

논문 2011-48TC-6-8

실내 무선 센서 네트워크에서의 측위를 위하여 고정 노드 신호들의 크기 순위를 사용한 순차적 구역 설정 알고리즘

(A Successive Region Setting Algorithm Using Signal Strength Ranking from Anchor Nodes for Indoor Localization in the Wireless Sensor Networks)

한 준 상*, 김 명 진**

(Jun Sang Han and Myoung Jin Kim)

요 약

GPS 신호를 수신할 수 없는 실내 지역에 적용하기 위하여 무선 센서 네트워크를 이용한 측위 연구가 진행 중이며 많은 알고리즘들이 제안되고 있다. 기존 알고리즘들 중 WCL(Weighted Centroid Localization)은 하드웨어적으로 제한된 무선 센서 네트워크의 특성을 고려하여 간단한 연산으로 사용자 노드의 좌표를 계산하면서 성능 면에서도 우수함이 입증되어 있다. 그러나 최적의 성능을 얻기 위하여 항상 고정 노드들이 전체 네트워크 범위의 96%로 신호를 전송해야 하는 점과 각 고정 노드의 전송 범위 외곽지역에서 급격한 측위 오차가 발생하여 평균 오차와 편차가 크다는 단점이 있어 실제 실내 환경에 적용시키기 어려운 측면이 있다. 본 논문에서는 각 고정 노드의 신호 세기를 비교하여 사용자 노드가 존재할 가능성이 있는 추정 구역을 순차적으로 좁혀 나가는 측위 알고리즘을 제안하였다. 추정 구역을 최소화 하여 사용자 노드의 위치를 계산함으로써 고정 노드의 전송 범위에 따른 성능 저하와 외곽지역에서 발생하는 최대 오차 문제를 해결하였으며, 평균 오차도 자유공간 전파 환경에서 WCL 알고리즘 보다 5배 정도 감소하는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

Abstract

Researches on indoor localization using the wireless sensor network have been actively carried out to be used for indoor area where GPS signal is not received. Computationally efficient WCL(Weighted Centroid Localization) algorithm is shown to perform relatively well. However, to get the best performance for WCL all the anchor nodes must send signal with power to cover 96% of the network. The fact that outside the transmission range of the fixed nodes drastic localization error occurs results in large mean error and deviation. Due to these problems the WCL algorithm is not easily applied for use in the real indoor environment. In this paper we propose SRS(Successive Region Setting) algorithm which sequentially reduces the estimated location area using the signal strength from the anchor nodes. The proposed algorithm does not show significant performance degradation corresponding to transmission range of the anchor nodes. Simulation results show that the proposed SRS algorithm has mean localization error 5 times lower than that of the WCL under free space propagation environment.

Keywords : 무선 센서 네트워크, 실내 측위, CL(Centroid Localization), WCL(Weighted Centroid Localization)

I. 서 론

최근 위치 기반 서비스(Location Based Service:

LBS)는 여러 분야와 결합되어 다양한 서비스가 제공되고 있는데, 이를 위한 기반 기술로서 측위(localization)의 중요성이 부각되고 있다. 특히, 실내 지역은 GPS(Global Positioning System) 신호의 수신에 불가능하여 무선 센서 네트워크를 활용한 측위 알고리즘이 활발하게 연구되고 있다^[1].

무선 센서 네트워크를 구성하는 각각의 센서들은 일

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 한국외국어대학교 (Hankuk University of Foreign Studies)

※ 이 연구는 2011학년도 한국외국어대학교 교내 학술 연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

접수일자 2011년2월14일, 수정완료일: 2011년6월15일

반적으로 저 전력, 저 사양의 하드웨어로 구성되어 있으므로 이를 이용한 측위 알고리즘들은 정확성과 더불어 간단한 구조와 빠른 연산 속도가 요구된다.

현재 제안된 알고리즘들 중에서 위의 요구 사항을 만족시키는 대표적인 알고리즘으로 WCL(Weighted Centroid Localization) 알고리즘이 있다. 다른 알고리즘에 비해 WCL 알고리즘은 각 고정 노드의 좌표 정보만 알고 있으면 $O(n)$ 의 연산량으로 간단하게 측위 연산을 수행할 수 있어 연산 속도와 자원적인 면에서 효율적이다. 성능 면에서도 자유 공간에서 평균 6%의 측위 오차 성능을 보여 무선 센서 네트워크에 적용시키기 적합하다^[2].

하지만 WCL 알고리즘은 고정 노드의 신호가 도달하지 않는 음영지역의 영향으로 전송 범위에 따라 성능 편차가 크므로 최적의 성능을 얻기 위해서는 항상 고정 노드의 전송 범위를 전체 네트워크 범위의 96% 범위로 설정해야 하는 점^[3]과 중점 지향 방식의 측위 알고리즘 특성상 각 고정 노드의 전송 범위 외곽지역에서 최대 오차가 급격히 증가하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 WCL 알고리즘의 문제점을 해결하고 성능도 평균 오차는 5배, 최대 오차는 3배 이상 개선한 SRS(Successive Region Setting) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 각 고정 노드로부터 받은 신호 세기를 비교하여 사용자 노드가 위치할 가능성이 있는 구역을 순차적으로 좁혀나가고 최종적인 추정 구역이 설정되면 추정 구역의 양쪽 경계점과 가중치를 이용하여 사용자의 위치를 계산하는 방식을 사용한다.

전송 범위 감소에 따라 신호가 전송되지 않는 음영지역이 증가하여 측위 정확성이 감소하는 WCL 알고리즘과는 다르게 SRS 알고리즘은 추정 구역 설정 시 음영지역 정보도 이용하여 설정하므로 전송 범위 변화에 따른 영향을 거의 받지 않는다. 또한, anchor-based 방식의 대표적인 CL(Centroid Localization)^[4], WCL 알고리즘과 같은 중점 지향 방식이 아니라 신호 세기를 비교하여 결정된 기준 노드로부터 추정 구역을 축소하는 방식이므로 각 고정 노드의 전송 범위 외곽지역에서 나타나는 급격한 측위 오차 증가 문제도 발생하지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장의 관련 연구에서는 기존 센서 네트워크의 측위 알고리즘 분류에 대해 언급하고 본 연구와 비교 대상인 WCL 알고리즘에 대한 설명과 문제점을 제기한다. III장에서는 SRS 알고리

즘을 위한 가정과 수행 방식을 기술하고, IV장에서는 제안된 SRS 알고리즘과 WCL 알고리즘에 대하여 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다. V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 측위 알고리즘 분류

센서 네트워크의 측위 알고리즘은 크게 거리 기반(range-based) 방식과 거리 독립(range-free) 방식으로 분류된다^[5~6]. 거리 기반 방식은 신호 도달 시간을 이용하는 ToA(Time of Arrival)^[7], 신호 도달 시간 차이를 이용하는 TDoA(Time Difference of Arrival)^[8~10], 전파의 도래각을 측정하는 AoA(Angle of Arrival)^[11] 그리고 수신 신호의 전파 세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 방식으로 구분된다^[12]. 위의 방식들 중 ToA나 TDoA는 고정 노드들의 시간 동기화를 위하여 GPS 장비가 필요하고, AoA 방식은 다각도의 전파를 수신할 수 있는 안테나 등의 추가적인 하드웨어 장비가 필요하여 비용 대비 성능이 낮은 단점이 있다.

이에 반해 고정 노드의 이차원 좌표 값을 이용하는 anchor-based^[4, 13~14], 노드 사이의 hop 거리를 이용하는 hop-based^[15~16], 삼각형으로 구성된 비콘 노드로 위치를 추정하는 area-based^[17~18] 방식으로 구분되는 거리 독립 방식은 별도의 하드웨어 장비가 필요 없어 거리 기반 방식에 비해 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 거리 독립 방식 중에서도 anchor-based 방식은 측위 연산 수행 시 고정 노드의 좌표 정보만을 요구하므로 메모리 소비가 적어 자원이 한정된 센서 네트워크에 적합한 방식이다.

2. WCL 알고리즘

Anchor-based 방식을 사용하는 측위 알고리즘들은 일반적으로 CL 알고리즘 기반으로 제안되었다. CL 알고리즘은 식(1)과 같이 N개의 고정 노드의 좌표들의 평균값으로 사용자 노드의 위치를 계산한다. 여기서 $\hat{U}_i(x, y)$ 는 측위 알고리즘으로 추정된 i 번째 사용자 노드의 위치를 의미하며 $A_j(x, y)$ 는 j 번째 고정 노드의 좌표이다.

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

CL 알고리즘은 식 (1)과 같이 계산이 간단하고 고정 노드의 좌표 정보를 제외한 다른 정보가 필요 없으므로 메모리 소비도 적어 제한된 성능을 가진 센서 네트워크에 적합하다는 장점이 있지만 사용자 노드의 추정 위치가 항상 고정 노드 좌표의 평균값으로 결정되어 고정 노드 수가 적을수록 측위 오차가 높다는 단점이 있다^[3].

WCL 알고리즘은 CL 알고리즘의 측위 오차 감소를 위하여 고정 노드의 좌표에 사용자 노드와 고정 노드 사이의 거리 정보를 변환한 가중치 값을 곱하는 방법을 이용한다. 먼저, 거리 정보를 계산하기 위하여 사용자 노드는 식 (2)와 같이 각각의 고정 노드로부터 수신 받은 비콘 신호의 RSSI로 수신 신호의 전력(P_{Rx})을 계산하고 계산된 P_{Rx} 를 식 (3)의 Friis 자유공간 전파 모델에 대입하여 사용자 노드와 고정 노드 사이의 거리를 결정한다^[19]. 식 (3)에서 결정된 거리(d)를 이용하여 식 (4)와 같이 가중치를 계산하고 계산된 가중치를 식 (1)에 대입하여 식 (5)와 같이 측위 연산을 수행한다^[2]. W_{ij} 는 i 번째 사용자 노드가 j 번째 고정 노드로부터 계산된 가중치를 의미한다.

$$RSSI = 10 \cdot \log \frac{P_{Rx}}{P_{Ref}} \quad [RSSI] = dBm \quad (2)$$

$$P_{Ref} = 1mW$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} \cdot G_{Tx} \cdot G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (3)$$

P_{Tx} = Transmission power of sender
 P_{Rx} = Remaining power of wave at receiver
 G_{Tx} = Gain of transmitter
 G_{Rx} = Gain of receiver
 λ = Wavelength
 d = Distance between sender and receiver

$$W_{ij} = \frac{1}{(d_{ij})^g} \quad (4)$$

$$\hat{U}_i(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^N (W_{ij} \cdot A_j(x, y))}{\sum_{j=1}^N W_{ij}} \quad (5)$$

자유 공간 전파 환경에서 WCL 알고리즘은 평균 6% 정도의 측위 오차 성능을 보여 CL 알고리즘에 비해 3배 정도 성능이 향상되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.

3. WCL 알고리즘의 문제점

WCL 알고리즘은 간단한 구현으로 평균 6%대의 측위 오차를 보여 기존의 CL 알고리즘에 비해 3배 정도 성능 개선 효과를 얻을 수 있으나 1장에서 언급한 것처럼 고정 노드의 전송 범위에 따라 성능 편차가 크고 전송 범위 외 광지역에서 측위 오차가 크다는 문제점 때문에 실제 실내 환경에 적용하기 어려운 측면이 있다.

고정 노드의 전송 범위에 따른 성능 변화를 그림 1에서 보이고 있다. 그림 1은 43m x 43m의 네트워크 환경에서 고정 노드 전송 범위를 1m 간격으로 30m~43m

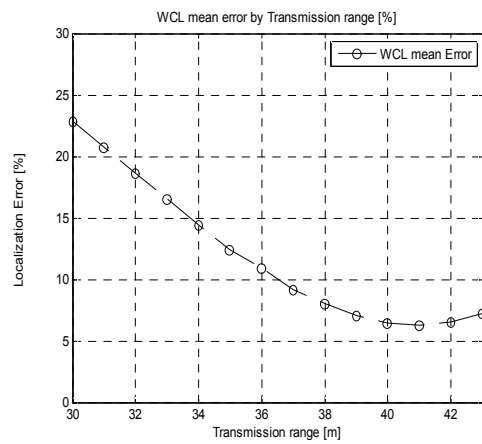


그림 1. 전송 범위에 따른 WCL 평균 오차
 Fig. 1. WCL mean error according to transmission range.

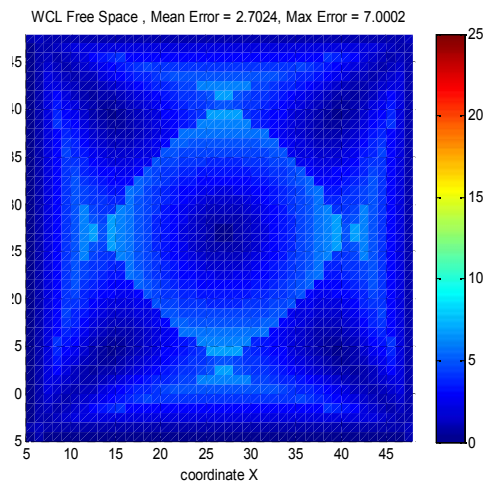


그림 2. 43m x 43m에서의 WCL 시뮬레이션 결과 (평균 오차= 2.70m (6.28%), 최대 오차=7.00m (16.28%))
 Fig. 2. WCL simulation result in 43m x 43m. (Mean error=2.70m (6.28%), Max error=7.00m (16.28%))

(69.7674%~100%)사이에서 변화시키면서 얻은 WCL 평균 오차이다. 결과를 보면 전송 범위에 따라서 평균 측위 오차가 6%~23%로 약 17% 정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 그림 1과 같은 43m x 43m에서 사용자 노드를 1m 간격으로 배치 시켰을 때의 시뮬레이션 결과이다. WCL 알고리즘의 다른 문제점인 전송 범위 외곽지역에서 최대 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

위의 문제점들은 다양한 형태와 여러 장애물에 따라 가변적으로 전송 범위를 변화시켜 시스템을 구축해야 하는 실제 실내 환경에 응용되기 힘들고 전력적으로 제한된 센서의 특성 상 전송 범위를 축소시키면서 전력소모를 감소시켜야 하는 경우 성능이 저하될 수 있다. 다른 문제점인 외곽지역에서 발생하는 최대 오차는 전체적인 시스템의 혼란을 야기시킬 수 있기 때문에 실제 환경에 적용시키기 위해서는 반드시 개선되어야 할 사항이다.

III. SRS 알고리즘

본 논문에서 제안한 SRS 알고리즘은 각 고정 노드의 신호 세기를 비교하여 사용자 노드가 존재할 가능성이 있는 추정 구역을 순차적으로 좁혀나가는 방식을 사용한다. 1절에서는 SRS 알고리즘을 위한 가정에 대해 언급하고 2절에서는 전체적인 알고리즘 동작 원리를 기술하였다. 본 논문에서 설계한 가중치의 적합성에 관해서는 마지막 3절에서 논의하기로 한다.

1. 가정

SRS 알고리즘을 위한 가정은 다음과 같다.

- 고정 노드는 정사각형 네트워크 범위의 4개 모서리 부분에 위치하고 자신의 정확한 좌표를 알고 있다.
- 각 고정 노드는 주기적으로 비콘 신호를 사용자 노드에 전송한다.
- 각 고정 노드는 비콘 신호를 전송 시 자신의 좌표 정보를 같이 전송한다.
- 각 고정 노드의 최대 전송 범위는 전체 네트워크 범위보다 작다.
- 모든 고정 노드는 전체 네트워크 범위 내에서 동일한 전송 범위로 전송을 해야 하며 만약 전송 범위 변경 시에는 변경된 전송 범위를 사용자 노드에게 알려준다.

2. SRS 알고리즘 동작 원리

SRS 알고리즘의 전체적인 동작 절차는 그림 3에서 기술하고 있다. 동작은 크게 절차 1, 절차 2~4, 그리고 절차 5~7의 3 단계로 구분할 수 있다.

첫 번째 단계 절차 1은 WCL 알고리즘과 동일하게 수신 신호 전력을 거리로 변환하는 단계이고, 두 번째 단계 절차 2~4는 사용자 노드와 각 고정 노드 사이의 거리를 비교하여 순차적으로 추정 구역을 설정하는 단계이다. 마지막으로 절차 5~7은 결정된 추정 구역을 이용하여 최종적으로 사용자의 위치를 계산하는 단계이다.

상수 : 고정 노드 번호와 좌표, 전체 네트워크 범위, 고정 노드 전송 범위

입력 : 각 고정 노드로부터 수신한 신호 전력

- 1 : 고정 노드들로부터 수신 받은 신호 전력을 거리로 변환한다.
- 2 : 각 고정 노드들과 사용자 노드간의 거리를 비교한다.
- 3 : 거리 비교 결과에 의해 기준 및 인접 노드를 결정한다.
- 4 : 결정된 기준 및 인접 노드 정보로 추정 구역을 최소화 한다.
- 5 : 기준 노드의 거리 반경과 인접 노드의 거리 반경의 교점으로 추정 구역의 양쪽 경계점 좌표를 계산한다.
- 6 : 인접 노드와 경계점으로 가중치를 계산한다.
- 7 : 양쪽 경계점과 가중치로 사용자의 좌표를 계산한다.

출력 : 사용자 노드의 추정 좌표

그림 3. SRS 알고리즘 절차
Fig. 3. SRS algorithm procedure.

가. 기준 노드와 추정구역 초기 결정

사용자 노드와 고정 노드 사이의 거리가 근접할수록 그림 4와 같이 사용자 노드가 위치할 가능성이 있는 추정 구역이 감소하게 된다. 추정 구역이 감소할수록 성능이 향상되는 SRS 알고리즘의 특성을 고려하여 사용자 노드는 신호를 수신한 모든 고정 노드의 거리를 비교하여 가장 근접한 고정 노드를 기준 노드(reference node)로 결정한다. 최 근접 노드를 기준 노드로 정한 이유는 페이딩 등의 영향으로 신호 전력의 변동이 심하고 거리에 따라 송신 신호 전력이 지수적으로 감소하는 무선 채널의 특성상 가까울수록 상대적으로 수신 신호 전력의 변동에 대한 거리 값의 편차가 작아지기 때문이

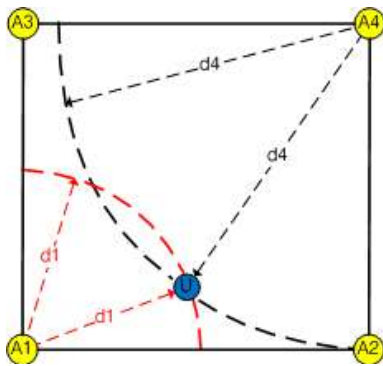


그림 4. 거리 비교에 따른 기준 노드 결정
Fig. 4. Reference node decision by distance comparison.

다^[20]. 따라서 수신 신호 전력을 거리로 변환 시에 근접할수록 변환된 거리 정보의 신뢰성이 높아지게 된다.

기준 노드가 결정되면 그림 4의 빨간색 점선과 같이 기준 노드로부터 사용자 노드와의 거리를 반경으로 하여 첫 번째 단계의 추정 구역을 설정한다.

나. 인접 노드와 추정구역 축소화

기준 노드가 결정되면 표 1과 같이 각 기준 노드별로 이웃한 2개의 고정 노드를 인접 노드(adjacent node)로 결정한다. 다음 단계로 사용자 노드가 두 개의 인접 노드 중 어느 것과 더 가까운가를 비교하면 첫 번째 단계에서 설정한 추정 구역을 절반으로 축소시킨다.

표 1. 기준 노드에 따른 인접 노드
Table 1. Adjacent nodes about reference node.

기준 노드	인접 노드
A_1	A_2, A_3
A_2	A_1, A_4
A_3	A_1, A_4
A_4	A_2, A_3

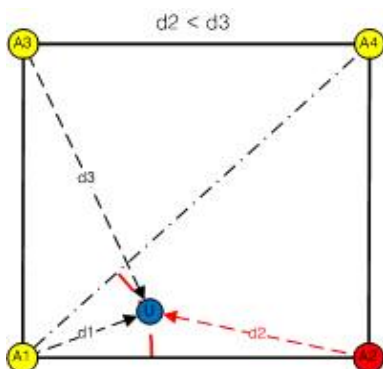


그림 5. 추정 구역 축소화 ($d_2 < d_3$)
Fig. 5. Reducing the estimation area ($d_2 < d_3$).

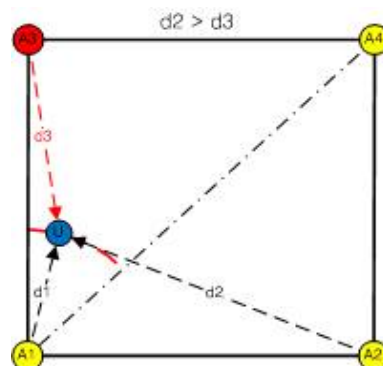


그림 6. 추정 구역 재설정 ($d_2 > d_3$)
Fig. 6. Reducing the estimation area ($d_2 > d_3$).

예를 들어, 기준 노드가 A_1 인 경우 사용자 노드와 A_2 와의 거리가 A_3 와의 거리보다 작으면 사용자 노드는 항상 그림 5와 같이 A_1 - A_4 를 잇는 대각선의 아래 쪽에만 위치한다. 반대의 경우에는 그림 6의 예와 같이 대각선의 위쪽에만 위치하고 있으므로 이를 기반으로 추정 구역을 축소하여 재설정한다.

다. 인접 노드의 최대 전송 범위를 이용한 추정구역 최소화

전력 소모를 줄이기 위하여 무선 센서 네트워크에서는 개별 고정 노드의 전송 범위가 전체 네트워크 영역을 포함하도록 하지 않는 것이 일반적이다. 이와 같은 전력 제한된 무선 센서 네트워크에서는 그림 7과 같이 고정 노드마다 신호가 도달되지 않는 음영지역이 발생하게 된다. 기존의 제안된 알고리즘들은 사용자 노드가 특정 고정 노드로부터 신호를 수신하지 못하는 음영지역에 위치하게 되면 좌표 계산 시 이용할 수 있는 고정 노드 수가 적어지므로 음영지역이 증가 할수록 측위의 정확성이 저하되는 특성을 가진다.

성능 저하의 주된 원인인 음영지역 문제를 다른 관점에서 고려해보면 특정 고정 노드에게서 신호를 수신하지 못했다는 것은 사용자 노드가 그 노드의 전송 범위 밖에 위치하고 있다는 것을 의미하는 정보가 될 수 있다. 따라서 음영지역과 관련된 정보는 사용자 노드가 전체 네트워크 범위 내에서 대략적인 자신의 위치 정보를 획득할 수 있는 지표로 이용될 수 있다.

본 알고리즘에서는 이와 같은 음영지역 정보를 인접 노드들의 전송 범위에 적용시켜 최종적인 추정 구역을 결정하는데 사용한다. 기준 노드 결정 후 인접 노드들의 거리를 비교하는 단계에서 사용자 노드는 2개의 인

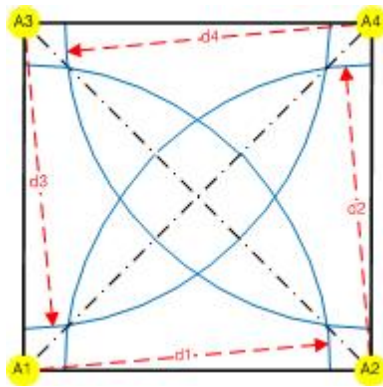


그림 7. 고정 노드들의 최대 전송 범위
Fig. 7. Maximum transmission range of anchor nodes.

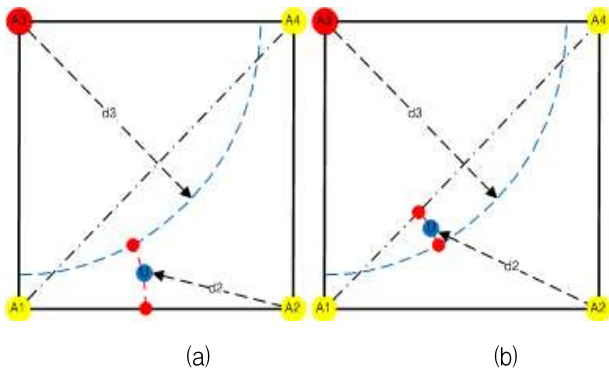


그림 8. 최소 추정구역
(a) A_3 로부터 신호를 수신한 경우
(b) A_3 로부터 신호를 수신하지 못한 경우
Fig. 8. Minimum estimation area.
(a) When the signal from A_3 is received
(b) When the signal from A_3 is not received

접 노드로부터 모두 신호를 수신했는지 여부를 판단한다. 만약 하나의 인접 노드로부터만 신호를 수신하였으면 다른 인접 노드의 전송 범위 밖에 위치해 있는 것을 알 수 있고 반대로 2개의 인접 노드로부터 모두 신호를 수신하였으면 상대적으로 멀리 있는 인접 노드의 전송 범위 안에 자신이 위치하고 있다고 추정하게 된다.

그림 8의 예는 기준 노드가 A_1 이고 다음으로 가까운 인접 노드가 A_2 로 결정 되었을 때, A_3 인접 노드로부터의 신호 수신 여부에 따른 추정 구역의 결정을 보이고 있다. 그림 (a)는 A_3 로부터 수신하지 못한 경우 A_3 의 전송 범위 밖으로 사용자 노드의 추정 구역을 결정하는 것을 나타내고, 그림 (b)는 A_3 로부터 신호를 수신한 경우 1점 쇄선과 A_3 의 전송 범위 안쪽으로 추정 구역을 결정하는 것을 보이고 있다.

라. 사용자 노드의 좌표 계산

위의 3 단계를 거쳐 최종적인 추정 구역이 결정되면 사용자 노드의 좌표를 계산할 수 있다. 사용자 노드의 위치 계산은 최종적으로 설정된 추정 구역의 양쪽(상·하측) 경계점 좌표와 가중치를 이용하여 계산되므로 먼저 추정 구역의 상·하측 경계점 좌표를 구해야 한다.

그림 9에서 기준 노드가 A_1 이고 다음으로 가까운 인접 노드가 A_2 인 경우의 각 추정 구역을 구분하는 모든 예상 경계점들의 위치를 나타내고 있다.

위의 다 항에서 언급한 바와 같이 최종적인 추정 구역은 사용자 노드가 A_3 인접 노드로부터 신호를 수신하면 그림 9의 B_1 과 B_2 경계점 사이로 결정되고, A_3 인접 노드로부터 신호를 수신하지 못하면 B_2 와 B_3 사이로 결정된다.

이와 같이, A_3 인접 노드로부터의 수신 여부에 따라 결정되는 추정 구역이 다르므로 각 경우에 따라서 상·

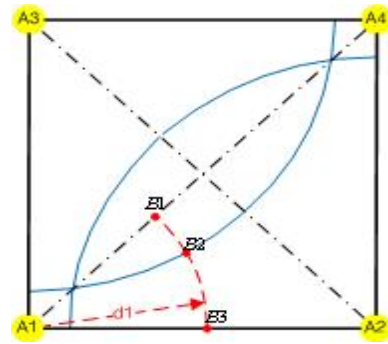


그림 9. 경계점 설정
Fig. 9. Boundary point setting.

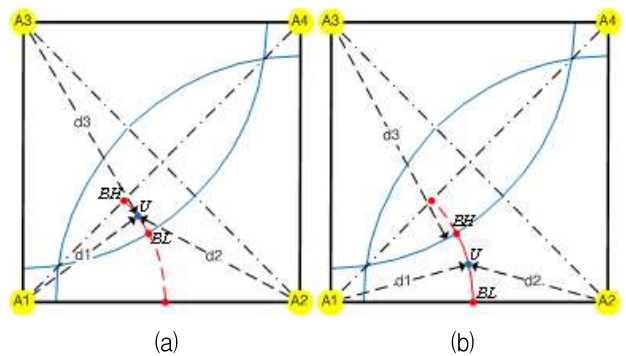


그림 10. (a) A_3 로부터 수신 한 경우의 경계점 설정
(b) A_3 로부터 수신하지 못한 경우의 경계점 설정
Fig. 10. (a) Boundary point setting when the signal from A_3 is received.
(b) Boundary point setting when the signal from A_3 is not received

하측 경계점의 설정도 변하게 된다. 그림 10의 (a)와 같이 사용자 노드가 A_3 로부터 신호를 수신하면 상측 경계점(B_H)은 B_1 으로 하측 경계점(B_L)은 B_2 로 결정하고, 반대로 그림 10 (b)와 같이 A_3 로부터 신호를 수신하지 못하면 B_H 는 B_2 로 B_L 은 B_3 로 결정한다. 식 (6)에서 A_3 인접 노드로부터의 수신 여부에 따른 상·하측 경계점 설정을 정의하고 있다.

$$B_H = \begin{cases} B_1, & A_3\text{로부터 신호를 수신한 경우} \\ B_2, & A_3\text{로부터 신호를 수신하지 못한 경우} \end{cases} \quad (6)$$

$$B_L = \begin{cases} B_2, & A_3\text{로부터 신호를 수신한 경우} \\ B_3, & A_3\text{로부터 신호를 수신하지 못한 경우} \end{cases}$$

양쪽 경계점의 좌표를 계산하기 위해서는 예상 경계점 B_1 , B_2 그리고 B_3 의 좌표를 계산해야 한다. B_1 과 B_3 경계점의 좌표는 식 (7), (8)과 같이 기준 노드의 좌표와 거리 반경으로 간단하게 계산할 수 있지만 B_2 의 경우에는 A_1 의 거리 반경과 A_3 의 전송 범위 반경의 교점이므로 식 (9)와 (10)으로 표현되는 두 원의 교점을 이용하여 계산해야 한다. 식 (10)의 Tr 은 각 고정 노드의 최대 전송 범위를 의미한다.

$$B_1(x, y) = A_1(x, y) + (d_1/\sqrt{2}, d_1/\sqrt{2}) \quad (7)$$

$$B_3(x, y) = A_1(x, y) + (d_1, 0) \quad (8)$$

$$(x - A_1(x))^2 + (y - A_1(y))^2 = d_1^2 \quad (9)$$

$$(x - A_3(x))^2 + (y - A_3(y))^2 = Tr^2 \quad (10)$$

수식을 간단하게 하기 위하여 $A_1(x, y)$ 의 좌표를 (0,0)이라 가정하면, $A_3(x, y)$ 의 좌표는 A_1 과 네트워크 범위 N_r 을 이용하여 (0, N_r)이 되므로 식 (9)와 (10)은 식 (11), (12)로 변경되고 B_2 의 좌표는 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$x^2 + y^2 = d_1^2 \quad (11)$$

$$x^2 + (y - N_r)^2 = Tr^2 \quad (12)$$

$$B_2(x, y) = (\pm \sqrt{d_1^2 - R^2}, R) \quad (13)$$

여기서 $R = \frac{N_r^2 + d_1^2 - Tr^2}{2N_r}, 0 \leq B_2(x, y) \leq N_r$

최종적인 추정 구역의 설정과 설정된 추정 구역의 상·하측 경계점의 좌표가 계산되면 사용자 노드의 추정 위치(\hat{U})는 식 (15)와 같이 양쪽 경계점의 중점으로 계산된다. 그러나 양쪽 경계점의 중점으로 사용자 노드의 위치를 계산하면 연산은 간단하지만 사용자 노드의 실제 위치가 특정 경계점에 근접해 있어도 항상 추정 구역 내의 중점으로 수렴하는 현상이 나타난다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 가중치를 설계하였다. 가중치 설계 원리에 대한 내용은 3절에서 언급한다.

기준 노드나 인접 노드의 방향성이 다른 경우에도 경계점 좌표 계산에 관한 기본 식은 같고 x, y 좌표 축 변환 또는 +, - 연산의 차이만 있으므로 본 논문에서는 생략하였다.

$$\hat{U}(x, y) = (B_H(x, y) + B_L(x, y))/2 \quad (15)$$

3. 가중치 설계 원리

사용자 노드의 중점 수렴 현상을 방지하기 위한 가중치는 추정 구역의 양쪽 경계점과 인접 노드 중에서 신호 세기가 가장 큰 인접 노드를 이용하여 설계하였다. 상대적으로 거리가 가까운 인접 노드와 상측 경계점 사이의 거리를 d_{BH} , 하측 경계점 사이의 거리를 d_{BL} 이라 정의하면 그림 11과 같이 사용자 노드가 상측 경계점으로 다가갈수록 인접 노드와의 거리(d_2)는 d_{BH} 와 같아지고 반대로 하측 경계점에 다가갈수록 d_{BL} 과 같아진다.

식 (16)으로 표현되는 d_2 의 범위를 이용하여 식 (17)과 같이 가중치를 설계하면 가중치 값은 사용자 노드가 상측 경계점에 가까울수록 1에 가까워지고 하측 경계점에 근접할수록 0으로 수렴하므로 이를 이용하여 사용자 노드가 어느 경계점 근처에 있는지를 판단 할 수 있다.

설계된 가중치를 위의 사용자 노드 좌표 계산 식 (15)에 대입하면 SRS 알고리즘을 위한 최종적인 사용자 노드의 좌표는 식 (18)과 같이 된다.

$$d_{BL} \leq d_2 \leq d_{BH} \quad (16)$$

$$W = \frac{d_2 - d_{BL}}{d_{BH} - d_{BL}}, 0 \leq W \leq 1 \quad (17)$$

$$\hat{U}(x, y) = W \cdot B_H(x, y) + (1 - W) \cdot B_L(x, y) \quad (18)$$

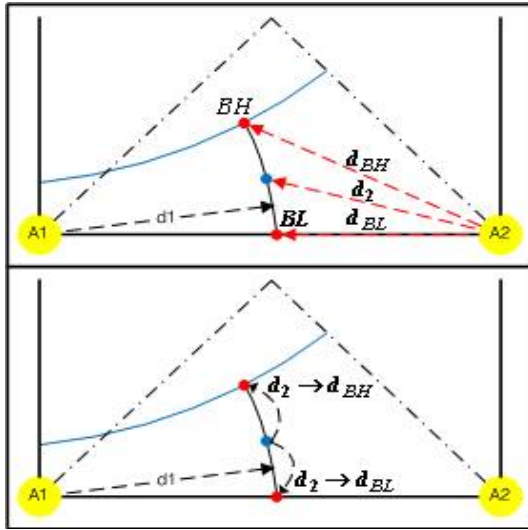


그림 11. 가중치 설정의 예
Fig. 11. Example of weight assignment.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 SRS 알고리즘과 기존의 WCL 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위하여 자유 공간을 가정하고 아래 표 2에 정의된 환경으로 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 조건에서 실험 1은 사용자 노드를 3m 간격으로 실험 2는 1m 간격으로 등간격, 격자 배치시켰다. 측위 오차(E_i)와 평균 측위 오차(E_{mean})는 각각 식 (19)와 식 (20)과 같다.

$$E_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (19)$$

$$E_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (20)$$

여기서 $U_i(x, y)$ 는 i 번째 사용자 노드의 실제 위치 좌표를 의미하고 $\hat{U}_i(x, y)$ 는 측위 알고리즘으로 계산된 좌표이며, N 은 총 사용자 노드 수이다.

실험 1의 환경으로 수행한 WCL 알고리즘과 SRS

표 2. 모의 실험 환경
Table 2. Simulation environment.

실험 환경	실험 1	실험 2
네트워크 범위	43m x 43m	43m x 43m
고정 노드 수	4	4
고정 노드의 최대 전송 범위	41.28m (96%)	41.28m (96%)
사용자 노드 수	225(3m 간격)	1936(1m 간격)

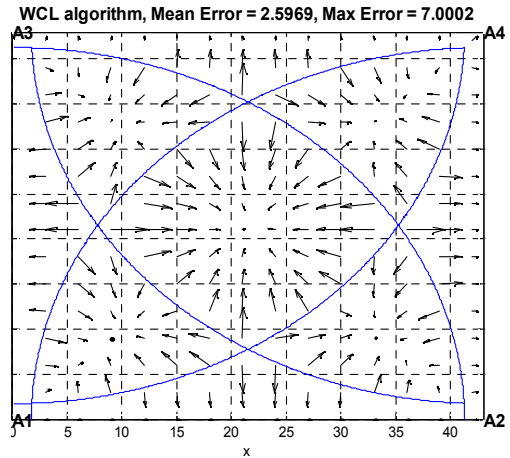


그림 12. 자유 공간에서의 WCL 알고리즘 실험 1 결과 (평균 오차 = 2.5969m, 최대 오차 = 7.0002m)
Fig. 12. WCL simulation #1 result in free space. (Mean error = 2.5989m, Max error = 7.0002m)

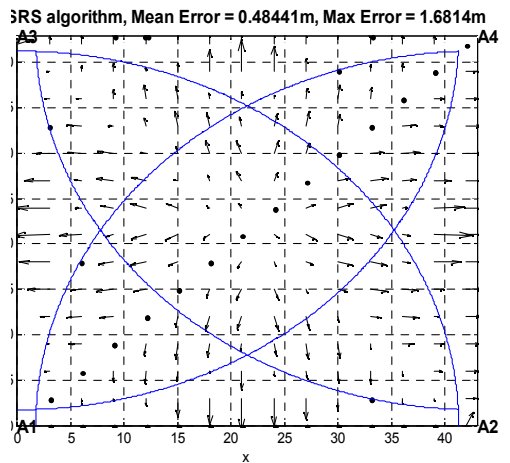


그림 13. 자유 공간에서의 SRS 알고리즘 실험 1 결과 (평균 오차 = 0.48441m, 최대 오차 = 1.68140m)
Fig. 13. SRS simulation #1 result in free space. (Mean error = 0.48441m, Max error = 1.68140m)

알고리즘의 시뮬레이션 성능분석 결과를 각각 그림 12와 그림 13에 보이고 있다. 실험 1의 결과를 비교 분석하면 WCL 알고리즘의 평균 오차는 2.60m(6.04%)이고 SRS 알고리즘의 평균 오차는 0.48m(1.11%)로 5배 이상 감소한 것을 확인할 수 있다. 최대 오차도 WCL 알고리즘은 7.00m(16.28%)인데 비해 SRS 알고리즘은 1.68m(3.91%)로 4배 이상 감소하였다.

그림 14는 실험 2의 환경으로 수행한 SRS 알고리즘의 시뮬레이션 결과이다. 실험 1과 유사한 결과가 나오는 것을 확인할 수 있으며, 그림 2와 비교하면 음영지역의 영향으로 고정 노드의 전송 범위 외곽지역에서

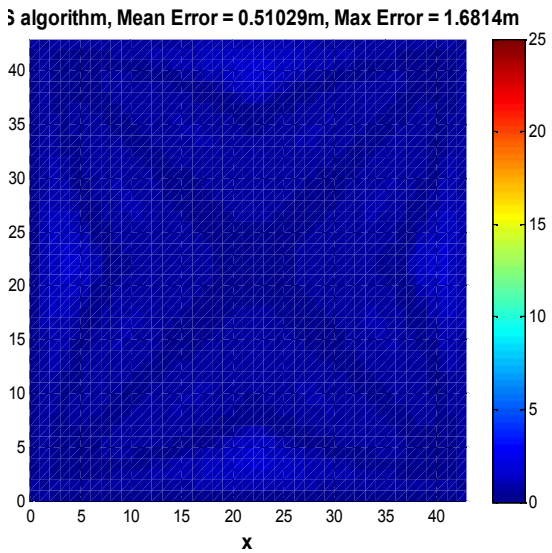


그림 14. 자유 공간에서의 SRS 알고리즘 실험 2 결과
(평균 오차 = 0.51029m, 최대 오차 = 1.68140m)
Fig. 14. Simulation result for experiment 2 of SRS algorithm in free space.
(Mean error = 0.51029m, Max error = 1.68140m)

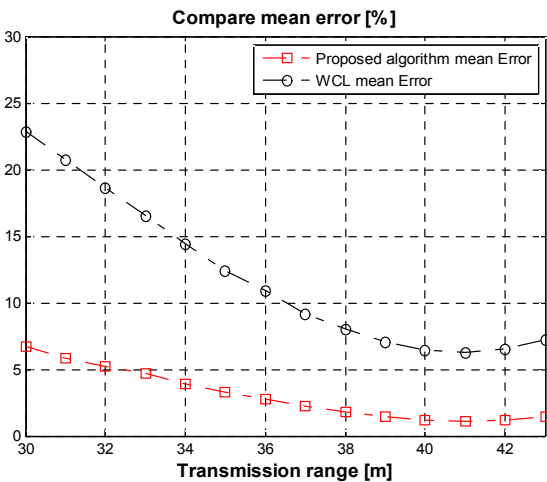


그림 15. 고정노드의 최대 전송 범위에 따른 WCL과 SRS의 평균 측위오차 비교
Fig. 15. Mean localization error of WCL and SRS according to the maximum transmission range.

발생하는 WCL 알고리즘의 최대 오차 문제도 SRS 알고리즘에서는 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

그림 15는 WCL 알고리즘의 다른 문제점이었던 가변적 전송 범위에 의한 성능 저하 현상을 비교하기 위하여 고정 노드의 최대 전송 범위를 30m에서 43m로 변화시키면서 수행한 시뮬레이션 결과이다. 결과를 비교하면 최대 전송 범위 변화에 따라서 최고와 최저의 성능 편차가 17% 차이가 났던 WCL 알고리즘에 비해

SRS 알고리즘은 1% ~ 7%로 편차 폭이 작은 것을 확인할 수 있다. 특히, SRS 알고리즘의 최저 성능과 WCL 알고리즘의 최고 성능이 비슷한 결과를 보여서 전력 소모가 제한된 환경에서도 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 실내 측위를 위한 새로운 알고리즘으로서 고정노드로부터의 수신전력 크기 비교 및 전파수신 여부 등을 이용하여 순차적으로 위치 추정구역을 축소화하는 방식을 제안하였다. 추정구역 축소 방식을 사용하여 기존의 중점 지향 방식에서 제기되었던 문제점들을 해결할 수 있음을 확인하였고, 이로 인해 실제 다양한 실내 환경에 적용이 가능하리라 기대된다. 본 알고리즘은 거리에 대한 지표로 수신 신호 세기를 사용하였는데 실제 환경에서는 수신신호 세기가 랜덤분포 특성을 따르기 때문에 신뢰도가 떨어진다. 향후 연구에서는 실제 환경에서 왜곡되는 수신 신호 세기를 보상하는 기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] G. Mao and B. Fidan, "Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks," Information Science Reference, pp.257-258, 2009.
- [2] J. Blumenthal, et al., "Weighted centroid localization in Zigbee-based sensor networks," IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP 2007), pp.1-6, 2007.
- [3] R. Behnke, D. Timmermann, "AWCL: Adaptive Weighted Centroid Localization as an Efficient Improvement of Coarse Grained Localization", Proceedings of the 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, pp.243-250, 2008.
- [4] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices," IEEE Personal Communications Magazine, 7, 5, pp. 28-34, October 2000.
- [5] 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.
- [6] G. Mao and B. Fidan, Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks:

Information Science Reference, p.136, 2009.

[7] G. P. Yost, S. Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival (ToA) from timing advance (TA)," ICUPC 98, Vol 2, pp. 1367-1372, Florence, Italy, October 1998.

[8] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward and P. Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," Mobile Computing and Networking, pp. 59-68, 1999

[9] L. Zhu, J. Zhy, "A New model and Its Performance for TDOA Estimation," VTS2001, Vol 4, pp. 2750-2753, Mariana Del Rey, Ca, USA, October. 2001.

[10] 김동혁, 송승현, 박경순, 성태경, "TDOA 측정치를 이용한 가중치 추정방식의 QCLS 측위 방법," 전자공학회논문지-SC, pp. 236-242, July 2007.

[11] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc Positioning System (APS) using AOA," INFOCOM 2003, pp. 1734-1743, Hayatt Regency, CA, USA, March 2003.

[12] Chuan-Chin Pu, Wan-Young Chung, "An Integrated Approach for Position Estimation using RSSI in Wireless Sensor Network," Journal of Ubiquitous Convergence Technology, Vol 2, No. 2, pp. 78-87, November 2008.

[13] J. Blumenthal, F. Reichenbach and D. Timmermann, "Position Estimation in Ad hoc Wireless Sensor Networks with Low Complexity," Joint 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication and 1st Ultra-Wideband Expert Talk, pp. 41-49, March 2005.

[14] S. Pandey, F. Anjum, B. Kim and P. Agrawal, "A low-cost robust localization scheme for WLAN," Proceedings of the 2nd Int.'l Workshop on Wireless Internet, 2006.

[15] D. Niculescu and B. Nath, "DV Based Positioning in Ad hoc Networks," IEEE Telecommunication Systems Vol 1. pp. 267-280, 2003.

[16] R. Nagpal, "Organizing a global coordinate system from local information on an amorphous computer," Technical Report AI Memo No. 1666, MIT A.I. Laboratory, 1999.

[17] T. He et al., "Range-free localization and its impact on large scale sensor networks," Transactions on Embedded Computing Systems, 4, 4, pp. 877-906, 2005.

[18] E. Elnahrawy, X. Li and R. P. Martin, "Using Area-Based Presentations and Metrics for Localization Systems in Wireless LANs." IEEE

International Conference on Local Computer Networks (LCN'04), Washington, USA, 2004.

[19] C.A Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," John Wiley & Son, pp. 94-96, 2005.

[20] D. Ganesan, B. Krishnamachari, A. Woo, D. Culler, D. Estrin and S. Wicker, "Complex Behavior at Scale: An Experimental Study of Low-Power Wireless Sensor Networks," Technical Report CSD-TR 02-0013, UCLA, February, 2002.

— 저 자 소 개 —



한 준 상(학생회원)
 2011년 한국외국어대학교 정보통신공학과 학사 졸업.
 2011년~현재 한국외국어대학교 정보통신공학과 석사과정.
 <주관심분야 : Binary CDMA, 측위, WPAN>



김 명 진(정회원)-교신저자
 1982년 서울대학교 제어계측공학과 (학사)
 1984년 서울대학교 제어계측공학과 (석사)
 1992년 University of Minnesota 전기공학과 (박사)
 <주관심분야 : 이동통신, WPAN, 통신신호처리>