

# 고속 이동체를 위한 확장성 있는 실시간 위치 측정 시스템

안 시 영<sup>†</sup> · 박 준 석<sup>\*\*</sup> · 오 하 령<sup>\*\*</sup> · 성 영 락<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 다수의 고속 이동체들의 위치를 측정할 수 있는 확장성 있는 실시간 위치 측정 시스템을 제안한다. 제안된 시스템에서는 위치 서비스가 필요한 영역을 확장 시 기본 단위인 매크로셀이라고 불리는 정사각형의 격자들로 나누고, 한 매크로셀은  $N \times N$  개의 마이크로셀로 나눈다. 마이크로셀의 각 꼭짓점에는 위치 기준 노드가 중앙에는 중재 노드가 설치된다. 위치를 측정하고자 하는 이동체는 우선 중재 노드와의 통신을 통하여 위치 측정을 위한 허가를 받아야 한다. 그러므로 한 마이크로셀내에서는 오직 허가된 하나의 이동 노드만이 위치 기준 노드들과 연속적으로 통신하면서 자신의 위치를 계산할 수 있다. 제안된 시스템의 성능을 측정하기 위하여, 제안된 시스템을 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 시스템은 위치 측정을 위한 통신 시간이 짧고 고속 이동체의 위치를 계산할 경우 오차가 적은 것으로 나타났다.

**키워드** : 실시간 위치 측정 시스템, 위치 측정, 이산사건시스템, 시뮬레이션

## A Scalable Real Time Location measuring System for High Speed Moving Objects

Si-Young Ahn<sup>†</sup> · Jun-Seok Park<sup>\*\*</sup> · Ha-Ryoung Oh<sup>\*\*</sup> · Yeong Rak Seong<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

In this paper, a highly scalable real-time locating system which can measure location of fast moving targets is proposed. Within the system, the location service area is partitioned into grids with squares which is referred to as a macro-cell. Also, a macro-cell is further partitioned into  $N \times N$  micro-cells. In a micro-cell, location reference nodes are placed on every vertex and an arbitration node is placed on the center. When a mobile node tries to measure its location, it should first communicate with the arbitration nodes for granting location measurement operation. Therefore, within a micro-cell, only one granted mobile node can calculate its location by a series of communication with location reference nodes. To evaluate performance of the proposed system, the system is modeled and simulated. The simulation result shows that the proposed system requires small communication time for location measurement operation and produces small location calculation error for fast moving targets.

**Keywords** : RTLS, Location Measurement, Discrete Event System, Simulation

### 1. 서 론

최근 들어 여러 위치 기반 서비스들이 소개되고 개발됨에 따라 위치 측정 시스템에 대한 욕구가 커지고 있다. 현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 위치 측정 기술로는 GPS(Global Positioning System)[1]를 들 수 있다. GPS는 인공위성으로부터 신호를 받아 위치를 계산하는 기술로서 인공위성의 신호를 수신할 수 있는 실외에서는 사용할 수

있으나 전파의 반사와 간섭이 많은 곳에서는 정확한 위치 측정이 어려운 단점이 있다. 다른 위치 측정 기술로는 관성항법시스템(Inertial Navigation System)이 있다. GPS가 개발되기 이전부터 사용되었던 관성항법시스템은 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 항체의 항법 정보를 알아내는 시스템이다. 그러므로 관성항법시스템은 전파의 간섭을 받지 않는 장점이 있지만 센서의 단가가 높고 정확도가 낮은 단점이 있다. 이 두 가지 기술의 단점을 보완하기 위해 두 기술을 결합한 GPS/INS를 제안하고 있지만 여전히 실내에서는 정확한 위치 측정이 어렵다.

최근 들어 근거리 무선 통신 기술을 이용하여 위치를 측정하는 실시간 위치 측정 시스템(Real-Time Locating System)에 대한 연구가 활발하다[2]. 실시간 위치 측정 시스템은 근거리 무선 통신을 이용하여 3 개 이상의 기준점으로

※ 본 연구는 2012년도 국민대학교 교내연구비를 지원 받아 수행된 연구임.  
<sup>†</sup> 준 회 원 : 국민대학교 전자공학과 박사과정  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 국민대학교 전자공학부 교수  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 국민대학교 전자공학부 교수(교신저자)  
 논문접수: 2011년 1월 26일  
 수정일: 1차 2011년 8월 3일, 2차 2011년 10월 18일  
 심사완료: 2011년 10월 20일

부터의 거리를 측정한 후 삼각 측량으로 위치를 구하는 방식이다. 이때 사용되는 거리 측정 기법으로는 RSSI (Received Signal Strength Indication), PoA(Phase of Arrival), TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference Of Arrival), SDS-TWR(Symmetric Double Sided Two Way Ranging)등이 널리 사용된다. 입력된 신호의 세기를 이용하는 RSSI와 수신된 신호의 위상을 이용하는 PoA는 주변 환경에 따른 오차가 큰 것에 비해 TOA와 TDOA 방식은 주변 환경의 영향이 적은 통신 시간을 이용하여 거리를 측정하므로 정확도가 높다. 그러나 TOA와 TDOA 방식도 부정확한 동기화 문제, 클럭 오프셋 문제, 클럭 표류 문제로 인해 오차가 증가될 수 있다[3]. 하지만 독일의 Nanotron회사에서 제안한 SDS-TWR 방식은 CSS(Chirp Spread Spectrum) 변조 기술을 이용하여 RF 신호의 다중 경로 전파나 노이즈 문제로 인한 오차를 줄일 수 있도록 설계하였다. 그러나 SDS-TWR를 사용하더라도 삼변 측량을 이용하여 위치 계산을 할 경우 최소한 3번의 거리 측정이 필요하다. SDS-TWR의 오차를 제외하고도 고속으로 움직이는 이동체의 위치를 측정하는 경우 3번의 거리를 측정하는 시간으로 인해 위치 측정의 오차가 커지는 단점은 있다. 다시 말해 실시간 위치 측정 시스템은 관성항법시스템에 비해 오차율이 작지만 이동체가 많고 이동 속도가 빠를 경우 신호의 충돌로 인하여 지연 시간이 커져 위치 측정의 오차가 커진다.

본 논문에서는 이러한 실시간 위치 측정 시스템의 단점을 보완하여 넓은 지역에 분포한 다수의 이동체들의 위치를 측정하기 위한 확장성 있는 실시간 위치 측정 시스템을 제안한다. 실시간 위치 측정 시스템에서는 측정하고자 하는 지역을 격자 모양으로 나누고, 각 격자의 중앙과 격자점에 센서 노드를 배치한다. 이때 격자점에 설치되는 센서 노드를 위치 기준 노드(LRN: Location Reference Node)라고 하며 거리 측정 역할을 담당한다. 또한 격자 중앙에 설치되는 센서 노드를 중재 노드(AN: Arbiter Node)라고 하며 격자 내에 위치한 이동체들과 위치 기준 노드와의 통신을 중재하여 거리 계산 시 발생할 수 있는 통신 충돌을 줄여 고속으로 움직이는 이동체의 위치를 측정할 경우 커질 수 있는 오차를 감소시킨다. 격자형 실시간 위치 측정 시스템은 격자로 위치 기준 노드들이 설치되므로 넓은 지역의 위치 측정이 가능하고 측정 지역에 맞추어 격자 모양으로 쉽게 확장이 가능하며 중재 노드의 중재 기능에 의해 보다 고속으로 움직이는 다수의 이동체의 위치를 확인할 경우에도 다른 시스템보다 정확한 위치를 구할 수 있다.

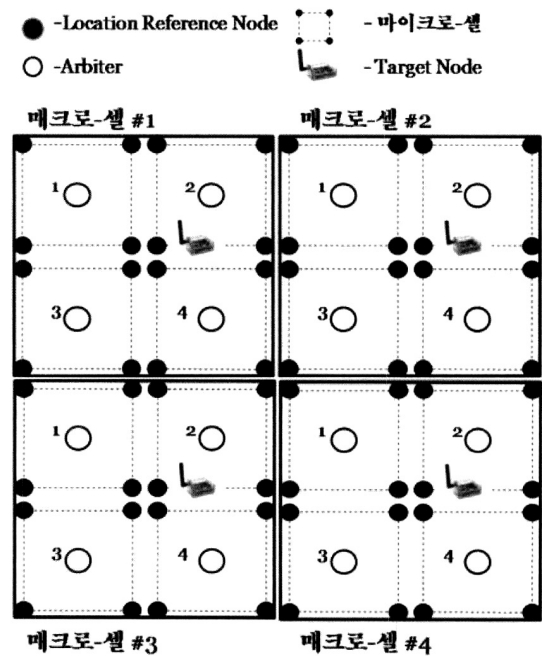
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실시간 위치 측정 시스템의 구조와 동작 순서, 거리측정 방식에 대해 알아본다. 3장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템의 성능을 검증하고 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 실시간 위치 측정 시스템

### 2.1 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 확장성 있는 실시간 위치 측정 시스템은 동일한 형태를 가진 매크로셀들의 2차원 배열로 구성되며, 하나의 매크로셀은  $N \times N$  개의 마이크로셀들로 이루어진다. 각 마이크로셀은 정사각형의 형태를 가지며, 정사각형의 4 개의 꼭짓점에는 위치 기준 노드가 설치되고, 정사각형의 중심에는 1개의 중재 노드가 설치된다. (그림 1)은 4 개의 매크로셀로 구성된 실시간 위치 측정 시스템을 나타낸 것이다. (그림 1)에서 하나의 매크로셀은  $2 \times 2$ 개의 마이크로셀로 구성되어 있으므로 전체 시스템은 모두 16개의 마이크로셀들로 구성된다. 그림에서 타겟 노드(TN: Target Node)는 실시간 위치 측정 시스템이 제공하는 위치 특정 서비스를 이용하는 이동체들을 나타낸다.

각 마이크로셀 내에서는 무선 통신은 중재 통신을 위한 중재 채널(AC: Arbitration Channel)과 거리 측정 통신을 위한 거리 측정 채널(RFC: Range-Finding Channel) 등 2 개의 채널을 이용한다. 신호의 충돌을 줄이기 위해 한 매크로셀에 포함된 마이크로셀들에는 서로 다른 중재 채널과 거리 측정 채널이 할당된다. 하지만 모든 매크로셀들은 완전히 동일한 형태를 가지므로 같은 수의 채널을 사용한다. 그러므로 제안된 격자형 위치 측정 시스템은 서비스 지역의 넓이에 무관하게 항상  $2 \times N^2$ 개의 채널이 사용된다.



(그림 1) 격자형 실시간 위치 측정 시스템

이해를 돕기 위해 센서 네트워크에서 널리 사용하고 있는 IEEE 802.15.4[4]규격을 이용하여 본 논문에서 제안하는 격자형 실시간 위치 측정 시스템을 구현한 경우를 예로 들어 살펴보자. IEEE 802.15.4 규격의 최대 출력이 0 dBm이므로 안정적인 통신 거리는 50m 정도이며, 사용할 수 있는 채널의 수는 16개이다. 어떤 마이크로셀 안에 위치한 타겟 노드는 그 마이크로셀의 모든 위치 측정 노드들과 안정적으로 통신

할 수 있어야 하므로 마이크로셀의 대각선 거리는 50m 이내로 정해야 한다. 마이크로셀의 한 변의 길이를 L이라고 하면, 마이크로셀의 대각선의 길이  $\sqrt{2} * L^2$ 은 50m 보다 작아야 하므로, L은 30m 정도가 된다. 한편 매크로셀의 한 변의 길이는 마이크로셀의 한 변의 길이 L과 사용 가능한 채널의 수에 따라 정해진다. 즉, 앞서 설명한대로 한 매크로셀 내에서 사용하는 채널의 수  $2 * N^2$ 은 16보다 작아야 하므로 N은 2보다 작거나 같아야 한다. N의 크기가 클수록 같은 채널을 사용하는 마이크로셀들 간의 거리가 멀어져 통신시의 충돌이 줄어들어드는 것을 감안하면 N은 2가 적합하다. 결론적으로 한 매크로셀의 한 변의 크기는  $N * L = 60m$ 로 정해진다.

이와 같이 매크로셀을 구성할 경우 매크로셀에 할당되지 않는 잉여채널이 생길 수 있다. 잉여채널을 이용하여 매크로셀을 다른 형태로 구성할 수 있다. 위에서 설명한 IEEE 802.15.4 규격과 같이 16개의 채널을 제공하고 있을 경우 2x2개로 매크로셀로 구성이 되므로 8개의 잉여채널이 생긴다. 이러한 경우 채널이 다른 매크로셀을 한 개 더 만들어 체스보드 모양으로 배치하여 채널의 간섭을 줄일 수 있다. 하지만 사용하는 규격에 따라 잉여 채널의 개수가 다르므로 규격에 따라 적용 여부와 방법은 다르다.

### 2.2 시스템의 동작

타깃 노드가 마이크로셀내에서 무선 통신을 통해 위치를 측정하는 과정은, (그림 2)에 나타난 바와 같이, 크게 중재 세션(AS: Arbitration Session)과 거리 측정 세션(RFS: Range Finding Session)으로 구분된다. 중재 세션 동안 타깃 노드는 중재 노드와 통신하면서 자신이 거리 측정 세션을 시작할 수 있도록 허가를 줄 것을 요청한다. 허가를 받은 타깃 노드는 즉시 거리 측정 세션을 시작하여 그 마이크로셀내의 4 개의 위치 기준 노드들과 통신하여 위치 기준 노드들과의 거리를 측정하고 그 결과로부터 위치를 계산해낸다. 만약 현재 다른 타깃 노드가 거리 측정 세션을 진행 중인 경우에는, 타깃 노드의 요청이 거절되며, 허가가 거절된 타깃 노드는 적절한 백오프(back-off) 과정을 거친 후에 다시 중재 세션을 시작해야 한다.

제안된 실시간 위치 측정 시스템에서 위치 기준 노드의 위치나 각 마이크로셀에서의 중재 채널 및 거리 측정 채널은 시스템 셋업 시에 미리 정해진다. 하지만 타깃 노드가 적합한 거리 측정 채널을 사용하고 위치 기준 노드와의 거리로부터 위치를 계산해 내기 위해서는 자신이 현재 어떤 마이크로셀에 위치하고 있는지를 알아야 한다. 그러므로 중재 세션 동안 중재 노드는 중재 외에 자신이 포함된 마이크로셀에 대한 정보를 타깃 노드에게 전달해주어야 한다. 이를 위해 중재 세션 동안 타깃 노드는 자신이 알고 있는 중재 채널들을 하나씩 번갈아 사용해 가면서 중재 요청을 한다. 응답이 온 채널의 번호를 이용하여 마이크로셀의 위치를 파악한다. 또한 중재 노드는 중재 허가하는 메시지에 현재 마이크로셀의 ID와 매크로셀의 위치 정보를 포함하여 전송한다. 그러므로 허가를 받은 타깃 노드는 허가 메시지를

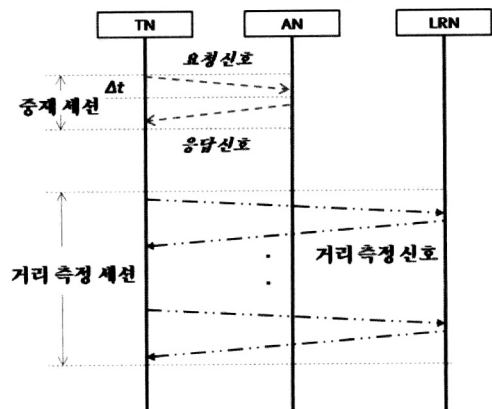
해석해서 거리 측정을 위한 기본적인 정보들을 얻을 수 있게 된다.

한 마이크로셀내에 여러 타깃 노드들이 동시에 거리 측정을 원하는 경우에도, 중재 노드는 오직 하나의 타깃 노드만이 거리 측정 세션을 수행하고 나머지 타깃 노드들은 모두 중재 세션에서 대기하도록 중재한다. 그러므로 한 타깃 노드의 위치 측정이 시작되면 다른 타깃 노드에 의해 방해받지 않는다. 그렇기 때문에 이동체들이 조밀하게 분포한 경우, 어떤 이동체가 비록 위치 측정을 빈번하게 수행하지는 못하더라도 측정 시에는 매우 정확한 위치를 구할 수 있다. 그러나 많은 타깃 노드들이 중재 세션을 수행함에 따라 중재 세션에서는 통신 충돌이 빈번하게 발생할 수 있다. 하지만 중재 세션은 거리 측정 세션에 비해서 통신 시간이 짧아서 충돌 해결에 필요한 비용이 적고, 위치 측정 오류와의 상관성이 매우 약하기 때문에 중재 세션의 통신 충돌은 시스템의 성능에 크게 영향을 주지 않는다.

이와 같이 중재 노드를 설치함으로써 발생하는 이점을 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 중재 노드가 거리 측정 세션에 참여하는 타깃 노드를 제한하여 거리 측정 세션에서의 충돌 및 지연 시간을 감소시켜 위치 측정 오차를 줄여준다. 둘째, 본 시스템에서 사용하는 채널을 마이크로셀별로 분리하여 통신의 효율성을 높여준다. 중재 노드가 허가를 요청한 타깃 노드에게 사용할 채널을 전송하여 마이크로셀별로 채널을 분리할 수 있다. 그러므로 통신 규격에서 지원하는 채널의 수가 많을 경우 매크로셀내에 마이크로셀의 개수를 늘릴 수 있으며 마이크로셀간 통신 간섭을 줄여주어 효율성을 증대시킬 수 있다.

하지만 중재 세션의 경우 통신 시 충돌이 빈번히 일어날 수 있으므로 충돌을 최소한으로 줄이기 위해 모든 노드들이 CSMA-CA 방식을 사용하도록 설계하였다. 그러므로 모든 노드는 신호를 전송하기 전에 항상 채널 상태를 확인하고 채널이 사용 중이지 않을 때 신호를 전송한다.

본 시스템의 이해를 돕기 위해 각 노드의 동작 순서를 (그림 3)과 같이 의사 코드로 표현하였다. 그리고 타깃 노드의 요청 신호부터 위치 계산까지 각 노드의 동작을 순서대로 기술하였다.



(그림 2) 격자형 위치 측정 시스템의 동작 절차

<p><b>Target Node</b></p> <pre> while (true) {   if AC is clear {     send a request to AN;     if TN receives a response of AN {       save the RFC and id of LRNs;       measure the distance from TN to LRNs;       calculate a position of TN;     }     else {       AC is changed to another AC;     }   }   else {     retry after delay for a random time;   } } </pre>
<p><b>Arbitration Node</b></p> <pre> while (true) {   if AN receives a request packet {     confirm the status of RFS;     if RFS is clear {       send a ACK response to TN;       change the status of RFS to USING;     }     else {       send a NACK response to TN;     }     wait for time of RFS;     change the status of RFS to CLEAR;   } } </pre>
<p><b>Location Reference Node</b></p> <pre> while (true) {   if LRN receives a packet {     send a response to TN;   } } </pre>

(그림 3) 각 노드의 동작 순서

타깃 노드는 자신이 사용할 중재 채널의 상태를 확인하고 사용 가능 하면 중재 노드로 요청 신호를 전송하고 응답 신호를 기다린다. 중재 채널이 사용 중일 경우에는 임의의 시간을 기다리고 채널 상태를 재확인한다. 중재 노드는 요청 신호가 수신되면 거리 측정 세션의 상태를 확인한 후 거리 측정 세션이 비어있으면 ACK 신호를 송신하고 거리 측정 세션의 상태를 사용 상태로 변경한다. ACK 신호는 거리 측정 채널과 위치 기준 노드의 ID를 포함한다. 하지만 요청 신호를 수신하였을 때 거리 측정 세션이 사용 중이면 NACK 신호를 타깃 노드에게 전송한다. ACK 응답 신호를 받은 타깃 노드는 자신이 사용할 거리 측정 채널과 위치 기준 노드의 ID를 확인하고 거리 측정 세션으로 들어간다. NACK 응답 신호를 받은 타깃 노드는 임의의 시간을 기다린 후 같은 중재 채널로 요청 신호를 재전송한다. 타깃 노드가 일정 시간 내에 응답을 받지 못할 경우에는 중재 채널을 변경하며 요청 신호를 재전송한다. 거리 측정 세션에 들어간 타깃 노드는 4개의 위치 기준 노드와 거리를 측정하고 자신의 위치를 계산한다.

### 3. 시뮬레이션

본 절에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 실시간 위치 측정 시스템의 성능을 분석한다. 시뮬레이션을 위해서는 우선 대상 시스템의 모델링이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 이산사건 시스템을 계층적이고 모듈화된 방법으로 기술하는 DEVS 형식론[5]을 이용하여 모델링하였다. DEVS 형식론의 장점중의 하나는 모델링된 결과를 DEVS 형식론의 추상화된 시뮬레이터(abstract simulator) 환경에서 손쉽게 시뮬레이션 할 수 있다는 것이다. 본 논문에서는 모델링된 결과를 DEVS++[6]를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

#### 3.1 모델링

DEVS 형식론[5]에는 원자 모델(atomic model)과 결합 모델(coupled model) 등 2 가지 유형의 모델을 사용하여 시스템을 기술한다. DEVS 형식론에서는 대상 시스템을 컴포넌트들로 나누고 이들 간의 연결 관계를 정의하는 방식으로 모델링한다. 이때 어떤 컴포넌트는 역시 똑같은 방식으로 더 작은 컴포넌트들로 분할될 수 있다. 이러한 분할 과정은 모든 컴포넌트들이 더 이상 나눌 필요가 없을 정도가 될 때까지 반복된다. 그런 다음 더 이상 나눌 수 없는 컴포넌트들은 원소 모델로, 컴포넌트들 간의 연결 관계는 결합 모델로 기술된다.

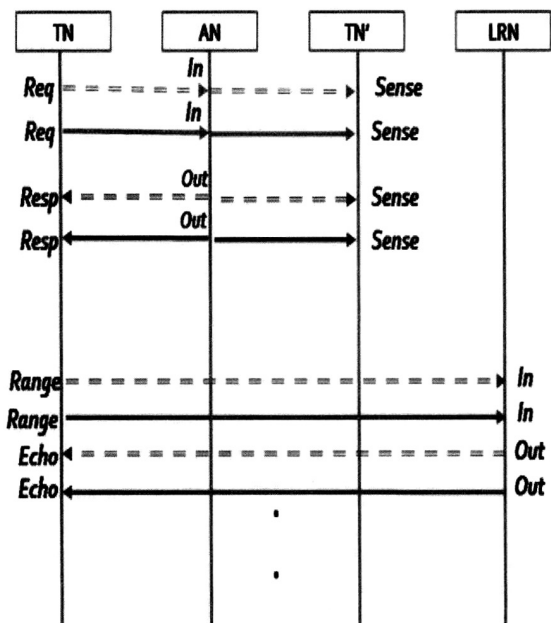
그러므로 DEVS 형식론으로 시스템을 모델링하기 위해서는 시스템을 여러 컴포넌트들로 나누고 컴포넌트들의 동작을 분석해야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 (그림 2)의 동작 절차를 분석하였다. 우선 시스템을 타깃 노드, 중재노드, 위치 기준 노드 등의 컴포넌트로 나누는 것은 손쉽게 생각될 수 있을 것이다. 물론 이 컴포넌트들을 더 작은 컴포넌트들로 나눌 수도 있지만 본 논문에서는 이 정도 수준으로 분할하였다. 다음으로 컴포넌트들의 동작을 분석하여야 한다. (그림 4)는 이런 관점에서 (그림 2)를 다시 나타낸 것이다. (그림 4)에서는 타깃 노드가 TN과 TN' 등 2개로 표현된 것을 볼 수 있다. 이것은 타깃 노드들이 통신 시에 CSMA-CA 방식으로 채널을 액세스하는 것을 모델링하기 위함이다.

두 그림을 비교해 보면 (그림 2)의 하나의 비스듬한 화살표가 (그림 4)에서는 하나의 이중점선 화살표와 실선 화살표의 쌍으로 표현된 것을 볼 수 있다. (그림 2)에서 점선 화살표는 노드들 간의 통신이 진행되는 것을 나타내는 것인데 비스듬하게 된 것은 통신에 소요되는 시간이 0이 아니기 때문이다. (만약 통신소요 시간을 0으로 표현한다면, 통신 충돌이 생기는 것을 모델링할 수 없다.) 이러한 연속적인 동작을 이산 사건 시스템의 관점에서 표현하기 위해서는 통신의 시작과 통신의 끝을 이산 사건으로 나타내는 것이 적합하다. (그림 4)의 이중점선 화살표는 통신의 시작을 실선 화살표는 통신의 끝을 나타낸다. 만약 이중점선 화살표에서 실선 화살표 사이의 구간에 다른 이중점선 화살표나 실선 화살표가 있다면 통신 충돌이 발생한 것이다.

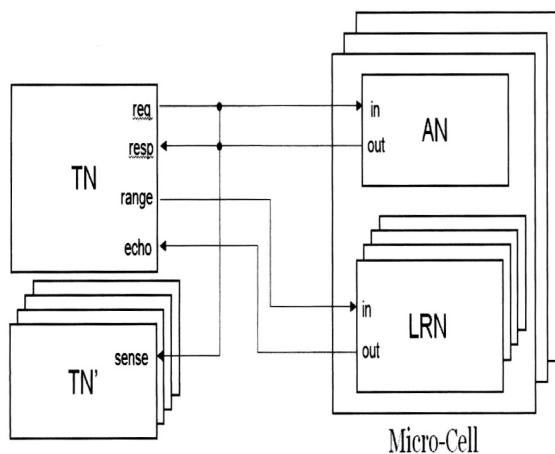
컴포넌트들의 동작에 대한 분석이 끝나면 컴포넌트들을 서로 계층적으로 연결시켜서 결합 모델들로 구성하는 과정이 필요하다. (그림 5)는 연결된 결과를 도식화 한 것이다.

시스템은 크게 타깃 노드 모델 TN과 마이크로셀들로 구성된다. (설명을 단순화 하기 위해 (그림 5)에서는 매크로셀을 포함시키지 않았지만, 마이크로셀들을 묶어서 매크로셀 모델로 구성할 수 있다.) 또한 마이크로셀 모델은 중재 노드 모델 AN과 위치 기준 노드 LRN으로 구성된다.

컴포넌트들의 연결 관계는 역시 (그림 4)로부터 구해진다. 즉 (그림 4)에서 두 컴포넌트가 화살표로 서로 연결되어 있다면, 이것은 화살표의 시작점의 모델에서 끝 점의 모델로 연결이 되어 있어야 한다. (그림 4)에서 화살표 전후에 이름이 붙여 놓은 것은 모델들의 입출력 포트를 나타낸 것이다. 예를 들어 (그림 4)에서 타깃 노드 모델이 req 포트를 통해 중재 요청한 것은 중재 노드 모델의 in과 다른 타깃 노드 모델의 sense로 전달되는 것이 (그림 5)에서도 가능하도록 연결된 것을 확인할 수 있다.



(그림 4) (그림 3)의 동작 절차의 모델링

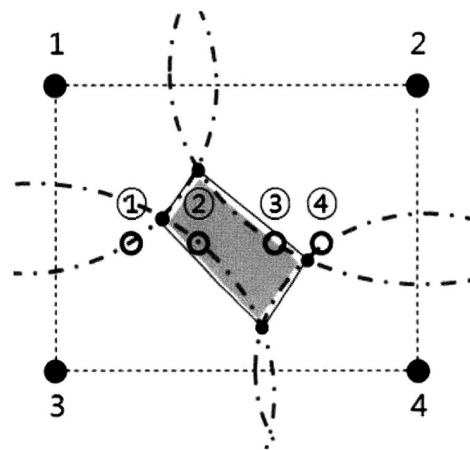


(그림 5) 구성요소들 사이의 연결 및 계층적 구성

### 3.2 시뮬레이션

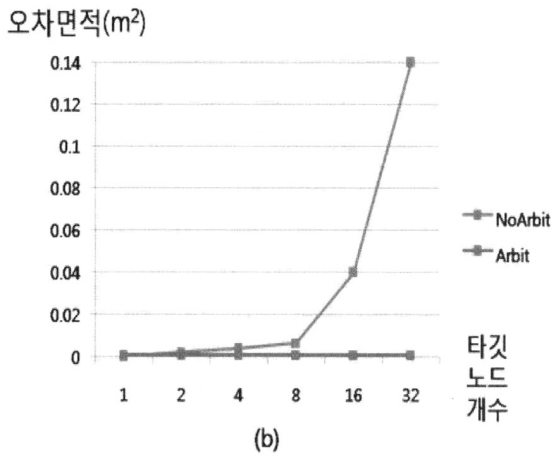
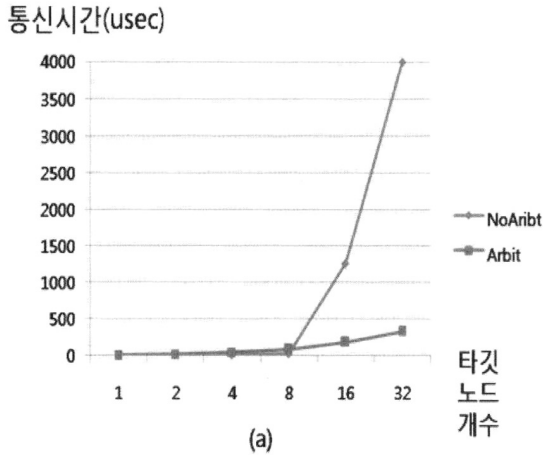
앞서 설명한 실시간 위치 측정 시스템의 모델들은 DEVSim++[6] 환경에서 구현되었다. 본 절에서는 성능 분석을 위해 중재 노드가 있는 시스템과 중재 노드가 없는 시스템을 각각 시뮬레이션하였다. 중재 노드가 없는 시스템을 통해 충돌로 인해 생길 수 있는 오차를 보여주고 본 시스템과 비교하였다. 시뮬레이션에서 가정한 위치 측정 환경은 (그림 1)과 같이 4개의 매크로셀로 구성된 환경을 가정하였다. 거리 측정 방식은 IEEE 802.15.4a[11] 방식의 TWR (Two-Way Ranging)을 사용하며 시뮬레이션을 위한 측정 파라미터도 위의 프로토콜에 맞추어 설정하였다.

시스템의 성능을 나타내는 지표로는 한 타깃 노드가 위치 측정을 위해 소요하는 통신 시간의 평균값  $T_{comm}$ 와 위치 측정 오차의 평균값  $E$ 가 사용되었다. 앞서 설명한 바와 같이 이동체의 경우에는 거리 측정을 위한 통신간의 시간 간격이 0이 아니므로 반드시 위치 측정 오차를 수반한다. 본 논문에서는 이 오차를 추정하는 방법으로 (그림 6)의 오차 면적을 구하는 방법을 사용하였다. (그림 6)에서 타깃 노드가 움직이면서 ①~④의 지점에서 차례로 4개의 위치 기준 노드들과의 거리를 측정하였다면 삼각 측량의 결과가 한 점이 아니라 (그림 6)과 같이 여러 점이 된다. (만약, 움직임이 없이 ①에서 4개의 위치 기준 노드들과의 거리를 측정하였다면 삼각 측량의 결과는 한 점이 된다.) 본 논문에서는 그 점들이 이루는 다각형((그림 6)에서 음영으로 표시된 영역)의 면적을 오차 면적으로 정의하고 이를 측정 오차 값으로 사용하였다.

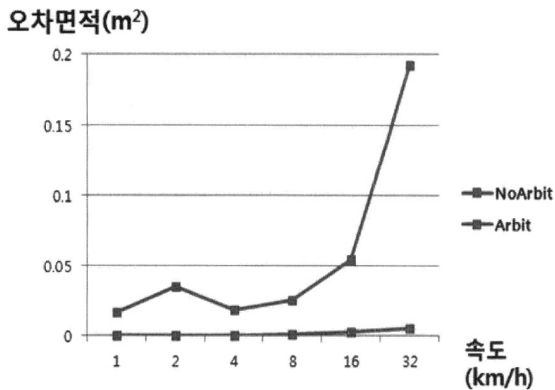


(그림 6) 오차 면적

(그림 7)과 (그림 8)은 시뮬레이션 결과이다. (그림 7(a))와 (그림 7(b))는 타깃 노드의 수를 변화시켜 가면서 중재 노드가 있는 시스템(Arbit)과 중재 노드가 없는 시스템(NoArbit)의 통신 시간  $T_{comm}$ 과 오차 면적  $E$ 를 구한 결과이다. 세 점과의 거리를 기반으로 위치를 측정하는 삼각측량을 사용하는 시스템의 경우 중재 노드가 없는 시스템과 유사하여 위의 두 시스템을 비교하였다.(그림 7(a))에 나타난 바와 같이 중재 노드가 없는 시스템에서는 타깃 노드 수



(그림 7) 타깃노드 개수에 따른 시뮬레이션 결과



(그림 8) 속도에 따른 시뮬레이션 결과

가 적을 때에는 빠른 시간 안에 위치를 구하는 데에 비해서 타깃 노드의 수가 많아질수록 급격하게 통신 시간이 늘어나는 것을 볼 수 있다.

이것은 통신 충돌이 어느 한계를 넘어서면 급증하기 때문이다. 충돌이 발생하면 다시 통신하여야 하므로 통신 소요 시간이 길어진다. 이에 비해서 중재 노드가 있을 경우에는 비슷한 비율로 통신 시간이 늘어남을 볼 수 있다. 중재 노드가 없는 시스템이 중재 노드가 있는 시스템 보다

더 빨리 위치를 계산하는 경우에도 위치 측정의 오차는 중재 노드가 없는 시스템이 매우 크게 나타났다. (그림 7(b))를 살펴보면 타깃 노드가 1개인 경우를 제외하고는 중재 노드가 있는 시스템이 위치 계산 시에 훨씬 적은 오차를 가짐을 알 수 있다.

(그림 8)은 타깃 노드의 수를 20개로 고정된 상태에서 타깃 노드의 이동 속도에 따른 오차 면적 E를 중재 노드가 있는 시스템과 중재 노드가 없는 시스템에서 구한 결과이다. 중재 노드가 있는 시스템에서는 오차가 매우 적으며 이동 속도에 따라 일정한 비율로 오차가 커지는 데에 비해서 중재 노드가 없는 시스템에서는 오차가 매우 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 격자형 실시간 위치 측정 시스템은 고속으로 이동하는 다수의 이동체의 위치 측정을 할 경우 생길 수 있는 오차를 줄일 수 있으며 측정 지역에 맞추어 셀 간의 충돌을 방지하며 격자형으로 설계가 가능하므로 높은 확장성(scalability)을 보임을 알 수 있다.

#### 4. 관련 연구

실시간 위치 측정을 위해 현재까지 다양한 시스템들이 제안되고 있다. 먼저, RFID를 이용하여 위치 측정을 하는 LANDMARC 시스템이 있다[7-8]. 이 시스템은 RFID 태그를 격자형으로 위치시켜 레퍼런스 태그로 사용하고 이동체에도 태그를 부착한다. 그리고 고정된 리더에서 이 태그들의 RSSI 값을 측정하고 레퍼런스 태그와의 값을 비교하여 이동체의 위치를 측정하는 시스템이다. 하지만 이 시스템은 기본적으로 RSSI 측정값을 이용하므로 거리 측정값의 오차가 크고 태그들 간의 충돌을 줄이기 위한 방법이 적용되지 않았다. 그러므로 이동체가 많고 속도가 빠를수록 각 이동체들의 위치 측정값의 오차가 커질 수밖에 없다.

그리고 참고문헌 [9]에서는 실내에서 이동체의 위치 측정을 위해 천장에 RFID 태그를 격자형으로 설치한다. 그리고 이동체에 리더를 설치하여 이동체가 천장에 부착된 태그를 읽고 위치를 측정하는 시스템이다. 이 시스템의 경우 다수의 리더가 같은 통신 반경 내에서 위치 측정을 할 경우 충돌을 대비하기 위한 알고리즘이 적용되지 않았으며 천장과 리더간의 거리에 따라 오차가 커질 수 있다.

참고문헌 [10]에서 제안하는 Locsens 시스템은 무선 센서 노드를 실내에서 설치하여 이동체 노드에서 RSSI 값을 수신하여 위치를 계산하는 시스템이다. 이 시스템은 실내의 위치 측정을 위해 제안된 시스템으로 한 개의 노드만의 이동 경로를 측정하여 실험하였다. 이 경우 같은 방안에 다수의 노드가 이동할 경우 측정된 오차보다 크게 높아질 수 있는 문제가 있다.

이와 같이 각 연구들에서는 고속으로 이동하는 다수의 이동체들이 같은 공간 내에 있을 경우 통신 충돌로 인하여 생기는 문제점들에 대해서는 다루지 않았다. 이에 비해서, 본 논문에서 제안한 시스템에서는 고속으로 움직이는 여러 이

동체들이 존재하는 경우 중재 노드를 이용하여 이동체들의 위치 측정에 관련한 통신 충돌을 줄여 위치 측정 오차를 줄이는 방법을 제시하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 이동체들의 위치 측정을 위해 확장이 용이한 실시간 위치 측정시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 제안된 시스템의 매크로셀은 채널과 구조가 완전히 동일하다. 그러므로 매크로셀을 반복해서 배치하는 방법으로 넓은 지역으로 확장할 수 있어서 매우 높은 확장성을 가진다. 또한 위치 측정 과정을 중재 세션과 위치 측정 세션의 2 단계로 구분하고 한 마이크로셀내에서는 오직 하나의 타깃 노드만이 위치 측정 세션에서 수행하도록 하였기 때문에 고속으로 움직이는 다수의 이동체의 위치를 측정할 경우에도 오차를 줄일 수 있도록 설계하였다. 시뮬레이션 결과 타깃 노드의 수가 늘어나거나 이동체의 속도가 빨라지는 상황에서도 신호의 충돌을 줄여 통신 시간과 오차가 일정 수준으로 제한되는 것을 볼 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Navstar GPS Joint Program Office, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, 2006.
- [2] 김나리, 전현식, "위치 측정 알고리즘 및 NLOS 환경 완화 알고리즘에 대한 고찰", *데이터베이스연구*, 제24권, pp.61-79, 2007.
- [3] 박운용, 박철용, 최성수, 이원철, "클럭 표류 영향을 고려한 양방향 거리 인지 기반의 TOA/TDOA 추정 방안", *한국통신학회논문지*, Vol.32, pp.608-615, 2007.
- [4] IEEE Computer Society, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Sep., 2006.
- [5] B. P. Zeigler, *Multifaceted Modelling and Discrete Event Simulation*, Academic Press, 1984.
- [6] T.-G. Kim, *DEVSIM++ User's Manual: C++ Based Simulation with Hierarchical Modular DEVS Model*, Computer Engineering Lab., Dept. of Electrical Engineering, KAIST, 1994.
- [7] L. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, A. Patil, "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID", *Proceedings of 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp.407-415, 2003.
- [8] X. Chen, Z. J. Wang, "Reliable Indoor Location Sensing Technique Using Active RFID", *2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation*, pp.160-163, 2010.

- [9] T. Shiraishi, N. Komuro, H. Ueda, H. Kasai, T. Tsuboi, "Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID", *International Conference on Information Networking*, pp.1-5, 2008.
- [10] F. Bagci, F. Kluge, B. Satzger, T. Ungerer, "Towards Indoor Location Estimation and Tracking with Wireless Sensors", *6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, pp.235-240, 2009.
- [11] IEEE Computer Society, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment1: Add Alternate PHYs, 2007.



### 안 시 영

e-mail : onsaiahn@gmail.com

2003년 국민대학교 정보통신공학과(학사)

2007년 국민대학교 전자공학과(공학석사)

현재 국민대학교 전자공학과 박사과정

관심분야: RFID/USN, 시뮬레이션,

운영체제



### 박 준 석

e-mail : jspark@kookmin.ac.kr

1987년 국민대학교 전자공학과(학사)

1993년 국민대학교 전자공학과(공학석사)

1996년 국민대학교 전자공학과(공학박사)

1998년~현재 국민대학교 전자공학과

교수

관심분야: DGS, RFIC, RFID/USN, 자기유지 시스템, 전기자동차 교통체계, VMS, ITS



### 오 하 령

e-mail : hroh@kookmin.ac.kr

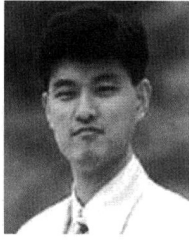
1983년 서울대학교 전기공학과(학사)

1988년 KAIST 전기 및 전자공학과  
(공학석사)

1992년 KAIST 전기 및 전자공학과  
(공학박사)

1996년~현재 국민대학교 전자공학부 교수

관심분야: RFID/USN, 임베디드 시스템, 운영체제



### 성 영 락

e-mail : yeong@kookmin.ac.kr

1989년 한양대학교 전자공학과(학사)

1991년 KAIST 전기 및 전자공학과  
(공학석사)

1985년 KAIST 전기 및 전자공학과  
(공학박사)

1998년~현 재 국민대학교 전자공학부 교수

관심분야: RFID/USN, 실시간 시스템, 이산사건모델링,  
시뮬레이션