

모바일 무선 센서 네트워크에서 적응적 파워 조절 기반 효율적인 위치인식 기법

이 좌 형[†] · 정 인 범^{††}

요 약

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 라디오 주파수나 초음파 등이 서로 간에 간섭을 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 여러 이동 사용자들이 동시 다발적으로 위치확인 작업을 수행하고자 하는 경우에 발생 가능한 간섭을 최소화 하는 적응적 파워 조절에 기반한 위치인식 기법인 APL(Adaptive Power Control based Resource Allocation Technique for Efficient Localization Technique)기법을 제안한다. APL기법은 센서노드가 위치인식 작업을 수행하기 전에 주위에 있는 앵커노드를 선점하여 점유함으로써 노드간의 간섭을 방지한다. 이를 위해 IEEE 802.11에 정의된 RTS(Ready To Send)패킷을 자원 선점을 요청하는데 사용하며 CTS(Clear To Send)패킷을 자원 선점을 확인하는데 사용한다. 반대로 이미 앵커노드가 다른 노드에 의해 선점하여 위치인식 작업을 방해할 가능성이 있는 경우 해당 앵커노드들을 임계영역으로 정의한다. 임계영역 처리를 위한 NTS(Not To Send) 패킷을 새로이 정의하여 노드 간에 간섭이 발생하지 않도록 한다. 추가적으로 거리측정 작업시 앵커노드간 동기화를 위한 STS(Start to Send)패킷을 새로이 정의한다. 최종적으로 센서노드의 전송 파워를 적응적으로 조절하여 작업이 영향을 미치는 영역을 최소화하도록 한다. 실험을 통하여 이동 사용자가 다수일 경우 노드 간에 간섭이 많이 발생함을 보이며 제안하는 APL기법이 위치인식 작업시 간섭을 방지함을 보인다.

키워드 : 센서네트워크, 위치인식, 다중 이동 노드, 간섭, 회피

Adaptive Power Control based Efficient Localization Technique in Mobile Wireless Sensor Networks

Joahyoung Lee[†] · Inbum Jung^{††}

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 APL(Adaptive Power Control based Resource Allocation Technique for Efficient Localization Technique), the localization technique for multiple mobile nodes based on adaptive power control in mobile wireless sensor networks. In APL, collision of localization between sensor nodes is prevented by forcing the mobile node to get the permission of localization from anchor nodes. For this, we use RTS(Ready To Send) packet type for localization initiation by mobile node and CTS(Clear To Send) packet type for localization grant by anchor node. NTS(Not To Send) packet type is used to reject localization by anchor node for interference avoidance and STS(Start To Send) for synchronization between anchor nodes. At last, the power level of sensor node is controlled adaptively to minimize the affected area. The experimental result shows that the number of interference between nodes are increased in proportion to the number of mobile nodes and APL 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[1, 2]. 다양한 유비쿼터스 어플리케이션들 중에서 위치기반 서비스는 사용자의 정확한 위치 정보를 필요로 한다. 센서네트워크를 이용한 위치인식 시스템에서는 전파의 속도차이, 도달 시간

[†] 준 회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사수료

^{††} 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)
논문접수 : 2009년 3월 31일
수정일 : 1차 2009년 5월 12일, 2차 2009년 5월 25일
심사완료 : 2009년 5월 26일

차이 또는 각도 차이 등의 정보를 이용하여 거리를 계산한다. 거리 정보를 바탕으로 삼각측량법 등의 기법을 이용하여 노드의 정확한 위치를 파악한다.

위치인식에 관한 연구는 크게 정적인 노드들의 위치인식과 동적으로 움직이는 노드들의 위치인식 문제로 나뉜다. 정적인 노드들의 경우 몇 개의 비콘 노드나 앵커 노드만 있으면 넓은 범위에 퍼져있는 노드들에 위치를 파악할 수 있다. 하지만 노드가 이동하는 경우에는 위치정보를 알고 있는 비콘 노드나 앵커 노드들이 설치되어 있는 상태에서 전파나 초음파 등을 이용하여 거리를 계산한다. 기존의 이동 노드를 위한 위치인식에 관한 연구들은 대부분 노드 하나의 위치를 인식하는데 중점을 두고 있다. 노드 하나에 대한 위치 인식 기법을 여러 노드에 대한 위치 인식에 적용하기엔 무리가 따른다. 일부 여러 노드의 위치를 추적하는 연구들에서는 노드들을 구분하고 효율적으로 추적하는 것을 다루고 있다. 동시에 여러 이동 노드들의 위치를 인식하는 경우 거리를 측정하기 위해 노드들에서 발생하는 비콘 메시지나 초음파 등이 서로 충돌을 일으킬 수 있다는 것이다. 비콘 메시지나 초음파가 충돌하면 거리측정이 불가능해지며 이는 위치인식 불능으로 이어진다.

본 논문에서는 노드들 간의 라디오 주파수나 초음파 등의 충돌을 방지하여 거리 측정이 효율적으로 이루어지도록 하는 파워 조절에 기반한 자원할당을 통한 위치 인식기법(Adaptive Power Control based Resource Allocation Technique for Efficient Localization Technique)을 제안한다. 제안하는 시스템에서는 앵커노드들을 여러 노드들이 동시에 접근하는 임계영역으로 간주하며 상호배제를 통하여 노드 간에 자원접근에 대해 동기화시킨다. 제안하는 APL기법에서는 센서노드가 위치 측정 작업 전에 RTS(Ready To Send)패킷을 전송하여 앵커노드 자원을 예약하고 센서노드로부터 RTS를 수신한 주위의 앵커 노드들은 CTS(Clear To Send)패킷을 통하여 자원이 예약되었음을 알린다. 만약 이미 다른 사용자가 앵커노드 자원을 예약한 경우에는 NTS(Not To Send)패킷을 전달하여 작업을 연기하도록 한다. 주위 앵커노드들로부터 CTS를 수신한 센서노드는 STS(Start to Send)패킷을 전달하여 거리측정의 시작을 알린다. STS패킷에는 거리측정을 실행할 앵커노드들의 순서가 들어 있어 앵커노드간 충돌을 방지한다. RTS패킷과 CTS패킷은 IEEE 802.11 무선통신 표준에서 노드간 통신시 통신매체를 선점하기 위해 정의된 패킷들이다. 본 논문에서는 이 패킷들에 NTS패킷과 STS패킷을 추가로 정의하여 사용한다. APL기법에서는 센서노드의 전송 파워를 적응적으로 조절함으로써 최소한의 앵커노드만이 위치인식 작업에 참여할 수 있도록 한다.

2장에서는 위치인식에 사용되는 기법들을 분석하며 3장에서는 위치측정에서 발생할 수 있는 문제점을 알아보고 4장에서는 제안하는 APL 기법의 개념과 동작방식을 설명한다. 5장에서는 실험을 통하여 성능을 평가하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

위치측정 기술은 측정방식에 따라 삼각측량, 장면분석, 근접방식 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[7-9].

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[10-13].

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 위

해서 앵커노드들 간의 전송 시간을 달리하는 것에 관한 연구이다. 이 연구[14]에서는 앵커노드들이 서로 충돌하지 않도록 스케줄링 하는 것이 NP Complete 하다고 분석하고 휴리스틱한 스케줄링 기법을 제시하고 있으나 앵커노드가 그리드한 형태로 배치되었을 때에만 적용가능하다는 단점이 있다 또한 이동 노드가 연속적으로 세 개 이상의 앵커노드로부터 라디오 메시지나 초음파를 수신하기가 어렵기 때문에 정확한 위치 측정이 어렵다는 결과를 제시하고 있다.

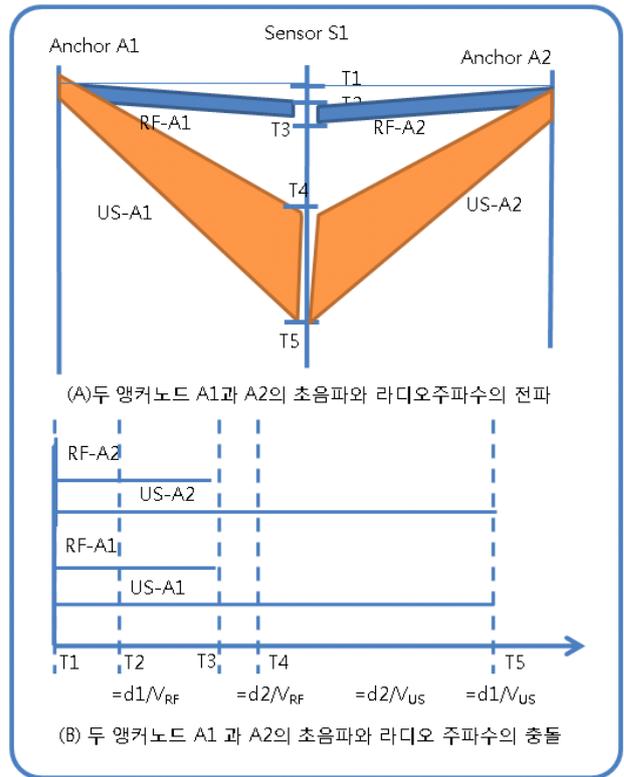
이동 노드간의 간섭을 방지하기 위한 연구[15]에서는 이동 노드가 위치 측정동안 다른 노드로부터 초음파를 수신하면 위치측정 주기를 늘리는 기법을 사용하여 노드간의 간섭을 방지하고 있다. 이를 통하여 다수의 이동노드가 위치 측정시 서로 간의 간섭을 방지할 수 있음을 보였으나 이동노드에서만 간섭을 고려하였을 뿐 앵커노드에서의 간섭은 고려하지 않았다는 단점이 있다. 본 논문에서는 앵커노드의 충돌이 위치측정에 영향을 미침을 보이고 이에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

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 스케줄링 필요성

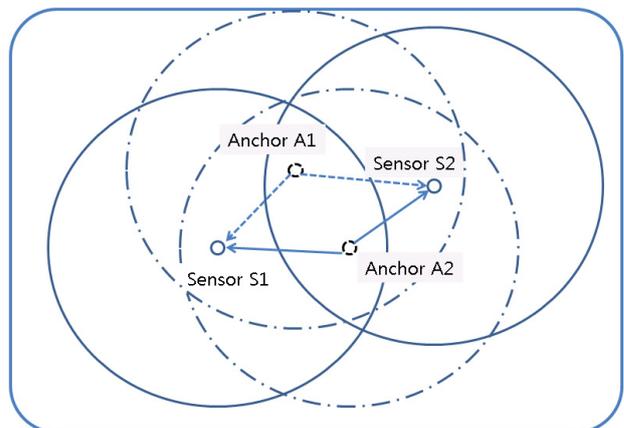
앵커노드와 센서노드사이에 측정된 거리 정보로 삼각측량법을 이용하여 센서노드의 위치를 계산하기 위해서는 최소 세 개의 앵커노드와의 거리가 필요하다. 센서노드는 세 개의 앵커노드와 앞서 설명한 거리 측정방식을 통하여 각각의 거리를 측정하여야만 한다. 이때 앵커노드간에 거리측정의 순서를 정할 필요가 있다. (그림 1)에서 보듯이 두 개의 앵커노드가 동시에 거리측정 작업을 시작하면 무선 네트워크의 특성상 센서노드에서 라디오 전파와 초음파가 충돌하게 된다. 이러한 충돌을 방지하기 위해서는 센서노드에서 앵커노드들의 작업 순서를 정하여 작업을 스케줄링함으로써 하나의 앵커노드가 거리를 측정하는 동안에 다른 앵커노드가 방해하는 일이 없도록 해야 한다.



(그림 1) 거리 측정시 앵커노드간의 충돌

3.2 상호배제 필요성

위에 언급된 기법을 이용하여 둘 이상의 센서노드들이 동시에 거리측정을 하고자 하는 경우 노드들이 전송하는 라디오주파수와 초음파들이 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 A1과 앵커노드 A2은 센서노드 S1과 S2에 모두 속해 있기 때문에 두 앵커노드중 하나의 앵커노드가 거리측정 작업을 수행하는 동안에 다른 앵커노드가 거리측정 작업을 시작하면 두 앵커노드가 전송하는 라디오주파수와 초음파가 센서

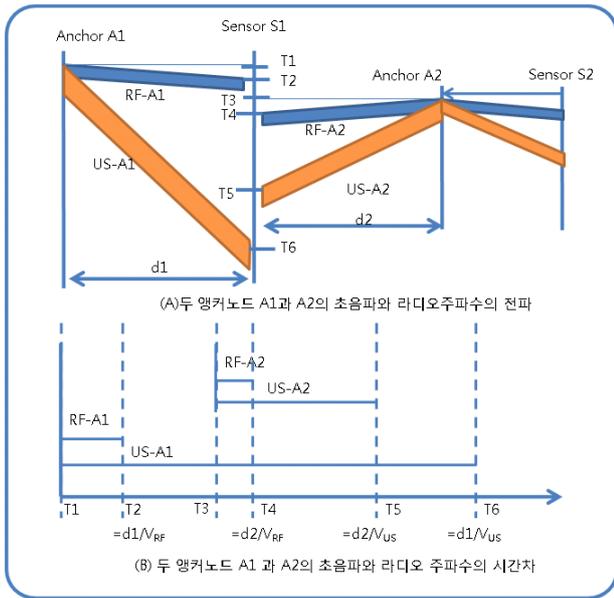


(그림 2) 두 센서노드(S1, S2)가 동시에 거리측정을 하는 경우

노드에서 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. 센서노드 S1과 센서노드 S2의 라디오주파수와 초음파는 다음과 같은 과정을 거친다.

- T1: 앵커노드 A1이 라디오주파수 RF-A1과 초음파 US-A1을 센서노드 S1으로 송신
- T2: RF-A1이 센서노드 S1에 도달
- T3: 센서노드 S2가 앵커노드 A2로 거리측정을 요청
- T4: RF-A2가 센서노드 S1에 도달
- T5: US-A2가 센서노드 S1에 도달
- T6: US-A1이 센서노드 S1에 도달

여기서 문제는 나중에 거리측정에 참여한 센서노드 S1의 요청에 의해 앵커노드 A2가 전송한 초음파 US-A2가 센서노드 S1에 도달한다는 것이다. 거리측정에 사용되는 초음파는 단순한 펄스신호이기 때문에 초음파만으로는 초음파를 송신한 노드가 어떤 노드인지 파악할 수 없다. 따라서 센서노드 S1은 US-A2가 앵커노드 A1에서 송신한 것인지 아니면 앵커노드 A2에서 송신한 것인지 구분할 수 없다.

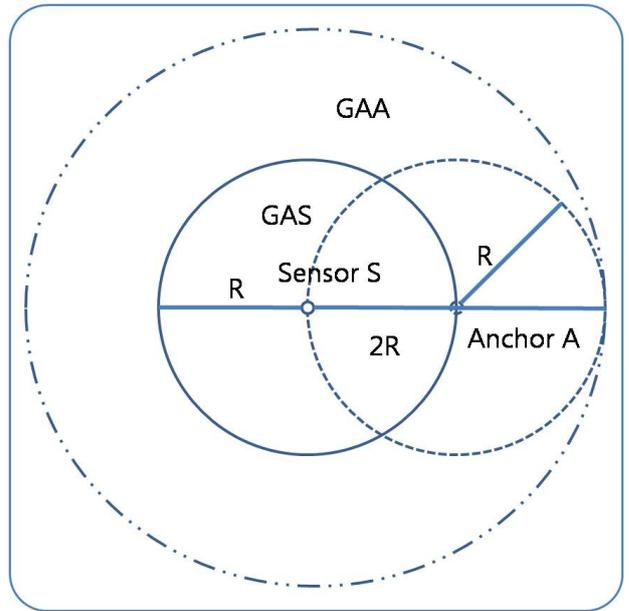


(그림 3) 두 센서노드 S1과 S2가 동시에 거리측정을 하는 경우의 방해 예시

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

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



(그림 4) 거리측정시 영향을 미치는 범위

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_US인 경우 앵커노드당 거리측정을 보장하기 위한 시간 (GTA, Guarantee Time for Anchor)은 다음과 같이 구할 수 있다.

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

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

센서노드 입장에서는 최소 세 개의 앵커노드와 거리측정 작업을 수행해야 하기 때문에 보장 시간이 길어진다. 센서노드당 거리측정을 위해 보장되어야할 시간(GTS, Guarantee Time for Sensor)는 위치인식을 위해 필요한 최소한의 앵커노드수(MNRA, Minimum Number of Required Anchor)에 비례한다.

$$GTS = MNRA \times \frac{R}{V_{US}}$$

4. APL

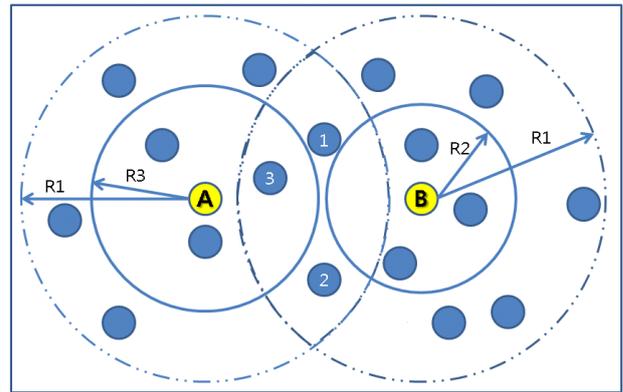
4.1 기본 개념

본 논문에서는 노드들 간의 라디오 주파수나 초음파 등의 충돌을 방지하여 거리 측정이 효율적으로 이루어지도록 하는 노드간 상호배제에 기반한 위치 인식기법 APL을 제안한다. 제안하는 시스템에서는 앵커노드들을 여러 노드들이 동시에 접근하는 임계영역으로 간주하며 상호배제를 통하여 노드간에 자원접근에 대해 동기화시킨다. 임계영역이란 여러 개의 프로세스들이 공유하는 데이터 및 자원에 대하여 어느 한 시점에서는 하나의 프로세스만 자원 또는 데이터를 사용하도록 지정된 공유 자원으로, 임계영역은 특정 프로세스가 독점할 수 없다. 상호배제란 특정 프로세스가 공유 자원을 사용하고 있을 경우 다른 프로세스가 해당 공유 자원을 사용하지 못하게 제어하는 기법이다.

제안하는 APL기법에서는 센서노드가 위치 측정 작업 전에 RTS(Ready To Send)패킷을 전송 하여 앵커노드 자원을 예약하고 센서노드로부터 RTS를 수신한 주위의 앵커 노드들은 CTS(Clear To Send)패킷을 통하여 자원이 예약되었음을 알린다. 만약 이미 다른 사용자가 앵커노드 자원을 예약한 경우에는 NTS(Not To Send)패킷을 전달하여 작업을 연기하도록 한다. 주위 앵커노드들로부터 CTS를 수신한 센서노드는 STS(Start to Send)패킷을 전달하여 거리측정의 시작을 알린다. STS패킷에는 거리측정을 실행할 앵커노드들의 순서가 들어 있어 앵커노드간 충돌을 방지한다. RTS패킷과 CTS패킷은 IEEE 802.11 무선통신 표준에서 노드간 통신시 통신매체를 선점하기 위해 정의된 패킷들이다. 본 논문에서는 이 패킷들에 NTS패킷과 STS패킷을 추가로 정의하여 사용한다.

센서네트워크에 설치된 앵커노드의 밀집도가 높아 센서노드의 통신반경 안에 많은 수의 앵커노드가 존재할 경우 한 센서노드의 위치측정 작업이 많은 수의 앵커노드에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서 위치인식에 기반이 되는 삼각측량법에서는 최소한 3 개의 앵커 노드를 필요로 한다. 센서노드의 통신반경 안에 있는 앵커노드들 중에서 세 개를 제외한 노드들은 불필요하게 점유되는 것으로 다른 센서노드가 이 앵커노드들을 이용할 수 있도록 하면 네트워크의 효율성을 높일 수 있다. APL기법에서는 센서노드의 전송 파워를 적응적으로 조절함으로써 최소한의 앵커노드만이 위치인식 작업에 참여할 수 있도록 한다.

(그림 5)는 통신반경 조절에 따른 노드간 간섭영역의 변화를 보여준다. 그림에서 두 센서노드 A와 B노드는 서로의 통신반경에 속하지 않기 때문에 상대 노드가 위치측정 작업을 수행하는 것을 인식하지 못한다. 만약 A노드가 위치측정 작업을 수행하는 동안에 B노드가 위치측정 작업을 수행하고자 하면 상호배제 기법에 따라 1,2,3번 노드가 NTS패킷을 전송하게 되어 B노드는 일정시간 동안 위치측정 작업을 연기하여야만 한다. 이 경우에 A노드는 자신과 제일 인접한 3개의 노드만을 포함하도록 통신반경을 R1에서 R3

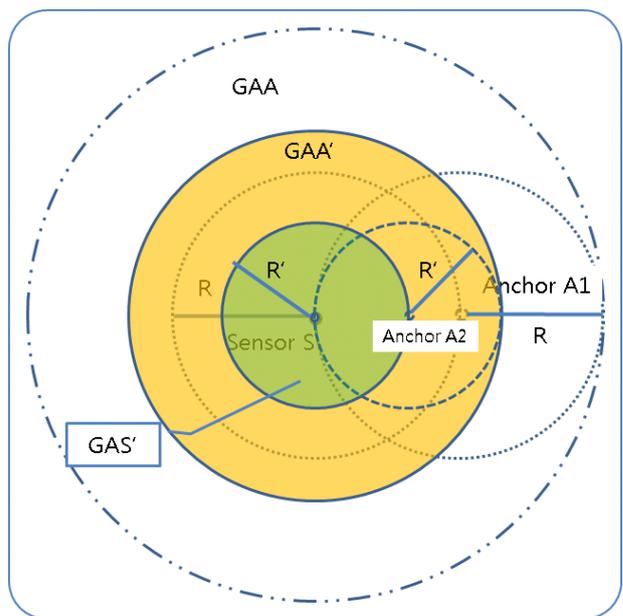


(그림 5) 통신반경 조절에 따른 간섭 영역의 변화

로 줄이고 위치측정 작업을 수행한다면 얘기가 달라진다. A노드가 통신반경을 줄이면 3번 노드는 여전히 A노드의 통신반경에 속하지만 1번노드와 2번 노드는 A의 통신반경에서 벗어나게 된다. A노드가 위치측정 작업을 진행하는 동안에 B노드가 위치측정 작업을 시작하기 위해 RTS패킷을 전송하면 1번 노드와 2번 노드는 CTS패킷을 전송하지만 3번 노드는 A노드의 통신반경에 속하기 때문에 NTS패킷을 전송한다. 이때 B노드도 A노드와 마찬가지로 자신과 제일 가까운 3개의 노드만을 포함하도록 통신반경을 R1에서 R2로 조절하면 1,2,3번 세 노드 모두 통신반경에서 벗어나게 된다. 두 노드가 통신반경을 최소한으로 줄임으로써 3.3절에서 정의한 보장영역이 줄어들게 된다.

4.2 보장사항의 변화

앞서 설명한 바와 같이 센서 노드의 통신반경을 조절함으로써 위치측정을 위한 보장사항의 영역을 크게 줄일 수 있다. (그림 6)은 통신반경 조절에 따른 보장영역의 변화를 보



(그림 6) 통신반경 조절에 따른 보장영역의 변화

여준다. 3.3절에서 살펴보았듯이 센서노드 S의 보장영역 GAS는 통신반경 R을 반지름으로 하는 원의 넓이가 되며 앵커노드를 위한 보장영역 GAA는 2R을 반지름으로 하는 원의 넓이가 되어 GAS의 4배가 된다. 여기서 센서노드 S가 통신반경 R을 R'로 줄이면 GAS도 R'를 반지름으로 하는 GAS'로 줄어든다. 센서노드의 통신반경이 줄어들면 앵커노드의 통신반경도 함께 줄어들기 때문에 앵커노드의 보장영역 GAA도 2R'를 반지름으로 하는 GAA'로 변경된다.

3.3절에서 살펴보았듯이 센서노드당 거리측정을 위해 보장되어야 할 시간(GTS)은 위치인식을 위해 필요한 최소한의 앵커노드수(MNRA, Minimum Number of Required Anchor)에 비례한다. 여기서 GTS에 영향을 미치는 또 한가지 요인은 센서노드의 통신반경인 R이다. R이 클수록 보장해야 할 시간도 길어진다. 반대로 R이 작아진다면 라디오 전파와 초음파가 영향을 미치는 영역이 줄어들기 때문에 GTS도 줄어든다. 파워 조절을 통하여 통신반경 R이 R'로 줄어들 경우 GTS'도 줄어든다.

$$GTS' = MNRA \times \frac{R'}{V_{US}}$$

4.3 파워조절

센서노드의 통신반경을 조절하기 위해서는 전송 파워를 조절해야만 한다. 센서노드에서 전송하는 라디오의 전파모델로는 Shadowing Model을 가정한다. Shadowing model은 전파가 여러 경로로 전달되기 때문에 특정 거리에서 수신하는 전파의 세기가 임의의 변수가 되는 Fading effect를 반영한다. Shadowing model은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분은 d만큼 떨어진 거리에서의 평균 수신 전파 세기를 예측하는 경로 손실 모델(Path loss model)로서 초기 기준값인 d₀와의 상대적인 값을 아래와 같이 계산한다 [15-16].

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta$$

β는 경로 손실 지수(Path loss exponent)로서 주로 필드상에서의 실험으로 구해지며 일반적으로 표1에 명시된 값을 사용한다. P_r(d₀)는 Free space상에서 거리에 따른 수신 전파 세기를 계산하는 다음 수식으로 구할 수 있다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

P_t는 전송시 전파 세기를 나타내며, G_t와 G_r은 각각 전송자와 수신자의 안테나 이득을, L은 시스템 손실을 나타내고 λ는 전파의 파장을 나타낸다. 일반적으로 G_t와 G_r 그리고 L 값은 1로 설정된다.

<표 1> 환경에 따른 경로 손실 지수의 예

Environment		β
Outdoor	Free Space	2
	Shadowed urban area	2.7 to 5
In building	Line-of-sight	1.6 to 1.8
	Obstructed	4 to 6

경로 손실은 일반적으로 dB로 측정되며 위의 경로 손실 모델은 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Shadowing model의 두 번째 부분은 특정한 거리에서 수신된 전파 세기의 변화를 반영하는 log-normal random variable을 적용하는 것이다. log-normal random variable은 가우시안 분포를 따른다. 전체적인 shadowing model은 아래 수식과 같다.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right] = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB}$$

X_{db}는 평균값과 표준편차를 0으로 하는 가우시안 랜덤 변수로서 shadowing deviation이라 불리며 필드상에서의 실험으로 구해진 값을 사용할 수 있다(표 2).

위 수식을 통해 거리 d에 도달하기 위한 파워는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(-10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB}\right)$$

<표 3>은 위 수식을 이용하여 거리에 따른 파워를 계산하는 알고리즘을 코드화한 것이다.

위에서 정리한 거리에 따른 파워계산 알고리즘을 이용하여 파워를 조절하기 위해서는 전파를 전달하고자하는 통신 범위를 정하기 위한 최소의 통신거리(통신반경)를 구해야만 한다. 여기서 최소의 통신거리는 위치측정 작업에 참여하는 앵커노드수를 최소화시키는 값을 의미한다. 최소한의 앵커노드만 위치측정 작업에 참여하도록 하기 위해서는 센서노드

<표 2> 환경에 따른 shadowing deviation예

Environment	X _{dB}
Outdoor	4 to 12
Office, hard partition	7
Office, soft partition	9.6
Factory, line-of-sight	3 to 6
Factory, obstructed	6.8

〈표 3〉 거리에 따른 파워계산 알고리즘 코드

```
double Shadowing_Pr(double dist)
{
    double L = ifp->getL();           // system loss
    double lambda = ifp->getLambda(); // wavelength
    // calculate receiving power at reference distance
    double Pr0 = Friis(t->getTxPr(), Gt, Gr, lambda, L, dist0_);
    // calculate average power loss predicted by path loss model
    double avg_db = -10.0 * pathlossExp_ * log10(dist/dist0_);

    // get power loss by adding a log-normal random variable (shadowing)
    // the power loss is relative to that at reference distance dist0_
    double powerLoss_db = avg_db + ranVar->normal(0.0, std_db_);
    // calculate the receiving power at dist
    double Pr = Pr0 * pow(10.0, powerLoss_db/10.0);
    return Pr;
}
```

와 제일 가까운 노드들 중에서 필요한 수만큼의 앵커노드만 거리측정 작업을 수행하도록 하여야만 한다. 하지만 센서노드는 자신의 정확한 위치를 알지 못하기 때문에 어떠한 앵커노드가 자신과 가까운지 알 수 가 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 RTS/CTS를 통해 수집된 앵커노드들의 위치정보를 이용하여 센서노드의 대략적인 위치를 계산하도록 한다. 이를 위해서는 네트워크에 앵커노드들이 무작위로 밀집하여 설치되어 있어야 한다는 가정이 필요하다.

센서노드로부터 RTS패킷을 수신한 앵커노드는 CTS/NTS패킷에 자신의 위치정보를 담아서 센서노드로 전송한다. 센서노드는 수집된 앵커노드들의 좌표값의 평균을 내어 자신의 대략적인 위치를 계산한다. 대략적인 위치로부터 가까운 순서대로 필요한 만큼의 앵커노드를 선택하고 이 앵커노드들 중 제일 거리가 먼 노드까지의 거리를 기반으로 패킷 전송 파워를 계산하여 통신반경을 조절하도록 한다. 여기서 대략적인 위치는 어디까지나 평균적인 값이기 때문에 오차가 발생할 수 있어 필요한 만큼의 앵커노드를 포함시키지 못할 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 앵커노드의 밀집도에 따라 필요한 앵커노드수보다 많은 수의 앵커노드를 포함하도록 하거나 통신거리를 늘리도록 한다. 표4는 RTS/CTS패킷을 이용하여 앵커노드들의 정보를 수집하고 이를 바탕으로 파워를 조절하는 알고리즘을 코드화한 것이다.

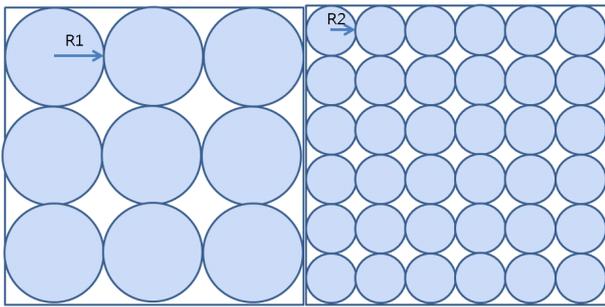
〈표 4〉 파워 조절을 통한 간섭 최소화 알고리즘 코드

```
sendRTS(node_id);           // RTS메시지 전송
Set_WaitTimer(RTS_PERIOD); // Wait Timer 설정
while(!time_out())         // RTS_PERIOD동안 실행
{
    Packet *P = packet_received(); // anchor노드로부터 패킷 수신
    anchor_List[anchor_cnt] = P->sender_id; // 노드 아이디 저장
    anchor_position[anchor_cnt] = P->sender_position; // 노드 위치 저장
    if( P->packet_type == CTS ) // 수신한 패킷이 CTS인 경우
        NTS_flag[anchor_cnt] = FALSE; // NTS flag 설정
    if( P->packet_type == NTS ) // 수신한 패킷이 NTS인 경우
    {
        NTS_flag[node_index] = TRUE; // NTS flag 설정
        NTS_cnt++; // NTS count 증가
    }
    anchor_cnt++; // anchor count 증가
}
center = Center_Position( Anchor_Position[] ); // anchor노드들의 중심위치 계산
// anchor노드와 중심위치(center)의 거리 계산
anchor_distance[] = Dist2Center( center, Anchor_Position[] );
// 중심 위치에서 가까운 순서로 정렬
anchor_sorted[] = Sort( anchor_distance[], Anchor_List[], NTS_flag[] );

for(i = 0; STS_count < Required_STS; i++ )
{
    if( NTS_flag[i] == TRUE )
    {
        Set_WaitTimer(SLEEP_PERIOD);
        return;
    }
    STS_List[i] = Anchor_List[i];
    STS_count++;
}
Max_Distance = STS_List[i];
double Pr = Shadowing_Pr(Max_Distance);
Set_Power(Pr);
Send_STS( STS_list[] ); // STS노드 전송
```

4.4 파워 조절을 통한 이득

센서네트워크에서 최대로 수용가능한 위치인식 노드수는 노드의 통신반경에 지수적으로 반비례한다. (그림 7)에서 보듯이 통신반경이 클수록 수용가능한 노드수는 줄어들며 통신 반경이 작아지면 노드수는 증가한다. (그림 7)에서 (B)는 (A)에서의 통신반경에 반으로 설정한 경우 ($R2 = R1/2$)로 9개의 노드를 수용할 수 있는 (A)에 비해 (B)는 최대로 수용



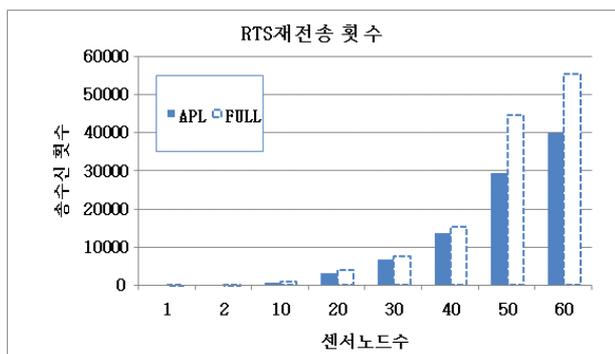
(A)통신 반경 R1인 경우의 최대 가용성 (B)통신 반경 R2인 경우의 최대 가용성
(그림 7) 통신 반경 조절에 따른 가용성 변화

가능한 위치인식 노드수가 36개로 네 배로 증가하는 것을 볼 수 있다.

5. 성능평가

본 논문에서 제안된 APL기법을 NS-2를 이용하여 구현하였다. MAC계층으로는 802.11을 사용하였다. 900개의 앵커노드를 배치하였다. 노드간의 거리는 50m 내외로 설정하였으며 노드의 통신 거리(라디오 범위)는 100m로 설정하였다. 센서노드의 수는 1개에서 최대 60개까지 증가시키면서 실험하였다. 센서노드의 이동패턴은 Random WayPoint 모델을 적용하였으며 이동속도는 최소 1m/s에서 최대 20m/s까지로 설정하였다. 센서노드가 NTS를 수신하거나 4개 이하의 앵커노드로부터 CTS를 수신한 경우에는 일정시간 후에 RTS를 재전송하도록 하였다.

(그림 8)은 위치 측정시 파워 조절을 통하여 노드간 간섭을 최소화하는 경우의 RTS패킷의 전송횟수를 보여준다. RTS패킷 전송횟수가 적을수록 노드간 간섭 횟수가 적었다는 것을 의미한다. 그래프에서 FULL은 파워 조절없이 최대의 파워로 전송하는 경우이며 APL은 최소한의 앵커노드만이 영역에 속하도록 파워를 조절하는 제안 기법을 나타낸다. 그림에서 보듯이 위치측정에 참여하는 센서노드수가 적은 경우에는 파워 조절을 통한 효과가 거의 없는 것으로 나타나지만 센서노드수가 증가하면 제안하는 APL기법이 파워 조절이 없는 경우(FULL)에 비해 적은 수의 RTS패킷을 전

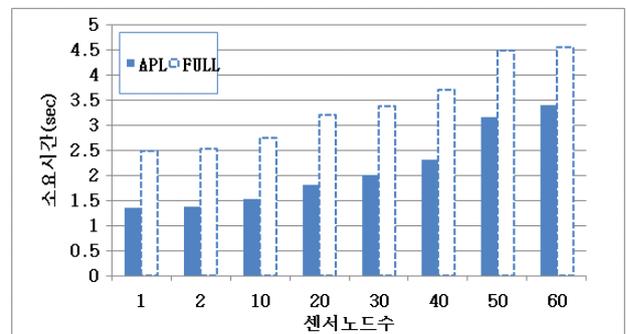


(그림 8) 파워 조절시 센서노드수에 따른 RTS재전송 횟수

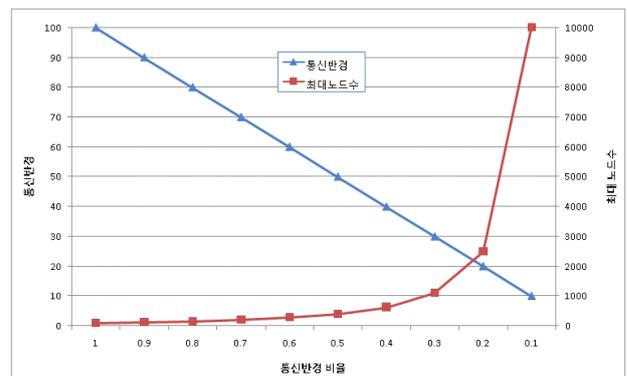
송함을 알 수 있다. 실험에서 APL기법을 통해 파워 조절이 없는 경우와 비교해서 30%~35%까지 RTS패킷 전송횟수를 줄일 수 있었다. 라디오 전송에 매우 많은 에너지를 소모하는 센서노드에서 패킷 전송횟수를 줄이는 것은 에너지를 절약하는 매우 효과적인 방법이 된다.

4.2절에서 살펴보았듯이 파워조절을 통하여 통신반경이 줄어들면 거리측정에 필요한 시간도 줄어들고 전체적으로 위치측정에 소요되는 시간도 줄어든다. 이는 APL을 적용한 경우에 소요시간의 변화를 보여주는 (그림 9)에서 확인할 수 있다. (그림 9)를 보면 센서노드수가 1개인 경우에도 소요시간이 대폭 감소한 것을 볼 수 있다. 실험상으로 소요시간이 1초 이상 감소하여 50% 이상의 감소폭을 보여주고 있다. 위치측정을 하는 센서노드가 하나일 경우에도 파워조절을 통하여 통신반경을 줄이기 때문에 앵커노드당 보장시간이 줄어들고 결과적으로 전체적인 소요시간이 줄어드는 효과를 가져오고 있다. 이러한 효과는 위치측정에 참여하는 노드수가 증가하더라도 유지되는 것을 그래프에서 확인할 수 있다.

(그림 10)은 통신반경을 줄이는 경우 네트워크에서 수용 가능한 최대 위치인식 노드수를 보여준다. 앞서 4.4절에서 살펴보았듯이 통신반경이 줄어들면 수용가능한 노드수는 반비례로 지수적으로 증가한다. (그림 10)을 보면 통신반경이 100m에서 10m로 0.1배로 감소하였을 때 최대 수용가능한 노드수는 100개에서 10000개로 100배 증가한 것으로 나타나



(그림 9) 파워조절시 센서노드수에 따른 소요시간 변화



(그림 10) 통신반경 조절에 따른 최대 수용 노드수 변화

파워 조절을 통한 통신반경을 줄이는 것으로 네트워크의 가용성이 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

5. 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 APL기법을 제안하였다. APL기법은 상호배제를 통한 임계영역 설정으로 센서노드간 앵커노드를 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되었다. CTS와 RTS를 이용하여 충돌을 회피함으로써 위치인식 작업이 효율적으로 이루어지도록 한다. 또한 노드간 간섭을 최소화할 수 있도록 전송파워를 조절함으로써 RTS전송횟수를 줄이면서 위치측정 소요시간도 줄이는 효과를 가져올 수 있었다.

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, Aug., 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 (Jan. 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. Srivastava, "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, Oct., 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 objeRTS 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 보통신공학과(공학사)

2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(공학석사)

2005년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사수료

관심 분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



정 인 범

e-mail : ibjung@kangwon.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과 학사.

1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터 시스템사업부 선임 연구원.

1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사

1995년~2000년 한국과학기술원 전산학과 박사

2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

관심분야: 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크