

# 밀집 환경에 적합한 신뢰성 있는 분산형 RTLS 시스템의 설계 및 구현

정회원 장현성\*, 최 훈\*, 정연수\*, 종신회원 백윤주\*

## Design and Implementation of Robustness Distributed RTLS in Dense Environment

Hyunsung Jang\*, Hoon Choi\*, Yeonsu Jung\* *Regular Members*, Yunju Baek\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

RTLS (Real Time Locating Systems)란 사물이나 사람의 위치를 실시간으로 추적하는 시스템으로써, 주로 근거리 무선 통신을 이용하여 태그의 위치를 추적한다. 일반적으로 위치 추적 시스템은 하나의 서버가 많은 수의 태그와 리더를 관리하기 때문에, 태그와 리더의 수가 늘어나고, 접속자가 많아지면 과부하가 걸린 서버는 실시간 위치 추적 동작을 실패 할 수 있다. 또한 신호 감쇄나 NLOS(Non Line-Of-Sight) 등에 의하여 태그의 신호를 3개 미만의 리더가 수신한 경우, RTLS는 태그의 위치 추적을 실패하게 된다. 본 논문에서는 RTLS 리더에 측위 엔진을 내장함으로써 네트워크 및 측위 엔진의 부하를 분산하고 응답성을 높였으며, 독립적으로 동작 하는 지향성 안테나를 이용하여 위치 측정 신뢰도를 향상시켰다. 제안한 기법을 실제로 구현하여 그 성능을 평가하였으며, 그 결과 서버로 전송되는 패킷은 16배 이상 감소 하였고, 혼잡한 상황에서도 태그의 신호에 대해 1초 이내의 실시간 위치 계산 응답성을 보였다. 구현한 시스템의 측위 오차는 1m 이내의 위치 오차를 갖는다.

**Key Words** : RTLS, Locating system, Distributed RTLS, Load balance, Directional antenna

### ABSTRACT

RTLS used to track the location of object or person in real time. However, if there are a lot of tags and readers, the conventional single RTLS server may fail to estimate location of tags. And if the server cannot receive the tags signal due to pass-loss or NLOS from more than three readers, the server fail to estimate location of tags. In this paper, we propose a special reader which embeds RTLS location engine for distributed RTLS. And by using multi-directional antenna, alleviating multi-path effect and allowing estimate tag's location only using two readers. We also implement the system, we can reduce server packet 16times and get the all results of location estimate in single second. We achieved the location error within 1m.

### I. 서 론

RTLS (Real Time Locating Systems)란 실시간으로 사물이나 사람의 위치를 추적하는 시스템으로써, GPS와는 달리, 실내에서도 동작 가능하며, 전력

소모가 적고, 위치 정확도가 높아 근거리 무선 통신을 이용한 여러 분야에서 활용되고 있다<sup>[1]</sup>. 일반적으로 RTLS는 태그, 리더, 서버의 세가지 구성 요소로 이루어져 있다. 태그는 주기적인 무선 신호를 송신하며, 리더는 그 신호를 받아 태그와의 거리 정보

\* “이 논문 또는 저서는 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)  
 \* 부산대학교 컴퓨터공학과(yunju@pusan.ac.kr), (° : 교신저자),  
 논문번호 : KICS2009-10-513, 접수일자 : 2009년 10월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 12일

를 파악한 뒤, 서버로 전송한다. 서버는 리더로부터 받은 거리 정보를 바탕으로 모든 태그의 위치를 계산한다.

무선 신호 전송 거리의 한계로 인하여 넓은 영역에 RTLS를 적용하기 위해서는 설치하는 리더의 수를 늘려야 한다. 그러나 실제 RTLS 환경에서는 위치 추적을 위한 수많은 태그가 존재하게 되는데, 하나의 태그에 대해 여러 리더가 태그의 정보를 서버로 전송하고, 서버의 측위 엔진이 모든 태그의 위치를 계산하는 현재의 일반적인 RTLS 시스템 구조로는 모든 태그의 위치를 실시간으로 계산하기가 어렵다. 예를 들어 RTLS가 항만이나 유원지에 적용될 경우, RTLS 서버는 수십만 개의 화물이나 사람의 위치를 실시간으로 계산해야 하며, 이는 서버에 매우 큰 부하를 가져다 주어 태그의 위치 추정을 실패 할 수 있다.

뿐만 아니라 위치 추적 시스템은 실제 환경에 적용될 경우, 멀티패스, 경로손실, 신호 감쇠 등 많은 환경의 영향을 받게 된다. 이로 인하여 큰 오차가 포함된 거리 측정값을 얻게 되어 위치 추적 시스템의 성능이 저하되게 된다. 특히 거리 측정 오차값이 매우 크거나 경로 손실로 인하여 3개 미만의 리더가 태그의 신호를 수신한 경우, RTLS 서버는 태그의 위치 추적을 실패하게 된다.

본 논문에서는 위치 측정 엔진의 분산화를 통한 새로운 구조의 RTLS 시스템을 설계하고 구현하였으며, 이를 통하여 RTLS에서 발생하는 네트워크 혼잡 및 응답 속도 저하 문제를 해결 하였다. 또한 독립적으로 동작 가능한 RF 모듈과 지향성 안테나를 이용하여 안테나의 송수신 효율을 높이고, 각각의 안테나로부터 수신되는 신호의 세기, 거리 측정값, 방향 정보를 기반으로 2개의 리더로도 태그의 위치 추적이 가능하게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 RTLS 시스템과 위치 측정 기법 등 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 소개하며 이를 바탕으로 분산형 RTLS 시스템을 설계한다. 4장에서 분산형 RTLS 시스템을 실제로 구현하고 성능평가를 수행 한 뒤, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

일반적인 RTLS시스템의 구성은 그림 1 과 같이 태그, 리더, 서버의 세 가지 요소로 구성된다.

태그는 위치 추적의 대상이 되는 사람이나 사물

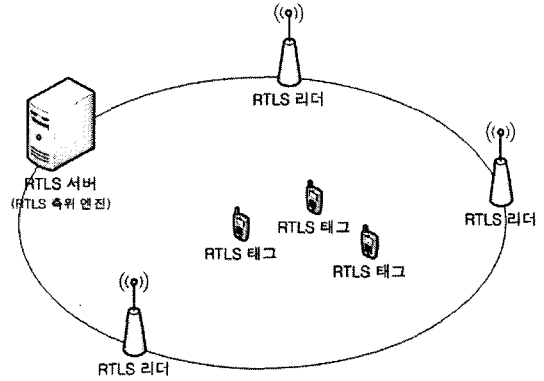


그림 1. RTLS 구성도

에 부착된다. 블링크(blink)라 불리는 무선 신호를 주기적으로 방사하여 RTLS 리더에게 자신의 존재를 알리며, 위치 추정에 필요한 정보를 제공한다. 주로 무선 신호의 세기 혹은 송수신 시각 정보를 리더에게 제공해 주어 태그 자신의 위치 정보를 알린다.

리더는 태그의 신호를 받아 위치정보를 추출한 후, 이 정보를 서버로 전송한다. 리더가 추출하는 거리정보는 무선 신호의 세기(Radio Signal Strength Indicator), 무선 신호의 도착시간(Time Of Arrival), 무선 신호의 도착시간 차(Time Difference Of Arrival)의 형태가 될 수 있으며, 두 가지 유형의 정보가 함께 이용될 수도 있다<sup>[3],[6]</sup>. IEEE 802.15.4a<sup>[7]</sup> 표준에서는 정밀한 거리 측정을 위해 SDS-TWR(Symmetric Double Sided - Two Way Ranging) 기법을 제시한다. 두 장치가 대칭적으로 무선 신호를 주고받음으로써 전파의 왕복 시간을 계산 하는 방식으로, TOA와는 달리 장치간의 시각 동기 없이 거리 측정이 가능하다.

서버에서는 리더에서 받은 정보를 기반으로 측위 엔진을 이용하여 태그의 위치를 계산한다. 일반적으로 RTLS는 거리 정보를 기반으로 한 삼변측량법으로 태그의 위치를 계산한다. 삼변측량법이란 그림 2와 같이 리더와 태그 사이의 거리를 바탕으로 원을 그려 교점을 구하는 방식이다. 삼변측량을 위해서는 반드시 3개 이상의 리더로부터 거리 정보를 수신해야 한다. 실제 환경에서는 멀티패스, 경로 손실 등으로 인하여 서버가 3개 이상의 리더로부터 태그의 신호를 받지 못하는 상황이 발생하므로, 태그의 신호가 항상 닿을 수 있도록 충분한 수의 리더가 설치 되어야 한다.

RTLS에서는 태그와 리더 간의 LOS(Line-Of-

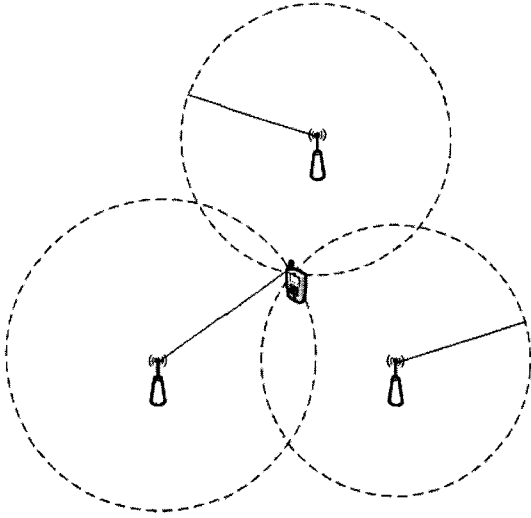


그림 2. 삼변측량법

Sight)를 위하여 높은 지형에 리더를 설치한다. 그러나 일반적으로 사용되는 무지향성 안테나의 경우, 안테나의 방사패턴은 수평으로 뻗어나가게 되므로 리더는 태그의 신호를 효과적으로 받을 수 없게 된다. 리더는 태그가 위치하는 지표면으로 신호를 송수신 하기 위하여 지향성 안테나를 사용 할 수 있으며, 지향성 안테나의 빔 형태의 좁은 방사 패턴을 커버하기 위해 각기 다른 방향을 바라보도록 설치된 형태로 구성 할 수 있다.

### III. 분산형 RTLS 설계

#### 3.1 RTLS 서버의 분산화

태그의 위치 측정을 위해서는 3개 이상의 리더가 태그의 신호를 수신 하여야 한다. 기존의 RTLS 서버는 태그의 위치 측정을 위하여 태그의 신호를 받은 모든 리더로부터 태그의 거리 정보 등을 수신 한다.

그림 3은 태그가 1홉 거리의 리더에게 블링크 신호를 보내는 경우를 나타낸다. 태그가 측위를 위하여 인근 리더에게 무선 신호를 보내면, 최소 9개의 리더가 태그의 신호를 받게 되고 서버는 9개의 리더로부터 태그와의 거리 정보를 수신하게 된다. 태그의 신호가 강할수록 많은 리더들이 서버로 거리 정보를 전송하게 되는데, RTLS 시스템에서는 위치 추적을 위한 태그가 무수히 많이 존재하기 때문에 기존의 RTLS 구조에서는 태그의 수가 늘어날수록 서버로 전송되는 패킷이 급격히 증가되어 서버와

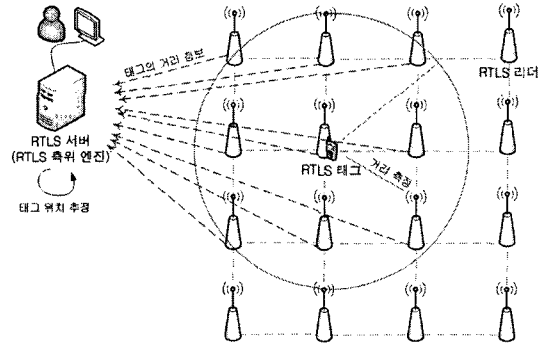


그림 3. RTLS 측위 구조

리더들 간의 병목 현상이 발생하게 된다.

실시간 위치 추적을 위하여 측위 엔진은 리더로부터 받은 정보를 바탕으로 태그의 위치를 즉시 계산 할 수 있어야 한다. 그러나 태그는 위치 추적을 위하여 매초 여러 번 신호를 발생 시키므로, 측위 엔진은 수많은 태그의 위치를 계산해 내기 위해 매초 많은 계산을 수행 해야 한다. 이것은 측위 엔진에 많은 부하를 가져오게 되고, 결국엔 실시간 측위를 실패 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 네트워크 및 측위 엔진에서 발생하는 과부하를 해결 하기 위하여 측위 엔진을 리더에 내장 함으로써 시스템을 분산화 하였다. 제안하는 분산형 RTLS 시스템은 그림 4와 같이 측위 엔진을 내장한 RTLS 리더와 위치 추적을 위한 RTLS 태그, 관리를 위한 서버로 구성된다.

분산형 RTLS는 태그의 위치 추정을 리더 내부의 측위 엔진에서 수행한다. 리더는 SDS-TWR 기법을 이용하여 태그와의 거리를 측정하며, 그림 4와 같이 측위 동작을 수행하도록 미리 약속된 리더(디렉토리 서버)에게 거리 정보를 전송한다. RTLS 서

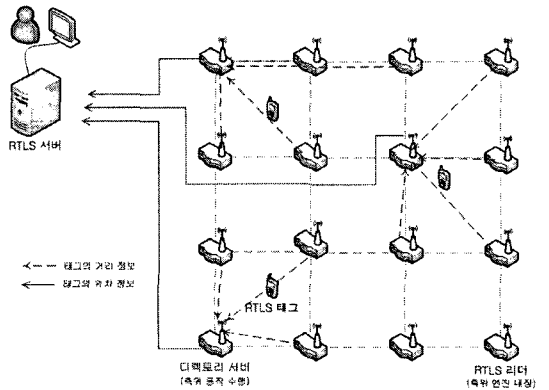


그림 4. 분산형 RTLS 측위 구조

버는 측위 동작을 수행하지 않으며, 디렉토리 서버를 지정하고, 위치 계산을 위한 각 리더의 ID 및 위치 정보를 디렉토리 서버에게 알려준다. RTLS 서버는 분산형 RTLS 리더 중 디렉토리 서버 역할을 할 리더를 결정하고, 관리하는 역할만을 담당한다.

그림 5는 분산형 RTLS에서의 측위 동작을 나타낸다. 디렉토리 서버는 주위의 리더로부터 리더 ID, 태그 ID, 거리 정보를 수신한다. 디렉토리 서버는 리더 ID에 대해 각 리더의 위치를 알고 있기 때문에, 거리 정보를 기반으로 태그의 위치를 추정할 수 있다.

측위 엔진이 내장된 RTLS 리더는 태그로부터 수신된 신호를 서로 교환하여 자체적으로 패킷을 처리한다. 따라서, 서버로 전송되는 패킷은 단순히 태그의 위치 정보만을 포함하기 때문에 패킷의 수가 적어져 네트워크의 혼잡이 크게 줄어든다. 또한 각 태그의 위치 계산을 분산화 하여 태그와 인접한 리더의 내부에서 수행 함으로써 기존의 RTLS 서버에서 발생하는 과부하를 막을 수 있다.

그림 6은 임베디드 리눅스 환경에서 파이썬으로 최소자승법(Least-square) 기법을 이용한 위치 측위 엔진을 구현하여 동작 시킨 결과이다. 시스템의 동작을 CPU 사용률 관점에서 분석 해본 결과이며, 그림과 같이 네트워크 동작에 비해 위치 측정 과정이 많은 자원을 소모 하는 것을 알 수 있다. 결과에서 알 수 있듯이, 특정 지역에 집중된 수많은 태그로 인한 혼잡한 환경에서 실시간 성능을 보장하기 위해서는 패킷의 양을 줄이는 것보다 위치 측정 계산

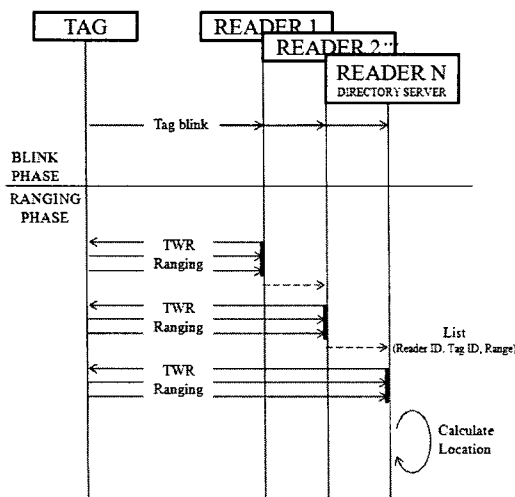


그림 5. 분산형 RTLS 측위 동작

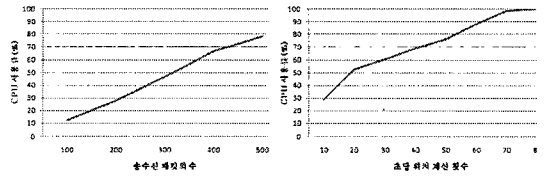


그림 6. 패킷 수 및 위치 계산 횟수에 따른 CPU 사용률

을 분산하는 것이 더 효율적이다. 이를 위하여 지역적으로 다량의 태그 계산이 발생 할 때, 측위 엔진이 내장된 리더에서는 측위 엔진이 처리하는 작업이 수용 범위를 넘어서게 되면 측위 작업의 일부를 다른 리더에게 위임하는 동작을 수행한다.

### 3.2 위치 측정 신뢰도 향상

무선 통신에서, 원하는 방향으로 강한 전파를 송수신하기 위하여 방향성을 가지는 지향성 안테나가 사용되어 왔다. RTLS 환경에서 리더는 태그와의 LOS를 위하여 주로 높은 곳에 설치 되기 때문에, 아래에 위치한 태그와의 원활한 송수신을 위해 지향성 안테나를 사용한다. 본 논문에서는 단순한 원거리 전송 특성뿐만이 아니라 지향성 안테나를 사용 함으로써 생기는 방향성 특성을 최대한 활용하여 위치 추적 시스템의 성능을 향상 시켰다.

일반적으로 RTLS 환경에서는 리더의 수에 비해 많은 수의 태그가 존재하기 때문에 하나의 리더는 여러 태그로부터 신호를 수신 하게 된다. 이 경우, 동시에 두 개 이상의 태그가 신호를 전송하게 되면 리더에서는 충돌이 발생하여 태그의 신호를 인식할 수 없게 된다. 따라서 많은 태그가 존재하는 밀집 환경에서 각기 다른 방향을 바라보는 지향성 안테나를 리더에 사용하면 안테나 별로 독립된 태그 신호의 수신이 가능하여 리더에서 발생하는 신호 충돌을 줄 일 수 있다. 뿐만 아니라 독립적으로 동작 가능한 다중 지향성 안테나를 사용하면, 기존의 방식에 비해 같은 시간 동안 많은 수의 태그의 신호를 동시에 송수신 할 수 있으며, 동일한 태그의 신호에 대해 태그와의 거리 및 수신 신호의 세기를 각각 산출해 내기 때문에 멀티패스 등이 없는 양질의 태그 신호를 구분할 수 있다. 양질의 태그 신호는 보다 정확한 TOA 값을 가지기 때문에, 태그 위치 정밀도의 향상에 기여할 수 있다.

## IV. 구현 및 성능평가

제안된 기법을 평가하기 위해 실제 위치 측정 엔

진을 리더에 내장하여 분산형 RTLS 시스템을 구현 하였으며, 그 성능을 실험 및 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

#### 4.1 분산형 RTLS 시스템 구현

제안하는 분산형 RTLS 리더는 태그와의 통신을 위한 다중 지향성 안테나, 독립적인 무선 제어를 위한 4개의 RF 모듈, 제어를 위한 메인 프로세서, 서버 및 다른 리더와 통신을 위한 이더넷으로 구성된다. 분산형 RTLS 리더는 기존의 RTLS 리더와 달리, 측위 엔진을 내장 하기 때문에 고성능 CPU 및 대용량의 메모리가 사용 되어야 한다.

그림 7은 자체 개발한 분산형 RTLS 리더를 나타낸다. 리더는 네 방향으로 통신 가능하도록 네 개의 지향성 안테나[8]를 사용 하였다. 각 안테나는 리더의 4개의 RF 모듈에 각각 연결되어 독립적인 송수신 동작을 수행한다. RF 모듈은 송수신 거리 향상을 위해 파워 앰프를 장착하였으며, SDS-TWR 거리 측정 하드웨어가 내장된 Nanotron 사의 NA5TR1<sup>[9]</sup> 무선 통신 칩이 사용되었다. 운영체제의 탑재 및 복잡한 측위 동작의 연산을 위해 400MHz 연산속도를 갖는 INTEL 사의 PXA255가 사용되었으며, 64MB의 플래쉬 및 램이 사용되었다.

그림 8은 본 논문에서 구현한 분산형 RTLS 리더의 구조를 나타낸다. 리더는 리눅스 커널 2.4버전의 운영체제가 탑재되었으며, Python 2.5 기반으로 측위 엔진 등 프로그램이 작성 되었다. 리더는 각 RF 모듈로부터 수신한 거리 정보 및 태그 ID 를 이더넷을 통하여 다른 리더와 주고 받는다.

리더에 내장된 측위 엔진은 태그와의 거리 정보를 바탕으로, Least-Square 연산을 이용하여 태그의 위치를 구한다. 이 방식은 리더의 개수가 4개 이상

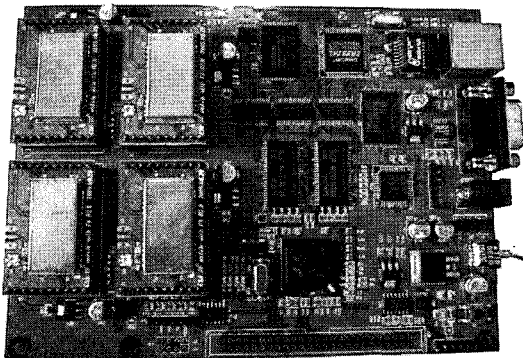


그림 7. 분산형 RTLS 리더 하드웨어

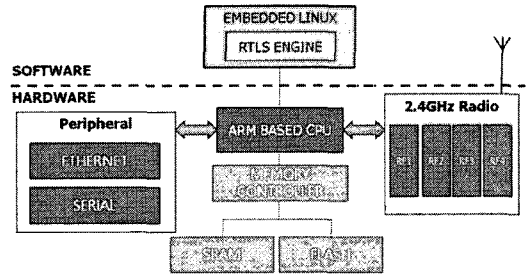


그림 8. 분산형 RTLS 리더의 구조

일 경우, 단순한 삼변측량에 의한 방법에 비해 정밀도가 높아진다.

위치 측정을 위한 RTLS 태그로는 자체 개발한 RTLS 태그를 사용하였다. 태그 동작의 제어를 위해 저전력 프로세서인 TI사의 MSP430F2272<sup>[10]</sup> 마이크로 프로세서가 사용되었으며, 태그의 통신 칩으로는 리더의 무선 모듈에 사용한 것과 동일한 Nanotron 사의 NA5TR1 무선 통신 칩이 사용되었다. 사용된 RF 칩에는 IEEE 802.15.4a 표준에서 제안하는 SDS-TWR거리 측정을 위한 하드웨어가 내장되어 있어 리더와 정밀한 거리 측정이 가능하다.

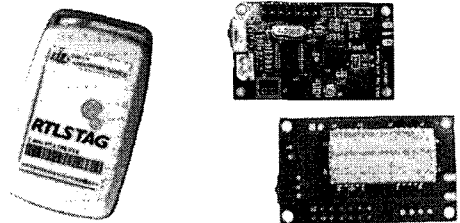


그림 9. 태그 하드웨어

#### 4.2 성능평가

제안하는 분산형 RTLS의 원활한 동작을 검증하기 위하여 구현된 시스템을 바탕으로 서버의 패킷량 측정과 측위 부하의 분산 실험을 수행하였다. 또한 독립적으로 동작하는 지향성 안테나를 적용하여 위치 측정 실험을 수행 하였다.

##### 4.2.1 네트워크 패킷 통신량 측정

기존의 RTLS 서버는 매 시각마다 모든 리더로부터 태그의 신호를 받기 때문에 네트워크에 병목 현상이 발생하게 된다. 이를 해결 하기 위해 본 논문에서는 디렉토리 서버로 지정된 분산형 RTLS 리더를 이용하여 지역적으로 태그의 위치를 계산한 후, 계산 결과만을 서버로 전송하게 하였다.

패킷 통신량을 비교하기 위하여 기존의 RTLS는 하나의 서버가 모든 리더로부터 신호를 받게 하였으며, 구현한 분산형 RTLS 시스템에서는 거리 정보 등 태그의 신호를 지정된 2개의 디렉토리 서버에서 수신하여 위치 결과만을 서버로 보내게 하였다. 패킷 통신량 측정을 위하여 6개의 리더와 2개의 태그를 사용 하였고, 허브를 통하여 서버와 리더를 연결하였다. 리더는 태그와 초당 2회 거리 측정 동작을 수행 하였으며, 10분간 서버와 리더 각각의 패킷 송수신 량을 측정하여 그 합의 평균을 구하였다. 그 결과, 그림 10과 같이 구현한 시스템에서는 위치 계산을 수행하는 일부 리더의 패킷량이 약 4.4배 정도 증가하였으나, 서버에 전송되는 패킷의 량은 약 16.7배 가량 줄어들었다. 이러한 성능 차이는 리더에서 서버로 전송되는 수많은 거리 정보가 분산형 RTLS에서는 발생하지 않기 때문이며, 태그의 수가 많아 질수록 패킷 통신량의 차이는 더욱 커지게 된다.

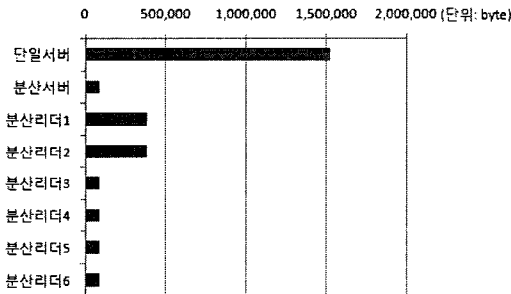


그림 10. 패킷 통신량 비교

#### 4.2.2 측위 연산에 따른 부하 분산

서버의 부하를 CPU 사용률 관점에서 볼 때, CPU 사용률은 그림 6에서 볼 수 있듯이 송수신 패킷 수 보다는 태그의 위치 계산에 더 많은 영향을 받는다. 따라서, 태그의 위치를 추정하는 곳에서 과부하로 인하여 정상적인 동작이 불가능한 경우에, 통신량을 줄이는 것 보다는 위치 계산의 횟수를 줄이는 것이 더 효율적이다.

부하 분산 실험 시, 구현한 리더의 CPU 사용률이 약 80%를 넘어 갈 때 응답성이 느려지기 시작 하였으므로, CPU 사용률을 감시하여 70%가 넘어가면 태그의 위치 계산을 주변의 리더와 분담하여 처리하도록 하였다.

리더의 부하 분산 성능 평가를 위하여 논문에서 구현한 7개의 측위 엔진을 내장한 분산형 RTLS 리

더가 사용되었고, 가상으로 200개의 태그 정보를 생성하여 1번 리더와 7번 리더에게 각각 초당 100개씩 전송 하였다. 7개의 리더는 허브를 통하여 서로 연결 하였으며, 100초 동안의 CPU 사용률을 측정하여 평균을 구하였다.

실험 결과, 그림 11과 같이 부하 분산 전에는 태그의 실시간 측위가 실패 하였으나, 부하 분산 기법을 적용하여 CPU 사용률을 70% 미만으로 유지 하게 함으로써 모든 위치의 계산이 가능하였다. 그림 12는 초당 계산되는 위치 결과의 수를 나타낸다. 기존의 구조로는 초당 100개의 태그 위치 계산을 수행 하지 못하나, 측위 연산을 7개의 리더가 분산하여 수행 함으로써, 모든 태그의 위치 계산이 가능하였다.

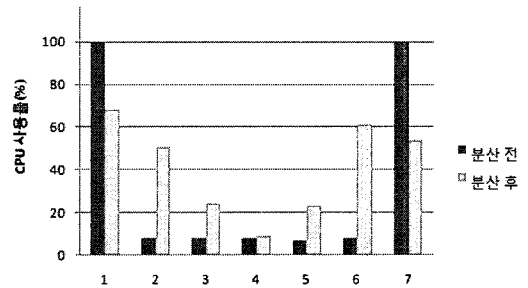


그림 11. 측위 연산의 분산에 따른 CPU 사용률

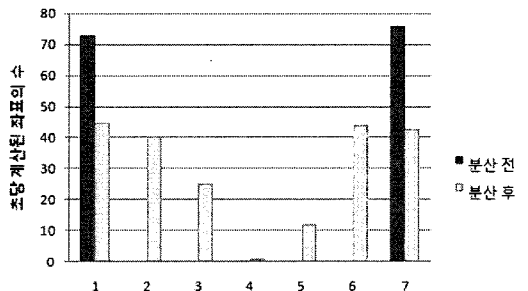


그림 12. 초당 위치 측정 성공 횟수

#### 4.2.3 2개의 리더를 이용한 태그의 위치추정 정밀도

일반적으로 RTLS 시스템에서 태그의 위치를 계산 하기 위해서는 3개 이상의 리더와 거리 정보가 필요하다. 그러나 본 논문에서는 RTLS 리더에 다중 지향성 안테나를 적용 함으로써, 리더에서 얻어지는 2개의 거리 정보만으로도 태그의 위치 계산을 가능하게 하였다. 위치 평가 실험은 2개의 리더로부터 수신된 태그의 거리 값과 방향성 정보를 이용하여 태그의 위치를 측정하였다. 리더는 20미터 간격

으로 배치되었으며, 두 리더 사이를 통과하여 직선 방향으로 태그를 이동 시켰다. 다중 지향성 안테나로부터 들어오는 수신 신호의 세기를 바탕으로 8개의 방향을 지정하였으며, 두 리더로부터 측정되는 거리 값을 기록한 뒤, 방향 정보를 이용하여 시뮬레이션으로 태그의 위치를 추정하였다.

태그의 위치 측정에 사용된 식은 그림 13의 수식과 같으며, 한 리더의 좌표를 기준으로 산술적 계산에 의하여 태그의 좌표를 계산하였다.  $d_1$ 과  $d_2$ 는 측정된 태그의 거리 값이며,  $T_x$ ,  $T_y$  는 계산된 태그의 위치,  $d_r$ 은 두 리더 사이의 거리를 나타낸다.

그림 14는 2개의 리더를 이용한 태그의 위치 추정 결과를 나타낸다. 측위 성능의 평가를 위해 태그의 이동 경로 중, 4미터 마다 태그의 정지 위치를 측정하여 실제 위치와의 오차를 구하였으며 측정된 오차의 평균 및 표준편차를 구하였다. 측위 오차의 계산 결과는 표 1과 같으며, 3m 이내의 위치 오차를 갖는 것을 볼 수 있다. 위치 오차의 경우, 2개의 거리 값으로는 필터링 역할을 하는 최소자승법(Least-square) 연산을 할 수 없어 3개의 리더 값으로 태그의 위치를 계산 할 때 보다 오차가 크게 발

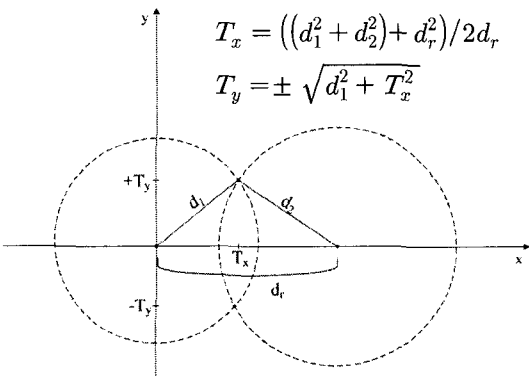


그림 13. 두 리더와의 거리 정보를 이용한 태그 측위

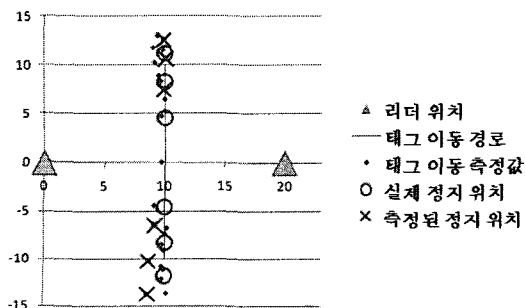


그림 14. 두 개의 리더를 이용한 태그 위치 추정

표 1. 2개의 거리 정보를 이용한 위치 측정 결과 (단위: 미터)

	X 좌표	Y 좌표
오차 평균	-0.56	0.15
표준 편차	0.68	2.34
최대 오차	1.36	2.94

생하였다.

#### 4.2.4 분산 RTLS 시스템의 위치 측정 성능 평가

분산 RTLS 시스템의 태그 위치 측정 정밀도를 검증하기 위해 그림 15와 같이 공터에 6개의 리더를 배치하여 분산형 RTLS 시스템을 구성하였다. 각 리더의 간격은 12m 이며, 약 2m 높이에 다중 지향성 안테나를 설치 하였다. RTLS 태그는 초당 2번의 블링크를 송신하며 초당 2번의 Ranging 동작을 수행한다. 6개의 분산형 RTLS 리더 중, 2개의 리더를 디렉토리 서버로 지정하여 태그의 위치를 계산하였다. 태그는 리더가 배치된 사각형 공간 내에서 정해진 경로를 따라 이동하며, 측정 결과를 실제 이동 경로와 비교하였다.

위치 오차의 측정을 위해 직사각형 형태의 이동 경로를 설정하고, 4미터 간격으로 태그의 정지 위치를 측정하였다. 위치 오차는 측정된 태그의 정지 위치와 실제 위치의 차이로 구하였다.

그림 16에서 볼 수 있듯이, 측정된 태그의 위치가 실제 태그의 이동 경로를 따라 움직이는 것을 볼 수 있다. 태그 이동 경로 중, 4미터 마다 표시된 곳의 태그 측위값 오차를 표 2에서 나타내었으며, 1m 이내의 표준 편차를 갖는 정밀한 측위 결과를 보여주고 있다.

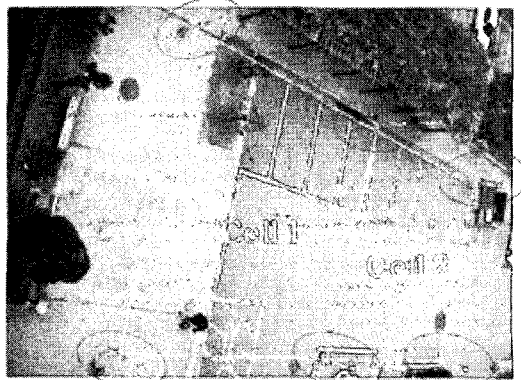


그림 15. 분산형 RTLS 리더의 배치

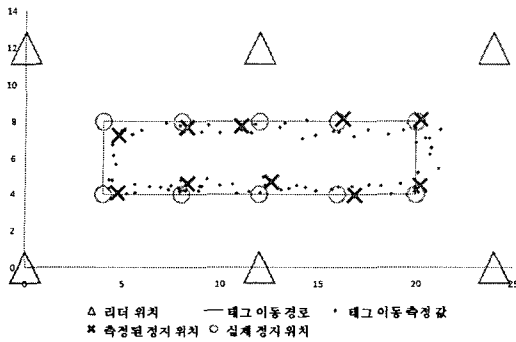


그림 16. 태그의 실제 이동 경로와 측정된 위치 값

표 2. 위치 측정 결과 (단위: 미터)

	X 좌표	Y 좌표
오차 평균	-0.34	0.072
표준 편차	0.52	0.45
최대 오차	0.95	0.75

### V. 결 론

본 논문에서는 측위 엔진을 RTLS 리더에 내장 한 새로운 구조의 분산 RTLS 시스템을 설계하고 구현하였다. RTLS 특성 상 발생하는 수많은 태그의 위치 추정 동작에 대해 응답성을 높이고, 네트워크 전체 및 지역적으로 발생하는 혼잡도를 줄였다.

제안된 기법을 실제 하드웨어로 구현하여 성능을 평가 하였으며, 그 결과 10개 미만의 리더가 존재하는 환경에서 서버로 전송되는 패킷의 양을 16배 이상으로 줄였다. 또한 측위 연산의 분산화를 통해 측위 엔진의 계산 한계를 넘는 계산 량에도 측위 연산을 분산하여 실시간 계산이 가능하였다. 이러한 결과는 리더의 수가 늘어 날수록 기존의 RTLS에 비해 더 좋은 성능을 나타내게 된다.

또한 독립적으로 동작 가능한 지향성 안테나를 이용하여 송수신 신호의 감도를 향상 시키고, 2개의 리더만으로도 태그의 위치 추정을 가능하게 함으로써 실제 환경에서 RTLS의 동작 신뢰도를 향상 시켰다. 위치 측정 결과, 2개의 리더를 사용 하였을 경우 3m 이내의 위치 오차를 가지며, 3개 이상의 리더를 적용할 경우 1m 이내의 위치 오차를 나타 내었다.

본 논문에서는 10개 이내의 리더와 적은 수의 태그로 성능 비교 평가가 이루어 졌지만 많은 수의 리더와 태그가 존재하는 실제 환경과 비슷한 환경에서 동작하는 실험이 필요하다. 또한 제안한 기법

에 의하면 서버의 중요도가 많이 낮아지므로 태그와 리더의 두 가지 구성만으로 동작하는 분산 RTLS 시스템을 구성하는 것도 가능할 것으로 사료 된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing", *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57-66, August 2001.
- [2] Elliott D. Kaplan, "Understanding GPS: Principles and Applications", *Artech House Publishers*, December 2005.
- [3] Y. Chen and H. Kobayashi, "Signal Strength Based Indoor Geolocation", in *Proc. IEEE ICC*, pp.436-439, 2002.
- [4] G. P. Yost and S. Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival (TOA) from Timing Advance(TA)", *IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, Vol.2, pp.1367-1372, October 1998.
- [5] L. Zhu and J. Zhu, "A New Model and its Performance for TDOA Estimation", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.4, pp. 2750-2753, October 2001.
- [6] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System", *MobiCom'00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp.32-43, August 2000.
- [7] IEEE, Local and metropolitan area networks Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), *IEEE Std*, 2007.
- [8] 대홍정보기술, 지향안테나 PM-PP08, <http://www.rftown.com/>
- [9] Nanotron nanoLOC-NA5TR1 UserGuide Version 2.00, *Nanotron*, 2008
- [10] TI, MSP430F22x2 Datasheet(Rev. B), *TI*, 2007.



장 현 성 (Hyunsung Jang)

정회원



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

정 연 수 (Yeonsu Jung)

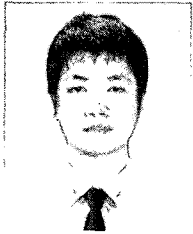
정회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과  
2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사  
2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> RTLS, 임베디드시스템, 토플로지 제어

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, 저전력, RFID

백 윤 주 (Yunju Baek)

중신회원



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> 무선 센서 네트워크, 컴퓨터구조, 임베디드시스템, RTLS