

WPAN에서 최대 측정거리 값을 이용한 이동객체 위치추정 보정 알고리즘

최창용*, 이동명^o

Localization Algorithm for Moving Objects Based on Maximum Measurement Value in WPAN

Chang Yong Choi*, Dong Myung Lee^o

요 약

최근, 스마트폰의 GPS (Global Positioning System) 및 Wi-Fi를 이용한 위치기반서비스 (Location Based Services : LBS)에 대한 관심과 수요가 국내외에서 증가하고 있다. 위치추정 실험결과, WPAN (Wireless Personal Area Network)에서 실내 위치추정의 경우 고정노드와 이동노드간의 거리 측정 시 빈번하게 많은 오차 값이 발생함을 확인하였다. 본 논문에서는 최대 측정거리 값을 이용하여 이동객체의 위치추정 성능을 향상시킬 수 있는 위치추정 보정 알고리즘 (LCA_{MMV})을 제안하고, 이동노드가 이동하는 상황을 3가지 시나리오로 구성하여 실험을 통해 성능을 분석하였다. 성능분석 결과, 제안한 알고리즘의 평균 위치추정 정확도는 SDS-TWR (Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging)과 삼변측량법 보다 시나리오 1-3에서 각각 40.9cm, 77.6cm, 6.3cm 더 정확하게 측정됨을 확인하였다.

Key Words : LBS, Localization, Moving Object, WPAN, Compensation

ABSTRACT

Concerns and demands for the Location Based Services (LBS) using Global Positioning System (GPS) and Wi-Fi are largely increased in the world in the present. In some experimental results, it was noted that many errors are frequently occurred when the distances between an anchor node and a mobile node are measured in indoor localization environment of Wireless Personal Area Network (WPAN). In this paper, localization compensation algorithm based on maximum measurement value (LCA_{MMV}) for moving objects in WPAN is proposed, and the performance of the algorithm is analyzed by experiments on three scenarios for movement of mobile nodes. From the experiments, it was confirmed that the average localization accuracy of suggested algorithm was more increased than Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR) and triangulation as average 40.9cm, 77.6cm and 6.3cm, respectively on scenario 1-3.

I. 서 론

21세기 정보통신 분야의 가장 위대한 업적은 무엇

보다도 이동통신 및 무선통신 기술이라고 해도 과언은 아닐 것이다. 이러한 정보통신 기술의 기반에서 스마트폰의 눈부신 발전과 보급은 인간의 생활패턴을

* 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0138746)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

• First Author : Mobile Technology Lab., Tongmyong University, bigboycg@nate.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University, dmlee@tu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-11-499, Received November 18, 2013; Revised February 10, 2014; Accepted May 15, 2014

상상 할 수 없을 정도로 바꾸어 놓았다. 최근 GPS (Global Positioning System) 또는 Wi-Fi 환경에서 스마트폰을 사용한 위치정보 추정 기술에 대한 관심이 커지고 있다. GPS를 이용한 차량용 내비게이션, 최근에는 GPS와 Wi-Fi를 복합적으로 사용하는 Skyhook 서비스 등에서 볼 수 있듯이 Wi-Fi기술을 적용한 실내 위치인식 기술개발을 통해 쇼핑, 소셜 네트워킹, 보안 등의 다양한 분야에 적용 가능한 서비스에 대한 수요도 증가하기 시작하였다. 또한 국내의 경우, Wi-Fi기반의 RTT (Round Trip Time) 표준화 작업이 진행 중에 있어 위치정보 추정 기술의 서비스 제공은 매우 현실화 될 가능성이 높아지고 있다^{1,2}.

일반적으로 위치추정 실험결과에 의하면, 고정노드 (Anchor Node)와 이동노드 (Mobile Node)간의 거리 측정 시 많은 오차 값이 발생하며, 위치추정 오차의 대부분은 고정노드와 이동노드간의 실제거리보다 크게 나오는 경향이 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 표준인 CSS (Chirp Spread Spectrum) 방식의 SDS-TWR (Symmetric Double Sided Two-Way Ranging)을 이용해 고정노드와 이동노드간의 거리를 측정하고, 다수개의 고정노드와 이동노드간에 측정된 거리를 실제 거리의 합의 최댓값과 같게 보정하는 이동객체 위치추정 보정 알고리즘을 제안하고 실제 이동하는 환경에서 실험 및 성능을 분석하였다.

II. 관련연구

이동하는 객체의 위치를 추정기법에는 파티클 필터 (Particle filter), 칼만 필터 (Kalman Filter), 최소자승법 (Least-squares Method, LSM)을 등 다양한 위치추정 알고리즘들이 연구되고 있다³⁻⁴. 파티클 필터는 실제 위치를 알고 있는 3개의 앵커들과 이동 객체 간의 추정 거리를 산출 한 후, bias 값과 반복 영역 오차 값을 제거한 후의 삼각측량 결과를 파티클 필터를 이용해 보정하는 알고리즘이다⁵.

칼만 필터 (Kalman Filter)는 삼각측량법과 DCM (Database Correlation Method) 기법을 통해 각각의 위치 데이터를 생성한 후, 그 중 이동객체와 더 근사한 위치 데이터를 실시간으로 선택하고, 칼만 필터를 사용해 선택된 위치 데이터를 보정하여 이동객체의 위치정확도를 향상시킨 알고리즘이다. [6]은 SDS-TWR에 의해 측정된 4개의 비컨노드 (Beacon Node)와 이동노드 사이의 거리 값을 바탕으로 대각선상에 위치한 비컨노드의 거리 값 제곱의 합에 대한 비울린리를

적용시킨 보정 알고리즘을 제시하였고, [7]은 삼각측량법을 이용해 이동객체의 위치를 추정하고, 추정된 이동객체의 위치를 칼만 필터를 이용해 위치추정 정확도를 향상 시킨 알고리즘을 제시하였다. [8]은 이동 중인 이동노드의 거리 값들을 SDS-TWR로 측정 한 후 이 값들을 사용하여 삼각 측량법 (Triangulation)으로 위치를 측정하고, 그 다음 최소자승법을 적용하여 위치인식 값을 보정하는 알고리즘을 제시하였다.

III. 문제점 분석 및 제안한 알고리즘

3.1 문제점 분석

그림 1은 SDS-TWR과 삼변측량법으로 실내의 NLOS (Non Line of Sight) 환경에서 고정된 위치의 위치오차를 측정한 후, 5m×5m의 공간에 4개의 고정노드와 이동노드간의 거리 값의 합과 위치오차를 오름차순으로 정렬해서 서로 비교한 그래프이다. 여기에서 실험위치 7을 제외하면 측정된 거리의 합이 커질수록 위치오차의 값도 커지는 것을 볼 수 있다. 즉 측정된 거리의 합이 높을수록 위치 오차가 높다.

이렇게 측정된 거리의 합이 클수록 위치오차도 커지는 이유는 4개의 고정노드와 이동노드간의 거리 값의 합은 3개의 고정노드가 이루는 삼각형의 둘레 길이와 같아야 하는데 고정노드와 이동노드간의 거리를 측정할 때 발생하는 오차로 인해 측정된 거리의 합이 3개의 고정노드가 이루는 삼각형의 둘레 길이보다 커지기 때문이다.

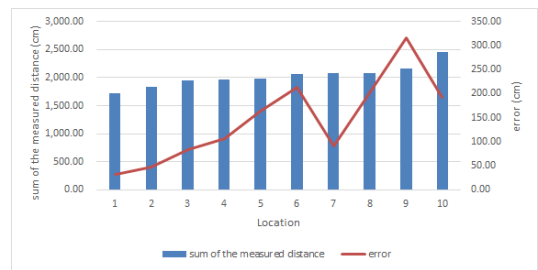


그림 1. 측정된 거리의 합과 위치 오차 비교
Fig. 1. Comparison of sum of measured distance with localization error.

3.2 제안한 알고리즘

본 논문에서는 WPAN에서 최대 측정거리 값을 이용한 위치추정 보정 알고리즘 (Localization Compensation Algorithm for Mobile Objects based on the Maximum Measurement Value: LCA_{MMV})을 제안하고자 한다. 제안 알고리즘은 먼저 4개의 고정노

드를 정사각형 또는 직사각형 형태로 배치하였을 때, 4개의 고정노드와 1개의 이동노드간 측정될 수 있는 거리의 합이 최대가 되는 값 (RRS_{max})을 계산한다. 그 다음, 4개의 고정노드와 1개의 이동노드간 측정된 거리의 합 (MRS)이 RRS_{max} 보다 큰 경우에 MRS 가 RRS_{max} 이 되도록 하여 4개의 고정노드와 1개의 이동노드의 측정거리 값을 보정한다.

4개의 고정노드와 1개의 이동노드의 측정거리 값을 보정하기 위해 필요한 RRS_{max} 는 그림 2와 같이 3개의 노드로 구성되는 삼각형의 둘레 길이와 같다. 이때, 3개의 고정노드로 구성된 삼각형의 둘레가 RRS_{max} 가 되는 이유는 이동노드가 특정 고정노드의 위치에 있을 때 4개의 고정노드와 이동노드간의 거리 값의 합이 최대가 되기 때문이다. 예를 들어 이동노드가 고정노드 3의 위치에 있다고 가정할 때 고정노드 1과 이동노드간의 거리는 C, 고정노드 2와 이동노드간의 거리는 A, 고정노드 4와 이동노드간의 거리는 B와 같기 때문에 그림 2와 같은 삼각형이 생기게 된다. RRS_{max} 는 식 1을 통해 구할 수 있다.

$$RRS_{max} = A + B + \sqrt{A^2 + B^2} \quad (1)$$

LCA_{MMV} 의 동작순서는 그림 3과 같이 4가지의 단계로 구성된다.

1단계에서는 식 2와 같이 이동노드와 고정노드간의 거리 ($distance_i$)를 이용해 MRS 를 구하고, RRS_{max} 와 MRS 를 비교하여 MRS 가 큰 경우에 2단계에서 MRS 가 RRS_{max} 의 크기를 가지도록 보정하고, MRS 가 작은 경우에는 4단계에서 측정된 거리 값을 이용해 이동노드의 위치를 추정한다.

$$MRS = \sum_{i=1}^4 distance_i \quad (2)$$

$$RRS < MRS, \text{ step 2}$$

$$RRS > MRS, \text{ step 4}$$

2단계에서는 RRS_{max} 와 MRS 의 차이 값을 구하여 측정된 고정노드들과 이동노드간의 거리의 비율별로 보정치 (CV)를 고정노드와 이동노드간의 측정된 거리 값 (RV_{node})을 이용해 식 3과 같이 계산한다.

$$CV = (MRS - RRS_{max}) * (RV_{node} / MRS) \quad (3)$$

3단계에서는 2단계에서 계산된 CV 를 식 4와 같이

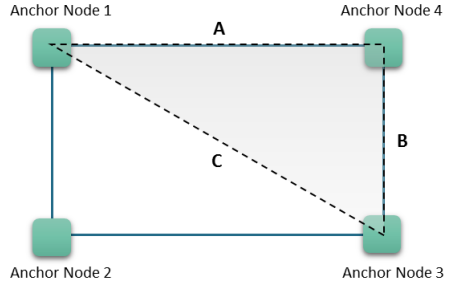


그림 2. 고정노드 배치도
Fig. 2. Layout of Anchor node.

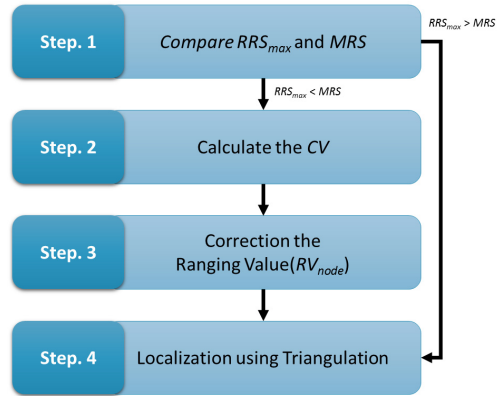


그림 3. 제안 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. Flows of proposed algorithm.

RV_{node} 에서 뺀다. 이렇게 보정함으로써 MRS 와 RRS_{max} 가 같아지게 한다.

$$RV_{node} = RV_{node} - CV \quad (4)$$

4단계에서는 보정된 RV_{node} 와 삼변측량법을 이용해 이동노드의 위치를 추정한다.

IV. 실험 및 결과분석

4.1 실험환경

본 논문에서 제안한 알고리즘 (LCA_{MMV})의 성능을 분석하기 위해 본 대학교 건물 내에서 그림 4와 같이 5m×5m의 공간에 4개의 고정노드를 배치한 후, NLOS 환경을 조성하여 실험을 진행하였다. 또한, 실험에서 이동노드의 이동패턴은 그림 4에서 보는 바와 같이 3개의 시나리오로 가정하였다. 시나리오 1은 고정노드가 배치된 영역의 중심인 (3m, 0m)의 위치에서 (3m, 5m)의 위치로 직선 이동하는 시나리오이다. 시

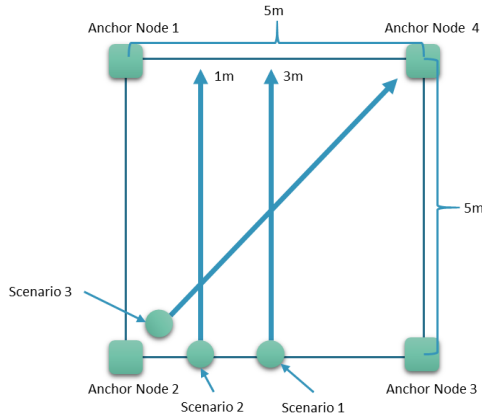


그림 4. 노드 배치 및 이동 시나리오
Fig. 4. Layout of nodes and movement scenarios.

나리오 2는 고정노드가 배치된 영역의 외각부분인 (1m, 0m)의 위치에서 (1m, 5m)의 위치로 직선 이동하는 시나리오이며, 시나리오 3은 (0m, 0m)의 위치에서 (5m, 5m)의 위치로 영역의 대각선 형태로 이동하는 시나리오이다. 실험에서는 각 시나리오대로 이동노드를 실시간으로 실험영역을 2회씩 이동하게 한 후, 이동노드의 위치오차를 측정하였다.

4.2 결과분석

본 논문에서 제안한 알고리즘을 시나리오 1~3에 적용한 실험 결과는 그림 5~그림 11과 같다. 그림 5와 6은 시나리오 1인 (3m, 0m)의 위치에서 직선으로 (3m, 5m)의 위치까지 이동하는 실험을 2회 실시한 실험의 결과이다. 우선, 그림 5에서 SDS-TWR과 삼변측량법의 실험 결과는 x축은 -525cm에서 926cm, y축은 -277cm에서 1,814cm까지 매우 넓은 영역까지 오차가 발생하였음을 보여준다. 그러나 그림 6에서는 LCA_{MMV} 의 실험 결과는 x축은 -85cm에서 455cm, y축은 -128cm에서 444cm까지 오차가 발생했음을 보여준다. 따라서 그림 5와 6에서 SDS-TWR과 삼변측량법의 실험 결과가 LCA_{MMV} 의 실험 결과 보다 x축은 2.6배, y축은 3.6배 더 넓은 영역에 걸쳐 위치가 추정되었음을 알 수 있다.

LCA_{MMV} 의 실험 결과는 x축을 기준으로 1,451cm에 걸쳐 발생한 큰 위치추정 오차를 540cm로 좁혀 이동노드가 이동한 궤적을 비교적 선명하게 나타내고 있다. 또한, 실험결과 위치추정 오차가 큰 3개의 위치 추정 좌표인 (-85, 670), (2, -13), (444, -128)을 제외하게 되면 x축은 약 200cm의 넓이로 위치추정 값들이 분포하고 있어 이동노드가 이동한 궤적을 확실하

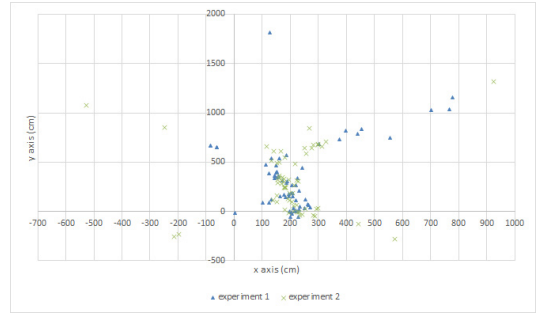


그림 5. SDS-TWR과 삼변측량법 실험 결과 (시나리오 1)
Fig. 5. Experimental result of SDS-TWR and triangulation (Scenario 1).

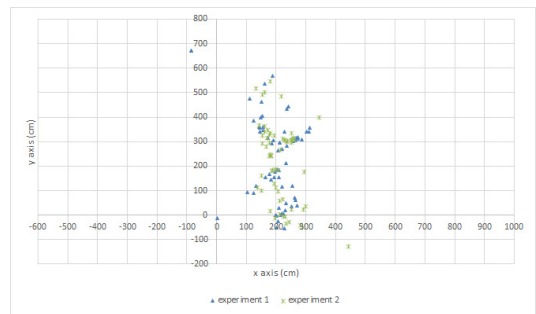


그림 6. LCA_{MMV} 의 실험 결과 (시나리오 1)
Fig. 6. Experimental result of LCA_{MMV} (Scenario 1).

게 나타내고 있다.

그리고 2회 실험 중 실험 1에서는 SDS-TWR과 삼변측량법보다 LCA_{MMV} 가 최소 1.9cm, 최대 501cm 정도 위치추정 오차가 더 적게, 그리고 실험 2에서는 SDS-TWR과 삼변측량법 보다 LCA_{MMV} 가 최소 0.38cm, 최대 667.6cm 정도 위치추정 오차가 더 적게 측정되었다. 이 결과를 볼 때 LCA_{MMV} 는 오차가 큰 경우 (529.9cm~825.7cm)는 오차 보정 성능이 우수하지만, 오차가 작은 경우 (22.6cm~36.3cm)는 오차 보정 성능이 미미한 것을 볼 수 있다.

그림 7과 8은 시나리오 2인 (1m, 0m)의 위치에서 (1m, 5m)의 위치로 직선 이동하는 실험을 2회 실시한 결과이다. 그림 7과 8에서, 전체적으로 x축을 기준으로 실험 1은 평균 93.7cm, 실험 2는 145.3cm 오른쪽으로 이동한 모습을 볼 수 있다. 그리고 SDS-TWR과 삼변측량법의 실험 결과를 보면, x축의 원점인 0m를 중심으로 이동노드의 위치가 분포되어 있는 반면에 LCA_{MMV} 의 실험 결과는 x축의 1m를 중심으로 이동노드의 위치가 분포되어 있어 실제 이동노드가 이동한 궤적과 유사하게 나타났음을 알 수 있다.

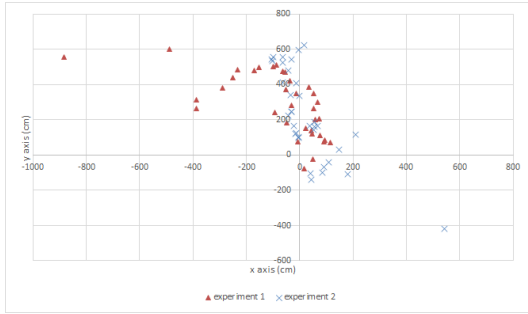


그림 7. SDS-TWR과 삼변측량법 실험 결과 (시나리오 2)
Fig. 7. Experimental result of SDS-TWR and triangulation (Scenario 2).

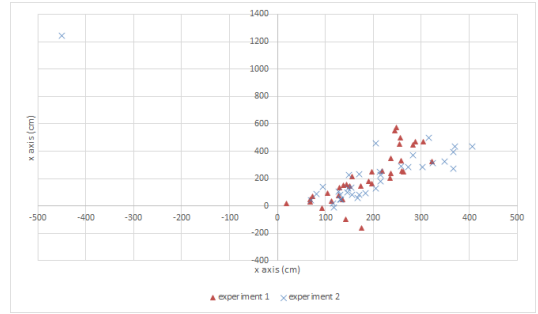


그림 9. SDS-TWR과 삼변측량법 실험 결과 (시나리오 3)
Fig. 9. Experimental result of SDS-TWR and triangulation (Scenario 3).

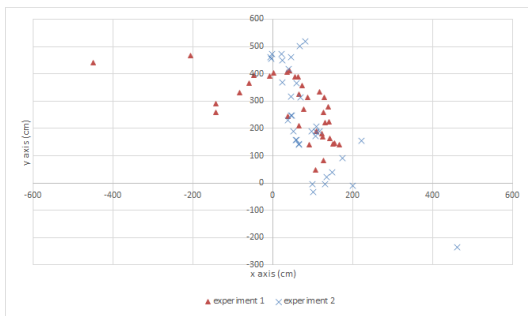


그림 8. LCA_{MMV} 의 실험 결과 (시나리오 2)
Fig. 8. Experimental result of LCA_{MMV} (Scenario 2).

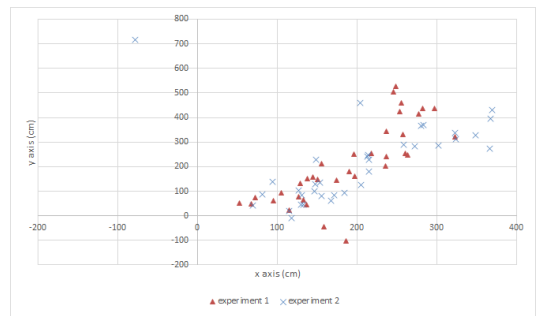


그림 10. LCA_{MMV} 의 실험 결과 (시나리오 3)
Fig. 10. Experimental result of $MMAC$ (Scenario 3).

특히 실험 2의 결과에서 볼 때, LCA_{MMV} 의 위치추정 오차 값은 SDS-TWR과 삼변측량법의 실험 결과에 비해 최소 6.5cm에서 최대 434.4cm까지 더 적게 나타났다.

그림 9와 10은 시나리오 3인 (0m, 0m)의 위치에서 (5m, 5m)의 위치로 영역의 대각선 형태로 이동하는 실험을 2회 실시한 결과이다. SDS-TWR과 삼변측량법 실험 결과와 LCA_{MMV} 의 실험 결과를 비교해 보면, 실험 1에서 측정된 위치추정 좌표 (-449, 1,240)가 위치추정 좌표 (-77.9, 714.6)으로 수정된 것을 제외하면 5.7cm에서 90.3cm의 위치추정 오차가 보정되었음을 알 수 있다. 이 결과를 볼 때 시나리오 3의 경우, LCA_{MMV} 는 시나리오 1과 시나리오 2에 비해 매우 낮은 위치오차 보정치를 보여준다. 그 이유는 시나리오 3의 경우 RRS_{max} 가 MRS 보다 큰 경우가 확률적으로 낮기 때문에 LCA_{MMV} 가 전체 위치추정 좌표의 24.3%에서만 보정이 되었기 때문이다.

그림 11은 시나리오 1~3의 평균 위치추정 정확도 비교를 나타낸 그래프이다. 그림 11에서, LCA_{MMV} 의 평균 위치추정 오류(실험 1 및 2)는 SDS-TWR과 삼

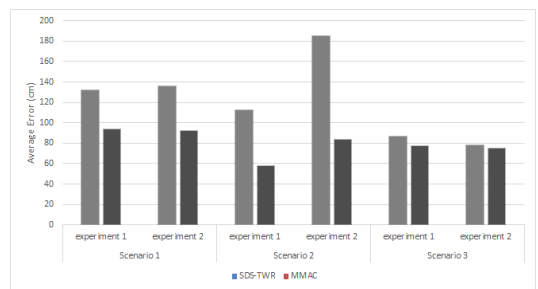


그림 11. 평균 위치추정 정확도 비교
Fig. 11. Comparison of average localization accuracy.

변측량법 보다 시나리오 1에서 40.9cm, 시나리오 2에서 77.6cm, 시나리오 3에서 6.3cm씩 각각 낮은 것을 알 수 있다. 즉, LCA_{MMV} 의 평균 위치추정 정확도는 직선 형태인 시나리오 1 및 2에서 SDS-TWR과 삼변측량법 보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

그러나 대각선 형태인 시나리오 3에서 평균 위치추정 오류는 6.3cm (실험 1의 경우 9.8cm, 실험 2의 경우 2.8cm)으로, 시나리오 1과 시나리오 2에 비해 위치추정 보정성능이 매우 낮음을 알 수 있다. 시나리오 3이 시나리오 1과 2에 비해 위치추정 보정성능이 낮은

이유는 시나리오 1 및 2는 전체 위치추정 좌표의 70.3% 및 81.4%가 보정된 반면, 시나리오 3은 24.3%만 보정되었기 때문이다. 따라서 시나리오별 평균 위치추정 정확도 성능은 시나리오 2, 시나리오 1, 시나리오 3의 순서로 이루어졌음을 알 수 있다.

제안한 알고리즘의 문제점은 MRS 가 RRS_{max} 보다 작으면 위치추정 보정이 이루어지지 않기 때문에 위치추정 오차가 적은 경우에는 보정성능이 낮다는 점이다.

V. 결 론

본 논문에서는 최대 측정거리 값을 이용한 이동객체 위치추정 보정 알고리즘 (LCA_{MMV})을 제안하고 이동노드가 이동하는 상황을 3가지 시나리오로 구성하여 제안 알고리즘의 성능을 분석하였다.

LCA_{MMV} 의 평균 위치추정 오류는 SDS-TWR과 삼변측량법 보다 시나리오 1-3에서 각각 40.9cm, 77.6cm, 6.3cm 낮은 결과를 얻었다. 이는 LCA_{MMV} 가 SDS-TWR과 삼변측량법 보다 매우 우수하고, 이동환경, 매우 넓은 공간 등 위치 오차가 크게 발생하는 환경에 적합함을 의미한다. 그러나 시나리오 3에서 평균 위치추정 오류는 6.3cm으로, 시나리오 1-2에 비해 위치추정 보정성능이 매우 낮다. 이는 RRS_{max} 가 MRS 보다 큰 경우가 적음에 따라 LCA_{MMV} 이 전체 위치추정 좌표의 24.3%에만 적용되었기 때문이다.

향후, 제안한 LCA_{MMV} 이 위치오차가 큰 경우 뿐만 아니라 적은 경우에도 적용 될 수 있도록 개선하고, Random Walk/Waypoint와 같은 이동성 모델을 이용하여 보다 더 객관적인 성능검증을 통한 위치추정 보정 알고리즘을 제시 할 예정이다.

References

[1] J. Li, et al., "A scalable location service for geographic ad hoc routing," in *Proc. ACM MobiCom*, pp. 120-130, Aug. 2000.

[2] P. Karn and C. Partridge, "Improving round-trip time estimates in reliable transport protocols," *ACM Trans. Comput. Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 364-373, Nov. 1991.

[3] G. Welch and G. Bishop, "An introduction to the Kalman Filter," UNC-Chapel Hill TR 95-041, Jul. 2006.

[4] J. Gonzalez, et al., "Mobile robot localization based on ultra-wide-band ranging: A particle filter approach," *J. Robotics and Autonomous Systems*, vol. 57, no. 5, pp. 496-507, May 2009.

[5] M. Kim, H. Jeon, J. Yeom, and H. Park, "An improvement for location accuracy algorithm of moving indoor objects," *JICS*, vol. 11, no. 2, pp. 61-72, Apr. 2010.

[6] S. H. Woo, H. S. Jeon, K. H. Kim, and H. J. Park, "A design of indoor location tracking system for ubiquitous computing environment," *JICS*, vol. 7, no. 3, pp. 71-82, Jun. 2006.

[7] S. K. Kwon and D. M. Lee, "Performance analysis of compensation algorithm for localization using the equivalent distance rate and the Kalman Filter," *J. KICS*, vol. 37B, no. 5, pp. 370-376, May 2012.

[8] M. K. Jung, C. Y. Choi, and D. M. Lee, "The compensation algorithm for localization using the least-squares method in NLOS environment," *J. KICS*, vol. 37B, no. 4, pp. 309-316, Apr. 2012.

최 창 용 (Chang Yong Choi)



2008년 2월: 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2010년 2월: 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 석사
 2011년 9월~현재: 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 박사과정
 <관심분야> 센서네트워크, 위치추위, 퍼지로지

이 동 명 (Dong Myung Lee)



1982년 2월: 숭실대학교 전자계산학과(학사)
 1990년 8월: 숭실대학교 전산공학과(석사)
 1997년 8월: 숭실대학교 전자계산학과(박사)
 1982년 3월~2000년 2월: 한국전자통신연구원 책임연구원
 2000년 3월~현재: 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크