 위한 데이터의 캐시 역할을 담당한다. WPAN을 통해 수신한 사용자 위치 및 상태 정보를 관제서버로 TCP/IP 소켓을 통해 전송한다. 관리자가 웹 인터페이스를 통해 실내 맵 정보의 추가 및 수정, 삭제 등의 작업을 위한 처리를 하면 TCP/IP 소켓을 통해 게이트웨이로 전송되며 게이트웨이는 이러한 작업을 수행한다.

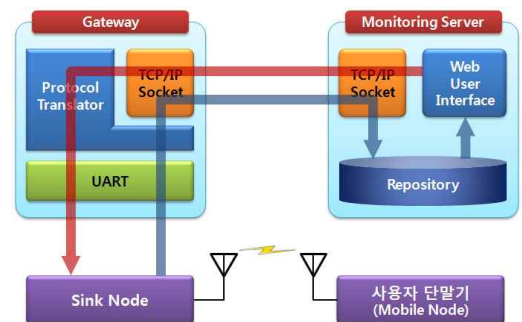


그림 5. 게이트웨이를 통한 프로토콜 변환

그림 5는 게이트웨이를 통한 관제 서버와 사용자 단말

기 간의 데이터 송수신을 나타낸다. 게이트웨이의 Protocol Translator는 싱크노드로부터 수신한 WPAN 데이터를 파싱해서 TCP/IP 소켓으로 보내주는 기능과 관제서버로부터 수신한 데이터를 WPAN 통신을 위해 패킷화 하는 기능을 수행한다.

3.4. 관제서버

관제서버는 웹 서버로 구축되며, 사용자의 위치정보를 저장하기 위한 데이터베이스와 상황인지를 위한 상황정보 데이터베이스 등을 구축한다. 응용에 따라 서비스를 위한 다양한 데이터베이스들이 구축될 수 있으며 이를 Repository로 묶어 관리한다.

관리자는 웹 인터페이스를 통해 관제서버에 사용자 단말기와 실내 맵 정보의 등록 및 관리가 가능하다. 사용자의 위치 또한 웹 인터페이스로 출력하며, 게이트웨이 가 포워딩하는 사용자 위치 및 상태정보를 데이터베이스에 저장하여 사용자의 이동경로 추적도 가능하다. 수신하는 사용자의 상태 정보를 상황정보 데이터베이스와 비교해 현재 사용자가 도움이 필요한 상태인지 어떤 서비스가 도움이 되는지를 관리자에게 추천할 수도 있다. 데이터베이스에 저장되는 사용자의 이동정보는 패턴분석 등을 통해 추후 다른 비슷한 사용자에게 적절한 서비스를 미리 추천할 수도 있고, 위험상황에 좀 더 정확한 진단 및 처리를 가능하게 한다.

4. 구현 및 성능평가

실내 위치안내 및 원격관제 서비스를 위해 필요한 기술을 WPAN 통신 인프라, 사용자 단말기, 게이트웨이, 관제서버의 기술로 나뉘고 기능검증 및 성능평가를 위해 구현해보았다.

우선 실내·외 환경에서 거리 측정 실험을 하고 실내와 실외의 성능을 비교하였다. 실내 환경의 경우 일반적인 건물의 복도, 좌우 천장이 유리창으로 된 복도, 좌우측 벽면이 철제 사물함으로 채워진 복도에서 실험하였고 대조군으로 장애물이 없는 실외 주차장에서 실험하였다. 그림 6은 실험 결과를 각 환경별로 거리 오차의 정규성을 나타낸다. 그래프를 보면 실외주차장, 일반복도, 유리복도의 경우 거리 오차가 정규성을 보인다고 할 수 있으나 철제 사물함으로 채워진 복도의 경우 거리 오차의 분포가 정규성을 띄지 않는다. 즉, 유리나 일반 복도의 콘크리트 벽 등의 반사로 인한 영향보다 철제물에 영향을 많이 받는다고 할 수 있다. 현재 이러한 자료를 기반으로 기존 측정치의 샘플링을 통해 보정식을 도출하고 적용하는 실험을 진행 중이다.

WPAN을 구성하는 레퍼런스 노드, 이동 노드 그리고 싱크 노드는 앞장에서 언급한 바와 같이 나노트론사의 CSS 변조방식을 이용하는 RF와 8bit MCU로 구성된 장치를 사용하였다. TinyOS를 이용해 거리 측정 및 UART 통신, 데이터 전송 등의 프로토콜을 구현하였다.

사용자 단말기는 현재 제작 중에 있으며, 실험을 위해 노트북을 이용해 이동노드와의 통신 프로토콜 및 간단한 사용자 인터페이스를 구현하였다.

관제서버는 리눅스를 이용해 서버를 구축하였다. MySQL을 이용해 사용자 위치 및 상태 정보를 저장하는 데이터베이스를 구축하였고 Tomcat과 JSP를 이용해 웹 인터페이스를 구축하였다.

게이트웨이 또한 리눅스를 기반으로 싱크노드와의 UART 인터페이스 및 관제서버와 TCP/IP소켓통신을 구현하였다.

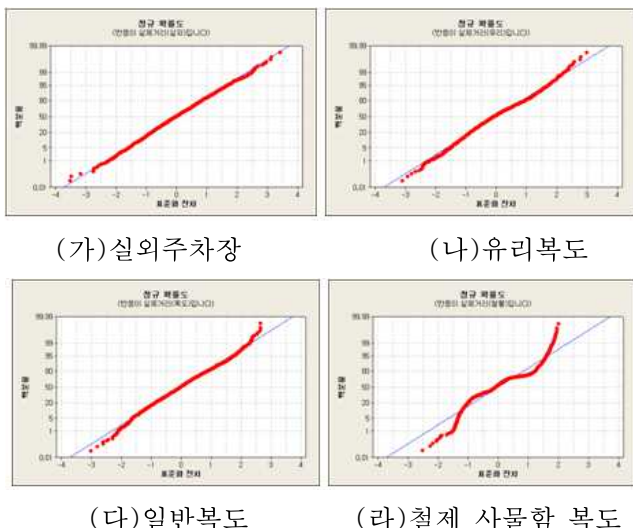


그림 6. 환경 별 거리 측정 오차에 대한 정규확률도

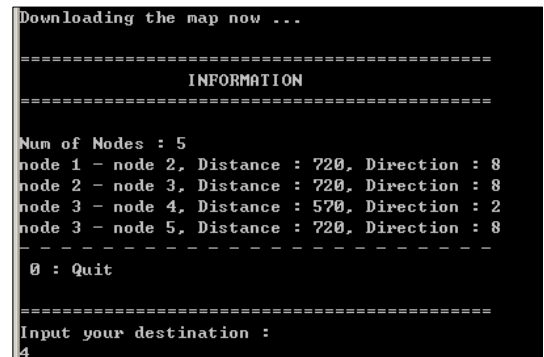


그림 7. 사용자 단말기의 동작 (실내 맵 요청/수신 후 목적지 선택)

현재 웹 인터페이스 상에서 게이트웨이로 실내 맵 정보를 전송하는 프로토콜은 구현되지 않은 상태이며 대신

게이트웨이에 실내 맵 정보를 텍스트 파일 형태로 만들어 두면 사용자 단말의 요청이 있을 시 파일을 읽어 패킷형태로 전송하도록 구현하였다.

기능검증 실험은 대구대학교 정보통신대학 7호관 5층에서 진행 하였다. 관제서버, WPAN 통신 인프라와 게이트웨이, 사용자 단말기 순으로 동작시켜 전체 기능의 동작을 시험했다.

```
MAP request command received.
Starting transmission of MAP information [Phase 1]
MAP information ;
=====
Node i Node j Distance Direction
-----
Node1 Node2 720 8
Node2 Node3 720 8
Node3 Node4 570 2
Node3 Node5 720 8
=====
Transmission Complete.
```

그림 8. 게이트웨이의 동작(실내 맵 요청에 대한 응답)

그림 7은 사용자 단말기가 게이트웨이에 실내 맵 정보를 요청한 뒤 수신 후 목적지 목록을 출력해서 사용자로부터 목적지를 입력받는 화면이다. 그림 8은 게이트웨이가 동작 중에 사용자 단말로부터 실내 맵 요청 메시지를 수신 후 응답하는 화면으로 전송하는 정보를 보면 그림 7의 사용자 단말기가 수신한 후 출력하는 화면과 같음을 볼 수 있다.

```
Start voice guidance and navigation.
Go forward
Node1[2] -> Node2[106] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 718
RemainDistance ==== 718
Node1[12] -> Node2[127] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 708
RemainDistance ==== 708
Node1[11] -> Node2[127] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 709
RemainDistance ==== 709
Node1[15] -> Node2[153] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 705
RemainDistance ==== 705
Node1[29] -> Node2[153] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 691
RemainDistance ==== 691
Node1[21] -> Node2[106] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 699
RemainDistance ==== 699
Node1[36] -> Node2[114] ; MAXD : 720 pkt : a4, 0, 1, 2, 684
RemainDistance ==== 684
```

그림 9. 위치인식 및 위치정보 전송

사용자 단말기는 사용자로부터 목적지를 입력 받으면 두 레퍼런스 노드 사이에서 각각의 레퍼런스 노드까지의 거리를 구하고 임시 목적지가 되는 레퍼런스 노드까지의 남은 거리를 계산한다. 이후 자신의 위치정보를 임시 출발지 노드로 전송한다. 그림 9는 사용자가 레퍼런스 노드 1에서 레퍼런스 노드 2로 이동하면서 측정되는 거리 및 계산된 현재 위치를 출력하는 화면이다. 내부적으로는 이러한 정보를 화면에 출력하면서 임시 출발지로 위치정보 및 상태 정보를 전송한다.

임시 출발지가 되는 레퍼런스 노드들은 사용자 단말기가 전송하는 위치정보 및 상태정보를 관제서버로 전송하기 위해 게이트웨이까지의 경로를 파악하고 다음 레퍼런스 노드로 포워딩한다. WPAN 통신 단에서 최종목적지인 게이트웨이가 포워딩 된 사용자 위치정보 및 상태정보를 수신하면 관제서버로 그 정보를 전송한다. 그림 10은 게이트웨이가 포워딩 된 사용자 위치정보 및 상태정보를 수신 후 관제서버로 TCP/IP 소켓을 통해 전송하는 화면이며, 그림 11은 관제서버의 사용자 위치정보 데이터베이스에 저장된 정보를 실시간으로 웹 인터페이스로 출력한 화면이다.

```
GET /Real/post1.jsp?wid=a&node1=2&node2=1&dist=718&status=0 HTTP/1.0
Host:220.149.14.100:8080
Content-length:0

GET /Real/post1.jsp?wid=a&node1=2&node2=1&dist=708&status=0 HTTP/1.0
Host:220.149.14.100:8080
Content-length:0

GET /Real/post1.jsp?wid=a&node1=2&node2=1&dist=709&status=0 HTTP/1.0
Host:220.149.14.100:8080
Content-length:0

GET /Real/post1.jsp?wid=a&node1=2&node2=1&dist=705&status=0 HTTP/1.0
Host:220.149.14.100:8080
Content-length:0
```

그림 10. 게이트웨이로부터 관제서버로의 사용자 정보 전송

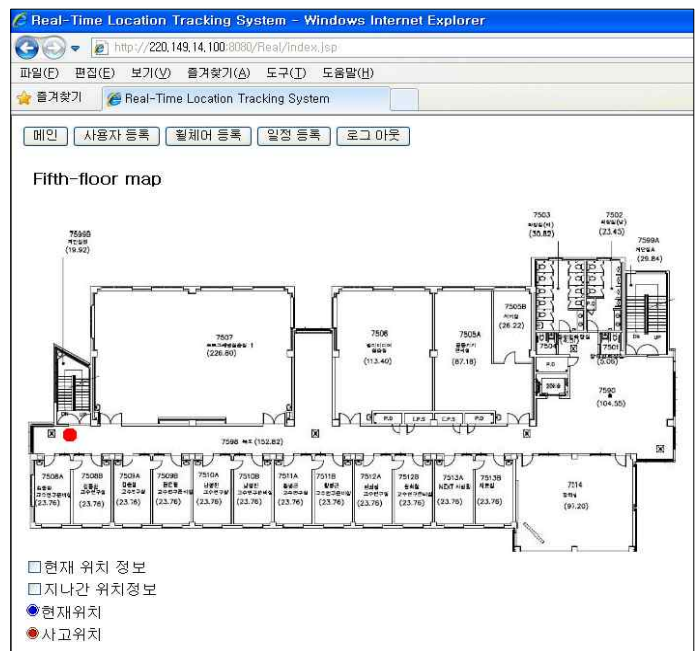


그림 11. 실내 맵 기반 사용자의 현재 위치 출력의 예

전체 기능검증 실험을 위해, 사용자 단말기와 두 레퍼런스 노드와의 거리측정을 하고 위치를 계산하는 주기를 0.5초로 진행하였다. 실험 결과 전체 기능 동작은 검증

이 되었으나 실시간 관제 측면에서 성능의 개선이 요구되는 사항이 발견되었다. 사용자의 위치 및 상태 정보의 전송에 있어 WPAN 망 내에서는 문제없이 포워딩 되지만 게이트웨이가 관제서버로 전송하는 과정에서 문제가 발생한다. TCP/IP 프로토콜을 이용해 통신 하는 관계로 응답메세지 처리로 인한 사용자 위치 및 상태 정보의 전송이 누락되거나 늦어지는 현상이 발생한다. 이런 현상은 위치정보를 전송하는 주기를 늦춰도 발생하는데 이에 대해서는 프로토콜 변경 혹은 스케줄링 등을 통해 계속해서 실험을 할 계획이다.

5. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 실내에서 위치인식 및 안내가 가능하고 원격지에서 모니터링을 통해 다양한 분야에 응용할 수 있는 실내 위치안내 및 원격관제 서비스를 제안했다. 또한 구현을 통해 기능을 검증했고 기본 적인 성능도 측정했다. 실험 결과 전체적인 기능은 동작하지만 거리 측정 성능과 프로토콜의 처리과정으로 인해 정보가 누락되는 등 실시간 측면에서 성능을 개선할 필요가 있다.

현재 사용자 단말기가 제작중인 관계로 노트북으로 대체 실험했지만 차후 단말기 제작이 완료된 이후 성능 개선을 위한 작업과 함께 제작된 단말기로 좀 더 다양한 실험을 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] 위키피디아, <http://www.wikipedia.org/>.
- [2] IEEE 802.15.4a, "Part 15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPAN)," *IEEE Society*, 2007.
- [3] T.Y. Chen, C.C. Chiu, T.C. Tu, "Mixing and Combining with AOA and TOA for Enhanced Accuracy of Mobile Location," IEE, Michael Faraday House, Stevenage, 2003.
- [4] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA Mobile UserLocation for Wideband CDMA Cellular Systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.3, July 2002.
- [5] C Alippi and G Vanini, "A RSSI-based and calibrated centralized localization technique forWireless Sensor Networks," *Proceedings of the Fouth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshop*, 2006.
- [6] Y. Nam and Y. Park, "Efficient Indoor Localization and Navigation with a combination of Ultrasonic and CSS-based IEEE 802.15.4a," *Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications*, 2009.