

전파 음영지역을 고려한 정밀한 RTLS의 설계 및 구현

정회원 손상현*, 최훈*, 정연수* 종신회원 백윤주*^o

The Design and Implementation of Precision RTLS in the Radio Shadow Area

Sanghyun Son*, Hoon Choi*, Yeonsu Jung* *Regular Members,*
Yunju Baek*^o *Lifelong Member*

요약

최근 모바일 장치가 널리 이용됨에 따라 사용자에게 더 나은 서비스를 제공하기 위해 실시간 위치 측정 시스템이 사용된다. 무선 신호의 통신을 토대로 위치 측정을 수행하는 RTLS에서 많은 장소에서 발견되는 무선 통신이 어려운 무선 신호의 음영지역은 위치 측정 성능을 저하시키기에 극복해야 한다. 음영지역의 문제를 해결하기 위해 보조 태그 기법과 방향성 안테나를 활용하여 하나의 리더를 이용한 위치 측정 기법을 제안한다. 본 논문에서는 RTLS에서 음영지역의 문제를 위치 측정 성능을 유지하며 극복하는 방법을 제안하고 구현하여 실험하였다. 구현된 시스템에서 위치 측정 성공률은 38% 향상되었고 위치 측정 정밀도는 CEP 기준으로 1.13미터의 성능을 나타내었다.

Key Words : RTLS, Locating system, Radio Shadow Area, Assistant Tag, GDOP

ABSTRACT

As according to utilizing mobile devices, the real time locating system to provide high quality service is required. RTLS based on wireless communication can be damaged from radio shadow areas which guarantee the line of sight. To cope with the radio shadow area, this paper proposes the performance improvement method using assistant tags and a directional antenna based reader. In addition, this paper also provides the design and implementation of RTLS and experiments for performance evaluation. The result shows that a success rate is increased up to 38% and accuracy is a CEP of 1.13 meters.

I. 서론

최근 모바일 장치가 널리 이용됨에 따라 사용자에게 더 나은 서비스를 제공하기 위해 위치 정보의 필요성이 증가하고 있다. 현재 가장 대중적으로 사용하는 위치 정보 시스템은 위성 항법 장치(global positioning system, GPS)으로 지구를 돌고 있는 24개의 위성 신호를 이용하여 위치 측정을 수행한다. 그러나 GPS는 실내와 같은 위성의 전파 신호가 닿지 않는 음영지역

에서는 사용할 수 없는 단점이 존재한다. 이러한 GPS의 문제를 해결하기 위하여 WPAN 기반의 실시간 위치 측정 시스템(Real Time Locating Systems, RTLS)이 등장하였다^[1,2].

WPAN(wireless personal area network) 기반의 RTLS은 433MHz 나 2.4GHz 대역의 무선 신호를 이용하여 실내와 실외에서 사용되는 시스템이 구현되었다. RTLS 시스템에서의 위치 측정 기법은 크게 전파 세기의 감쇄 정도를 이용하여 위치를 측정하는

※ 이 논문 또는 저서는 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터 공학과 임베디드시스템 연구실({hyun0427, hara_eslab, rookie, yunju}@embed.re.kr)(^o : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-10-463, 접수일자 : 2010년 2월 12일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 7일

Received Signal Strength (RSS) 기법이나 전파의 전달시간을 이용하는 Time of Arrival (ToA) 혹은 Time Difference of Arrival (TDoA) 와 같은 기법으로 나뉘어진다. 위치를 측정하려는 장치의 거리정보를 다양한 형태로 측정하여 삼변측량법으로 위치 측정을 수행한다. 그러나 RSS 기법의 경우 신호의 감쇄 정도가 일정하지 않은 문제가 존재하고 ToA/TDoA 기법의 경우, 일반적인 무선 송수신기의 경우 전파의 전달시간을 정확히 측정할 수 없는 문제가 존재한다. 이러한 문제들은 위치 측정 정밀도를 크게 떨어뜨린다. 최근 위치 측정을 고려한 무선 개인 네트워크의 새 표준으로 등장한 IEEE 802.15.4a^[3]가 제정되어 전파의 전달시간을 보다 정확히 측정할 수 있는 SDS-TWR (symmetric double side two way ranging) 기법과 CSS (chirp spread spectrum) 방식의 PHY 계층 및 MAC 계층이 등장하였고 표준에 맞게 만들어진 nanotron사의 무선 송수신기^[5]가 등장하여 WPAN 기반의 RTLS 성능을 향상시켰다^[4].

WPAN 기반의 RTLS에서는 위치 측정을 위해서 노드와 무선 통신이 필수적으로 요구된다. 특히 삼변측량법을 이용하여 위치 계산을 수행하는 경우 셋 이상의 노드와 통신하여 거리정보를 얻어야 한다. 그러나 특정지역에서 장애물이나 기타 방해요인으로 인해 전파가 차단되어 셋 이상의 노드와 통신할 수 없는 지역을 전파의 음영지역이라 한다. 이러한 음영지역이 RTLS를 적용한 필드 위에 넓게 존재할수록 시스템의 성능이 크게 저하하는 문제가 있다. 이러한 문제는 음영지역이 발생하지 않도록 노드를 추가적으로 배치하는 것으로 극복할 수 있으나 시스템의 전체 비용을 증가시키는 문제가 발생하기 때문에 다른 기법을 적용하기로 한다.

본 논문에서는 RTLS에서 음영지역 내에 존재하는 태그의 위치를 측정하기 위한 보조 태그 기법과 위치 측정 정확도를 향상시키기 위해 보조 태그 선정 기법 및 지향성 안테나를 이용한 위치 측정 기법을 제안하고 이러한 기법이 포함된 RTLS 시스템을 설계 및 구현한다.

II. 관련 연구

본 장에서는 RTLS의 개요와 IEEE 802.15.4a에서 제시하는 거리 측정 기법인 SDS-TWR과 삼변측량법을 살펴본다. RTLS는 위치가 측정되는 태그 노드와 위치를 측정하기 위해 고정되어 사용되는 노드인 리더로 구성되어 있다. 태그는 일정한 간격으로 blink

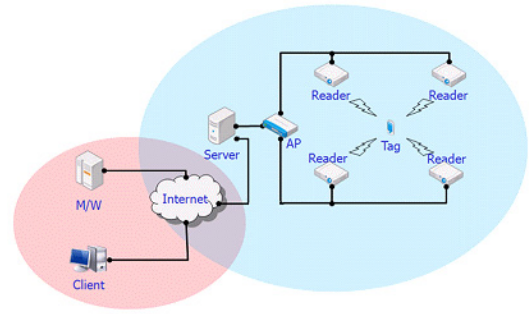


그림 1. RTLS 시스템

메시지를 보내고 그것을 받은 리더와 서버가 거리 측정을 수행하도록 구성된다. 측정된 거리정보를 기반으로 위치 좌표를 구하면 필터링을 통해 오류를 제거하고 네트워크를 통해 위치 정보를 유저에게 제공한다.

기본적으로 전파의 전달시간으로 거리를 측정하는 ToA/TDoA 기법^[6,7]은 전파를 전달하는 시점의 시각과 전파가 도달하는 시점의 시각을 이용하여 전달시간을 계산하기 때문에 노드 간의 시각동기를 요구한다. 그러나 이러한 시각동기는 전원과 주파수 대역의 측면에 있어서 큰 자원의 소모를 발생시킨다. TWR 기법은 이러한 문제를 해결하기 위한 기법으로 두 노드가 무선 신호를 주고 받음으로써 상대적인 시각 차이를 알 수 있기 때문에 시각동기가 필요하지 않다. 표준에 등장하는 SDS-TWR 기법은 이러한 TWR 기법을 양쪽 노드에서 대칭적으로 수행함으로써 전파 전달시간의 측정 오차를 줄이는 기법이다.

삼변측량법은 위치가 알려진 리더와 태그 간의 거리 정보를 이용하여 위치를 측정하는 기법이다. 이 기법은 거리 정보를 반지름으로 하는 원을 구하여 그 원의 교점으로 태그의 위치를 측정한다. 2차원의 위치 좌표를 측정하기 위해서 3개 이상의 거리정보가 필요하고 3차원의 위치 좌표를 측정하기 위해서는 4개 이상의 거리정보가 필요하다. 본 논문에서는 2차원상의 공간에서 태그의 위치를 구하도록 한다.

제안하는 논문에서는 거리를 측정하기 위해 TWR 기법을 이용하여 거리 측정을 수행하고 이러한 거리 정보를 활용하여 삼변측량법을 이용하여 위치를 측정하는 RTLS를 설계하고 구현하도록 한다.

III. 음영지역 극복을 위한 RTLS 설계 및 구현

본 장에서는 음영지역 극복을 고려하는 RTLS를 설계하고자 한다. TWR 기반의 RTLS 프로토콜과 음영지역 극복을 위한 보조 태그 기법, 위치 오차를 줄

이기 위한 보조 태그 선정 기법 그리고 하나의 리더로 위치를 측정하기 위한 지향성 안테나를 이용한 위치 측정 기법을 설명한다.

3.1 무선 신호 충돌 방지 RTLS 프로토콜

기존의 RTLS에서 노드 간의 통신을 제어하기 위해 노드들은 base station (BS)의 통신거리 내에 존재해야 한다. 이러한 형태의 토폴로지는 RTLS의 확장성에 제한이 있기 때문에 수정되어야 하며 무선 신호의 충돌이 발생하지 않도록 프로토콜을 구성한다.

제안하는 RTLS에서는 위치 측정을 위해 위치 측정 엔진 (Location engine) 과 리더 (Reader) 그리고 태그 (Tag)^[4] 로 구성한다. 리더와 위치 측정 엔진은 네트워크로 연결하여 리더는 태그 정보를 엔진에게 전달하고 엔진은 리더에게 태그와의 거리 측정 명령을 전달 할 수 있도록 구축한다.

제안하는 셀 블록킹 프로토콜 (cell blocking protocol, CBP) 은 태그의 블링크(blink) 신호를 이용해 주변 리더를 파악하고 엔진에서 해당 리더에게 위치 측정을 순차적으로 수행하도록 명령한다. 프로토콜은 두 단계로 나누어져 있으며 그것은 각각 태그 블링크 단계 (blink phase)와 거리를 측정하는 거리 측정 단계 (ranging phase) 이다.

블링크 단계에서는 태그가 블링크 신호를 통해 해당 태그 주변의 리더들에게 자신의 존재를 알리고 리더는 그 정보를 엔진에게 네트워크를 통하여 전달한다. 엔진에서는 리더에게 받은 정보를 이용하여 해당 태그와 거리 측정을 수행할 리더 셋을 선정하게 된다. 리더 셋에 포함된 리더 중 현재 위치 측정에 활용되고 있는 리더가 존재하면 리더 셋의 전달은 가로막히고 현재 진행중인 거리 측정이 완료되면 대기중인 리더 리스트를 전달한다.

거리 측정 단계에서 리더 리스트가 리더에게 전달 되면 해당 리더는 자신이 거리 측정을 수행한 후, 다음 리더에게 거리 측정을 순차적으로 수행할 수 있도록 토큰을 만들어 전달한다. 토큰에는 리더 정보와 거리 정보가 저장되며 해당 토큰 내의 거리정보가 모두 채워지게 되면 엔진으로 전달되어 위치 측정에 사용한다. 엔진은 전달 받은 거리 정보를 이용하여 위치를 측정한다. 그림2는 RTLS에서 동작하는 셀 블록킹 프로토콜의 동작과정을 나타낸다.

3.2 음영지역 극복 기법

필요한 수 이상의 리더와 통신하지 못해 발생하는 RTLS의 음영지역 문제를 해결하기 위하여 보조 태그

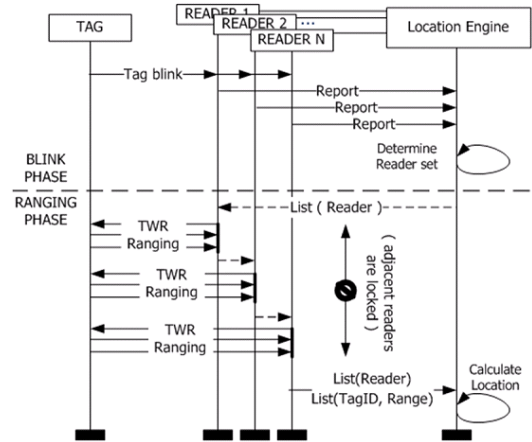


그림 2. CBP 동작과정

기법을 제안한다. 보조 태그 기법은 충분하지 못한 리더와 태그간의 거리 정보의 확보를 위하여 태그를 리더와 같이 사용하여 부족한 거리 정보를 얻도록 한다. 보조 태그를 이용하여 위치 측정을 할 경우 태그 위치가 위치 측정 성능에 영향을 주기 때문에 보조 태그의 선정 방법 및 하나의 리더로 위치를 측정하기 위한 지향성 안테나를 이용한 위치 측정 기법을 제안한다.

3.2.1 보조 태그 기법

태그가 충분한 수의 리더와 통신하지 못할 경우 태그의 위치를 구할 수 없는 상황이 된다. 이러한 경우 태그를 이용하여 충분한 리더와 통신할 수 없는 음영 지역 내의 태그와 통신을 수행하여 위치를 구할 수 있도록 한다. 태그가 블링크 신호를 보내면 리더뿐만 아니라 주변의 태그들도 신호를 수신하여 주변에 어떠한 태그가 존재하는지 알 수 있도록 한다. 그러한 주변의 태그 정보는 블링크 신호에 포함되어 엔진으로 전달된다. 음영지역 내의 태그 주변에 존재하는 태그 중에 위치가 측정되어 리더처럼 활용할 수 있는 태그를 보조 태그로 선택한다. 이러한 보조 태그 기법은 태그에서 토큰 처리와 거리 측정 명령을 스스로 수행할 수 있어야 하는 비용이 존재하지만 리더의 추가 없이 음영지역 문제를 극복하는 장점이 있다. 그림 3에서 장애물에 둘러싸여있는 태그는 충분한 수의 리더와 통신을 할 수 없는 상태이나 주변에 존재하는 태그를 보조 태그로 사용하여 위치 측정을 수행 할 수 있다.

3.2.2 보조 태그 선정 기법

음영지역 태그의 위치를 구하기 위해서는 보조 태그를 적절하게 선정해야 한다. 리더와는 다르게 태그

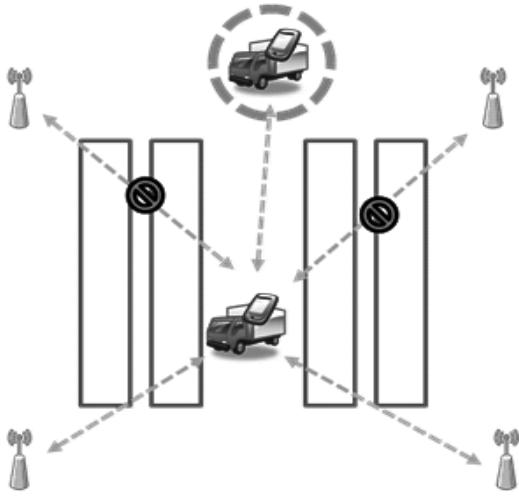


그림 3. 보조 태그 기법 동작과정

는 위치 측정에 있어 언제나 좋은 위치에 배치되어 있지 않기 때문이다. 리더의 경우 태그의 위치 측정 오류가 발생하지 않도록 상대적으로 낮은 GDOP (geometric dilution of position) 수치를 갖는 격자 형태나 정삼각형 형태로 리더를 배치하나 태그는 이동이 가능하기에 그때마다 위치가 달라지며 항상 위치 측정에 있어 적절한 위치에 배치되어 있지 않을 수 있다. 이러한 문제로 인하여 측정 오류를 증가시키지 않도록 보조 태그의 선정은 중요하다. 이러한 위치 측정 오류가 발생하는 것은 거리 측정 값이 오류를 포함하고 있기 때문인데 오류의 영향을 적게 받기 위하여 태그와 리더가 만드는 다각형의 예각의 크기가 너무 작은 극단적인 모양이 될 경우 거리 측정의 오류로 인하여 위치 오차를 크게 발생시킬 수 있다. 이러한 예각의 크기를 변화시켜 시뮬레이션 해본 결과는 그림과 같다. 그림 4에서 예각의 크기가 작아짐에 따라 실제 위치인 사각형 점과 측정위치인 원형 점의 차이가 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

다수의 보조 태그 후보가 존재할 경우 리더와 태그

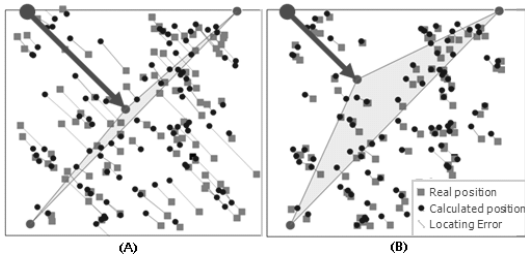


그림 4. GDOP 수치에 따른 오차 테스트

가 만드는 최대 크기의 다각형을 이루도록 태그를 선정한다. 가능한 태그를 모두 이용할 경우 거리 측정을 위한 무선 통신의 횟수가 증가하게 되고 위치 측정을 위한 시간이 더 오래 걸리기 때문에 최소한의 태그를 사용한다. 이 때 convex hull기법^[8]을 이용하여 최대 크기의 다각형을 이루기 위해 필수적으로 필요한 리더와 태그를 알아내고 그 태그들을 보조 태그로 사용한다. 이러한 방법으로 다각형을 만들더라도 높은 GDOP 수치 갖는 리더 셋이 선택 될 수 있다. 이러한 경우 측정 시도를 포기하여 잘못된 위치를 측정하지 않도록 한다.

3.2.3 지향성 리더를 이용한 위치 측정 기법

리더와 통신이 충분히 이루어지지 않는 음영지역 태그의 위치를 구하기 위한 방법으로 지향성 안테나를 이용할 수 있다. 통신을 수행하는 방향정보와 거리 정보를 이용하여 해당방향에 존재하는 태그의 위치를 측정할 수 있다. 이 기법의 경우 통로와 같은 형태의 음영지역에서 하나의 리더를 이용하여 위치를 측정할 수 있는 장점이 있다. 그림 5에서 통로 내에 존재하는 태그는 삼변측량을 위한 거리 값을 충분히 확보하지 못하지만 6시 방향의 리더가 지향성 안테나를 이용하여 통로 내의 태그와의 거리를 측정해 태그의 위치를 계산하는 모습을 보이고 있다.

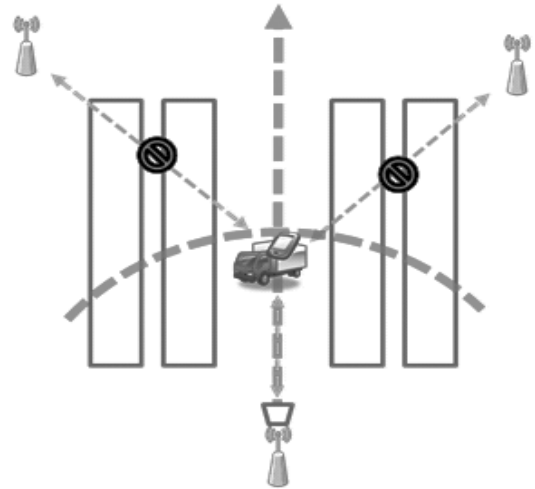


그림 5. 지향성 안테나를 이용한 위치 측정 기법

IV. 성능 평가

본 장에서는 3장에서 설계하고 구현한 음영지역 극복 기법이 적용된 RTLS의 성능을 평가한다. 성능평가

를 위한 실험 환경을 설명하고 실험결과를 제시한다.

4.1 실험 환경

부산대학교 대운동장에 RTLS 테스트베드를 설치하여 실험을 수행하였다. 각 리더는 운동장을 둘러싼 조명탑에 부착되고 이것은 각각 무선 네트워크를 이용하여 본부서의 무선 AP에 연결하여 네트워크를 구축하였다. 조명탑에 지상으로부터 20미터 높이에 리더와 2개의 방향성 안테나를 설치하였다. 조명탑에 설치된 안테나는 2.4GHz 대역에서 8dBi의 이득을 가지는 지향성 안테나를 사용하였다. 조명탑으로 둘러싸인 운동장은 120미터 x 140미터의 공간으로 리더를 배치하였다. 지향성 안테나를 이용한 위치 측정 기법의 성능을 측정하기 위하여 광양 터미널의 통로에 리더를 설치하고 각각 2.4GHz 대역에서 16dBi의 이득을 가지고 직진성이 강한 지향성안테나를 이용하여 통로를 바라보도록 설치하였다.

4.2 음영지역에서의 측정 성공률 평가

음영지역 극복을 위한 보조 태그 기법의 성능평가를 위해 음영지역 내의 태그의 위치 측정 정도를 측정하였다. 성능차이를 확인하기 위하여 음영지역에 존재하는 태그의 위치 측정을 위해 보조 태그 기법을 사용하였을 경우와 그렇지 않을 경우를 비교하였다. RTLS 테스트베드에 4개의 보조 태그를 배치하고 외각지역을 26개의 세부지역으로 나누어 각각의 지역에서 50회씩 위치 측정을 수행하였다. 보조 태그로 활용될 태그는 4개의 고정 위치에 설치하고 음영지역의 태그를 도출 수 있도록 설치하였다.

각각의 위치에서 기법의 적용하였을 경우와 그렇지 않을 경우의 위치 측정 성공률을 구하여 비교해보았다. 그림 6과 같이 두 경우에 따라 성능차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 보조 태그를 사용하지 않았을 경우 위치 측정을 성공한 경우는 극히 드물게 위치 측정을 수행하고 있고 사용하였을 경우 다수의 성공

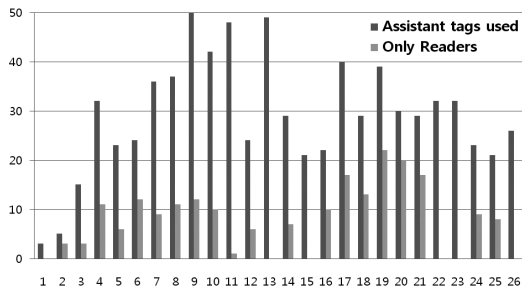


그림 6. 실험위치에서의 위치 측정 성공률

을 보여주고 있다. 그림 6은 각각의 위치에서 성공률을 비교한 그래프로 성공률의 상승 정도를 한눈에 확인할 수 있다. 전체 상승률의 평균을 계산하면 38%의 성능 향상을 확인할 수 있다.

4.3 위치 측정 정밀도 평가

보조 태그를 활용하여 위치 측정을 수행할 경우 태그의 위치 정보 오류와 GDOP으로 발생하는 오류로 인하여 위치 측정 정밀도가 떨어지게 된다. 보조 태그 선정 기법을 활용한 경우와 그렇지 않았을 경우의 위치 정밀도를 평가해보았다. 리더 셋에서 높은 GDOP 값을 가져 오류가 발생할 수 있는 경우를 제거할 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 실험을 수행하였다. 태그를 두 위치에 배치하고 발생할 수 있는 모든 리더 셋의 환경에서 위치측정을 수행한 후 측정된 위치 좌표와 실제 위치 좌표를 비교하여 성능을 평가하였다. 그림 7에서는 위치 측정 성능 비교결과를 나타내고 있다. 각 태그에 대한 성능평가로 리더만을 활용하였을 경우와 보조 태그를 사용했을 경우에 대해 평가하였고 보조 태그를 사용하더라도 GDOP을 고려하여 태그 선정을 한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어서 평가하였다. 태그 1의 결과를 살펴보면 리더만을 이용하였을 경우 CEP 기준으로 가장 좋은 성능인 35.68 센티미터의 결과를 나타내었다. 보조 태그를 이용할 경우 리더를 이용하여 측정할 경우보다 좋지 못한 성능을 나타낸다. GDOP을 고려하여 태그 선정을 할 경우 106.99 센티미터의 성능을 보였고 정밀도가 낮아 졌지만 응용에서 활용할 수 있는 수준이나, 고려하지 않고 태그 선정을 할 경우 1278.64 센티미터로 정밀

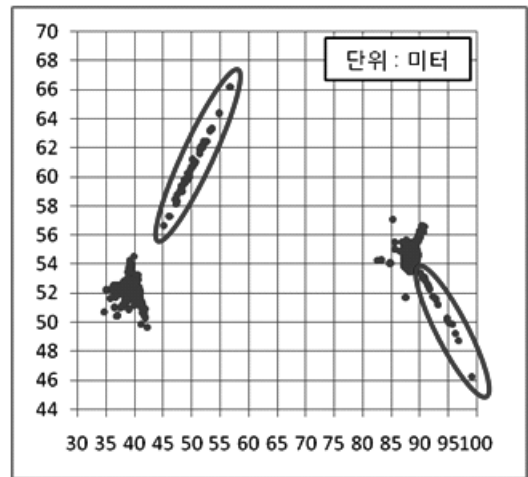


그림 7. 태그의 위치 측정 결과

도가 크게 낮아진 것을 확인 할 수 있다. 태그 2의 경우도 태그 1과 비슷한 결과를 보이고 있다.

4.4 지향성 안테나를 활용한 위치 측정 테스트

적재되어 있는 컨테이너로 인하여 리더와의 통신이 이루어지지 않는 컨테이너 사이의 통로에 존재하는 태그의 위치를 측정하기 위하여 하나의 리더를 이용하여 통로 내의 태그와 통신하도록 리더를 설치하여 태그의 위치 측정 능력을 테스트 하였다. 차량이 이동하는 4개의 가로방향의 통로지점과 각각의 통로로 진입하기 위한 세로 방향의 통로를 바라보는 지향성안테나를 설치한 리더를 각각 설치한 후 실험을 수행하였다. 다른 통로의 정보를 수신할 경우 위치오차가 크게 발생할 수 있기 때문에 과거의 이동경로를 고려한 위치 측정 필터링을 이용하여 결과를 도출하였다. 실험을 통해 얻은 위치 측정 성능은 CEP 기준으로 315.1 센티미터의 성능을 보여주고 있다.

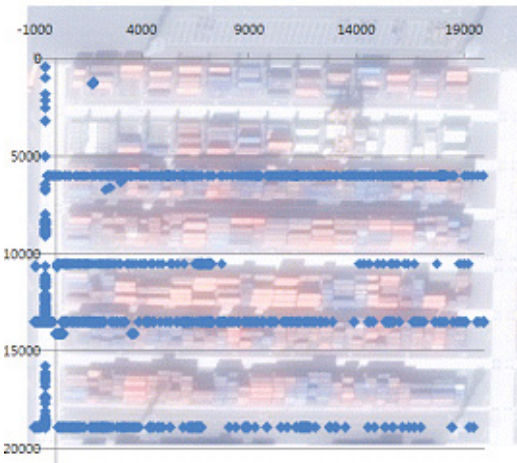


그림 8. 지향성 안테나를 활용한 위치 측정 테스트

V. 결 론

본 논문은 다양한 응용계층에서 활용할 수 있는 고성능의 RTLS를 제안하였다. 무선신호의 충돌을 방지하는 CBP 프로토콜을 기반으로 음영지역에서 태그의 위치를 측정하기 위한 보조 태그 기법과 위치 측정 정밀도를 높이기 위한 보조 태그 선정 기법을 제안하였고 실외 실험과 시뮬레이션을 통하여 성능을 증명하였다. 보조 태그 기법을 적용하여 기존의 방법에 비해 음영지역 태그의 인식률이 38% 향상되었다. 또한 보조 태그 선정 기법을 이용하여 측정 결과를 좋지 않게

하는 리더 셋을 제거함으로써 위치 오차가 발생하는 것을 줄였다. 그리하여 위치 측정 성능이 CEP 기준으로 113.3 센티미터 수준으로 여러 응용에서 활용할 수 있는 측정 성능을 나타내었다. 지향성 안테나를 활용한 위치 측정 기법의 경우 통로에 존재하는 태그의 위치를 적은 소의 리더로 측정해 낼 수 있는 장점이 존재하고 위치 측정 성능이 CEP 기준으로 315.1 센티미터의 수준으로 나타내었다.

RTLS의 음영지역을 극복하는 기법들을 제안하였고 적용하였으나 리더가 태그 신호를 전혀 받지 못하는 지역의 태그는 처리 할 수 없으며 태그의 저전력 동작에 대한 고려가 적기 때문에 이러한 문제를 해결할 연구를 지속할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조영수, 조성운, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, “실내의 연속측위 기술 동향,” 전자통신동향분석, 22권 3호, pp. 20-28, 2007.
- [2] M. Hazas, J. Scott, and J. Krumm, “Location-Aware Computing Comes of Ages,” *IEEE Computer Magazine*, Vol.37, No.2, pp.95-97, Feb. 2004.
- [3] IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a), <http://ieee802.org/15/pub/TG4a.html>, Mar. 2008
- [4] 손상현, 정연수, 최훈, 백운주, “IEEE 802.15.4a CSS PHY를 이용한 실시간 측위 시스템 설계 및 구현”, 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2008. 7.
- [5] NanoTron, <http://www.nanotron.com>
- [6] Yiu-Tong Chan, herman Yau Chin Hang, Pak-chung Ching, “Exact and Approximate maximum Likelihood Localization Algorithms,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, issue 1, Vol.55, pp.10-16, Jan, 2006.
- [7] George A. Mizusawa, “Performance of Hyperbolic Position Location Techniques for Code Division Multiple Access,” *Master thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE in Electrical Engineering*, Aug 1996.
- [8] Graham’s convex hull algorithm. O’Rourke, J. ‘Computational Geometry in C’, Cambridge

University Press, New York, p. 80, 1995

손 상 현 (Sanghyun Son)

정회원



2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과
2009년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사
2009년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 무선 센서 네트워크, RTLS, RFID

정 연 수 (Yeonsu Jung)

정회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과
2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사
2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 무선 센서 네트워크, RTLS, RFID

최 훈 (Hoon Choi)

정회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과
2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사
2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 무선 센서 네트워크, RTLS, RFID

백 윤 주 (Yunju Baek)

종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전산학과
1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 박사
1999년~2002년 (주)NHN 연구소장

2003년 9월~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 임베디드시스템, 컴퓨터구조, RTLS