

센서 네트워크에서 다중 파워 비콘신호의 SCORE 이용한 위치추정 알고리즘*

안홍범[○] 이평재 홍진표

한국외국어대학교 정보통신공학과

mythopoeic@hufs.ac.kr, whitewrym@hufs.ac.kr, jphong@hufs.ac.kr

An Algorithm of Localization by using the Score of Multiple Power Beacon Signals in Wireless Sensor Networks

Hongbeom Ahn[○] Pyeongjae Lee Jinpyo Hong

The Departure of Information and Communications of Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

요 약

무선 센서 네트워크에서 LBS(Location Based Services)에 적합한 기술적인 요구사항이 증가하고 있다. 최근 LBS의 가장 기본이 되는 위치추정(Localization)에 관련하여 많은 알고리즘이 제안되고 있지만 센서 네트워크를 위한 요구사항을 만족하지 못하고 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 5가지 주된 위치추정방식의 요구사항을 정의하고, 이를 만족하는 SCORE 알고리즘을 제안한다. 고정노드는 다중 파워의 비콘신호를 전송하게 되며, 이때 고정노드는 센서노드에게 위치정보를 비콘신호에 담아서 전송하게 되는데 이때 다중 비콘신호에 신호 순서에 해당하는 SCORE라고 고정노드로부터 센서노드까지의 거리에 대한 값을 포함하여서 전송하게 된다. 여러 고정노드로부터 수신한 위치정보를 수집한 센서노드는 간단한 연산과정을 거쳐 자신의 위치를 분산적으로 추정하게 된다. CAB 위치추정 알고리즘의 2가지 알고리즘을 동시에 사용하는 복잡성 문제와 Diffusion 알고리즘의 네트워크 외곽에서 발생하는 큰 위치추정 오류의 문제점을 SCORE 알고리즘에서는 해결하였다. 시뮬레이션 결과 SCORE 알고리즘은 독립적인 알고리즘 사용임에도 불구하고 CAB 위치추정 알고리즘과 비슷한 성능을 나타내었으며, Diffusion 알고리즘에서 발생한 네트워크 외곽 센서노드들의 오류를 평균 7% 이상 향상 시켰다.

1. 서 론

최근 센서 네트워크에서 화두가 되고 있는 가장 큰 핵심 키워드는 LBS(Location Based Services)이다. 휴대폰 기지국이나 위성항법장치(GPS)와 연결하여 위치추적 하는 서비스로 위치를 통한 부가적인 서비스 창출이 가능하다. 이런 LBS 기술의 발전과 더불어 가장 중요한 핵심 기술인 위치추정(Localization)의 중요성 또한 더욱 커지고 있다. 특히, 실내위치추정은 GPS로는 실내에서 전파를 수신이 불가능하거나 고층빌딩이 밀집되어 있는 도시부에서는 GPS를 원활하게 이용하기 어렵기 때문에 센서 네트워크를 이용한 위치추정 알고리즘이 필요한 실정이다.

일반적으로 센서 네트워크에서의 위치추정은 GPS를 장착한 고정노드(Anchor Node)에 의해서 이루어진다. 고정노드는 일반적으로 GPS를 통해서 자신의 위치를 주기적으로 최신화 한다. 자신의 위치정보가 담긴 비콘신호를 발생시키면 자신의 위치를 알고자 하는 노드가 고정노드로부터의 신호를 수집하고 이를 토대로 자신의 위치를 위치추정하는 방식을 취한다.

위치추정 기술은 크게 거리기반 위치추정 방식(range-based localization)와 거리독립 위치추정 방식(range-free localization)으로 나뉘어진다[1]. 거리기반 위치추정 방식은 거리를 측정하여 삼각법에 의하여 위치를 측정한다. 이는 거리나 각도를 정밀하게 측정하기 위한 추가적인 하드웨어 장비를 필요로 한다. 거리독립 위치추정 방식은 거리를 기반으로 하는 것이 아니라 고정노드로부터 받은 정보를 바탕으로 자신의 위치가 어느 셀 안에 존재하는가를 판단하는 방식이다. 이는 거리기반 위치추정 방식과는 다르게 추가적인 하드웨어 장비를 요구하지 않는다. 하지만 거리기반 위치추정 방식 비해서 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

또한, 본 논문에서는 다음과 같은 센서네트워크에서의 중요한 위치추정 요구사항을 정의한다.

(R1) 고정노드가 존재한다.

(R2) 위치추정을 요청하는 센서노드는 최소 고정노드 하나와 통신이 가능하다.

(R3) 연결 및 간단한 위치정보가 고정노드와 센서노드로 전송이 되어야 하는 거리독립 위치추정 방식을 따른다.

(R4) 위치추정 알고리즘은 독립적으로 사용되어지며,

* 본 논문(저서)은 지식경제부(MKE) 산업원천기술개발사업 (과제번호, 10033347)에서 지원된 연구임

다른 추가적인 알고리즘과 동시에 사용되지 않는다. (R5) 네트워크의 외곽에 있는 노드들의 위치추정 오류를 보정해주어야 한다.

위의 열거한 요구사항을 만족하면 얻을 수 있는 이득은, 먼저, (R1)과 (R2)의 조건으로 위치추정 알고리즘의 정확도를 높이도록 하며, (R3)를 통해 각 센서노드는 에너지 효율과 각 단말의 요구의 최소화를 가져올 수 있다. (R4)를 통해서는 각 센서노드가 복잡한 계산이 아닌 간단한 알고리즘 수행으로 빠른 응답과 네트워크 생존 기간을 늘릴 수 있다. 또한, (R5)을 통해서 외곽에 존재하는 센서노드들의 오류를 보정하므로 전체적인 위치추정의 공평함을 보장한다.

기존의 위치추정 연구 중에서 ROCRSSI[2]과 CAB[3]은 ring overlapping을 이용한 거리독립 위치추정 방식이다. 효율적인 거리독립 위치추정 방식임에도 불구하고, (R4)의 요구사항을 만족하지 못하며, Diffusion[4,5]은 centroid 알고리즘을 반복수행하므로 네트워크의 외곽에 큰 위치 추정 오류가 발생한다. 곧, (R5)의 요구사항에 대해서는 만족하지 못한다. 본 논문은 위의 열거한 5가지의 요구사항을 만족하는 위치추정 알고리즘인 SCORE 알고리즘을 제안한다. 고정노드는 다수의 비콘 신호를 전송하며 해당 비콘 신호에 SCORE를 포함하여서 전송한다. 다수의 고정노드로부터 SCORE 정보를 받은 센서노드는 이 정보를 취합하여서 자신의 위치를 분산적으로 계산하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 위치 추정에 사용되진 Diffusion과 CAB 알고리즘에 대한 간단한 설명을 하고, 3장에서는 SCORE 알고리즘의 동작 과정에 서술하도록 하겠다 4장에서는 알고리즘의 동작 결과를 통해서 해당 알고리즘의 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺도록 한다.

2. 관련 연구

2.1 Concentric Anchor Beacon

CAB은 위치추정 알고리즘의 분류 중 하나인 Ring Overlapping을 사용하는 방식 중의 하나이다. CAB은 일반적으로 각 고정노드가 다중 신호 세기 비콘을 만들어 고정노드를 기준으로 반지름이 서로 다른 동심원을 만들어낸다.

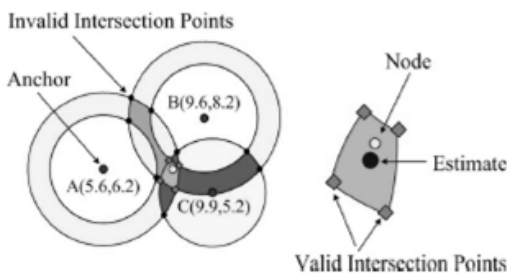


그림 1 CAB 알고리즘의 위치추정 방식

이를 기반으로 센서노드는 다수의 고정노드로부터 비콘 신호에 담긴 위치 정보를 수집한 후 grid-scan 알고리즘[6]을 이용하여서 유효한 교차점을 구한 후 해당 교차점의 평균 값으로 자신의 위치를 분산적으로 위치를 추정하도록 한다. CAB 알고리즘은 ring overlapping의 대표적인 방식으로 좋은 성능을 보이나, grid-scan 알고리즘을 추가적으로 사용한다. 그러므로, 서론에 제시하였던 (R4)의 요구사항을 만족하지 않는다. 알고리즘을 2가지를 병행하여서 사용하게 되면, 분산적으로 위치추정하는 알고리즘에서는 각 센서노드의 계산으로 인한 과부하 및 위치추정 계산 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

2.2 Diffusion

Diffusion은 기본적으로 자신의 위치를 알고 있는 고정노드를 사용하는 기술로 거리독립 위치추정 방식 중 하나이다. Diffusion에서 센서노드의 위치는 최초로 센서 네트워크 내에서 랜덤한 위치와 같이 설정된다. 각각의 노드(센서노드 또는 고정노드)는 자신의 위치 정보를 이웃 노드와 교환한다. 교환된 정보를 centroid 방식을 사용하여 자신의 정확한 위치를 추정한다. 이 절차를 몇 차례를 반복하여 결국 각 노드가 더 이상 추정치가 정확해질 수 없는 상태로 통합된다.

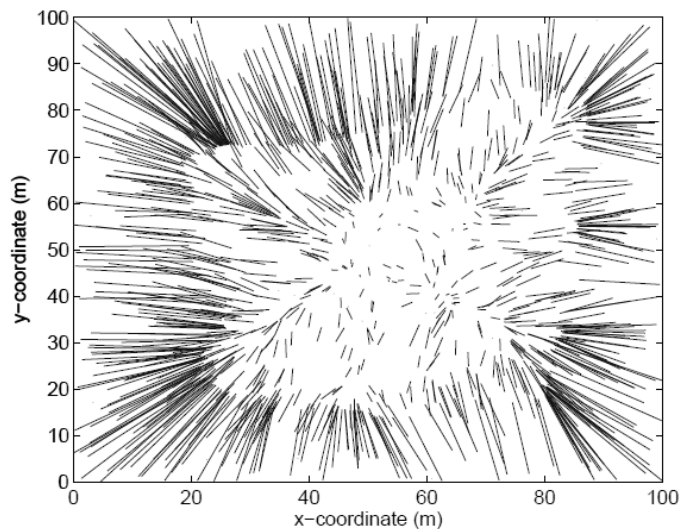


그림 2 Diffusion 알고리즘 수행 결과

기본적으로 Diffusion은 (R1), (R2), (R3), (R4)의 요구조건을 만족하지만, 그림 2의 Diffusion 알고리즘을 수행한 결과를 살펴보면 외곽의 노드의 측정된 위치가 중앙으로 모이는 모습이 볼 수 있다. 이는 외곽 노드의 위치추정 오차가 상당히 커지는데 (R5)의 요구사항을 만족하지 않는다. Diffusion 뿐만 아니라 기존의 많은 위치추정 알고리즘에서 (R5)의 요구사항을 만족하지 못한다.

3. SCORE 알고리즘

3. 1 가정

본 장에서는 SCORE 알고리즘을 위한 네트워크 구성에 대해서 다음과 같이 하도록 한다.

- 1) 고정노드는 정사각형의 각 모서리에 위치하도록 한다. 이는 고정노드의 수가 4개라는 것을 의미한다.
- 2) 고정노드는 GPS와 같은 자신의 위치를 독립적으로 알 수 있는 장비와 연결되어 있다.
- 3) 다수의 센서노드는 네트워크 범위 안에 존재하게 되며, 랜덤하게 분포한다.

3. 1 SCORE 알고리즘을 위한 표현 방법 및 위치 정보

SCORE 알고리즘을 표현하기 위하여 본 논문에서는 와 같은 표현을 사용하도록 한다.

표 1 알고리즘을 위한 표현 방법

약어	이름	정의
B	고정노드	자신의 위치를 알고 있는 고정노드 (i 번째 고정노드)
i	고정노드의 수	전체 고정 노드의 수 ($i = 4$)
S	서비스 요청 노드	자신의 위치를 알고자 하는 센서노드
$n(B)$	다중 신호의 SCORE	B에서 발생하는 다중 신호의 SCORE (예: 1(B), 2(B), 3(B))
$M(B)$	최대 다중 신호 개수	고정노드에서 발생하는 최대 다중 신호의 개수
T	비콘 전송 주기	각 고정노드가 위치정보를 전송하는 주기 (시간)
PI	위치정보	표 2 참고

본 논문에서는 각 B 는 다음과 같은 형태의 위치 정보를 S 에게 전송하도록 한다. 이는 (R3)를 만족하도록 설계 되었다.

표 2 B에서 S에게 전송하는 위치 정보(PI)

B의 번호 (NB)	B의 위치 (PB)	해당 신호의 SCORE (SC)	최대 신호 세기 (MP)
i	(x,y)	$n(B)$	$M(B)$

3. 2 알고리즘 동작 과정

SCORE 알고리즘은 고정노드의 동작 과정과 센서 노드의 동작 과정 크게 2가지로 나누어서 설명하도록 하겠다.

3. 2. 1 고정노드의 동작 과정

- 1) 정사각형의 모서리에 i 개의 B 를 위치하도록 한

다.(여기서는 가정에 의해서 $i = 4$ 이다)

- 2) 각 B 는 자신으로부터 최대 신호 세기인 MP 의 거리에 맞추어 첫 번째 위치 정보 신호(표 2)를 전송한다. (전송 순서는 가장 큰 신호부터 작은 신호의 순서로 수행이 된다.)
- 3) 각 B 는 M 개의 신호를 순차적으로 전송하면서 해당 비콘 신호의 SCORE ($n(B)$) 값을 변화시키면서 전송하도록 한다. (SCORE는 시간적으로 먼저 전송한 비콘부터 1씩 증가하도록 한다. 고정노드에 가까울수록 더 높은 SCORE가 부여된다.)
- 4) 고정노드는 해당 주기를 가지면서 위치 정보를 전송하는데, 전체 주기는 $i \times B \times T$ 이다.

3. 2. 2 센서노드의 동작 과정

- 1) S 는 위치추정을 위해서 다수의 B 로부터 위치 정보를 얻는다
- 2) 자신의 메모리에 위치정보를 저장 한 후에 처음 위치추정이 시작 한 후 $i \times B \times T$ 시간 후에 자신의 위치를 계산한다.
- 3) 최종적으로 계산을 수행 할 때 S 는 각 i 번째 B 로부터 받은 다수의 신호 중에서 가장 작은 값을 유효한 위치정보로 인식한다.
- 4) S 는 i 개의 유효한 위치정보를 가지고, 각 유효 정보의 B 의 위치 값에 SCORE를 곱한 후 SCORE를 총합을 나누어서 자신의 위치를 측정하도록 한다.(표 3의 알고리즘을 참고)

S 의 동작과정은 표 3의 알고리즘 Pseudo Code로 나타내었다.

표 3 S의 동작 Psuedo Code

```
# An algorithm of SCORE at the sensor node side
# Find the position of a S, during the time,  $i * B * T$ .

for j = 0 ; j < i ; j++ {
    for k=0 ; k < M ; k++ {
        valid_PI[j] = min(PI.SC[j][k]);
    }
    upper = valid_PI[j].NB * valid_PI[j].SC
    lower = valid_PI[j].SC
}
position_S = upper/lower;
```

최종적으로 $position_S$ 를 구하므로 각 S 의 위치를 계산한다.

4. 성능 평가

4. 1 시뮬레이션 환경

본 장에서는 SCORE 알고리즘을 시뮬레이션 한 결과에 대해서 분석하며, 알고리즘의 타당성에 대해서 논의

하도록 하겠다.

기본적으로 시뮬레이션 환경은 다음 표 4을 기반으로 수행하였다.

표 4 시뮬레이션 환경

파라미터	값	비고
S의 개수	225	등방형 배치
네트워크 범위	100 * 100(m)	정사각형 배치
i	4	
M	2	

4.2 시뮬레이션 결과

그림 3은 SCORE 알고리즘과 CAB 알고리즘 시뮬레이션 결과를 도식화하였다. 그림에서 ⊙은 CAB을 수행하였을 때의 위치추정 되는 위치이며, ○은 SCORE 알고리즘을 수행하였을 때의 위치추정 되는 위치를 의미한다. 기본적으로 CAB과 SCORE 알고리즘은 그림과 같이 교차영역에 있는 모든 S가 한 개의 점으로 위치추정이 되는 특징을 가지고 있다.

그림 3그림 3에서 나타나는 바와 같이 한 개의 독립적인 알고리즘을 사용한 제안한 알고리즘에서 비슷한 성능을 나타낼 수 있다.

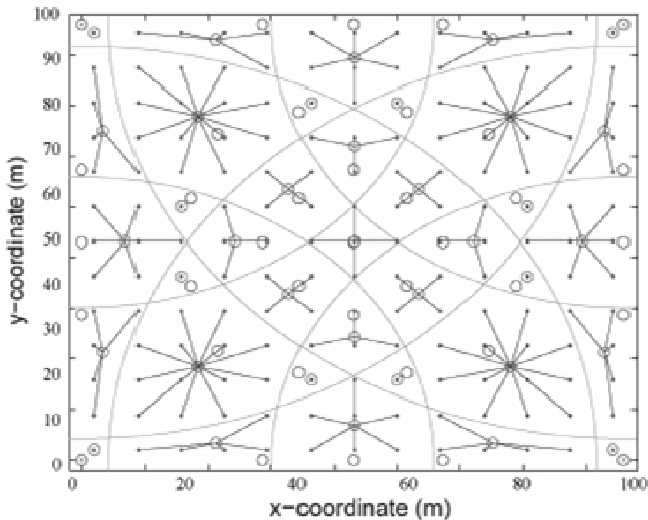


그림 3 제안하는 알고리즘의 시뮬레이션 결과

정교한 분석을 위하여 2번째의 파워 비콘신호의 위치를 변화하면서 CAB과 비교하였다. 이는 교차영역이 제안한 알고리즘의 미치는 영향을 알아보기 위함이다. 그림 4은 2번째 전송 신호 세기를 변화하였을 때 생기는 성능의 차이를 도식화 하였다. 결과는 65%의 경우 SCORE 알고리즘과 CAB 방식의 위치추정 오류가 거의 비슷하게 측정 됨을 알 수 있다. 결국 교차영역의 분포가 SCORE 알고리즘에 영향을 미치는 다는 것을 알 수 있다. 나머지의 경우에는 교차점의 중점을 정확하게 구하는 CAB 방식에는 따라 갈 수 없었다. 하지만 결론적

으로 (R4)의 요구사항을 만족하게 된다.

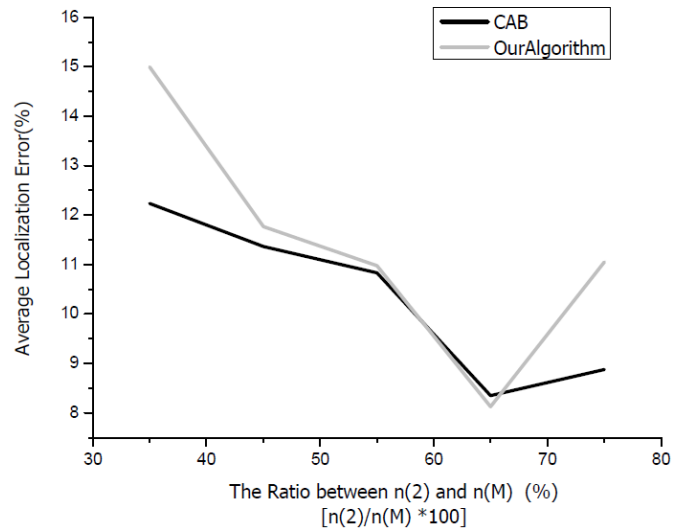


그림 4 CAB과 SCORE 알고리즘의 성능 분석

다음은 Diffusion 방식과 SCORE 알고리즘 성능 분석을 위하여서 네트워크의 외곽에 위치한 센서노드(58개)를 선별하여서 다음 그림 5에 도식화 하였다.

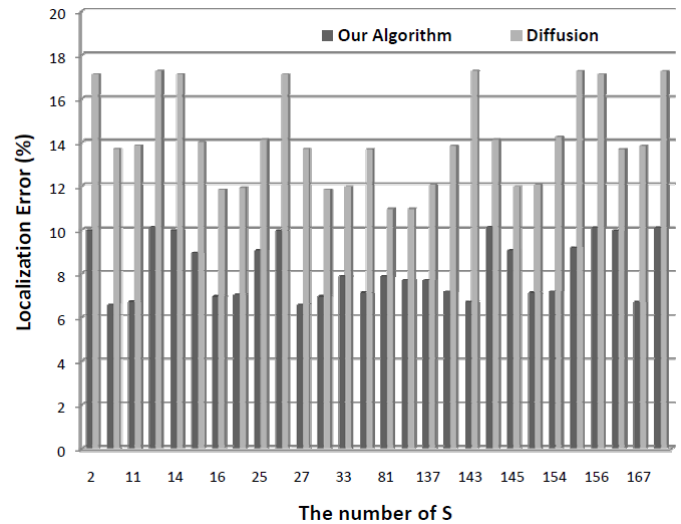


그림 5 제안한 알고리즘과 Diffusion의 성능 분석

그림 2에서 보는 바와 같이 기존의 centroid 위치추정 방식을 주된 알고리즘으로 사용하는 Diffusion은 네트워크의 외곽의 에러가 굉장히 큰 평균 15%의 위치추정 오류를 보였으며, 제안한 알고리즘의 네트워크의 외곽의 에러는 평균 8%의 7% 정도의 외곽에서의 효율을 보였다. 이는 결론적으로 제안한 알고리즘이 (R5)의 요구사항을 만족함을 보이고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 거리독립 위치추정 방식을 따르며, 서술에 제안한 5가지 요구사항을 만족하는 위치추정 알고리

증을 제안한다. 5가지의 요구사항을 만족하는 본 알고리즘은 기본적으로 간단한 위치정보(PI)를 전송하므로 에너지 효율성의 이득을 가지며, 비교적 간단한 수행과정과 계산으로도 비교적 정교한 위치추정을 할 수 있다는 점이 큰 특징이다. 기존의 연구했던 Diffusion 방식 네트워크 외곽에서의 높은 위치추정 에러를 보정하기 위해서 비콘신호를 여러 개의 파워로 전송하도록 하고, CAB의 추가적인 알고리즘을 사용한다는 단점을 극복하기 위해서 해당되는 다중 신호에 SCORE를 부여하였다.

시뮬레이션 결과 Diffusion 방식과 비교하였을 때 네트워크 외곽에서 7% 정도의 위치추정 오류 향상을 보였으며, CAB 방식과는 2번째 비콘신호의 파워세기에 따라 다른 결과를 보였으나, 비슷한 위치추정 결과를 보였다.

향후 연구 과제로는 교차영역이 위치추정은 미치는 영향을 분석, 보다 정교한 교차영역 분포 위한 알고리즘 개발 및 이동하는 고정노드에서의 위치추정 알고리즘 개발을 연구하는 것이 될 것이다.

참고문헌

- [1] T. He, Chengdu Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks", in Proc. of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking, San Diego, CA, USA, 2003.
- [2] C. Liu, K. Wu and T. He, "Sensor localization with ring overlapping based on comparison of received signal strength indicator," in IEEE Mobile Ad-hoc and Sensor Systems(MASS), Oct. 2004.
- [3] V. Vivekanandan and V.W. S.Wong, "Concentric anchor-beacons (CAB) localization for wireless sensor networks", in Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC), Istanbul, Turkey, June 2006.
- [4] G. Mao and B. Fidan, "Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks," Information Science Reference, 2009, p. 314.
- [5] N. Bulusu, V. Bychkovskiy, D. Estrin, and J. Heidemann, "Scalable ad hoc deployable rf-based localization," in Grace Hopper Celebration of Women in Computing Conference, Vancouver, Canada, October 2002.
- [6] Z. Yan, Y. Chang, Z. Shen, Y. Zhang, "A Grid-Scan localization Algorithm for Wireless Sensor Network," Communications and Mobile Computing, Vol.2, pp.142-146, Jan. 2009.