

## WPAN에서 거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘의 성능 분석

최창용<sup>1</sup>, 이동명<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>동명대학교 컴퓨터공학과

### Performance Analysis of the Localization Compensation Algorithm based on Measured Error Patterns of Distance in WPAN

Changyong Choi<sup>1</sup> and Dong Myung Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Engineering, Tongmyong University

**요약** 본 논문에서는 거리별 측정오차 패턴을 적용한 보정 알고리즘(DCA1)의 위치인식 성능특성과 문제점을 분석하고 이를 개선한 알고리즘인 WPAN에서 거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘(DCA2)을 제안하였다. 위치인식 실험결과, 평균적으로 DCA1 및 DCA2는 각각 위치인식 지점의 60% 이상, 75% 이상에서 SDS-TWR 보다 위치인식 성능이 더 우수하였고, 특히 15m×15m의 실험공간에서는 DCA2는 SDS-TWR 보다 위치인식 지점의 91%에서 위치인식 정확도가 더 우수함을 확인하였다. 또한 10m×10m 및 15m×15m의 실험공간에서 DCA2는 DCA1 보다 각각 16%, 22%의 위치인식 지점에서 위치인식 정확도가 더 우수하였고, DCA1 및 DCA2의 평균 위치인식 오차는 SDS-TWR보다 각각 7~12%, 20% 감소함을 확인하였다. 이와 같은 결과를 볼 때 DCA2가 SDS-TWR 및 DCA1 보다 위치인식 정확도가 가장 우수함을 알 수 있다.

**Abstract** The performance characteristics and the disadvantages in the compensation algorithm based on the Measured Error Patterns of Distance that is already developed are analyzed, and the localization compensation algorithm(DCA2) based on measured error patterns of distance in WPAN that is the enhanced version of DCA1 is supposed in this paper. From the experimental results, it is confirmed that the localization performance of DCA1 and DCA2 is superior than SDS-TWR as each average above 60% and 75% of the total localizing measurement points in 2 experimental regions, and the localization performance of DCA2 is especially better than SDS-TWR as 91% of the points in 15m×15m experimental region. In addition to this, it is confirmed that DCA2 is better than DCA1 as each 16% and 22% of the total localizing measurement points in 10m×10m and 15m×15m scaled experimental regions, and the average localization errors of DCA1 and DCA2 are lower than SDS-TWR to each 7~12% and 20%. Thus, it can be inferred that DCA2 is the best localization algorithm among 3 localization algorithms SDS-TWR, DCA1 and DCA2.

**Key Words** : WPAN, CSS, SDS-TWR, Compensation Algorithm, Localization

### 1. 서론

1990년대 후반 이후로 정보통신기술에 눈부신 발전으로 말미암아 국내의 유비쿼터스 사회를 실현하기 위한 다양한 접근이 시도되고 있다. 특히 이동통신 기술의 상용서비스 제공으로 사용자는 언제 어디서나 항상 유무선

네트워크에 접속하여 희망하는 각종 서비스를 이용할 수 있고, 이는 유비쿼터스 사회의 실현에 가장 중요한 요소로 작용하고 있다. 그러나 명실상부한 유비쿼터스 사회의 실현을 위해서는 센서 네트워크 기술을 기반으로 한 다양한 응용 서비스의 개발이 시급한 실정이다.

최근 이동통신 기술과 센서 네트워크 기술의 발전으로

\*교신저자 : 이동명(dmlee@tu.ac.kr)

접수일 10년 02월 12일

수정일 (1차 10년 03월 23일, 2차 10년 04월 11일)

계재확정일 10년 05월 13일

위치기반 서비스(Location Based Service : LBS)에 대한 인식이 매우 활발하게 전개되고 있다.[1] 실내 환경에서 위치인식의 경우, GPS와 같은 광역 위치인식 기술은 정확도가 낮아 사용하기가 적합하지 않기 때문에 RF 신호나 초음파 등을 이용한 방식 등이 제안되고 있다[2-4]. 초기에는 RSSI(Received Signal Strenght Indication) 방식을 위치인식에 많이 사용했지만 현재는 위치인식 정확도를 높이기 위해 RSSI 대신 TOF(Time of Flight)를 이용하여 위치인식을 시도하는 경우가 증가하고 있다.

IEEE에서는 2007년 WPAN(Wireless Personal Area Network)에서 위치인식을 위한 표준인 IEEE 802.15.4a(PHY 및 MAC)를 공식으로 제정하였다.[5] 이 규격은 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기술을 사용하고 있는데 이는 방해전파 신호에 강인한 특성을 가지고 있다 [6].

본 논문은 먼저 CSS 방식의 SDS-TWR (Symmetric Double Sided Two-Way Ranging)을 이용해 측정된 거리 데이터를 수집하고, 이를 거리별 측정오차 패턴을 적용한 방식인 거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘[7]에 적용하여 위치인식 성능을 분석하고 발견된 문제점을 제기한 다음, 발견된 문제점에 대한 개선 알고리즘을 제안하고 실제 실험을 통해 성능을 분석하였다.

## 2. 관련연구

위치인식에 사용되는 대표적인 기법으로 삼각법(Triangulation)이 있는데 이는 거리측정을 이용한 Lateration 방법과 각도 측정을 이용한 Angulation 방법으로 구분될 수 있다. Lateration 방법으로는 ToA(Time of Arrival) 방식, TDoA(Time Difference of Arrival) 방식, SDS-TWR 방식 등이 있고, Angulation 방법으로는 수신 신호의 입사각을 이용하는 AoA(Angle of Arrival) 방식이 있다.

Lateration 방법을 이용하여 보정하는 알고리즘에는 먼저 일반적인 퍼지모델을 이용하여 불규칙적인 데이터 값을 선형적인 모델로 만들어 불규칙적인 거리측정 오차를 줄이는 TSK(Takagi-Sugeno-Kang) 퍼지모델[8]이 있고, 그 다음 NLOS(Non Line of Sight) 전파환경에서 장애물에 의해 수신 장애가 발생할 경우와 약한 신호에도 좋은 결과를 나타내는 수확 방식의 집합인 칼만 필터(Kalman Filter)[9] 등이 있다.

그 이외에 anchor를 동일한 간격의 그리드 형태로 배치한 후 두 원의 교점으로 사각형 영역안의 네 점의 위치를 이용해 위치인식 정확도를 높이는 방식, 유클리드 방

정식 기반의 차원 감소방식[10] 그리고 CSS기반의 시스템에서 전송펄스를 짧게 하여 간섭을 피하는 방식[11] 등이 있다.

## 3. 보정 알고리즘 성능분석 및 문제점 개선

### 3.1 위치인식 보정 알고리즘

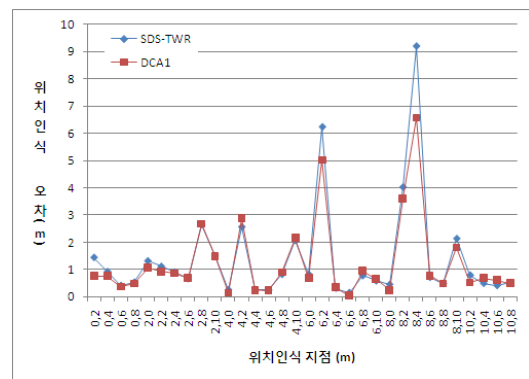
거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘은 평균 측정거리와 실제거리간의 오차비율을 측정된 후 오차비율 오프셋을 이용해 측정된 거리 값을 실제거리에 매우 근접하게 하는 알고리즘이다[7].

거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘은 측정된 거리 값에 거리별 오차비율을 뺀  $Destval(i)$ 은  $Destval(i)$ 들의 값 중 약 50%정도가 실제거리 값보다 낮게 나온다. 실제거리보다 낮게 보정된  $Destval(i)$ 을 실제거리의 2.5%를 더하여 실제거리보다 높은 값으로 만들기 위한 오프셋인  $offset(ER(DM - A(DM)))$ 을 이용해 식 (1)과 같이 거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘(DCA1)을 계산한다.

$$DCA1 = Destval(i) + offset(ER(DM - A(DM))) \quad (1)$$

### 3.2 위치인식 보정 알고리즘의 성능 분석

DCA1의 위치인식 정확도를 분석하기 위한 위치인식 실험은 LOS(Line of sight) 환경의 10m×10m에서 실시하였다.

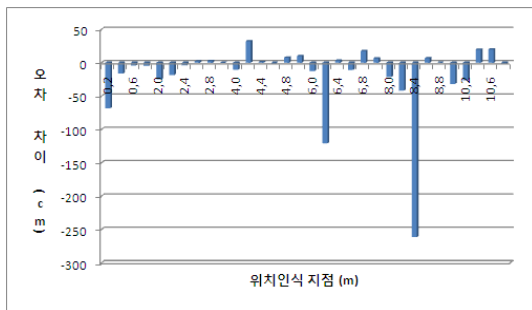


[그림 5] 10m×10m의 실험공간에서 위치인식 실험 결과

그림 1을 보면 위치인식 지점 (6, 2), (8, 2), (8, 4)에서

실험환경의 영향으로 매우 큰 위치인식 오차가 발생하였고, 나머지 위치인식 지점들은 비교적 낮은 위치인식 오차가 발생했음을 알 수 있다.

*DCA1*가 *SDS-TWR*보다 위치인식 오차가 낮은 지점이 전체 32곳 중에서 19곳(59%)으로 *DCA1*가 *SDS-TWR*보다 조금 더 정확한 위치인식 정확도를 보였다. 그러나 *DCA1*는 13곳의 위치인식 지점에서 *SDS-TWR*보다 낮은 위치인식 정확도를 보였다. 또한 *SDS-TWR*과 *DCA1*의 위치인식 오차의 차이가  $\pm 10\text{cm}$  이내인 위치인식 지점도 17곳으로 전체 위치인식 지점의 약 53%에 달한다.



[그림 6] *SDS-TWR*의 위치인식 오차를 기준으로 한 *DCA1*의 위치인식 오차

이와 같은 결과는 *SDS-TWR*의 위치인식 오차를 기준으로 *DCA1*의 위치인식 오차를 표시한 그림 2를 통해 명확하게 알 수 있는데, 그 특징으로 우선 세 곳의 위치인식 지점인(0, 2), (6, 2), (8, 4)에서는 각각 68cm, 121cm, 261cm 씩 *DCA1*가 *SDS-TWR*보다 위치인식 오차가 현저히 개선되었고, 다만 17곳의 위치인식 지점에 대해서는  $\pm 10\text{cm}$  이내 정도의 미미한 오차의 개선을 확인하였다.

### 3.3 측정오차를 적용한 위치인식 보정 알고리즘의 문제점 및 개선

3.2에서 분석한 내용과 같이 *DCA1*의 성능은 *SDS-TWR*보다 높음을 설명한 바 있다. 그러나 이 결과에서 보면, 실험위치 중 3곳의 지점인 (0, 2), (6, 2), (8, 4)을 제외한 나머지 위치인식 지점의 정확도에서 *SDS-TWR*과 유사하게 나옴을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 볼 때 제안한 *DCA1*의 알고리즘은 실제 위치인식에서 1m 이상의 큰 위치인식 오차가 발생하지 않았을 경우 보정 효과가 크지 않는 것을 알 수 있다. 그 이유는 측정된 거리 값을 실제거리에 근접하게 보정할 때 실제거리보다 낮게

보정되는 경우를 줄이기 위해서 보정된 거리 값에 실제 거리의 2.5%를 더하는 과정을 한 번 더 거치기 때문에 이 과정이 오차로 작용하여 결국 *DCA1*의 위치인식 오차를 높이게 하는 것으로 분석된다.

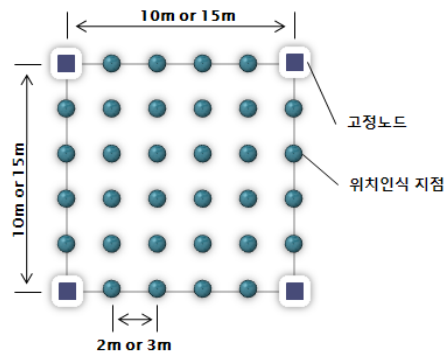
따라서 *DCA1*의 이러한 단점을 해결할 필요가 있는데 이를 위하여 *DCA1*에서 보정된 거리 값에 실제거리의 2.5%를 더하는 과정인  $offset(ER(DM-A(DM)))$ 을 제거한 위치인식 보정 알고리즘(*DCA2*)은 식 (2)와 같이 제안한다.

$$DCA2 = Destval(i) \tag{2}$$

## 4. 실험 및 결과분석

### 4.1 실험환경

본 논문에서 거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘(*DCA1*)과 개선된 거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘(*DCA2*)의 위치인식 정확도를 비교분석하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 본 대학교의 강당의 LOS 환경에서 각 노드들을 바닥에서 약 1m의 높이에 두고 10m×10m, 15m×15m의 두 가지 크기의 실험공간에서 4개의 고정노드를 배치하여 위치인식 실험을 하였다.



[그림 7] 위치인식 지점 및 고정노드 배치

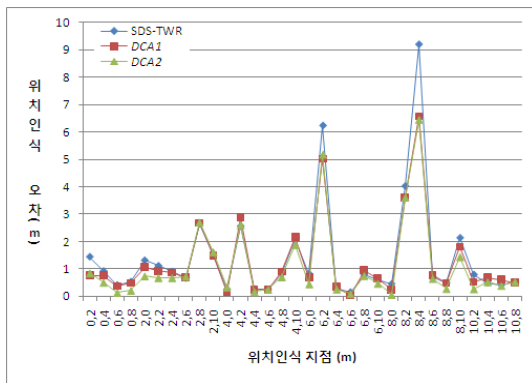
10m×10m, 15m×15m의 실험공간에서는 그림 3에서 볼 수 있듯이 각각 2m, 3m 간격으로 32곳의 위치인식 지점에서 25개씩 거리측정 값을 수집하였다. 수집된 거리 측정 값을 *DCA1*와 *DCA2*를 이용해 측정된 거리 값을 실제거리에 근접하도록 보정한 뒤 위치인식 정확도를 비교분석하였다.

### 4.2 결과분석

거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘(DCA1)과 개선된 거리별 측정오차 패턴을 적용한 위치인식 보정 알고리즘(DCA2)의 위치인식 정확도를 측정한 실험결과는 그림 4~그림 5과 같다.

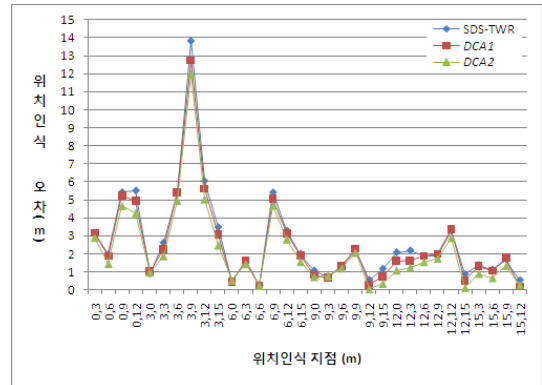
그림 4는 10m×10m의 실험공간에서 DCA1와 DCA2의 위치인식 실험결과를 나타낸 것으로 SDS-TWR보다 DCA1와 DCA2의 위치인식 정확도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 다수의 위치인식 지점에서 DCA1보다 DCA2의 위치인식 정확도가 높은 것을 볼 수 있는데, 특히 위치인식 지점 (2, 0), (8, 10)에서 DCA1보다 DCA2의 위치인식 오차가 각각 0.32m, 0.37m 정도 더 낮은 것을 볼 수 있다.

SDS-TWR과 비교해 보면 DCA1는 전체 위치인식 지점 32곳 중 19곳, DCA2는 전체 위치인식 지점 32곳 중 24곳에서 더 정확한 위치인식 정확도를 보였다. 이와 같은 결과는 앞서 실제 위치인식에서 DCA1의 문제점으로 지적된 실제거리의 2.5%를 더하는 과정이 전부 오차가 되는 현상으로 인해 DCA1보다 DCA2의 위치인식 정확도가 높게 나온 것으로 판단된다.



[그림 8] 10m×10m의 실험공간에서 위치인식 실험 결과

그림 5는 15m×15m의 실험공간에서 위치인식 실험 결과이다. 그림 6에서 보면 위치인식 지점 (9, 12)~(12, 6)과 위치인식 지점 (12, 15)~(15, 9)에서 DCA2가 DCA1보다 위치인식 정확도가 더 높음을 볼 수 있다. 먼저 위치인식 지점 (0, 6), (0, 9), (0, 12) 등 11곳에서 DCA2가 DCA1보다 0.4m 이상 더 위치인식 정확도가 우수함을 알 수 있다.

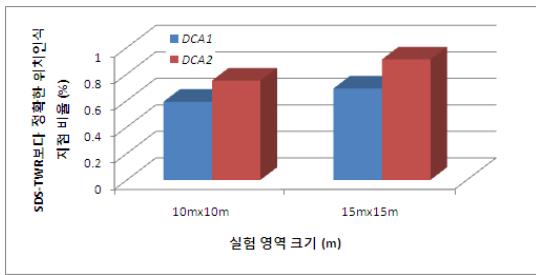


[그림 9] 15m×15m의 실험공간에서 위치인식 실험 결과

그림 4와 그림 5를 면밀히 보면 DCA2는 10m×10m보다 15m×15m의 실험공간에서 DCA1보다 위치인식 정확도가 더 우수함을 알 수 있는데, 그 이유는 DCA1의 경우 위치인식 거리가 클수록 실제거리의 2.5%를 더하는 값이 증가하기 때문에 결국 DCA2가 DCA1보다 위치인식 정확도가 더 향상된 것으로 분석된다.

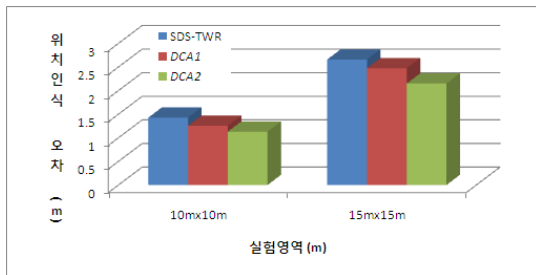
그러나 (0, 2), (2, 6), (2, 8), (2, 10), (4, 0), (4, 6), (6, 2), (6, 6), 10, 8)의 9 지점에서 DCA1의 위치인식 정확도가 DCA2보다 높았는데, 그 이유는 실제거리의 2.5%를 보정된 거리 값에 더함으로써 측정된 거리 값이 실제 거리 값에 가깝게 보정되었기 때문이다. 그런데 이 결과는 10m×10m의 실험공간 32곳 중 9곳에서 평균 7cm 정도 위치인식 정확도가 개선된 결과이고(그림 4 참조), 15m×15m의 실험공간 32곳 중 3곳에서 9cm 정도 위치인식 정확도가 개선되어(그림 5 참조) DCA2가 DCA1보다 위치인식 정확도가 우수하다는 점에 나쁜 영향을 줄 만큼의 요인은 아니다.

그림 6은 DCA1와 DCA2의 위치인식 정확도가 SDS-TWR보다 높은 위치인식 지점의 비율을 나타내고 있다. 10m×10m과 15m×15m의 실험공간에서 DCA1의 성능은 위치인식 지점의 60%이상에서, DCA2의 성능은 위치인식 지점의 75%이상에서 각각 SDS-TWR보다 더 우수함을 확인 할 수 있다. 특히 15m×15m의 실험공간에서 DCA2는 SDS-TWR보다 위치인식 지점의 91%에서 위치인식 정확도가 더 우수하였고, 10m×10m의 실험공간에서 DCA2가 DCA1보다 16%, 15m×15m의 실험공간에서 DCA2가 DCA1보다 22%의 위치인식 지점에서 위치인식 정확도가 더 우수하였다.



[그림 10] SDS-TWR보다 *DCA1*와 *DCA2*의 위치인식 정확도가 높은 위치인식 지점의 비율

그림 7은 SDS-TWR과 *DCA1* 및 *DCA2*의 위치인식 오차 평균을 비교한 그래프로 *DCA1*의 위치인식 정확도는 SDS-TWR보다 약 0.17m 정도 높고, *DCA2*의 위치인식 정확도는 *DCA1*보다 약 0.13m~0.32m 정도 높은 것을 알 수 있다. SDS-TWR 대비 *DCA1* 및 *DCA2*의 위치인식 정확도를 보면, *DCA1*는 SDS-TWR보다 7~12% 증가하였고, *DCA2*는 SDS-TWR보다 20% 증가하여 결국 *DCA2*의 위치인식 정확도가 가장 우수함을 알 수 있다.



[그림 11] 위치인식 오차 평균

그림 5~그림 8의 실험결과의 특징을 종합적으로 분석하면, *DCA1*는 SDS-TWR보다 전체 위치인식 지점의 59~69%에서, *DCA2*는 SDS-TWR보다 전체 위치인식 지점의 76~91%에서 더 우수함을 확인하였기 때문에 결과적으로 *DCA2*가 세 개의 알고리즘 중에서 가장 우수한 알고리즘으로 판단된다.

본 논문은 먼저 CSS 방식의 SDS-TWR (Symmetric Double Sided Two-Way Ranging)을 이용해 측정된 거리 데이터를 수집하고, 이를 거리별 측정오차 패턴을 적용한 방식인 거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정 알고리즘[7]에 적용하여 위치인식 성능을 분석하고 발견된 문제점을 제기한 다음, 발견된 문제점에 대한 개선 알고리즘을 제안하고 실제 실험을 통해 성능을 분석하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘(*DCA1*)의 위치인식 성능을 분석하고 발견된 문제점을 제기한 다음, 발견된 문제점에 대한 개선 알고리즘(*DCA2*)을 제안하고 실제 실험을 통해 성능을 분석하였다. 그리고 10m×10m, 15m×15m의 실험공간에 4개의 고정노드를 배치하여 LOS 환경에서 위치인식 실험하였고, SDS-TWR, *DCA1* 및 *DCA2*의 위치인식 정확도를 비교분석하였다.

*DCA1*의 성능은 전체 위치인식 지점의 60%이상에서 SDS-TWR보다 정확도가 높았고, *DCA2*의 성능은 전체 위치인식 지점의 75%이상에서 SDS-TWR보다 더 정확하였다. 특히 *DCA2*는 15m×15m의 실험공간에서 SDS-TWR보다 전체 위치인식 지점의 91%에서 위치인식 정확도가 높았다. 또한, *DCA1*의 위치인식 오차 평균이 SDS-TWR보다 7~12% 감소하였고, *DCA2*의 위치인식 오차 평균은 SDS-TWR보다 20% 감소하였다. 이러한 결과로 볼 때, *DCA2*의 위치인식 오차 평균이 제일 낮기 때문에 *DCA2*의 위치인식 정확도가 가장 우수하다고 판단된다.

향후 본 논문에서 제시한 *DCA2*의 문제점인 매우 큰 위치인식 오차를 실제 위치에 근접하게 보정하지 못하는 문제를 해결할 수 있는 방안을 연구할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] Jinyang Li, John Jannotti, Douglas S. J. De Couto, David R. Karger, Robert Morris, "A scalable location service for geographic ad hoc routing.", International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 120-130, 2000.
- [2] 조영수, 조성윤, 김병주, 이성호, 김재철, 최완식, "실내의 연속측위 기술 동향," 전자통신동향분석, 22권 3호, 한국전자통신연구원, pp. 20-28, 2007. 6.
- [3] 박옥선, 정광렬, 김성희, "유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 위치인식 기술 및 시스템," 주간기술동향(1098호), 정보통신연구진흥원, pp. 11-21, 2003. 6.
- [4] 최창용, 이동명, "무선 센서네트워크에서 거리 식별코드를 이용한 위치인식시스템 설계 및 구현," 한국통신학회논문지 34권 8호, 한국통신학회, pp. 575-582, 2009. 8.
- [5] IEEE 802.15.4a, "Part 15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)

Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs)," rdafr P802.15.4a/D7, Jan. 2007.

- [6] H. Shen and A. Papandreou-Suppappola, "Diversity and Channel Estimation using Time-varying Signals and time-frequency techniques," IEEE Trans. Signal Process., Vol.54, No.9, pp. 3400-3413, Sep. 2006.
- [7] 최창용, 이동명, "거리측정의 오차비율 오프셋을 적용한 보정알고리즘 연구," 한국산학기술학회논문지 Vol. 11, No. 3, pp. 914-919, 2010. 3.
- [8] T. Takagi, and M. Sugeno, "Fuzz Identification of System and its Application to Modeling and Control," IEEE Trans on System, Man, Cybernetics, Vol.15, No.1, pp.116-132, 1985.
- [9] B.W. Kozminchuk, A.U.H. Sheikh, "A Kalman Filter-Based Architecture for on Comm, 43(234), pp.574-580, 1995.
- [10] Y. Qi, H. Kobayashi, and H. Suda, "On Time-of-arrival Positioning in a Multipath Environment," IEEE Trans. on Vehicular Technology, pp. 1516-1526, 2006.
- [11] Michael Tuchler, Volker Schwarz, Alexander Huber, "Location Accuracy of an UWB Localization System in a Multi-path Environment," IEEE International Conference on Ultra-Wideband, Zurich, pp. 414-419, Sep. 2005.

**이 동 명(Dong Myung Lee)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1990년 8월 : 숭실대학교 전산공과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 숭실대학교 전자계산학과(공학박사)
- 1982년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

이동통신시스템, 센서네트워크, 지능형 로봇

**최 창 용(Changyong Choi)**

[준회원]



- 2008년 2월 : 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야>

센서네트워크, WPAN, LBS, Flex, DB