

무선 센서 네트워크에서 가중 다중 링을 이용한 측위 기법

(Localization Scheme with Weighted Multiple Rings in Wireless Sensor Networks)

안 흥 범 [†] 흥 진 표 ^{**}
(Hongbeom Ahn) (Jinpyo Hong)

요 약 무선 센서 네트워크에서 센서노드의 지리적인 위치를 요구하는 응용들이 현저하게 증가하고 있다. 최근 다양한 위치 측위 알고리즘들이 제안 되었지만, 대부분의 알고리즘은 특정한 하드웨어로 얻은 RSSI와 LQI 측정치를 기반으로 위치를 추정하고 있다. 본 논문에서는 이러한 추가적인 정보를 이용하지 않아도 기존 연구와 근사한 측정 결과를 얻을 수 있는 '가중 다중 링을 이용한 측위' 알고리즘 WMRL (Weighted Multiple Rings Localization)을 제안한다. 고정노드(anchor nodes)들이 배치되어 있으며, 각 고정노드는 주기적으로 서로 다른 신호 세기의 비콘(beacon) 신호를 송출한다고 가정한다. 그러면, 비콘 신호는 공간상에 링을 형성하게 되며, 파워 레벨의 세기에 따라 다수의 동심원을 형성하는 동시에 링 간에 교차영역을 생성한다. 본 논문에서는 효율적인 측위 계산을 위해 각 링의 거리 비율에 따른 가중치 모델을 제안한다. 또한, 센서노드는 수신 가능한 고정노드로부터 가장 가까운 링을 발견할 수 있으며, 이를 활용하여 센서노드는 자신의 위치를 고정노드 좌표의 가중 합으로 구한다.

제안된 알고리즘은 분산적으로 위치를 계산할 수 있으며, 추가적인 하드웨어를 요구하지 않는다. 추가적으로, 비 신뢰적인 RSSI 및 LQI에 의존하지 않고, 각 링 간의 거리 비율로 측위가 가능한 것이 특징이다. 그럼에도 불구하고, WMRL은 시뮬레이션 결과 2개의 링, 즉 2개의 파워 레벨로 구성하였을 경우에는 기존의 centroid 방식보다 평균 측위 에러가 2배 감소하였고, 3개의 링을 구성하였을 경우에는 WCL (Weighted Centroid Localization)과 대등한 측위 결과를 보였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 측위, 다중 링, 링 겹침

Abstract The applications based on geographical location are increasing rapidly in wireless sensor networks (WSN). Recently, various localization algorithms have been proposed but the majority of algorithms rely on the specific hardware to measure the distance from the signal sources. In this paper, we propose the Weighted Multiple Rings Localization(WMRL). We assume that each deployed anchor node may periodically emit the successive beacon signals of the different power level. Then, the beacon signals form the concentric rings depending on their emitted power level, theoretically. The proposed algorithm defines the different weighting factor based on the ratio of each radius of ring. Also, If a sensor node may listen, it can find the innermost ring of the propagated signal for each anchor node. Based on this information, the location of a sensor node is derived by a weighted sum of coordinates of the surrounding anchor nodes.

Our proposed algorithm is fully distributed and does not require any additional hardwares and the unreliable distance indications such as RSSI and LQI. Nevertheless, the simulation results show that the WMRL with two rings twice outperforms centroid algorithm. In the case of WMRL with three rings, the accuracy is approximately equal to WCL(Weighted Centroid Localization).

Key words : Wireless Sensor Networks, Localization, Multiple Rings, Ring Overlapping

· 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다.

[†] 학생회원 : 한국외국어대학교 정보통신공학과
mythopoeic@hufs.ac.kr

^{**} 종신회원 : 한국외국어대학교 정보통신공학과 교수
jphong@hufs.ac.kr

논문접수 : 2010년 5월 4일

심사완료 : 2010년 7월 17일

이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제5호(2010.10)

1. 서론

최근 센서 네트워크 분야의 가장 큰 이슈 중 하나는 측위(localization)이다. 실내에서는 GPS(Global Position System) 만으로 측위가 불가능하기 때문에 센서 네트워크를 통한 실내에서의 측위 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 또한, 미래의 고부가가치 응용 서비스로 떠오르는 LBS(Location Based Services)를 위한 기반 기술이므로 더욱 그 중대성은 더욱 높아지고 있다.

일반적으로 센서 네트워크에서의 측위는 자신의 위치를 모르는 센서노드의 위치를 측정하기 위해서, 자신의 위치를 이미 아는 고정노드(anchor node)의 위치 정보를 이용한다. 고정노드들은 기본적으로 GPS로 수신된 정보나 지정 된 위치 정보를 내장하고 있어 자신의 절대적인 위치를 파악할 수 있다. 실제적으로 대부분의 측위에서 고정노드의 설치는 불가피하다.

센서 네트워크에서의 측위 방식은 크게 range-based 방식과 range-free 방식으로 나누어 볼 수 있다[1,2]. 전자는 일반적으로 정확한 위치를 측정하기 위해 다양한 하드웨어 장비를 이용하여 각도와 거리 등의 값을 사용한다. 후자는 정확한 각의 값이나 거리 등의 값을 요구하지 않는다. 최근 센서 네트워크에서 노드의 하드웨어, 비용, 에너지 효율성을 고려하는 range-free 방식을 사용한 제안들이 많이 나오고 있는 실정이다. 정확성은 range-based보다 떨어지지만, 하드웨어 복잡도가 낮고, 현장 적용성이 높다는 것이 range-free의 장점이다.

본 논문에서는 range-based 방식 기반의 가중다중령을 이용한 측위(WMRL) 알고리즘을 제시한다. 다수의 고정노드에서 송신 되는 서로 다른 파워 레벨의 비콘 신호가 여러 개의 령을 형성하며, 동시에 령 간에 교차영역을 형성하게 된다. 즉, 하나의 센서노드는 서로 다른 고정노드로부터 전파된 비콘 신호를 식별할 수 있으며, 어떤 령에 속하는 지를 비콘 신호에 담긴 위치 정보를 통해서 알 수 있다. 모든 고정노드로부터 비콘 신호를 수집한 센서노드는 자신이 수집한 각 고정노드 좌표와 령의 번호의 가중 합으로 측위할 수 있다. WMRL은 알고리즘의 복잡도가 매우 낮고, 구현이 간단한 장점을 가지고 있다. 또한, 거리 추정을 위해 비 신뢰적인 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 및 LQI(Link Quality Indicator) 값을 이용하지 않고 각 령 간의 거리적인 비율로 거리를 추정한다. 또한 최근 센서 노드의 경량화 추세로 RSSI를 지원하지 않은 노드가 다수 존재하는데 이러한 노드에서도 측위가 가능하다는 것이 제안하는 알고리즘의 특징이다. 결론적으로 센서노드 장비의 경량화 및 이중 센서노드가 분포된 네트워크에서도 측위가 가능한 특징을 가지며, RSSI를 이용한 기존

의 연구결과와 비슷한 성능을 나타낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 연구와 비교 대상인 WCL[3] 측위 기술에 대해 소개하고 기존 연구에 대한 문제점을 제기한다. 3절에서는 WMRL 알고리즘을 위한 가정 및 다중 신호의 생성 방법에 대한 논의, 가중치 모델링과 실제 알고리즘 동작에 대해서 논의하도록 한다. 4절에서는 시뮬레이션을 통해서 기존의 연구와 성능을 비교 분석하도록 한다.

2. 관련 연구

2.1 Weighted Centroid Localization(WCL)

N 개의 고정노드가 설치되어 있다고 하자. Centroid 알고리즘[3]은 식 (1)과 같이, 위치를 파악하고자 하는 센서노드는 고정노드의 좌표들의 평균값으로 측위한다.

$$P(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j(x, y) \quad (1)$$

여기서 $P(x, y)$ 는 센서노드의 측위 된 좌표를 의미하고, $A_j(x, y)$ 는 고정노드 j 의 위치를 의미한다. Centroid 방식은 측위 에러가 높지만, 구현이 간단하다는 특징이 있다[4]. WCL은 이를 보완하기 위해서 각 고정노드로부터 RSSI 또는 LQI로 계산되는 거리를 가중치로 변환하여서 센서노드의 위치를 분산적으로 다음과 같이 계산하는 측위 알고리즘이다.

$$P(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^N w_j \cdot A_j(x, y)}{\sum_{j=1}^N w_j} \quad (2)$$

식 (3)의 w_j 는 주어진 센서노드에 대해 고정노드 j 의 좌표를 반영하는 가중치로서 고정노드와 센서노드간의 거리에 반비례하는 관계가 있으며, 아래와 같이 g 파라미터를 통해서 무선 환경을 고려할 수 있다.

$$w_j = \frac{1}{(d_j)^g} \quad (3)$$

여기서 d_j 는 센서노드와 고정노드 j 간의 거리를 의미한다. WCL은 기존의 centroid 방식보다 평균 측위 에러가 3배 정도[5]로 개선되었다.

2.2 기존 연구의 문제점

WCL에서는 아래와 같은 문제점을 내포하고 있다.

- RSSI 값을 측정하기 위해서 센서노드에 RSSI를 측정을 위해서는 특정 RF칩(예: CC2420)을 사용해야 하지만, 경량화된 RF칩(예: RFM TR1001)들은 RSSI를 지원하지 않고 있다[6].
- 기존의 측위와 관련된 많은 연구들이 RSSI를 기반으로 수행되었다. 그러나 [7]에서는 RSSI를 실내공간에서 사용하는 것은 무선환경의 불확실성으로 인해

RSSI 값이 거리를 추정하기에 좋은 지표가 아님을 실험적으로 증명하였다.

- [8]에서 LQI는 거리를 측정하기 위해서 사용되는 파라미터가 아닌 칩 수준에서 오류율을 교정하기 위한 측정값이라고 정의한다.

즉, WCL은 이론적으로는 RSSI 또는 LQI 값을 통해 가중치를 적용하는 방식이지만, RSSI값 또는 LQI에 대한 비신뢰성으로 실제적으로 성능이 떨어질 수 있으며, 최근 경량화된 센서 노드에서 RSSI를 지원하지 않는 칩들이 많다는 문제점이 있다.

3. WMRL 알고리즘

3.1 가정

본 논문에서 WMRL 알고리즘을 제안하는 환경의 가정은 다음과 같다.

- 고정노드는 자신이 송출하는 신호의 파워를 제어할 수 있어 다양한 신호세기의 비콘 신호를 보낼 수 있으며, 자신의 위치정보를 고정적으로 가지고 있다.
- 각 고정노드는 정사각형의 네트워크 범위의 모서리에 각각 위치한다.
- 각 고정노드는 가장 작은 신호의 비콘 신호부터 가장 큰 신호의 비콘 신호로 순차적으로 송출한다.

또한, [9]에서는 송신 신호 파워가 높을수록 전송거리가 높아지고, 그에 따른 에너지 소비가 높아지는 것을 실험적으로 증명하였다. 따라서 고정노드에서 비콘 신호의 세기를 달리 하면 이상적인 환경에서 서로 다른 반경을 가지는 다수의 링을 만들 수 있다.

3.2 WMRL 다중 신호의 생성 방법

본 절에서는 WMRL 알고리즘이 다수의 링을 형성할 때 링 간의 간격을 정하는 방법과 그에 대한 표현 방법에 대해서 논의하도록 한다.

그림 1에서와 같이 $N(=4)$ 개의 고정노드가 평면상에 정사각형을 이루도록 설치되고, 고정노드 j 에서 발생하는 k 번째 링을 R_{jk} 라 표현한다. 또한, r_{jk} 는 고정노드 j 에

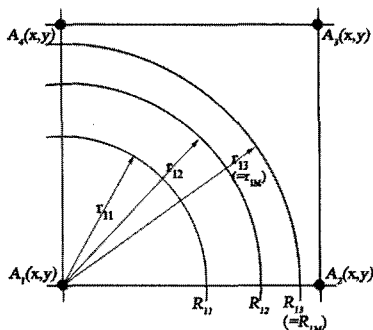


그림 1 WMRL의 링의 표현 방법

서 k 번째 링까지의 반경이고, 고정노드에서 발생하는 링의 전체 개수를 M (그림에서 $M=3$)개라고 한다. 각 고정노드는 그 전송거리 r_{jk} 에 맞는 신호 세기로 비콘 신호를 송출한다. 각각의 고정노드 j 가 주기 T 간격으로 비콘 신호를 순차적으로 송신하면, 링 $R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jM}$ 의 링을 형성하고, 이를 반복한다. 한편, 센서노드는 N 개의 고정노드로부터 오는 신호를 수신하며, 다음과 같이 두 가지 상황 중 하나가 되며, 자신이 위치한 링들을 식별할 수 있다.

- 1) 센서노드가 비콘 신호를 들을 수 있는 경우, 중복되는 신호에서 j 고정노드로 부터 가장 가까운 비콘 신호로 형성된 링을 R_{jk} 라 하자. 그러면, 센서노드는 $R_{jk_1}, \dots, R_{jk_M}$ 내에 위치하게 된다. 단, $k_j = 1, \dots, M$.
- 2) 센서노드가 M 번째 비콘 신호를 들을 수 없는 경우, 표기의 편의성을 위해 일반성을 잃지 않고 반지름이 무한대인 $M+1$ 번째 링을 R_{jM+1} 라고 표현하면, 센서노드는 링 R_{jM+1} 내에 위치한다. 즉, $k_j = M+1$.
센서노드의 위치는 식 (4)와 같이 고정노드들의 위치에 대한 가중 합으로 얻을 수 있다.

$$P(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^N w_{jk} \cdot A_j(x, y)}{\sum_{j=1}^N w_{jk}} \quad (4)$$

여기서, 가중치는 식 (5)와 같이 j 번째 고정노드, k 번째 비콘 신호와 둘 간의 거리 r_{jk} 의 함수이다.

$$w_{jk} = f(j, k, r_{jk}) \quad (j=1, \dots, N, k=1, \dots, M+1) \quad (5)$$

그러나 실제 전파도달거리 r_{jk} 는 전파환경에 따라 달라지므로, 다음과 식 (6)과 같이 단순화할 수 있다. 이에 대한 유효성은 다음 절에서 다루도록 한다.

$$w_{jk} = f(j, k) \quad (j=1, \dots, N, k=1, \dots, M+1) \quad (6)$$

고정노드 j 는 k 번째 비콘 신호를 송신할 때, 해당 프레임에 위의 데이터를 포함해서 보내고, 센서노드는 이를 수신하면, 이를 메모리에 저장하고, 이를 기반으로 식 (4)에 값을 대입하여 측위한다.

3.3 가중치의 설계 및 측위

WMRL 성능에 영향을 주는 것은 첫째로는 교차영역의 개수이며, 둘째는 가중치를 좀 더 정밀하게 모델링 하는데 달려있다. 먼저, 전송 거리 설계에 대해서 논의해 보면, WMRL에서 기본적으로 한 교차영역 내의 모든 센서노드는 같은 점으로 측위 된다. 즉, 교차영역이 많을수록 정밀성이 향상된다는 의미이다. 본 논문에서는 교차영역의 개수를 가능한 많이 만들기 위해 WMRL에서의 EA(Equal-Area)를 제안한다. 고정노드를 중심으로 M 개의 링이 동심원을 이루게 되는데, 서로 인접한

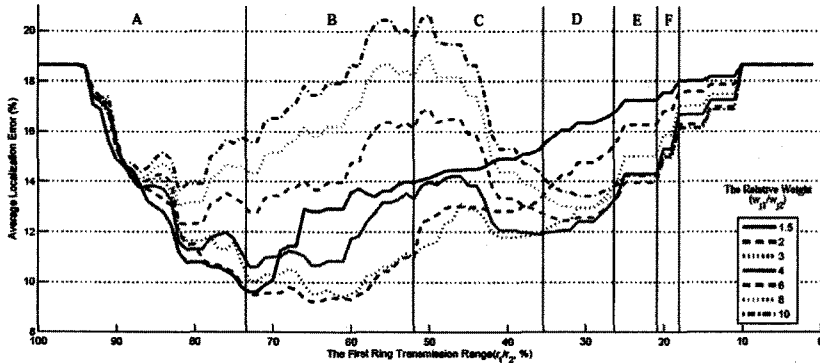


그림 2 반지름 비를 변화에 따라 가중치가 측위 오류에 미치는 영향 (M=2)

두 개의 링의 면적의 차이가 반지름이 작은 쪽의 링 면적과 동일하게 설정하는 것이다. 이는 각 링 간의 간격을 같게 하는 방식보다 많은 교차영역을 형성하여서 보다 좋은 성능(평균 2%)을 나타낸다. 여기서 고정노드 j 로부터 발생하는 k 번째 링의 반지름 r_{jk} 는 모든 고정노드에 대해 동일하다고 한다면, 다음 식 (7)을 나타낸다.

$$r_{jk} = r_k = \sqrt{k} \cdot r_1 \quad (k=1, \dots, M, j=1, \dots, N) \quad (7)$$

다음은 가중치 모델링에 대한 논의를 해보도록 한다. 링의 전송 거리와 가중치의 관계를 파악하기 위해서 [3]과 같이 링의 개수가 2이고 서로 다른 고정노드에 대해서 동일한 반지름을 갖는 경우로 실험을 수행하였다. WCL과의 성능 비교를 하기 위해서 동일한 조건으로 실험 환경을 구성하였다. 즉, $M(=2)$ 번째 링이 $43m \times 43m$ 의 공간의 96%인 지점까지 신호를 전송하고($r_M = 41.28m$), 이 링의 가중치 $w_{j1} = 1$ 으로 설정하였다.

그림 2에서 x 축은 주어진 r_M 에 대해 첫 번째 링의 반지름 비율의 백분율, 즉 $r_1/r_2 \cdot 100$ 을 의미한다. 이는 고정노드에 가까울수록 낮은 값을 가지며, 그림에서 보는 바와 같이 A구간에서는 w_{j1} 가중치가 1.5인 경우가 B구간에서는 2, C구간에서는 가중치가 3인 경우 가장 좋은 성능을 보였다. 시사점은 작은 링의 최적 가중치인 w_{j1}/w_{j2} 가 작은 링이 고정노드에 가까워질수록 지수적으로 증가한다는 특징을 가진다.

$$w_{jk_j} = \begin{cases} \sum_{l=k_j}^M \frac{r_M}{r_l} & , k_j = 1, \dots, M, \text{ if listenable} \\ 0 & , k_j = M+1, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

위의 현상을 일반화하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 가중치를 정의하도록 한다. 고정노드로부터 얼마만큼 근접해있는지 표현하기 위해서 r_M 과 r_k 의 비율을 나타내고, k 번째 링의 거리에서 M 까지의 각 링의 거리를 누적하는 형태의 식 (8)을 제시한다. 그림 2에서 얻은

시사점과 같이 지수적인 분포를 가지게 된다.

그러나 WMRL에서는 거리 추정 값을 이용하지 않기 때문에 식 (7)과 같이 $r_1:r_2:r_3 \dots = \sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3} \dots$ 의 반경비를 가지며, r_M 은 상수가 된다. 또한, 식 (6)과 같이 가중치가 j 와 k 의 함수라는 근거를 기반으로 받은 신호의 번호를 알면 다음 식 (9)와 같이 각 다중 신호간의 거리의 비율로 가중치를 구할 수 있다. 이는 WMRL에서 거리 추정 값이 필요 없음을 나타낸다.

$$w_{jk_j} = \begin{cases} \sum_{l=k_j}^M \frac{1}{\sqrt{l}} & , k_j = 1, \dots, M, \text{ if listenable} \\ 0 & , k_j = M+1, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

또한, 표 1에서는 제안한 가중치 모델의 적합성을 논의한다. 링 개수 M 이 2,3,4개 인 경우에 식 (9)를 이용하여 구한 결과와 각 경우 최적의 측위 값의 차이를 분석하였다. 각 경우에 오차의 범위가 무시할 정도로 근사한 결과를 보였으며, 이는 제안하는 가중치 모델의 정확도가 높음을 나타낸다.

표 1 제안한 가중치 모델의 유효성 분석

알고리즘(M)	평균 에러(%)	오차(%)
WMRL(2)	9.9595	0.1582
WMRL-opt(2)	9.8067	
WMRL(3)	6.6803	0.0052
WMRL-opt(3)	6.6751	
WMRL(4)	6.1038	0.0367
WMRL-opt(4)	6.0671	

3.4 WMRL 알고리즘

본 절에서는 고정노드와 센서노드의 동작을 기반으로 한 알고리즘 동작에 대해 논의한다. 이해를 돕고자 고정노드 4개가 위치하고 있으며 자신의 위치를 알지 못하는 센서노드 1개가 있는 그림 3의 예를 사용한다.

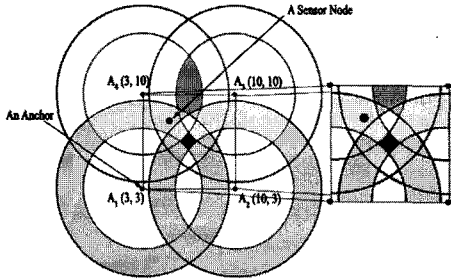


그림 3 WMRL 알고리즘 수행의 예

3.4.1 고정노드의 동작

각 고정노드는 자신의 비콘 주기마다 비콘 신호를 생성한다. 식 (7)을 기반으로 M 개의 서로 다른 신호 세기의 비콘을 송신한다. 각 고정노드가 T 라는 주기로 비콘 신호를 전송하고, M 개의 비콘 신호를 발생한다고 하면, 모든 고정노드는 MT 시간 내에 자신의 위치 정보가 담긴 M 개의 서로 다른 파워의 비콘 신호를 전송한다. 이때, 고정노드 j 는 주기 T 마다 위치 정보의 집합인 $(j, k, A_j(x, y))$ 를 비콘 신호에 포함하여서 전송하도록 한다.

3.4.2 센서노드의 동작

최초 센서노드는 링 번호는 $M+1$ 로 인식하고, MT 동안 기다리며 각 고정노드로부터 값을 수집한다. 센서노드는 메모리의 제한이 있으므로, MT 동안 한 고정노드에서 수집한 값의 링의 번호(k)가 가장 작은 값을 유지한다. 표 2는 그림 3의 센서노드가 수집한 정보이다.

수집된 정보를 기반으로 센서노드는 각 고정노드의 위치에 대한 가중치를 식 (9)를 이용하여 구하고, 최종적으로 자신의 위치를 식 (4)를 통해서 구한다.

표 2 그림 3에서 센서노드가 2T후 수집한 정보

고정노드 ID(j)	고정노드의 위치	링의 번호(k)
A_1	(3,3)	2
A_2	-	-
A_3	(10,10)	2
A_4	(3,10)	1

4. 성능 평가

본 절에서는 WMRL의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 결과를 논의한다. 관련 연구에서 다루었던 WCL 측위 알고리즘과의 비교 분석을 통해서 WMRL이 복잡한 하드웨어 없이도 측위 성능을 유지하는지 논의한다.

4.1 시뮬레이션 환경

기본적인 WMRL 시뮬레이션 환경은 WCL의 이론적인 결과와 비교를 수행하기 위하여 이상적인 환경에서 수행하였으며, 다음 표 3과 같이 WCL과 동일한 노드의 배치 및 네트워크 범위 조건에서 수행하도록 한다.

WMRL 알고리즘의 평가를 위한 지표를 2가지로 구분하도록 한다. 식 (10)과 (11)에서 x' 와 y' 는 각각 측위된 값을, x 와 y 는 센서노드의 원래 위치를 의미한다.

(1) 측위 오차(Localization Error) : 측위된 값과 실제 노드의 위치 값의 차이

$$\text{Localization Error} = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (10)$$

(2) 평균 측위 오차(Average Localization Error) : 네트워크 내 모든 노드들의 평균 측위 오차 평균 값

$$\text{Average Localization Error} = \frac{\sum \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}}{\text{The number of sensor nodes}} \quad (11)$$

표 3 WMRL시뮬레이션 모델

환경	값	비고
센서노드의 수	169	등간격+격자 배치
네트워크 범위	43m × 43m	
고정노드	4	정사각형 모서리
r_M	41.28	43m의 96%[3]

4.2 성능 분석

먼저, WMRL과 WCL의 비교를 통해서 최소 가능 센서노드에도 WCL과 같은 측위 성능을 유지할 수 있는지 분석한다. 표 4에서는 WMRL과 기존에 연구된 CL과 WCL 측위 알고리즘에 대한 비교 분석을 하였다. 시뮬레이션 결과 링이 4개 이상인 경우 WCL보다 좋은 결과를 보였으며, 현실적인 가능성이 있는 링이 3개인 경우 결과 또한 WCL에 다소 미치지지는 못하지만, 근접한 결과(0.41% 차이)를 나타냈다.

표 4 각 알고리즘간의 성능 분석

알고리즘(M)	최대 에러(%)	최소 에러(%)	평균 에러(%)
CL	45.07	0.0182	18.6579
WCL	18.27	0.0013	6.2743
WMRL(2)	18.28	0.0026	9.9595
WMRL(3)	18.28	0.0026	6.6803
WMRL(4)	18.28	0.0009	6.1038
WMRL(5)	18.28	0.0009	5.4726

다음 그림 4는 WMRL과 WCL의 알고리즘 성능이 링의 개수에 미치는 영향에 대해서 도식화하였다. 먼저, M 이 2인 경우 CL보다 2배의 성능 향상을 보였으며, 링의 개수가 증가할수록 평균 측위 오차가 감소함을 알 수 있으며, 이미 M 이 3일 경우부터 WCL의 성능에 근접하고, M 이 4개 이상일 때부터는 성능을 앞서게 된다. 이는 또한 측위 서비스의 정도에 따라 차등적으로 서비스를 수행할 수 있다는 점을 보여준다. 또한, 각 링 간

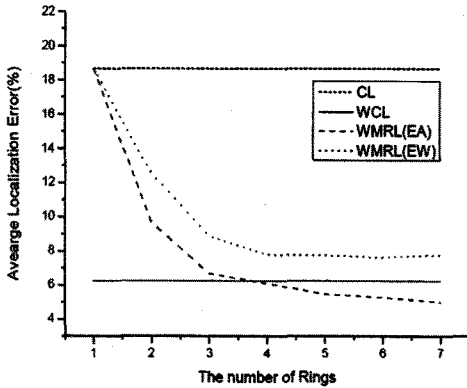


그림 4 WMRL에서 링의 개수의 영향

의 거리가 같은 경우(EW)에 대한 결과 값도 추가하였다. 기본적으로 오차가 감쇄되는 형태는 비슷하나, 평균 2% 정도 EA가 높은 성능을 보임을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 range-free 방식 기법을 따르는 분산 측위 방식인 WMRL 알고리즘을 제안한다. WMRL의 특징은 기존의 range-free 방식을 따르며, 거리를 추정하기 위해 RSSI와 LQI와 같은 추가적인 정보를 요구하지 않는다. 또한, 각 센서노드는 고정노드로부터 간단한 위치 정보와 각 다중 신호간의 거리 비율을 이용하여, 복잡도가 낮은 계산을 수행, 각 센서노드의 에너지 효율 및 구현에서도 큰 효율을 얻을 수 있었으며, M의 개수를 변화시키면서 LBS에서 차동적인 서비스를 수행할 수 있다는 점을 보였다.

시뮬레이션 결과 기존의 연구 되어왔던 WCL에 비해서 M이 4개 이상인 경우에 우수한 성능을 나타내었으며, M이 3인 경우에도 거의 WCL과 비슷한 성능을 보였다. WMRL 측위 알고리즘은 기존 CL과 WCL 알고리즘의 단점을 극복하고, 제한된 환경에서 기존의 두 개의 알고리즘과 근접한 결과를 나타내는 장점을 가진다.

앞으로 이종 센서 단말이 존재하는 실제 환경에서 WMRL과 WCL이 공존하여 서로 협동할 수 있는 측위 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] T. He, C. Huang, JA Stankovic, and BM. Blum, "Range-free localization and its impact on large scale sensor networks," ACM transactions on embedded computing systems, vol.4, no.4, p.877, 2005.
- [2] G. Mao and B. Fidan, Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks: Information Science Reference, p.136, 2009.

- [3] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golatowski, and D. Timmermann, "Weighted centroid localization in Zigbee-based sensor networks," *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP 2007)*, pp.1-6, 2007.
- [4] AH. Sayed, A. Tarighat, N. Khajehnouri, "Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.22, pp.24-40, 2005.
- [5] R. Behnke and D. Timmermann, "AWCL: adaptive weighted centroid localization as an efficient improvement of coarse grained localization," in *Navigation and Communication (WPNC 2008) 5th Workshop*, pp.243-250, 2008.
- [6] K. Benkic, M. Malajner, P. Planinsic, and ZK. Cucej, "Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee," in *Proceedings of 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2008)*, pp.303-306, 2008.
- [7] D. Puccinelli, M. Haenggi, "Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol.5, pp.19-31, 2005.
- [8] MM. Holland, RG. Aures, and WB. Heinzelman, "Experimental investigation of radio performance in wireless sensor networks," *2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks*, pp.140-150, 2006.
- [9] G. Xing, C. Lu, Y. Zhang, Q. Huang, and R. Pless, "Minimum power configuration in wireless sensor networks," *Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing - MobiHoc 05*, p.401, 2005.



안 홍 범

2009년 8월 한국의국어대학교 정보통신 공학과 학사. 현재 한국의국어대학교 정보통신공학과 석사. 관심분야는 측위, 멀티미디어 통신



홍 진 표

1977년 2월 서울대학교 계산통계학과 학사. 1979년 2월 KAIST 전산학과 석사. 1983년 8월 KAIST 전산학과 박사. 1983년 8월~1995년 2월 한국전자통신연구원 개발환경연구실장, 소프트웨어공학연구실장, 종합정보통신망연구부장, 지능망연구부장, 정보통신표준센터장 역임. 1995년 3월~현재 한국의국어대학교 정보통신공학과 교수. 관심분야는 멀티미디어 통신, 모바일 RFID 네트워크