

# 모바일 센서네트워크에서 다중 이동 노드를 위한 간섭회피 기반 위치인식

이 좌 형<sup>†</sup> · 정 인 범<sup>††</sup>

## 요 약

최근 유비쿼터스 환경에 대한 관심이 증대되면서 이를 위한 센서네트워크에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이동 사용자의 위치 정보를 제공하는 위치인식서비스는 센서네트워크가 제공하는 대표적인 서비스이다. 그동안 이동 사용자의 위치정보를 획득하기 위한 다양한 기법들이 제시되어 왔다. 하지만 대부분의 기법들은 단일 사용자인 경우만 고려하여 연구되어 이를 다중 사용자인 경우로 확장하기에는 문제가 있다. 여러 이동 사용자들이 한 지역에서 동시에 위치인식 작업을 수행하는 경우에 센서노드들이 발생시키는 비콘이나 초음파 등이 서로 간섭을 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 여러 이동 사용자들이 동시 다발적으로 위치확인 작업을 수행하고자 하는 경우에 발생 가능한 간섭을 회피하도록 하는 IAL기법을 제안한다. IAL기법은 센서노드가 위치인식 작업을 수행하기 전에 주위에 있는 앵커노드들로부터 허가를 받도록 하여 노드간의 간섭을 방지한다. 이를 위해 허가를 요청하는 LIP패킷과 요청을 인가하는 LGP패킷을 정의한다. 추가적으로 다른 노드의 위치인식 작업을 방해할 가능성이 있는 경우에는 LRP 패킷을 사용하여 노드 간에 간섭이 발생하지 않도록 한다. 실험을 통하여 이동 사용자가 다수일 경우 노드 간에 간섭이 많이 발생함을 보이며 제안하는 IAL기법이 위치인식 작업시 간섭을 방지함을 보인다.

키워드 : 센서네트워크, 위치인식, 다중 이동 노드, 간섭, 회피

## Interference-Avoidance Based Localization for Multiple Mobile Nodes in Mobile Wireless Sensor Networks

Joahyoung Lee<sup>†</sup> · Inbum Jung<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Given the increased interest in ubiquitous computing, wireless sensor network has been researched widely. The localization service which provides the location information of mobile user, is one of important service provided by sensor network. Many methods to obtain the location information of mobile user have been proposed. However, these methods were developed for only one mobile user so that it is hard to extend for multiple mobile users. If multiple mobile users start the localization process concurrently, there could be interference of beacon or ultrasound that each mobile user transmits. In the paper, we propose IAL, the localization technique with interference avoidance for multiple mobile nodes in mobile wireless sensor networks. In IAL, interference is prevented by forcing the mobile node to get the permission of localization from anchor nodes. For this, we define LIP packet type for localization initiation by mobile node and LGP packet type for localization grant by anchor node. LRP packet type is used to reject localization by anchor node for interference avoidance. The experimental result shows that the number of interference between nodes are increased in proportion to the number of mobile nodes and IAL provides efficient localization.

Keywords : Sensor Network, Localization, Multiple Mobile Node, Interference, Avoidance

## 1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)와 마이

크로프로세서 그리고 무선 통신 기술의 발전으로 센서노드들을 이용하여 넓은 지역에 걸쳐 정확한 정보를 얻고자하는 센서네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서네트워크를 기반으로 제공되는 다양한 유비쿼터스를 위한 어플리케이션들 중에서 위치기반 서비스는 사용자의 위치를 인식하여 위치에 따라 적합한 서비스를 선택적으로 제공하는 서비스로 널리 연구되고 있다[1,2].

위치기반 서비스가 원활하게 제공되기 위해서는 사용자의

※ 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-D00424(100901)).

† 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

†† 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)

논문접수 : 2008년 6월 5일

수정일 : 1차 2008년 9월 24일, 2차 2008년 10월 2일

심사완료 : 2008년 10월 6일

정확한 위치 정보를 필요로 하는데 이는 센서네트워크를 이용한 위치인식 시스템으로 얻을 수 있다. 센서네트워크를 이용한 위치인식 시스템에서는 기반 구조로 설치되어 있는, 위치 정보를 알고 있는 비콘노드와 사용자가 소지하는 센서노드 사이에 통신을 통하여 위치를 인식한다. 비콘노드와 센서노드는 전파와 초음파를 이용하여 속도차이, 도달 시간 차이 또는 각도차이 등의 정보를 구하여 거리를 계산하며 이를 바탕으로 삼각측량법등의 기법을 이용하여 센서노드의 정확한 위치를 파악한다[3,4,5,6].

위치인식에 관한 연구는 크게 정적인 노드들의 위치인식과 동적으로 움직이는 노드들의 위치인식 문제로 나뉜다. 정적인 노드들의 경우 소수의 비콘 노드만 설치되어 있으면 넓은 범위에 퍼져있는 노드들에 위치를 파악할 수 있다. 하지만 노드가 동적으로 움직이는 경우에는 위치정보를 알고 있는 비콘 노드들이 조밀하게 설치되어 있는 상태에서 사용자의 센서노드가 주기적으로 전파나 초음파 등을 이용하여 거리를 계산하고 위치를 파악한다[5].

기존의 이동 노드를 위한 위치인식에 관한 연구들은 대부분 노드 하나의 위치를 인식하는데 중점을 두고 있다. 노드가 하나인 경우에는 방해요소가 없기 때문에 거리 측정에 물리적인 문제가 발생하지는 않는다. 하지만 이동하는 노드가 여러 개인 경우에는 인접한 두 개 이상의 노드가 동시에 위치를 인식하고자 하면 거리를 측정하는데 사용되는 전파나 초음파등이 충돌하는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 노드 하나에 대한 위치 인식 기법을 여러 노드에 대한 위치 인식에 적용하기엔 무리가 따르며 충돌을 고려하는 여러 이동 사용자를 위한 새로운 위치인식 기법이 필요하지만 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 최근 이루어지고 있는 여러 노드의 위치를 추적하는 연구들에서는 대부분 노드들을 효율적으로 추적하는 것을 다루고 있다[7,8,9].

본 논문에서는 여러 이동 노드들 간의 비콘 메시지나 초음파 등의 충돌을 방지하여 거리 측정이 효율적으로 이루어지도록 하는 인프라기반 다중 이동 노드 위치 인식기법(IAL, Interference-Avoidance Based Localization)을 제안한다. 제안하는 IAL기법에서는 이동 노드가 위치 확인 작업 전에 LIP (Localization Initiation Packet) 메시지를 전송하여 작업 시작을 알리고 주위 노드들은 LGP (Localization Grant Packet) 메시지를 통하여 작업이 가능함을 알린다. 만약 이미 다른 사용자가 작업 중인 경우에는 LRP (Localization Rejection Packet) 메시지를 전달하여 작업을 연기하도록 한다.

2장에서는 위치인식에 사용되는 기법들을 분석하며 3장에서는 다중 노드의 위치인식시 발생하는 문제점을 정리하고 4장에서는 제안하는 IAL기법의 개념과 동작방식을 설명한다. 5장에서는 실험을 통하여 성능을 평가하고 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

위치측정 기술은 측정방식에 따라 삼각측량, 장면분석, 근

접방식 등으로 분류하거나, GPS와 같은 위치를 측정할 수 있는 하드웨어적 인프라가 있는지 여부에 의해 분류할 수 있다. 삼각측량법은 기준점까지의 거리를 측정하는 거리 측정 방식과 기준점으로부터 떨어져있는 각도를 이용하는 각도 측정 방식으로 나누어 볼 수 있다[3,4]. 이러한 위치인식 기술을 매크로 위치인식 시스템과 마이크로 위치인식 시스템 그리고, 센서 네트워크와 같이 무선이동 노드들의 위치를 인식하는 Ad-Hoc 위치인식 시스템으로 나눌 수 있다[5]. 측정된 거리로부터 삼각측량법을 이용하는 위치 계산하는 시스템의 대표적인 예인 GPS는 AOA(Angle of Arrival), TOA(Time Of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival) 등의 방식을 사용하여 위치를 계산한다[6].

인프라가 없는 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서는 레퍼런스 노드와 RF의 연결성 기반으로 위치인식을 수행하는 Centroid기법과 이동 노드에서 무선으로 연결 가능한 레퍼런스 노드들로 삼각형을 형성하고, 이동 노드가 그 삼각형 내부에 있는지 여부를 계산하여 이동 노드가 내부에 있는 삼각형들이 겹치는 영역의 중심점을 이동 노드의 위치로 인식하는 APIT(Approximation Point In Triangulation)기법 그리고 DV(Distance Vector)라우팅 알고리즘의 hop-by-hop 라우팅 정보전송 방법과 GPS의 삼각측정원리를 이용한 위치 계산 방법을 조합하여 사용하는 DV-Hop, DV-Distance 기법 등이 있다[7,8,9].

위치측정에 관한 대부분의 연구들은 단일 노드의 위치를 얼마나 정확하게 측정할 것이냐 또는 얼마나 에너지 효율적으로 측정할 것이냐 등의 문제에 집중되어 왔다. 이에 반해 다중 노드의 위치인식에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았는데 이는 단순히 단일 노드의 위치측정 기법을 다중 노드의 경우로 확장하면 될 것으로 판단하기 때문이다. 객체 추적에 관한 분야가 그나마 다중 노드들의 위치 측정에 관한 연구가 진행되는 분야이다. 하지만 객체 추적에 관한 연구들에서도 위치 측정의 정확성과 같은 주제보다는 다수의 객체 위치를 측정하는데 소모되는 패킷수를 줄이는 등에 관한 연구가 주를 이루고 있다[10,11,12,13].

다중 이동 노드의 위치인식에 관한 최근 연구로는 앵커노드들의 동작 주기에 관한 연구[14]와 이동 노드간의 간섭 방지를 위한 연구가 있다[15]. 센서노드가 앵커들의 신호를 받아 위치 측정을 하는 경우에도 본 논문에서 제기하는 문제와 비슷한 문제가 발생할 수 있다. 즉 여러 개의 앵커노드들이 동시에 RF메시지와 초음파를 전송하면 충돌이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 이를 위해서 앵커노드들 간에 충돌을 방지하면서 센서노드가 최대한 많은 앵커노드와 연결되기 위한 앵커노드를 스케줄링할 필요가 있다. 앵커노드들의 동작 주기에 관한 연구[14]에서는 앵커노드들이 동시에 라디오 주파수나 초음파를 전송하면 이동 노드에서 충돌이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해서 앵커노드들 간의 전송 시간을 달리하는 것에 관한 연구이다. 이 연구[14]에서는 앵커노드들이 서로 충돌하지 않도록 스케줄링 하는 것이 NP Complete 하다고 분석하고 이

를 Minimum Length Broadcast Frame의 해결책을 적용하여 문제를 해결하고자 하였다. 이 연구에서 제시된 방법을 통하여 앵커노드들 간에 충돌은 제거할 수 있었으나 이동 노드가 연속적으로 세 개 이상의 앵커노드로부터 라디오 메시지가 초음파를 수신하기가 어렵기 때문에 정확한 위치 측정이 어렵다는 문제가 있다.

이동 노드간의 간섭을 방지하기 위한 연구[15]에서는 이동 노드가 위치 측정동안 다른 노드로부터 초음파를 수신하면 위치측정 주기를 늘리는 기법을 사용하여 노드간의 간섭을 방지하고 있다. 이를 통하여 다수의 이동노드가 위치 측정시 서로 간의 간섭을 방지할 수 있음을 보였으나 이동노드에서만 간섭을 고려하였을 뿐 앵커노드에서의 간섭은 고려하지 않았다는 단점이 있다. 본 논문에서는 앵커노드에서의 간섭이 위치측정에 지대한 영향을 미침을 보이고 이에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

### 3. 문제정의

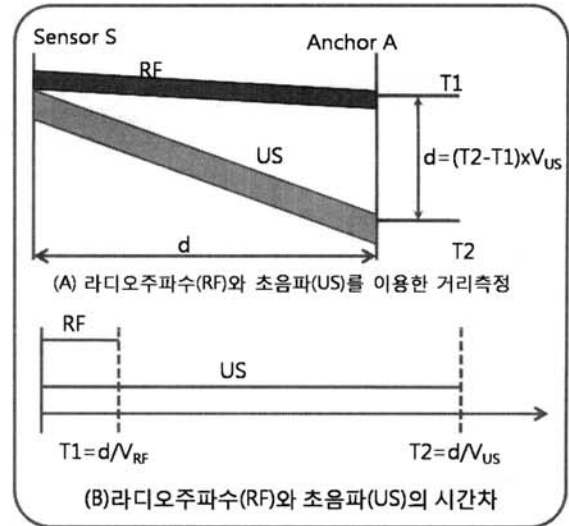
본 논문에서는 라디오주파수(RF, Radio Frequency)와 초음파(US, UltraSound)속도차이로 인한 도달 시간 차이(TDOA, Time Difference of Arrival)를 이용하여 두 노드간의 거리를 측정하며 측정된 거리를 바탕으로 삼각측량법으로 노드의 위치를 인식하는 것으로 가정한다. 네트워크는 자신의 위치를 알고 있는 앵커노드(Anchor Node)와 위치를 알고자 하는 일반 센서노드(Sensor Node)로 구성된다. 앵커노드와 센서노드는 각각 라디오주파수를 송수신할 수 있는 라디오 안테나와 초음파를 송수신할 수 있는 초음파송수신기를 장착하고 있는 것으로 가정한다. 센서노드는 네트워크에서 임의의 위치로 이동할 수 있으며 주기적으로 위치를 파악하고자 한다. 삼각측량법으로 위치를 인식하려면 센서노드는 최소한 세 개의 앵커노드와 연결이 되어야만 한다.

#### 3.1 단일 노드인 경우

센서노드 S에서 동시에 전송된 라디오주파수(RF)와 초음파(US)가 앵커노드 A에 도달하는 시간차이로 거리를 측정한다. 센서노드 S와 앵커노드 A 사이의 거리 d는 다음과 같이 구해진다.

$$d = (T_2 - T_1) \times V_{US}, \quad (T_1 = \frac{d}{V_{RF}}, T_2 = \frac{d}{V_{US}})$$

T1은 라디오주파수가 앵커노드에 도달한 시간이며 T2는 초음파가 앵커노드에 도달한 시간을 나타낸다.  $V_{RF}$ 는 라디오주파수의 속도를 나타내며  $V_{US}$ 는 초음파의 속도를 나타낸다. 일반적인 상황에서 라디오주파수의 속도  $V_{RF} = 3.1 \times 10^8 m/s$ 이며 초음파의 속도  $V_{US} = 344 m/s$ 로 초음파의 속도가 라디오주파수의 속도보다 매우 느리기 때문에 T2에 비해 T1은 매우 작은 것으로 간주할 수 있다. 따라서 앵커노드에서는 T1을 기준으로 T2까지의 시간을 측정하여 거리 d를 구할 수 있다. (그림 1)은 라디오주파수와 초음파를 이용하여 거리를 측정하는 것을 보여준다.

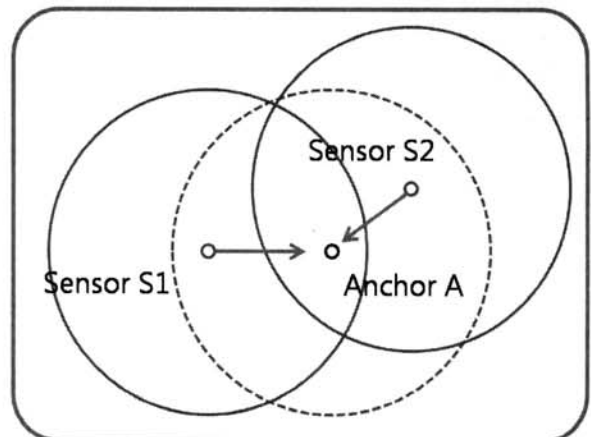


(그림 1) 라디오주파수와 초음파를 이용한 거리 측정과 시간차

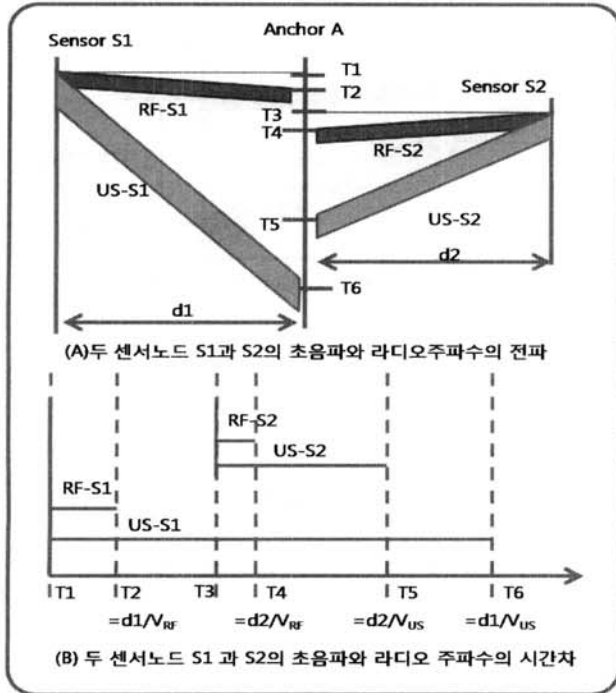
#### 3.2 다중 노드인 경우

위에 언급된 기법을 이용하여 둘 이상의 센서노드들이 동시에 거리측정을 하고자 하는 경우 노드들이 전송하는 라디오주파수와 초음파들에 충돌이 발생할 수 있다. (그림 2)에서 처럼 두 개의 센서노드 S1과 S2가 동시에 거리를 측정하고자 하는 경우를 가정해볼 수 있다. 두 센서노드 S1과 S2는 서로의 라디오주파수 범위에서는 벗어나 있으나 앵커노드 A에 범위에 속해 있기 때문에 두 센서노드 S1과 S2가 전송하는 라디오주파수와 초음파는 앵커노드 A에서 충돌하거나 거리측정에 오류를 발생시킬 수 있다.

(그림 3)은 두 센서노드 S1과 S2가 동시에 거리측정을 하는 경우 라디오 주파수와 초음파의 도달순서의 오류로 인하여 거리측정에 오류가 발생하는 예시를 보여준다. 예시는 센서노드 S1과 앵커노드 A와의 거리 d1이 센서노드 S2와 앵커노드 A와의 거리 d2에 비해 길다( $d1 > d2$ )고 가정 하에 동작을 보여준다. 센서노드 S1과 센서노드 S2의 라디오주파수와 초음파는 다음과 같은 과정을 거친다.



(그림 2) 두 센서노드(S1, S2)가 동시에 거리측정을 하는 경우



(그림 3) 두 센서노드 S1과 S2가 동시에 거리측정을 하는 경우의 방해 예시

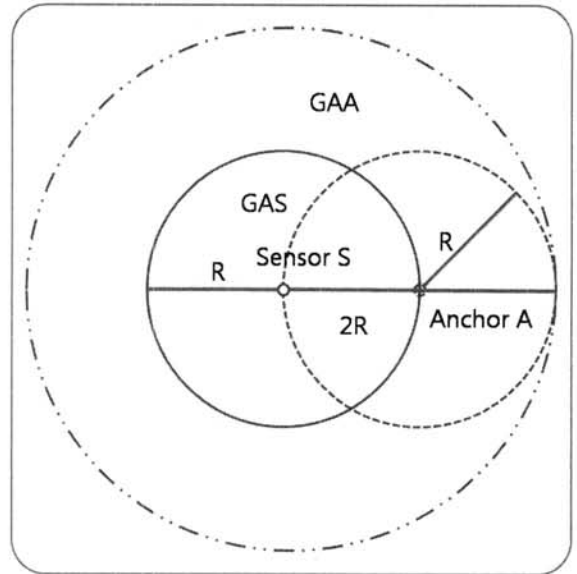
1. T1 : 센서노드 S1이 라디오주파수 RF-S1와 초음파 US-S1을 앵커노드 A로 송신한다.
2. T2 : RF-S1이 앵커노드 A에 도달한다.
3. T3 : 센서노드 S2가 라디오주파수 RF-S2와 초음파 US-S2를 앵커노드 A로 송신한다.
4. T4 : RF-S2가 앵커노드 A에 도달한다.
5. T5 : US-S2가 앵커노드 A에 도달한다.
6. T6 : US-S2가 앵커노드 A에 도달한다.

여기서 문제는 나중에 거리측정에 참여한 센서노드 S1이 전송한 초음파 US-S2가 앵커노드 A에 먼저 도달한다는 것이다.  $d_1$ 이  $d_2$ 에 비해 크기 때문에 센서노드 S1이 송신한 초음파 US-S1은 센서노드 S2가 송신한 US-S2가 앵커노드 A에 도달하는 시간( $T_5 = \frac{d_2}{V_{US}}$ )보다 늦은 시간( $T_6 = \frac{d_1}{V_{US}}$ )에 앵커노드 A에 도달한다.

거리측정에 사용되는 초음파는 단순한 펄스신호이기 때문에 초음파만으로는 초음파를 송신한 노드가 어떤 노드인지 파악할 수 없다. 따라서 앵커노드 A는 US-S2가 센서노드 S1에서 송신한 것인지 아니면 센서노드 S2에서 송신한 것인지 구분할 수 없다. 이 경우 앵커노드 A는 센서노드 S1과 S2로의 거리를 측정할 수 없게 된다.

### 3.3 보장사항

여러 센서노드들의 정확한 거리측정을 보장하기 위해서는 하나의 센서노드가 거리측정을 하고 있는 동안에는 다른 센서노드들이 이를 방해하지 않도록 해야만 한다. (그림 4)는 센서노드 S가 거리를 측정하고자 하는 경우 이에 영향을 미치는 범위를 보여준다. 센서노드 S의 통신거리가 R인 경우



(그림 4) 거리측정시 영향을 미치는 범위

이에 영향을 미치는 영역 즉 거리측정을 위해 보장해야 하는 영역(GA, Guarantee Area)은 다음과 같다.

$$GA = \pi(2R)^2 = 4\pi R^2$$

여기서 센서노드 S와 앵커노드 A의 통신거리 R은 동일한 것으로 간주한다. 센서노드 S의 거리측정을 보장하기 위해서는 센서노드 S의 통신범위 R내에 있는 앵커노드들의 범위에 있는 다른 센서노드들이 거리측정을 시도하지 말아야 한다. 따라서 보장범위가 R의 2배인 2R이 되고 범위는 4배가 된다.

보장영역 GA는 크게 센서노드의 통신범위에 속하는 보장영역 ( GAS, Guarantee Area for Sensor )과 센서노드의 통신범위의 밖이지만 앵커노드의 통신범위에 속하는 보장영역 ( GAA, Guarantee Area for Anchor )로 나눌 수 있다.

센서노드의 통신범위가 R이고 초음파의 속도가  $V_{US}$ 인 경우 거리측정을 보장하기 위한 시간( GT, Guarantee Time )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$GT = \frac{R}{V_{US}}$$

즉 센서노드의 통신범위가 R인 경우에  $4\pi R^2$ 인 영역에서  $\frac{R}{V_{US}}$  시간 동안에는 하나의 센서노드만이 거리측정이 가능하도록 보장하여야만 한다.

## 4. Interference-Avoidance Based Localization (IAL)

### 4.1 센서노드간 간섭방지

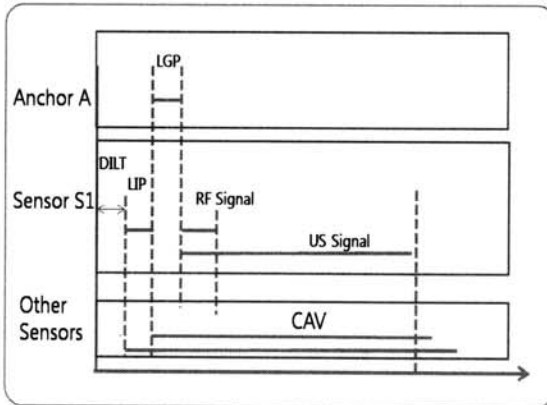
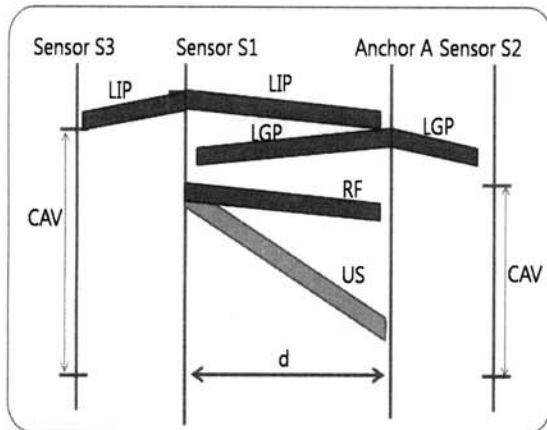
제안하는 IAL에서는 위치인식시 센서노드간의 간섭을 방지하기 위하여 다음 두 가지의 제어패킷을 사용한다.

1. LIP ( Localization Initiation Packet )
2. LGP ( Localization Grant Packet )

LIP는 센서노드가 위치인식을 초기화하기 위한 패킷이다. LIP는 앵커노드로 위치인식 시작을 위한 허가를 요청하는 기능뿐만 아니라 이를 수신하는 다른 센서노드들이 위치인식을 연기하도록 한다. LGP와 LRP는 위치인식을 허가하거나 거부하기 위해 앵커노드가 사용하는 패킷이다. 주위에 위치인식 작업을 진행중인 센서노드가 없는 경우 앵커노드는 LGP패킷을 전송하여 LIP를 송신한 노드가 위치인식작업을 진행하도록 한다. LGP도 LIP처럼 주위 센서노드들이 위치인식 작업을 연기하도록 하는 기능을 가지고 있다. LIP와 LGP를 통하여 3.3에서 정의한 보장영역 GA안에 위치한 다른 센서노드들은 위치인식 작업을 방해하지 못한다.

센서노드들은 채널의 사용여부를 나타내는 채널사용벡터(CAV, Channel Allocation Vector)를 통하여 다른 센서노드들이 위치인식 작업 중에는 작업을 연기하도록 한다. 채널 사용벡터의 값은 앞서 3.3절에서 정의한 보장시간  $GT(\frac{R}{V_{us}})$ 을 최대값으로 가진다. LIP나 LGP를 수신한 다른 센서노드들은 채널사용벡터를  $\frac{R}{V_{us}}$ 로 설정하고 채널사용벡터가 설정되어 있는 동안에는 위치인식 시도를 중지한다.

(그림 5)는 IAL에서 LIP와 LGP를 이용하여 거리를 측정하는 과정을 보여준다.



(그림 5) LIP와 LGP의 동작과정과 시간흐름

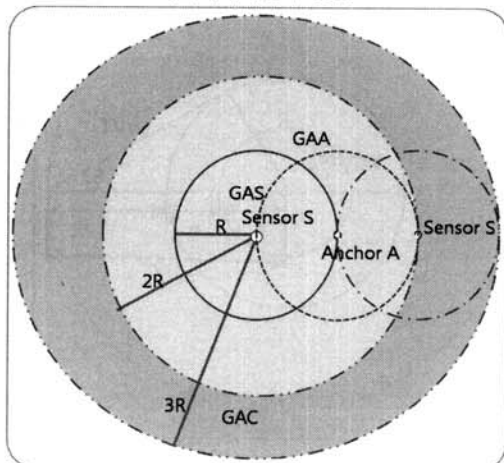
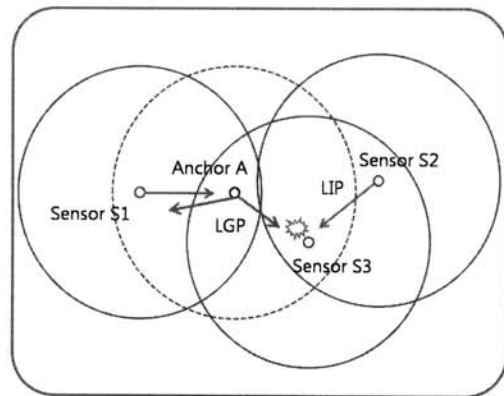
#### 4.2 거리측정 작업 중의 간섭

LIP와 LGP가 센서노드간 발생하는 간섭을 방지하는 기능을 제공하지만 무선 네트워크의 특성상 LIP와 LGP만으로는 모든 간섭을 방지할수는 없다. 여기서는 크게 LIP나 LGP와 같은 제어패킷들의 충돌로 인해 발생하는 간섭과 센서노드의 이동으로 인하여 발생하는 간섭을 살펴보고 대응책을 제시한다.

##### 4.2.1 제어패킷의 충돌로 인한 간섭

무선통신의 특성상 인접한 두개 이상의 센서노드들이 동시에 패킷을 전송하면 충돌이 발생할 수 있다. IAL에서 사용하는 LIP나 LGP와 같은 제어패킷들이 여러 센서노드들에서 동시에 전송될 경우 충돌이 발생하여 일부 노드에서 해당 제어패킷을 수신하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 충돌로 인하여 제어패킷이 전송되지 못하면 충돌이 발생한 노드들에서는 위치인식 작업이 진행중이라는 것을 인지하지 못하기 때문에 위치인식 작업을 시작할 수 있다. 즉 하나의 노드가 이미 위치인식 작업을 진행중에 이를 모르는 다른 노드가 위치인식작업을 시작하여 선행노드의 작업을 간섭할 수 있다.

(그림 6)에서 제어패킷의 충돌이 발생하는 예와 충돌가능



(그림 6) 제어패킷의 충돌과 충돌 가능 범위

범위를 확인할 수 있다. (그림 6)의 (a)에서 센서노드 S1이 LIP를 전송하고 이를 수신한 앵커노드 A가 LGP를 전송하는 시점에 S1의 통신범위 밖에 위치한 센서노드 S2가 위치인식 시작을 위한 LIP를 전송하여 센서노드 S2와 앵커노드 A의 통신범위 안에 있는 센서노드 S3에서 두 제어패킷들이 충돌하고 있다. 센서노드 S3는 센서노드 S1의 통신범위 밖에 위치하지만 앵커노드 A의 통신범위 안에 위치하기 때문에 센서노드 S1의 위치인식 작업에 영향을 미칠 수 있다. 이는 3.2절에서 살펴본 노드간 간섭문제와 동일하다. (그림 6)의 (b)는 제어패킷의 충돌이 가능한 범위를 보여준다. 충돌로 인한 간섭을 방지하기 위해 보장되어야할 영역( GAC, Guarantee Area for Collision )안에 있는 노드들은 패킷 충돌로 인한 간섭의 가능성을 가진다. 센서노드의 통신범위가 R일 경우 GAC의 범위는 다음과 같다.

$$GAC = \pi(3R)^2 = 9\pi R^2$$

#### 4.2.2 센서노드의 이동으로 인한 간섭

센서노드가 이동하는 경우에도 LIP나 LGP만으로는 불충분한 경우가 발생할 수 있다. 보장영역 GA 밖에 존재하던 센서노드가 보장시간 GT 동안에 보장영역 GA안으로 이동

할 경우 해당노드는 LIP나 LGP를 수신하지 못할 가능성이 있기 때문에 위치인식작업을 방해할 수 있다. (그림 7)은 센서노드가 이동함으로써 발생할 수 있는 간섭의 예시를 보여준다. (그림 7)의 (a)에서 센서노드 S1의 GA의 밖에 있는 위치 P1에 위치하던 센서노드 S2가 센서노드 S1의 GT 시간동안에 GA의 안에 있는 위치 P2로 이동하면서 위치인식 작업을 시도하면 S1의 위치인식 작업을 방해할 수 있다.

(그림 7)의 (b)는 GA의 밖에 위치하는 노드들 중에서 GA의 안으로 이동할 수 있는 노드의 이동 범위를 보여준다. 센서노드의 이동속도를 V라 하고 노드가 T시간 동안 이동한 거리를 L ( $L = VT$ )이라 하면 노드가 이동후 GA의 안에 위치하려면 노드의 이동 각도인  $\theta$ 는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$\theta \leq \cos^{-1}\left(\frac{l-2R}{VT}\right), (0 \leq T \leq GT)$$

#### 4.2.3 간섭방지

위에서 살펴본 두 가지의 경우를 예방하기 위하여 IAL에 두 가지를 추가한다.

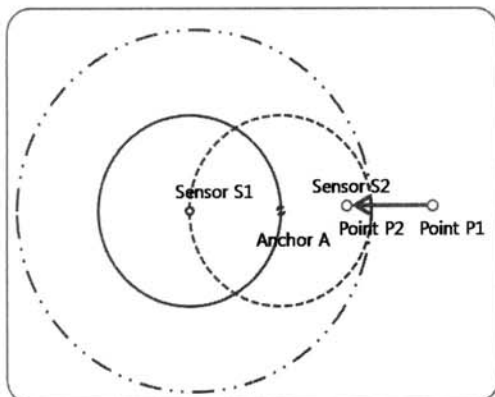
1. LRP ( Localization Rejection Packet )
2. DILT ( Distributed InterLocalization Time )

DILT는 위치인식을 시도하고자 하는 센서노드가 LIP를 전송하기 전에 채널이 사용중인지 여부를 확인하면서 대기하는 시간이다. DILT동안 채널에 신호가 감지되지 않으면 위치인식 작업을 진행중인 다른 센서노드가 없는 것으로 간주하고 LIP를 전송한다. 만약 DILT동안에 라디오주파수나 초음파가 감지되면 채널사용벡터를 설정하고 위치인식 작업을 연기한다.

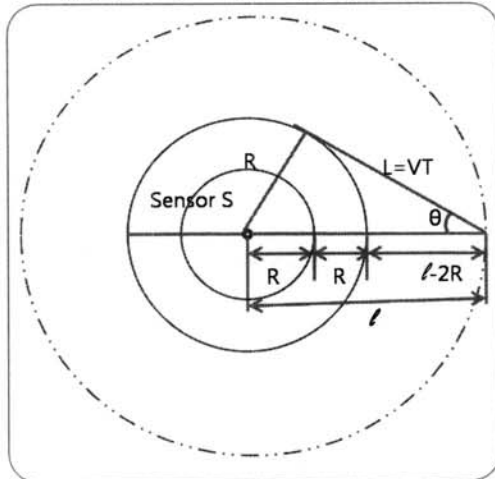
LIP를 수신하고 LGP를 통하여 위치인식을 허가한 앵커노드가 다른 센서노드로부터 LIP를 수신하는 경우 이를 거절하는 LRP를 전송하여 간섭을 방지한다. 이 경우 LRP를 전송하는 대신에 앵커노드가 아무런 패킷도 전송하지 않도록 하면 LGP를 수신하지 못한 센서노드가 위치인식을 연기하도록 하는 방안을 사용할 수도 있다. 하지만 센서노드는 주위에 어떤 앵커노드가 있는지 모르기 때문에 LGP를 수신하지 못하였다고 해서 방해하지 않는 것이라 간주할 수 없다. 즉 센서노드와 앵커노드 간의 통신은 하나의 센서노드와 여러 개의 앵커노드간의 통신인 1:N 통신이며 여기서 N은 상황에 따라 달라질 수 있으며 센서노드는 사전에 N을 파악할 수 없다. 따라서 LIP를 수신한 앵커노드는 LGP나 LRP중에 하나를 전송하여 자신의 존재를 센서노드에 알려야만 한다. LRP를 수신한 센서노드는 다른 앵커노드로부터 LRP를 수신하더라도 위치인식 작업을 연기한다. (그림 8)은 IAL에서 위치인식시 센서노드간의 간섭을 방지하는 과정을 보여준다.

#### 4.3 앵커노드간 충돌

앞서 4.2절에서 언급하였듯이 센서노드와 앵커노드간의 통신은 1:N의 통신이다. 센서노드에서 앵커노드로의 통신은 무선매체의 특성상 브로드캐스팅으로 별 무리없이 이루어질

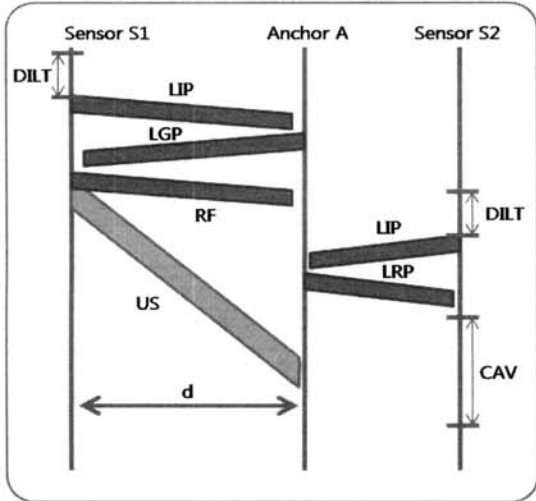


(a)센서노드의 이동으로 인한 간섭 발생

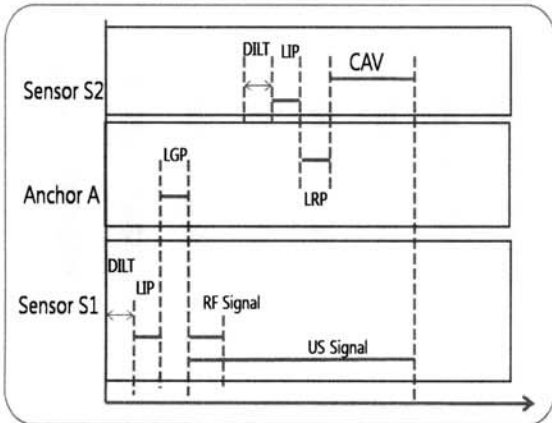


(b)간섭발생가능한 노드의 이동 범위

(그림 7) 센서노드의 이동으로 인한 간섭과 간섭 가능한 이동 범위



(a) DILT와 LRP의 동작과정



(b) DILT와 LRP의 시간흐름

(그림 8) DILT와 LRP의 동작과정과 시간흐름

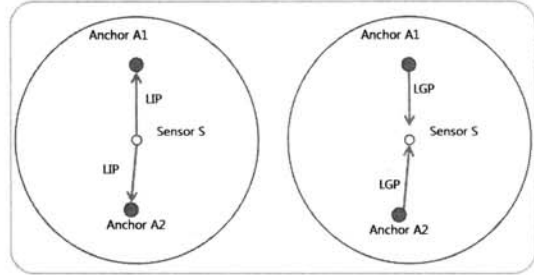
수 있다. 하지만 반대로 앵커노드에서 센서노드로의 통신은 센서노드에서의 충돌을 야기할 수 있다.

(그림 9)는 하나의 센서노드와 두 개의 앵커노드 간에 통신을 보여준다. 센서노드가 전송하는 LIP를 수신한 두 앵커노드 A1과 A2가 동시에 LGP를 전송할 경우 두 LGP는 센서노드에서 충돌을 야기시킬 수 있다. 충돌가능성은 센서노드 주위에 있는 앵커노드의 수에 비례하여 증가하기 때문에 앵커노드가 조밀하게 설치되어 있는 경우 LGP의 충돌 가능성은 매우 높을 수 있다.

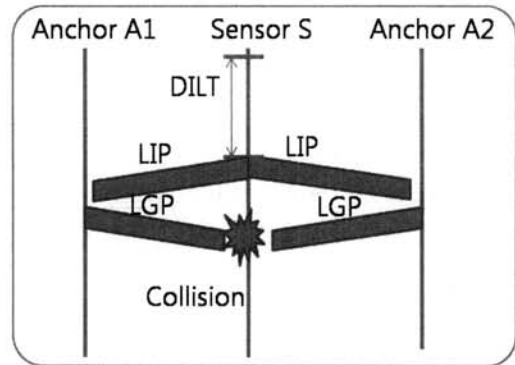
이러한 충돌을 방지하기 위하여 IAL에서는 앵커노드에서 LGP나 LRP전송 전에 약간의 시간(SILT, Short InterLocalization Time)동안 대기하도록 한다. LGP나 LRP와 같은 제어패킷이 전송되는데 걸리는 시간을 기본단위(TS, Time Slot)로 정하고 임의의 랜덤한 수(RN, Random Number)를 TS에 곱하여 대기시간 SILT를 계산한다.

$$SILT = RN * TS$$

센서노드 주위에 있는 앵커노드의 수가 평균 n개일 경우(앵커노드들이 균일하게 분포할 경우) RN은 1과 n사이의 균등분포를 따르도록 한다.



(a) 두 앵커노드로부터의 LGP의 충돌



(b) LGP충돌의 시퀀스 다이어그램

(그림 9) 두 앵커노드로부터 전송된 LGP패킷의 충돌

#### 4.4 제어 패킷으로 인한 오버헤드

IAL에서 간섭방지를 위해 사용하는 세 가지 패킷(LIP, LGP, LRP)은 IEEE 802.11에서 사용되는 RTS/CTS를 이용하여 구현될 수 있다. IEEE 802.11에서의 RTS/CTS는 데이터 패킷 전달시 간섭을 방지하기 위해 사용되며 20바이트(프레임 컨트롤(2바이트) + 듀레이션(2바이트) + 수신자 주소(6바이트) + 송신자 주소(6바이트) + CRC(4바이트)의 크기를 가진다. RTS/CTS는 송신자와 수신자 간에 패킷을 주고 받을 것이라는 것을 알리는 용도로 사용되며 오버헤드를 줄이기 위해 최소한의 크기를 갖는다. 전파는  $3 \times 10^8$  m/sec의 속도를 갖기 때문에 20바이트의 제어 패킷은 큰 오버헤드를 발생시키지 않는다. 게다가 위치인식에 사용되는 초음파의 속도가 340m/sec 정도로 전파의 속도에 비해 매우 느리기 때문에 초음파가 전송되는 시간에 비해 제어패킷이 전송되는 시간은 매우 작기 때문에 무시할 수 있다.

### 5. 성능평가

본 논문에서 제안된 IAL기법을 NS-2를 이용하여 구현하였다. MAC계층으로는 IEEE 802.11을 사용하였다. 비콘노드들은 30x30 크기의 그리드 형태로 총 900개의 노드를 배치하였다. 노드간의 거리는 50m로 설정하였으며 노드의 통신 거리(라디오 범위)는 100m로 설정하였다. 이동노드의 수는 1개에서 최대 60개까지 증가시키면서 실험하였다. 이동노드의 이동패턴은 Random WayPoint 모델을 적용하였으며 이동속도는 최소 1m/s에서 최대 20m/s까지로 설정하였다.

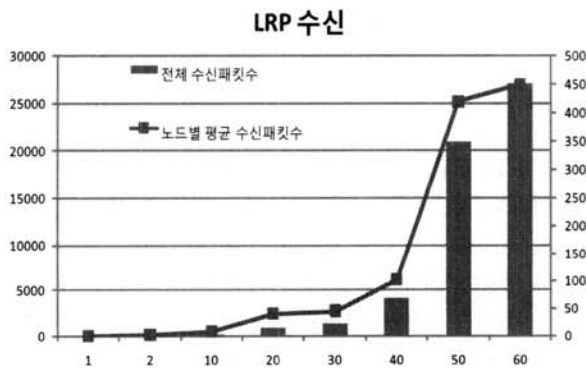
이동노드가 LRP를 수신하거나 4개 이하의 비콘노드로부터 LRP를 수신한 경우에는 일정시간 후에 LRP를 재전송하도록 하였다. 성능평가 지표로는 LRP수신 횟수 그리고 소요시간으로 설정하였다.

(그림 10)은 이동 노드 수를 증가시키는 경우에 LRP수신 횟수를 보여준다. 그림에서 보듯이 이동노드가 1개인 경우에는 충돌이 발생하지 않기 때문에 LRP수신이 발생하지 않는다. 하지만 이동노드수가 증가함에 따라 충돌가능성이 증가하여 LRP수신이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이동노드수가 많은 경우 IAL기법을 적용하지 않으면 충돌이 빈번하게 발생하여 위치확인 작업이 거의 불가능해질 것이라는 것을 예상할 수 있다.

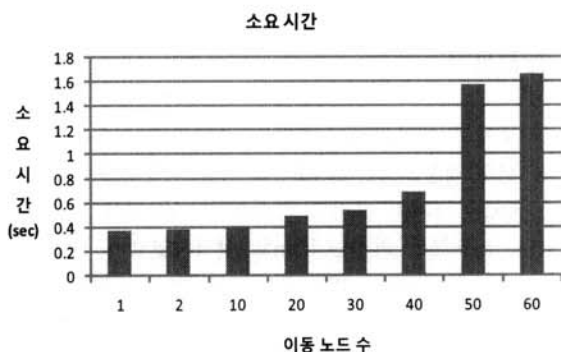
(그림 11)은 이동 노드 수가 증가할 때 위치인식에 걸리는 시간의 변화를 보여준다. 노드가 LRP를 전송하고 비콘과 초음파를 전송하는데 걸리는 기본 시간으로 0.38초로 설정하였다. 이동 노드 수가 증가하면서 충돌로 인한 재전송횟수가 급격하게 증가하기 때문에 소요되는

시간이 네 배 정도 증가하는 것을 확인할 수 있다.

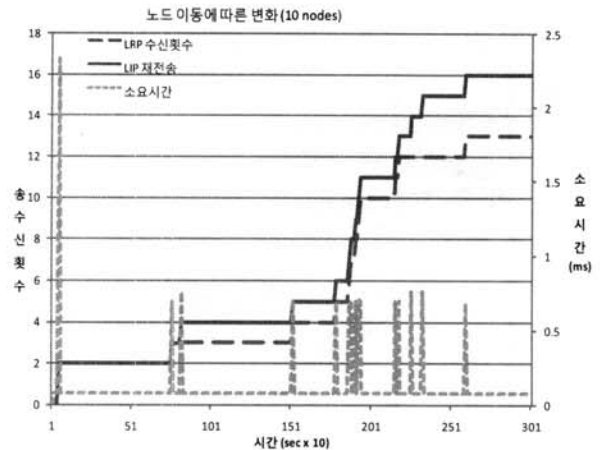
(그림 12)는 한 노드에서 시간에 따른 LRP 재전송 횟수, LRP 수신횟수 그리고 소요시간의 변화를 보여준다. 이동 노드 수가 10개인 경우에서 한 노드를 선정하였다. 그림에서 보듯이 LRP를 수신하는 시점에 LRP를 재전송하는 것으로 확인된다. 또한 LRP가 재전송되는 시점에 소요시간도 LRP 재전송 증가폭에 비례하여 커지는 것으로 파악되어 LRP를



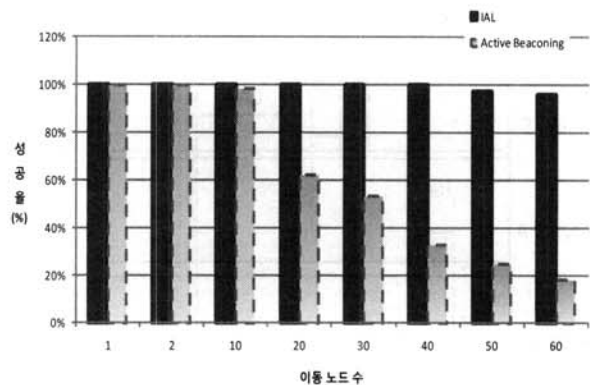
(그림 10) 이동 노드 수에 따른 LRP 패킷 수신



(그림 11) 이동 노드 수에 따른 소요시간 변화



(그림 12) 노드 이동에 따른 시간별 변화



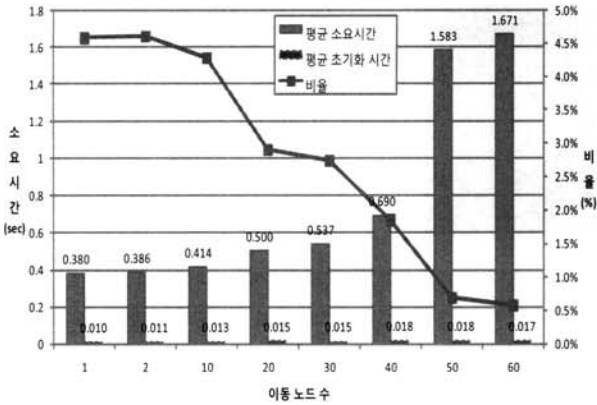
(그림 13) 이동노드수에 따른 위치인식 성공률 비교

재전송하는 횟수만큼 소요시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 이로써 IAL가 정상적으로 동작함을 알 수 있다.

(그림 13)은 [15]에서 제안된 Active Beaconsing 기법과 위치인식 성공률을 비교한 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 이동 노드수가 증가하면서 Active Beaconsing의 위치인식율은 급격히 감소하지만 IAL은 매우 높은 성공률을 보임을 알 수 있다. 이는 Active Beaconsing에서는 위치인식을 시도하는 노드가 다른 노드의 초음파를 수신하는 경우에만 주기를 조절하기 때문에 본 논문의 문제제기에서 정의한 앵커노드에서의 충돌로 인하여 성공률이 낮아지기 때문이다. 이에 반해 IAL에서는 앵커노드에서의 충돌을 고려하기 때문에 매우 높은 성공률을 보이고 있다.

(그림 14)는 제어패킷으로 인한 오버헤드를 측정된 결과를 보여준다. 그래프에서 평균 소요시간은 위치측정을 완료하는데 소요된 총 시간을 의미하며 초기화 시간은 제어패킷을 주고받는데 소요되는 시간을 의미한다. 비율은 소요시간과 초기화 시간의 비를 나타낸다. 실험에서 제어패킷을 주고받는데 소요되는 시간은 평균 0.014초 정도로 측정되었다. 이는 전체 측정시간의 5%미만을 차지하는 시간으로 위치측정에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 이동 노드의 수가 증가하더라도 초기화 시간은 거의 일정하기 때문에 이동 노드의 수가 많을수록 초기화 시간이





(그림 14) 위치측정 소요시간과 초기화 시간 비교

차지하는 비율은 매우 작아져서 1%미만이 되어 이동 노드의 수가 많을수록 초기화가 미치는 영향은 매우 미비해짐을 알 수 있다. 프로그램을 보다 최적화할 경우 영향을 더욱 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

유비쿼터스 환경에서는 사용자의 위치를 실시간으로 인식하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 많은 센서노드들을 배치하여 위치를 인식하는 기법들이 제안되고 개발되고 있다. 하지만 대부분의 위치인식 기법들은 정적인 노드나 단일 노드의 위치인식에만 집중하고 있다. 이를 많은 이동 사용자들의 위치를 실시간으로 파악해야하는 현실에 적용하면 많은 문제점들이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 다중 사용자들이 한 지역에서 동시에 위치인식 작업을 수행하는 경우에 발생하는 충돌문제를 해결하는 방안으로 IAL기법을 제안하였다. IAL기법은 LIP와 LGP 그리고 LRP를 이용하여 충돌을 회피함으로써 위치인식 작업이 효율적으로 이루어지도록 한다.

향후에는 모든 노드들이 이동하는 상황에서 위치인식에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp.102-114, August, 2002.  
 [2] H. Henn, S. Hepper, K. Rindtorff, T. Schack, J. Burkhardt (Editor), "Pervasive Computing: Technology and Architecture of Mobile Internet Applications", Addison-Wesley Professional; 1st edition (January, 15, 2002).  
 [3] Jeffrey Hightower, and Gaetano Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing," Technical Report UW-CSE 01-08-03, University of Washington, Aug., 2001.

[4] J.Hightower and G. Borriello. "Location systems for ubiquitous computing", IEEE Computer, 34(8):57-66, Aug, 2001.  
 [5] 김재호, 김영섭, 박옥선, 김성희, "유비쿼터스 위치기반 서비스 및 위치인식시스템 연구동향," ETRI 주간기술동향 통권 1127호, 2003년 12월.  
 [6] Andreas Savvides, Chih-Chieh Han, and Mani B. Strivastava, "Daynamic Fine-grained localization in ad-hoc Networks of sensors," in Proceedings of the 7th annual ACM/IEEE international conference on mobile computing and networking (mobicom), Rome, Italy, 2001, pp.166-179.  
 [7] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," IEEE Personal Communications Magazine, 7(5):28-34, October, 2000.  
 [8] Tian He, ChengduHuang, B. M. Blum, John A. Stankovic, and Tarek F. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks," 81-95, MobiCom 2003.  
 [9] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad hoc Networks," In Journal of Telecommunication Systems, 267-280 22(1-4) 2003.  
 [10] L. Hu, D. Evans, "Localization for mobile sensor networks," In proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking, pp.45-57, 2004.  
 [11] S. Oh, S. Sastry, "A hierachical multiple-target tracking algorithm for sensor networks," In proceeding of the international conference on Robotics and Automation, pp.2197-2202, 2005.  
 [12] S. Min Lee, H. Cha, "A Locating Mechanism for Multiple Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks," In proceedings of the 11th IEEE International conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, pp.273-276, 2005.  
 [13] J. Singh, U. Madhow, R. Kumar, S. Suri, and R. Cagley, "Tracking multiple targets using binary proximity sensors," in proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pp.529-538, 2007.  
 [14] K. Yedavballi, B. Krishnamachari, and L. Venkatraman, "Fast/fair mobile localization in infrastructure wireless sensor networks," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.11, Issue 1, pp.29-40, 2007.  
 [15] S. Yi, J. Yi, H. Cha, "Tracking multiple mobile objects using IEEE 802.15.4-based ultrasonic sensor devices," SAC 2007, pp.1638-1639.



### 이 작 형

e-mail : jinnie4u@kangwon.ac.kr  
2003년 강원대학교 정보통신공학과  
(공학사)  
2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신  
공학과(공학석사)  
2005년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보

통신공학과 박사과정

관심분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



### 정 인 범

e-mail : ibjung@kangwon.ac.kr  
1985년 고려대학교 전자공학과(학사)  
1985년~1995년 (주)삼성전자 컴퓨터 시스템  
사업부 선임 연구원  
1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신  
공학과(석사)

1995년~2000년 한국과학기술원 전산학과(박사)

2001년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

관심분야: 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서네트워크