

# Wireless Sensor Networks 환경에서 Localization 기술

이현재, 정승희, 오창현

## 1. 서론

최근 발전된 IT 기술을 바탕으로 주변의 모든 곳(것)에 센서를 부착하여 이를 통해 사물의 인식정보는 물론 주변의 환경정보까지 탐지할 수 있고 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 획득 또는 관리할 수 있는 무선 센서 네트워크 WSN(wireless sensor networks)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 WSN은 유·무선 통신과 일상생활 전반에 있어서 궁극적인 자유로움과 편의를 제공하게 될 유비쿼터스 시대의 발판 구축에 있어서 그 근간을 형성하는 신경망과 같은 사회적 인프라이다[1]. 현재 국내·외에서 이를 이용한 다양한 활용과 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중에서도 위치 기반 서비스는 가장 근본적이면서도 중요한 서비스가 될 것으로 예상된다. 이러한 위치 기반 서비스가 원활히 제공되기 위해서는 센서 노드의 위치를 추정·추적하여 관련 정보를 획득하는 wireless localization 기술이 요구된다.

Wireless localization 기술을 통해 WSN에서 센서 노드의 위치를 알 수 있다면 사용자의 위치 정보를 이용한 서비스가 가능할 뿐만 아니라 노드에 탑재된 센서들의 정보를 보다 다양하게 이용할 수 있다. 예를 들어, 스마트 센서들은 지진과 건물의 침입에 대해 능동적으로 대응할 수 있고 농업에서는 가뭄이나 홍수로 인해 발생하는 영향을 감소시킬 수 있을 것이며, 추수 후에도 저장고를 계속적으로 모니터링 함으로써 곡물의 품질을 유지할 수 있을 것이다. 신호 감지 시스템에서는 신호 제어기를 통해 교통 혼잡을 피할 수 있도록 운전자에게 대체경로를 알려줄 수 있다. 또한, 환경 감시 네트워크에서는 실시간으로 자원, 토양, 물, 공기들

의 오염정도를 감지할 수 있다[2]. 그러나 센싱된 정보로부터 위치정보가 없다면 대부분의 응용 서비스 제공에 제한적으로 사용될 수밖에 없으며, 감지 및 식별을 위한 target localization, target tracking의 경우, 센서 노드의 위치를 알고 있지 않으면 응용이 불가능하다. 뿐만 아니라 WSN에서 보다 빠르고 정확한 라우팅 및 안정된 토폴로지 관리 알고리즘들은 대부분 노드의 위치정보를 기반으로 하기 때문에 WSN에서 wireless localization 기술은 필수적이라 할 수 있다 [3],[4].

따라서 본 고에서는 WSN에서 활용 가능한 위치추정 기술에 대해 소개하고자 한다. 먼저 2장에서는 널리 알려진 위치추정 기술과 각각의 장·단점을 살펴본다. 3장에서는 WSN의 응용서비스 중의 하나인 RTLS 에서 위치추정 기술을 적용하기 위한 시뮬레이션 환경을 기술하고 4장에서 적용된 위치추정 기술의 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 고의 결론을 맺는다.

## 2. 위치추정 방식의 분류

센서 네트워크에서 위치추정 기술은 위치 정보 신호의 측정에 기반을 둔 방식과 거리측정의 여부에 기반을 둔 방식으로 분류될 수 있다.

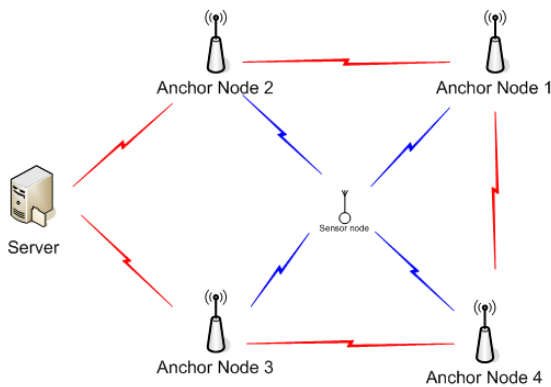
### 2.1 신호측정 기반 분류

#### 2.1.1 서버 기반(Server-Based) 방식

위치정보 신호의 측정에 기반을 둔 방식은 수신된 신호 정보를 이용해서 위치추정을 계산하는 주체에 따라 서버 기반 방식(server-based architecture)과 클라이언트 기반 방식(client-based architecture)으로 분류할 수 있다[5]. 서버 기반 방식은 센서노드가 일정

\* 한국기술교육대학교 전기전자공학과

주기로 비콘(beacon) 신호를 전 방향으로 송신하게 되고, 센서노드들이 존재하는 공간의 일정 위치에 규칙적으로 분포한 앵커 노드는 각각의 센서 노드의 신호를 수신하게 된다. 앵커노드는 수신된 신호에서 위치 관련 정보를 추출하여 서버로 송신하게 되며, 서버에서는 취합된 여러 가지 위치정보를 기반으로 하여 해당 센서노드의 위치를 추적하게 된다. 서버 기반 방식에서 센서노드는 일정 시간 간격으로 주변의 앵커노드를 향해 자신의 위치관련 정보가 담겨있는 비콘 신호를 송신하므로 센서노드의 전력 소모를 줄일 수 있으며, 비콘 신호의 전송 주기를 최소화할 수 있는 장점이 있으나 앵커노드가 센서노드의 비콘 신호를 분석하여 이를 위치계산 전용 서버로 전송해야 하므로 위치추적 기능이 탑재된 하드웨어를 구성해야 하는 단점이 있다. 서버로 위치정보가 송신되는 방식은 유선·무선 네트워크 어느 것이나 가능하므로 서버 기반 방식을 네트워크 기반 방식(networks-based architecture)이라고도 불린다. 그림 1은 서버 기반 방식의 위치추정 개념도이다.



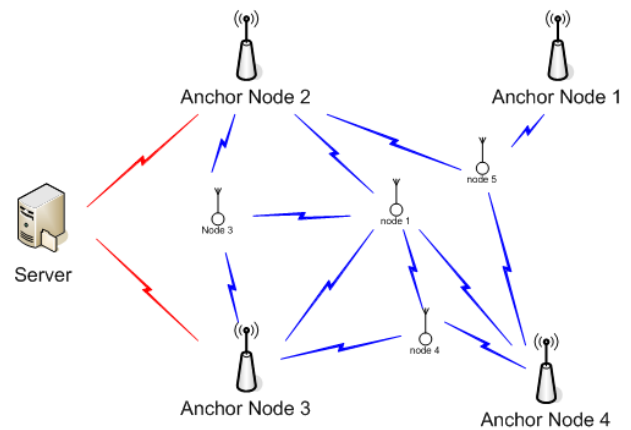
[그림 1] 서버 기반 방식의 위치추정

### 2.1.2 클라이언트 기반(Client-Based) 방식

클라이언트 기반의 위치추정 방식은 앵커노드가 일정한 주기로 비콘 신호를 주변의 여러 센서노드들에게 발사하며, 특정 앵커 노드 주변의 센서 노드는 이러한 앵커노드로부터의 비콘 신호를 다수 수신하여 이를 기반으로 자체적으로 자신의 위치를 추정하게 된

다. 이때, 수신되는 앵커노드로부터의 비콘 신호는 최소한 3개 이상의 서로 다른 앵커노드로부터 수신된 신호이어야 하며, 이를 활용하여 센서노드의 스스로 위치를 추정할 수 있게 된다. 추정된 센서 노드의 위치 정보는 이웃의 센서 노드 또는 주변의 가장 가까운 앵커노드를 통해 서버로 전달된다. 그러나 클라이언트 방식은 최소 3개 이상의 서로 다른 앵커 노드로부터의 비콘 신호를 수신해야만 위치추정이 가능해지므로 센서노드가 위치한 장소에 따라 수신환경에 민감하며, 자체적으로 위치추정을 위한 기능이 구현되어야 하므로 센서노드의 생산 비용이 증가하고 복잡도 및 전원의 수명 관리가 어렵다는 단점이 있다.

그림 2는 클라이언트 기반 방식의 위치추정 개념도이다.



[그림 2] 클라이언트 기반 방식의 위치추정

위치추정 기법들은 서버 방식으로 수신된 위치정보 신호나 클라이언트 방식으로 수신된 위치정보 신호에 관계없이 삼각법(triangulation)이나 핑거프린팅(fingerprinting) 기법을 활용하여 위치를 추정하게 된다.

## 2.2 거리측정 기반 분류

### 2.2.1 Range-based 방식

측정 거리 기반의 range-based 기법은 노드들 사이

에 센서 및 RF 신호를 이용하여 실제 거리를 예측하고 이를 이용하여 위치를 예측하는 기법으로 TOA (Time Of Arrival), TDOA (Time Difference Of Arrival), AOA(Angle Of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator) 등이 있다. 표 1은 각 방식의 기술적인 특징을 비교한 것이다.

<표 1> 위치추정 방식별 특징

방식	특징
AOA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기지국간 동기화 시스템 필요</li> <li>- 다중배열 안테나 필요/고가의 안테나 필요</li> <li>- 최소 2개의 안테나로 위치 파악 가능</li> </ul>
TOA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이동 단말과 기지국간 동기화가 이루어져야 하기 때문에 이동 단말에 동기화 시스템이 탑재되어야 함</li> <li>- 별도의 고가 장비가 필요 없음</li> <li>- 신호의 송수신 시각을 알고 있음</li> </ul>
TDOA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기지국간의 동기화가 이루어져야 함</li> <li>- 단말의 시스템적인 변경이 필요 없음</li> <li>- 신호의 송신 시각을 알 필요 없음</li> </ul>
RSSI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 거리에 따른 신호의 감쇠를 이용하여 위치추정</li> <li>- 전파의 시간을 이용한 방법에 비해 정확한 위치추정이 어려움</li> <li>- 비가시경로(Non-LOS) 환경에서 사용가능</li> </ul>

AOA, TOA 및 TDOA 방식은 송신기와 수신기 사이에 가시경로 (LOS : line-of-sight)를 필요로 하는 삼각측량 (triangulation) 기술에 근거하여 위치를 추정한다. 그러나 실제 무선 전파환경에서 항상 송신기와 수신기 사이에 가시경로가 확보되기는 어려우며, 도착신호의 각도와 시간은 다중경로 전파의 영향으로 인해 실제와 다른 각도 및 시간지연을 받게 되어 신뢰성 있는 위치추정이 어렵다. 특히, 개활지와 같은 가시거리 환경이 아닌 주변에 장애물이 존재하는 비가시거리(Non-LOS) 환경에서는 위치추정이 불가능하거나 성능이 급격히 저하되는 단점을 공통적으로 가지고 있다. 전파의 수신 세기를 기반으로 하는 RSSI 방식

은 전파환경에 적합한 경로손실을 고려할 수 있으면 NLOS 또는 다중경로 전파환경에서도 신뢰성 있게 목표물의 위치를 추정할 수 있다. 일반적으로 위치추정의 정밀도에 있어서는 이전의 세 가지 방식에 비하여 성능이 다소 떨어지는 단점이 있으나 세 가지 방식들에 비하여 NLOS 환경에 비교적 적합한 위치추정 기술로 알려져 있다[6]. 또한 RSSI 방식을 이용할 경우 소형·저전력인 WSN 환경에서 시스템 구현비용이 저렴하며, 설계가 간단해지는 장점이 있다.

### 2.2.2 Range-free 방식

Range-free 기법은 노드들 간의 상대적인 거리 차이나 기타 노드의 움직임 등을 이용하여 위치를 예측하는 기법이다. 최근에는 정확도나 환경적인 제약조건-특히 앵커(anchor) 노드(자신의 위치를 알고 있는 노드)의 수, 노드의 분포 등-때문에 거리 기반의 위치인식이 주로 연구되어 왔으며, 대표적으로 Centroid[7], APIT[8], DV-Hop/DV-Distance[9] 등이 있다. Centroid 는 앵커 노드들의 신호가 동일한 전송범위를 갖는다고 가정하여 앵커 노드들을 규칙적으로 배치함으로써 앵커 노드의 신호 전송 영역이 중첩되도록 한다. 그리고 각 센서노드들은 수신된 모든 앵커 노드들이 커버하는 중첩영역을 센서노드의 위치로 인식하는데, 이는 센서 노드의 위치가 항상 수신된 앵커 노드들의 정중앙으로 인식되기 때문에 정밀한 위치를 인식할 수 없다.

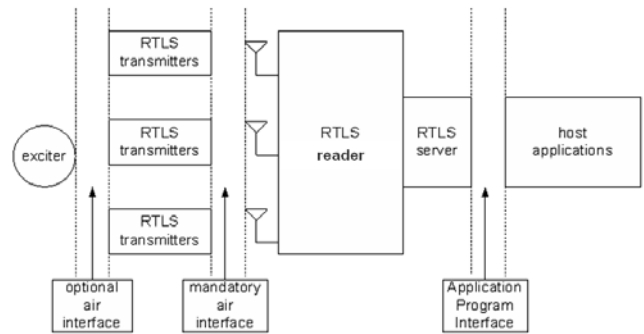
APIT(Approximate Point In Triangle)은 앵커 노드들이 주기적으로 신호를 송신하고 각 센서 노드들은 수신된 앵커 노드들의 위치정보를 이용하여 다수의 삼각형을 형성한다. 이때, 센서 노드는 수신된 앵커 노드들의 신호세기를 이용하여 자신이 그 삼각형의 내부에 있는지를 계산하는 APIT 테스트를 하여 자신의 위치를 인식하게 된다. APIT은 위치 계산시 자체적으로 개발한 기법을 사용하기 때문에 위치인식의 정밀도는 떨어지며, 많은 수의 앵커 노드를 필요로 하는 단점을 갖는다.

DV-Hop/DV-Distance는 앵커 노드들이 주기적으

로 위치정보를 전송하고 또한, 다른 앵커 노드들로부터 수신한 위치정보를 이용하여 센서 간 홉의 평균거리(distance vector)를 계산하여 주변노드로 전송한다. 이를 수신한 센서노드는 앵커 노드들과의 홉 수로 앵커 노드들과의 거리를 계산하여 위치를 인식하고 센서노드와의 홉 수를 증가시켜 이웃노드에게 전달함으로써 모든 센서 노드들은 위치인식을 하게 된다. DV-Distance은 앵커 노드와의 홉 수를 전달하는 대신 홉 간의 신호세기를 기반으로 거리를 측정하여 전파하는 방식을 제외하고는 DV-Hop 방식과 동일하다. DV-Hop/DV-Distance의 위치인식 방식은 평균적인 홉 간 거리를 무선 채널환경을 고려하지 않고 신호세기를 이용하여 측정하기 때문에 정밀한 위치인식을 보장하지 못한다는 단점이 있다[6]. 이상의 range-free 기법들은 시간이나 각도 정보를 활용해서 위치추정을 하는 range-based 방식에 비해 시스템 구성이 간단한 장점이 있는 반면에 노드들 간의 홉 수에 의존하므로 홉 간 오차거리가 증가할수록 정밀한 위치추정이 어려워지며, 센서 노드의 수가 균일한 간격으로 조밀하게 존재할 경우에만 위치추정의 정밀도가 보장된다는 단점이 있다.

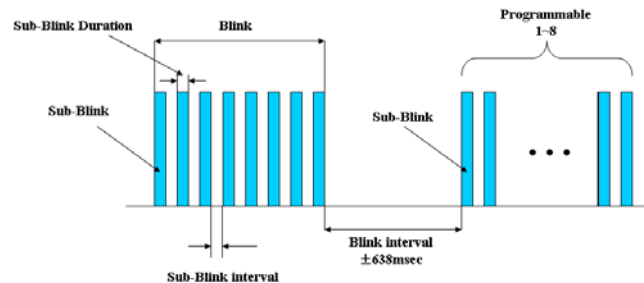
### 3. 위치추정 구현 예

본 장에서는 센서 네트워크의 위치추정 방식으로 널리 알려진 센서 노드의 비콘 신호를 다수의 앵커노드가 수신하여 위치를 추정하는 range-based 위치추정 방식인 TDOA 기법을 활용하여 센서 노드의 위치를 추정하는 구현 예에 대해 살펴본다. 본 구현에서 활용된 RTLS(Real Time Location Systems) 시스템은 센서의 정보를 송신하는 RTLS transmitter와 안테나가 부착된 RTLS reader, 그리고 RTLS reader의 정보를 수집, 저장하는 RTLS server, 저장된 RTLS server의 수신정보를 바탕으로 센서노드의 위치를 추정하는 host application으로 구성되어 있으며 그림 3은 RTLS의 구조를 나타내고 있다[8],[9]. 이후에서는 RTLS transmitter와 RTLS reader를 각각 센서노드와 앵커노드로 칭하기로 한다.



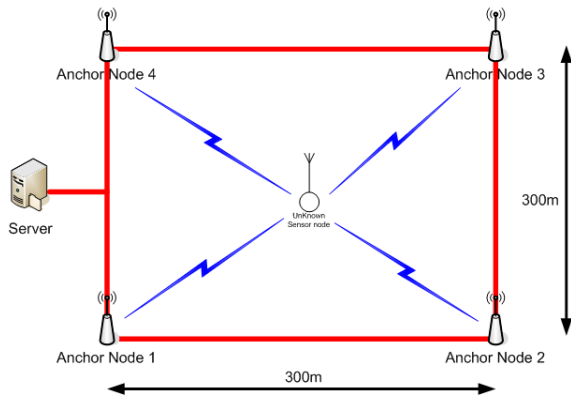
[그림 3] RTLS 구조

RTLS 센서노드에서 전송되는 위치정보 비콘 신호들은 DS-SS(Direct Sequence-Spread Spectrum) 신호로서 blink라 하며, 앵커 노드들은 이러한 비콘 신호인 blink 신호를 수신하게 된다. Blink는 short ID 또는 RTLS 센서노드 ID를 포함하는 long ID 메시지로 구성되며, 각 전송 신호들은 센서노드의 상태 정보를 포함하고 있다. 송신되는 각 신호는 그림 4와 같이 최대 8개의 sub-blink들을 포함할 수 있는 blink 패키지로 이루어진다.



[그림 4] Blink(beacon) 구조

센서노드의 신호를 수신하는 앵커노드는 센서노드의 상태정보와 도착시간 정보를 RTLS server로 전송하며, RTLS server는 관련 정보를 저장한 후 host application에 탑재된 위치추정 알고리즘에 의해 2차원 평면상의 센서노드 위치를 실시간으로 추정하게 된다. 그림 5는 센서 노드들이 위치하게 되는 300m×300m의 영역을 나타낸다.



[그림 5] 탐색영역(300m×300m)

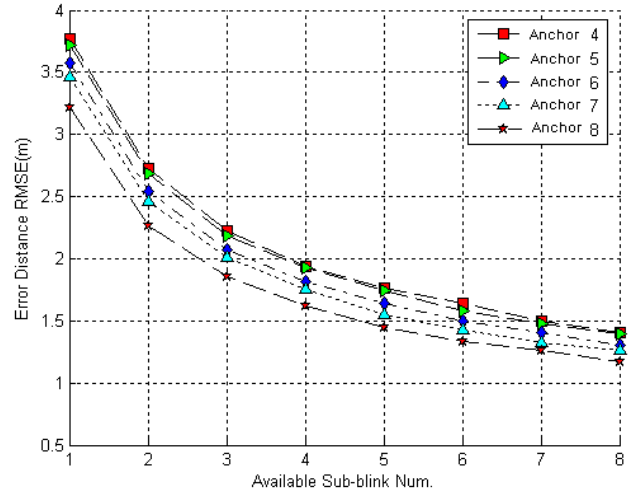
#### 4. 성능 평가

그림 6은 앵커노드를 탐색영역에 배치하였을 때, sub-blink 횟수에 따른 위치추정 오차의 RMSE(Root Mean Square Error)를 나타내었다.

앵커노드의 수가 4개 이상일 경우 수신된 sub-blink의 횟수가 2회 이상이면 RTLS에서 요구하는 규격 3m 이내의 오차거리를 만족하였다. 또한 앵커노드의 수가 증가함에 따라 위치추정의 정확도는 선형적으로 향상되는 것을 확인할 수 있으며, 동일한 숫자의 앵커노드를 사용하였을 경우 수신 sub-blink의 횟수가 증가할수록 정확도가 향상되는 것을 알 수 있다. 앵커노드의 수가 8개이고 수신된 sub-blink 횟수가 2회인 경우 탐색영역 전체의 오차 거리 RMSE는 약 2.2m를 보였다.

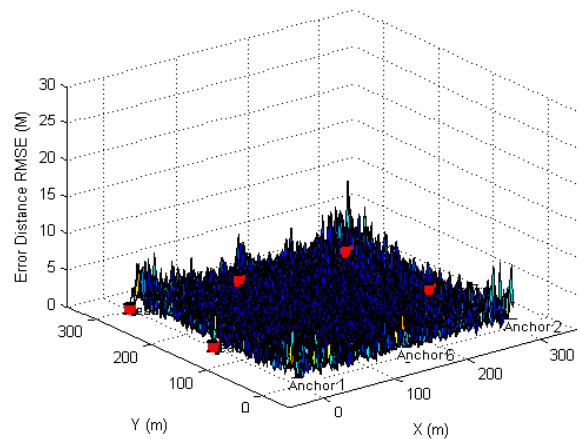
그림 7은 전체 탐색영역에 3m 간격으로 분포한 모든 센서노드들에 대한 위치추정 오차의 분포를 나타낸 것이다. 대부분의 영역에서 고른 위치추정 성능을 나타내었으나, 탐색영역 외곽에서는 추정 오차가 증가하는 영역이 존재하였다. 이는 앵커노드에 근접해서 위치한 센서노드의 경우 range-based 방식의 TDOA 기법을 사용할 때 나타나는 연산상의 문제로 각각의 앵커노드에서 수신된 시간차 정보가 동일하거나 유사하면 서버에서 해당 센서노드의 위치를 판단할 때 오류가 발생하기 때문이다. 따라서 이러한 오류

를 제거하기 위한 방안으로 앵커노드와 센서노드와의 거리를 일정 거리 이상 이격시키는 방법이 있다.



[그림 6] 앵커노드 수에 따른 위치추정 오차(RMSE)

(앵커노드의 수: 4 to 8, sub-blink 횟수: 1-8)



[그림 7] 전체 탐색영역의 위치추정 오차 분포

(앵커노드의 수: 8, sub-blink 횟수: 4)

#### 5. 결론

WSN에서 센싱된 정보로부터 위치정보가 없다면 대부분의 응용 서비스 제공이 제한적일 수밖에 없다.

따라서 노드의 정확한 위치를 추정하는 localization 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 이에 본 고에서는 위치추정 기술로서 위치 정보 신호의 측정에 기반을 둔 방식과 거리측정 여부에 기반을 둔 방식의 위치추정 기술을 소개하였다.

신호의 측정 방법에 따라 서버 기반과 클라이언트 기반으로 분류할 수 있으며, 각각의 기술은 비콘 신호를 수신하는 주체에 따라 분류 방법이 다르나, 위치추정 기법은 방식에 관계없이 삼각법(triangulation)이나 핑거프린팅(fingerprinting) 기법을 활용하여 위치를 추정하게 된다.

거리측정 기반의 위치추정 기술은 크게 range-based와 range-free 방식으로 나뉘며, range-based 방식으로 널리 알려진 AOA, TDOA, TOA, RSSI는 센서노드들의 수가 적고 앵커노드의 수가 제한된 가시거리 환경에서 적합한 위치 추정 방식으로 알려져 있으며, 실제 WSN 환경은 센서 노드들이 랜덤하게 배치되어 있는 환경으로 전체 범위 내에 센서 노드가 규칙적으로 조밀하게 배치되는 경우는 희박하다. 따라서 센서 노드의 수가 적은 지역에서는 range-based 방식이 적합할 것이다.

반면에 range-free 방식은 Centroid, APIT, DV-Hop/DV-Distance 방식이 있으며, 노드들 간의 상대적인 거리 차이나 노드의 움직임 등을 이용하여 위치를 예측하는 기법으로 노드들 간의 홉 수에 의존하므로 홉 간 오차거리가 증가할수록 정밀한 위치추정이 어려워지며, 센서 노드의 수가 균일한 간격으로 조밀하게 존재할 경우에만 위치추정의 정밀도가 보장된다는 단점이 있지만 range-based 방식에 비해 시스템 구성이 간단한 장점이 있으므로 저비용으로 높은 정밀도를 요구하지 않는 WSN 구성시 센서노드의 위치추정을 위한 기술로 적합할 것이다.

또한, 본 고에서는 WSN의 응용서비스 중의 하나인 RTLS 에 서버 기반 방식과 range-based 방식을 적용한 위치 추정 기술을 통해 센서노드의 위치를 추정하고 그에 대한 성능을 평가하였다. 실험 결과, 서버 기반 방식과 range-based 방식이 적용된 위치추정 기법이 오차 거리 3m 이내의 안정적인 위치추정 성능을

확인하였으며, 탐색범위 전체에 걸쳐 고른 위치추정 성능이 나타남을 확인하였다.

향후, WSN 환경에서 위치기반 서비스 제공을 위한 위치추정 기법으로 본 고에서 소개한 위치추정 기법을 적용할 수 있을 것이며, 이를 활용하여 다양한 응용서비스가 개발될 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향," *정보과학회지*, vol. 23, no. 2, pp. 83-87, 2005. 2.
- [2] Neal Patwari, Joshua N. Ash Spyors Kyperountas, Alfred O. hero III, randolph L. Moses, and Neiyer S. Correl, "Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 54-69, July 2005.
- [3] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내외 동향 분석," *USN 핵심기술 RFID*, 2003. 8.
- [4] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술," *한국전자과학회 전자파기술*, vol. 15, no. 2, pp. 26-32, 2004. 4.
- [5] 김학용, 김성덕, 서동길, 지정강, 장현태, "근거리 위치추적 기술 동향," *전자통신동향분석*, 2007. 11.
- [6] Nosratinia, A., Hunter, T.E., and Hedayat, A. "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol 42, Iss. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [7] N. Bulusu and J. Heidemann, "GPS-less low cost outdoor localization for very small decvces," *IEEE Personal Communications Magazine*, October 2000.
- [8] Tian He, ChengduHuang, B. M Blum, and John A. Stankovic "Range-free localization schemes in large scale sensor networks," *Mobicom*, 2003.
- [9] D. Niculescu and B. Nath "DV based positioning in ad-hoc networks," *Journal of Telecommunication System*. vol. 22, no. 1-4, pp. 267-280, Jan. 2003.



**이 현 재**

1998년 2월: 수원대학교 정보통신학과 (공학사)  
 2001년 2월: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2004년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정  
 2001년 1월~2003년 4월: 텔슨전자(주) 연구소 근무  
 2003년 5월~2004년 12월: 시그널스펙트럼(주) 단말 연구소 근무  
 관심분야 : SDR, USN/RFID, 모바일 인터넷, CR, Wireless Sensor N/W  
 E-mail : witol@paran.com



**오 창 현**

1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)  
 1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)  
 1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)  
 1990년 2월~1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원  
 1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원  
 1999년 2월~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수  
 2006년 8월~2007년 7월: 방문교수(University of Wisconsin-Madison)  
 관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR  
 E-mail : choh@kut.ac.kr



**정 승 회**

2005년 2월: 한국기술교육대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2007년 2월: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2007년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정  
 관심분야 : 휴대인터넷, USN/RFID, Wireless Sensor N/W  
 E-mail : shjeong@gmail.com