

논문 2009-04-22

# IEEE 802.15.4a CSS PHY를 이용한 환경기반 거리측정오차 보정 기법

(Environment-Based Ranging Error Correction Technique  
Using IEEE 802.15.4a CSS PHY)

남민석, 박영균, 남영진\*, 이동하, 강진규, 이상철

(Min-Seok Nam, Young-Kyun Park, Young Jin Nam, Dong-Ha Lee, Jin-Kyu Kang, Sang-Cheol Lee)

**Abstract :** Precise localization heavily relies on the accuracy of its underlying ranging technique. It has been known that the Chirp Spread Spectrum (CSS) defined in the IEEE 802.15.4a provides more dependable ranging accuracy than the Received Signal Strength Indicator (RSSI) in the IEEE 802.15.4. This paper examines the accuracy of the CSS-based ranging technique in the indoor/outdoor environments and discovers its consistent inaccuracy in different environments. Next, it proposes an error-correction architecture for the CSS-based ranging technique that exploits the per-environment consistent inaccuracy information and user visiting patterns (represented by weights for each environment).

**Keywords :** Wireless sensor network, Ranging, Chirp spread spectrum, Error correction

## I. 서론

무선센서네트워크는 다수의 센서노드들이 네트워크를 구성하여 다양한 환경에서 정보를 수집하고 처리하며 새로운 가치를 창출해내는 정보통신기술으로써, 센싱되는 정보는 온도, 습도, 조도, 압력, 가속도, 기율기, 가스, 적외선, 가시광선, 음직임 등 다양하며, 이러한 센싱 정보는 그 정보가 수집된 위치에 대한 정보가 추가됨으로써 더욱더 유용한 정보가 된다[1]. 무선센서네트워크는 그 운용 환경에 따라 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 특정 위치에 고정되어 작업을 수행하는 정적인 경우와 하나 이상의 노드들이 이동하며 작업을 수행하는 동적인 경우가 있을 수 있으며, 특히 후자의 경우 이동 노드

에 대한 위치 정보 획득을 위한 위치인식의 중요성은 더 커진다. 위치인식을 위한 연구는 현재까지 GPS, 적외선, 초음파, RSSI, UWB, CSS 등 다양한 물리매체를 이용하여 연구되어왔다[2].

본 논문에서는 저전력, 저가, 소형 등의 센서 장비 요구사항을 가지는 무선센서네트워크의 취지에 적합하게 별도의 추가 장비를 이용하지 않는 범위 내에서의 위치인식에 대하여 초점을 두고 있으며, 위치인식의 정확도 향상을 위해 노드 간 거리측정 오차를 줄이는 방법을 다룬다. 본 논문은 CSS기반의 무선통신 기술을 이용한 노드 간 거리측정에서 측정 정밀도 향상을 위해 사용자 이동 환경에 대한 가중치 기반의 거리측정 오차보정 기법을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 평가하였다.

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 10. 08., 수정일 : 2009. 12. 03., 채택확정 : 2009. 12. 17.

남민석, 박영균, 남영진 : 대구대학교 컴퓨터정보공학과  
이동하, 강진규, 이상철 : 대구경북과학기술원

※ 본 논문은 대구경북과학기술원의 일반사업과 교육과학기술부 및 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## II. 관련 연구

무선센서네트워크상에서의 위치인식에 대한 기존 연구를 거리측정에 이용된 통신기술로 구분하면 크게 ZigBee, UWB, CSS로 분류할 수 있다. ZigBee는 저전력, 저가, 소형의 센서장비를 이용한 근거리 무선통신 표준인 IEEE 802.15.4 및 ZigBee

Alliance에서 정의한 무선통신 기술이다. 일반적으로 무선 신호는 전송거리가 멀어질수록 수신신호가 감쇄되는 Path Loss 특성을 가지는데, 이는 사용 주파수 및 주변 환경에 따라 전달 특성이 달라진다. ZigBee를 이용한 위치인식 방법은 이러한 Path Loss 특성을 가지는 RSSI 값을 통해 노드간의 거리를 계산하고, 계산된 거리를 바탕으로 특정 위치인식 알고리즘을 이용하여 위치인식을 수행한다. 그러나 RSSI를 이용한 방법은 전파되는 신호의 세기를 일정하게 유지하기 어려우며, 이에 따라 거리의 실측값이 Path Loss 모델과 유사한 궤적을 따라 갈 수는 있으나 거의 일치 하지 않아 정확한 거리의 계산이 힘들다는 단점이 있다[3]. IEEE 802.15.4a에서는 impulse radio (IR) UWB방식 및 CSS 방식의 물리계층(PHY)에 대하여 기술하고 있으며, 특히 IR UWB 방식의 위치인식 기능에 대하여 기술하고 있다. IR UWB를 이용한 위치인식 방법에서는 패킷 헤더에 ranging 비트를 설정한 RFRAME를 전송하고 two-way time-of-arrival (TW-TOA) 방법을 이용하여 위치인식을 위한 거리계산을 수행한다. 또한 UWB는 넓은 대역폭을 이용하여 정밀한 시간 분해능이 가능하며, 장애물에 대한 투과력이 강하여 non-line-of-sight (NLOS)로의 전파에서도 우수한 성능을 보인다[4, 5]. CSS를 이용한 위치인식 방법은 독일의 나노트론사에서 개발한 것으로써 두 노드간의 Round-trip 시간을 이용한 SDS-TWR (Symmetric Double Sided Two Way Ranging) 방법을 이용하여 위치인식을 수행한다. CSS 방식은 기존 IEEE 802.15.4에서의 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 방식보다 장애물에 대한 투과성이 높고 다중경로에 강한 특징이 있다 [5, 6].

### III. 제안 기법

본 논문은 CSS기반의 무선통신 기술을 이용한 위치인식에서 거리 측정상의 오차를 줄임으로써 위치인식 성능을 높이기 위한 방법에 관하여 다루고 있으며, 본 장에서는 기존 CSS기반 거리 측정 방법인 SDS-TWR을 이용한 다양한 환경에서의 거리 측정 실험을 통하여 주변 환경에 따른 거리 측정상의 오차 특성을 파악하고, 위치인식의 성능향상을 위하여 사용자 이동 환경에 대한 가중치를 거리계산 상에 적용함으로써 노드간 거리 측정에서 발생하는 오

차를 보정하는 사용자 이동환경기반 거리측정오차 보정기법 및 제안 기법을 위한 거리측정 시스템 구조를 설명한다.

#### 1. 기존 CSS기반 SDS-TWR 성능 분석

CSS기반 SDS-TWR의 성능 분석을 위하여 본 논문에서는 실외(open space) 및 실내(partially open space) 환경을 구분하여 거리 측정 실험을 수행하였다. 거리 측정실험은 독일 나노트론사의 nanoLOC DK를 이용하여 수행되었으며, 표본 데이터 수집을 위해 그림 1과 같이 실외환경으로는 텅 빈 주차장(a)을 이용하였고 실내 환경으로는 유리구조로 된 복도(b), 일반 복도(c), 철관물함이 배치된 복도(d)를 이용하였으며, 각 미터 당 300회의 거리 측정 데이터를 수집하였다.

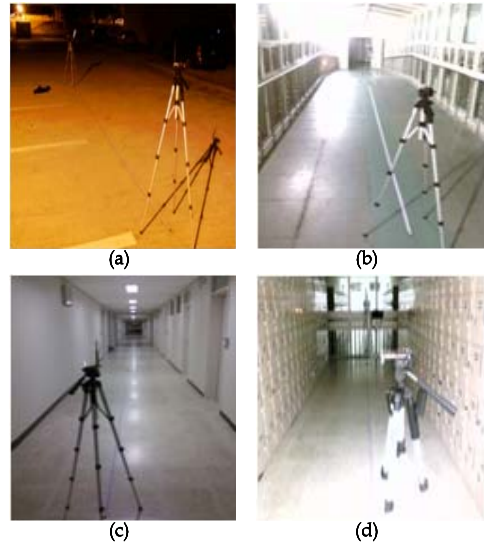


그림 1. 거리 측정 실험 환경

Fig. 1. Environment for ranging tests

그림 2는 각 환경에 따른 미터 별 거리 측정 오차의 평균을 나타내는 그래프로써 실외주차장(a), 유리구조로 된 복도(b) 및 일반복도(c)에서는 측정된 거리 오차가 2m 이내로써, 측정오차가 노드 간 거리의 증가에 비교적 고른 반면, 철관물함이 배치된 복도(d)에서의 측정된 거리 오차는 노드 간 거리 3.5m를 기점으로 급격히 증가함을 보인다. 이는 CSS 신호가 금속물질에 영향을 받는다는 것을 의미한다. 또한 실외주차장(a)에서는 거리측정 오차가 노드간의 떨어진 거리와 관계없이 약 1m 정도로 고

른 반면, 유리구조 및 일반 복도에서는 약간의 변동이 나타나는 것으로 보아, 주변 환경이 오픈될수록 거리측정 오차가 고르게 발생한다고 볼 수 있다. 그림 3은 각 환경에 따른 미터 별 거리 측정 오차의

대칭적인 경향이 있으나, 거의 정규분포에 근접한다고 볼 수 있다. 반면, 철관물함이 배치된 복도(d)의 경우는 오차의 분포가 다른 환경에서의 경우와는 다른 경우라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 거리측정

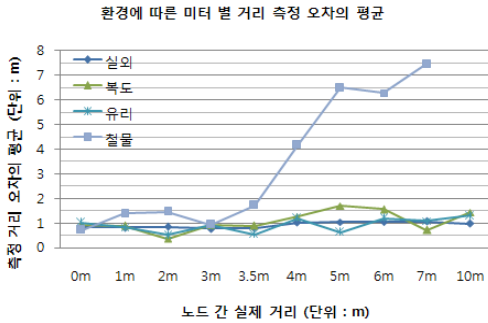


그림 2. 환경에 따른 미터 별 거리 측정 오차의 평균

Fig. 2. Mean of ranging errors for each meter at various environments

분산을 나타내는 그래프로써 철관물함이 배치된 복도(d)를 제외한 환경에서는 분산이 0.1m 이하로 나타남으로써 거리 측정 실험에 사용된 키트가 신뢰도 있는 측정 데이터를 얻어내고 있음을 나타내며, 철관물함이 배치된 복도의 경우에는 노드간 거리가 6m 이상 멀어지면 신뢰도가 떨어짐을 보인다.

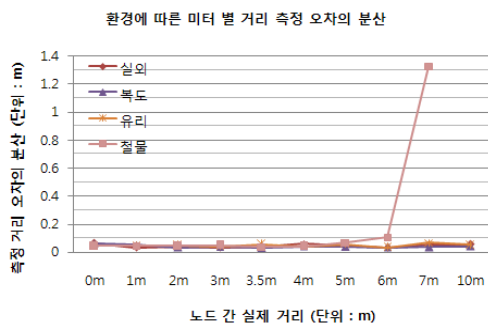


그림 3. 환경에 따른 미터 별 거리 측정 오차의 분산  
Fig. 3. Variance of ranging errors for each meter at various environments

또한 그림 4는 각 환경 별 거리측정 오차에 대한 정규 확률도 및 히스토그램을 나타낸 것으로써, 실외 주차장(a)의 경우 오차의 분포가 정규성을 띄고 있음을 보이며, 유리구조로 된 복도 및 일반 복도에서도 오차의 분포가 평균을 기준으로 약간 비

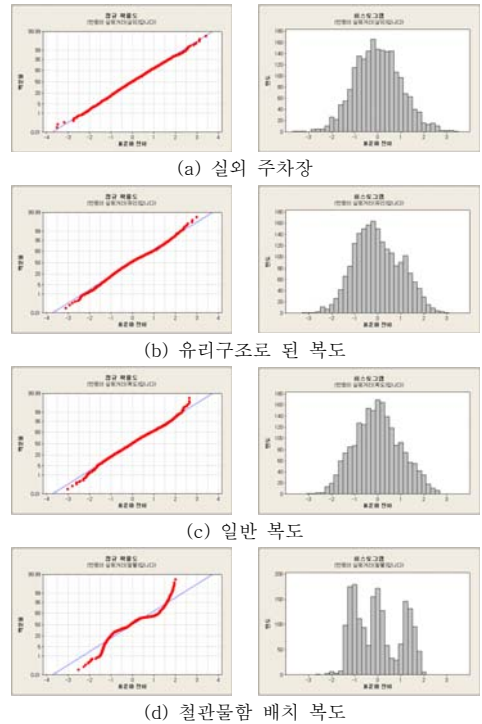


그림 4. 각 환경 별 거리측정 오차에 대한 정규 확률도 및 히스토그램

Fig. 4. A Normal probability plots and histogram for ranging error at each environment

오차 보정을 위해 사용자의 이동 환경에 따른 가중치를 적용하여 환경별 거리측정 데이터를 비율적으로 통합하고 회귀분석을 통하여 오차를 보정하게 되는데 이를 위해서는 오차의 분포를 정규분포로 가정할 필요가 있으며, 따라서 철관물함 배치 복도 등 철물구조의 환경에서의 경우는 추후 연구 사항으로 남기고자 한다. 다음 단락에서는 제안된 오차 보정 기법을 위한 거리측정 시스템의 구조를 설명한다.

2. 제안 기법을 위한 거리측정 시스템 구조

제안된 오차보정기법을 위한 거리측정 시스템은

그림 5와 같이 노드 간 거리계산을 위한 거리측정 모듈 (Ranging Module), 다양한 주변 환경에 대한 노드 간 거리 별 거리측정 정보를 저장하는 데이터베이스 (Database), 오차 보정을 위한 오차 보정 모듈 (Error Correction Module), 사용자 인터페이스를 위한 API 및 거리측정을 수행하는 H/W로 구성된다. 본 시스템의 거리측정 수행 과정은 먼저 API를 통하여 사용자로부터 거리측정을 수행 할 노드 선택 및 거리측정 주기 등의 거리측정 정책과 사용자의 주요 이동 환경에 대한 가중치를 퍼센트 단위로 입력 받는데 이때 환경 별 가중치의 총합은 100%가 된다. 거리측정 정책은 거리측정 모듈에서 이용되며, 이동 환경에 대한 가중치는 오차 보정 모듈에서 이용된다. 거리측정 모듈은 입력 받은 거리측정 정책에 따라 H/W로 거리측정 명령을 내려 거리측정을 수행하여 측정된 거리 값을 오차보정모듈에 전달하며, 오차보정 모듈은 사용자로부터 입력 받은 이동 환경 가중치를 이용하여 미리 저장된 환경 및 미터별 거리측정 데이터베이스로부터 비율적으로 거리측정 데이터를 무작위 추출한다. 추출된 데이터는 새로운 환경 데이터 집단으로 가정하여 회귀분석을 통해 오차보정을 위한 회귀식을 유도하고, 거리측정 모듈로부터 전달받은 측정된 거리값을 유도된 회귀식에 적용함으로써 거리측정 값은 보정된다. 마지막으로 보정된 거리측정 값은 API를 통해 반환된 후 위치인식 알고리즘에 적용되어 위치인식에 이용된다.

총합은 100%가 되며, 가중치에 따라 데이터베이스에 저장된 환경별 거리측정 데이터를 비율적으로 랜덤하게 추출한다. 추출된 각 환경에 대한 거리 데이터들은 하나의 환경집단으로 가정하고 회귀분석을 통하여 사용자 이동환경에 대한 거리측정오차의 분포를 추정한다. 회귀분석에 이용된 회귀 모형은

거리측정치에 분포에 따라 다르나 일반적으로 노드 간 실제 떨어진 거리가 증가함에 따라 측정된 노드 간 거리 값도 실제 거리와 유사한 정도로 증가함을 고려하여 다음과 같이 확정적 함수관계를 나타내는 부분과 확률적 오차부분을 결합한 형태의 단순 선형 회귀 모형을 이용하였다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

식 (1)에서  $y_i$ 는 측정된 거리값이 되며,  $x_i$ 는 노드간 실제 떨어진 거리값이 된다. 또한  $\beta_0$  및  $\beta_1$ 은 최소자승법에 의해 추정되는 회귀계수를 나타내며,  $\epsilon_i$ 는 거리측정 오차로써 총합은 0이 되는 화이트 노이즈 값으로, 평균은 0, 분산은  $\sigma^2$ 인 정규분포를 따름을 가정한다.

회귀분석을 통해 추정된 회귀식은 측정된 거리값에 적용되며, 마지막으로 적용 결과에 절대치를 취함으로써 거리측정오차는 보정되게 된다.

#### IV. 성능 평가

본 논문에서는 제안된 기법의 성능평가를 위하여 나노트론 nanoLOC DK 보드를 이용하였으며, 각 환경 및 거리 별로 거리측정 데이터베이스를 구축하고, 거리측정을 위한 거리측정 모듈 및 오차 보정을 위한 오차 보정 모듈을 구현하여 사용자의 이동환경에 따른 가중치를 적용한 거리 측정 실험을 수행하고 이번측량 방법을 이용하여 위치인식 성능을 평가하였다.

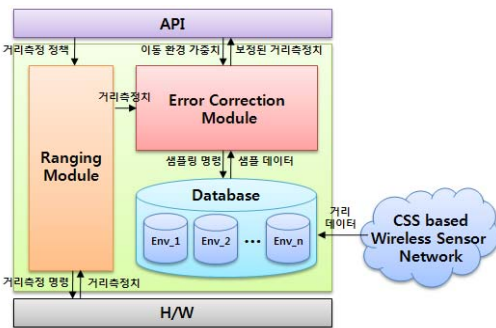


그림 5. 제안된 정밀거리측정 기법 구조  
Fig. 5. The architecture for the proposed precise ranging technique

#### 3. 거리 측정값의 보정

제안된 기법은 사용자의 이동환경에 대한 가중치를 입력받아 거리측정값을 보정한다. 입력받는 사용자 이동환경에 대한 가중치는 비율의 형태로써

#### 1. SDS-TWR 거리 측정 실험

제안 기법을 적용한 거리 측정 실험을 위해 실외주차장, 실내유리복도환경 및 실내일반복도환경에서 가중치를 적용하여 각 미터별로 200회의 거리 측정을 수행하였다.

그림 6은 실외에서의 거리측정 실험의 결과를 나타내는 그래프로써, 사용자의 이동 환경 가중치를 실외 100%로 적용하였을 경우가 가장 정확한 경우

로 약 0.2m 이내의 오차가 나타남을 보인다. 또한 다른 환경에서의 가중치가 증가함에 따라 약간씩의 추가적인 측정 오차가 발생함을 알 수 있으며, 실외와 유리복도환경에 대한 가중치를 각각 50%로 적용하였을 경우의 성능이 실외 100%로 적용하였을 경우와 거의 유사한 것으로 보아 실내유리복도환경

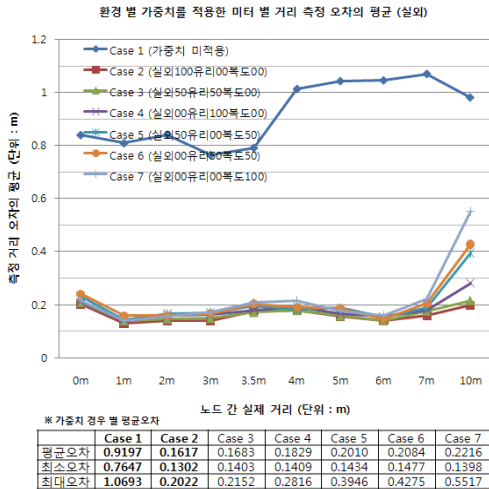


그림 6. 실외환경에서의 거리 측정 결과  
Fig. 6. Ranging result from outdoor environments

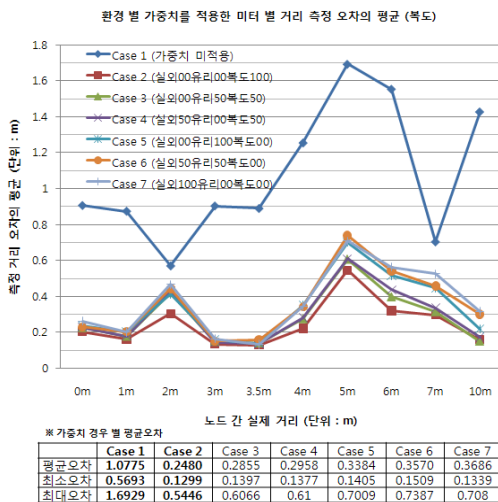


그림 7. 일반복도 환경에서의 거리 측정 결과  
Fig. 7. Ranging result from normal corridor environments

은 실외환경과 유사한 특성을 보인다고 판단된다.

그림 7은 일반복도에서의 실험 결과를 나타내고 있으며, 일반복도 이외의 가중치 비율이 증가함에 따른 성능 저하 현상은 실외에서와 유사한 경향을 보이나, 각 가중치 비율에 따른 성능의 차이가 실외의 환경보다 크게 나타난 것은 실내의 환경이 오픈된 실외환경과는 달리 주위가 막힌 구조에 의한 것으로 판단되며, 본 실험 결과에서는 복도를 100% 가중치로 하였을 경우 약 0.55m 이내의 거리측정

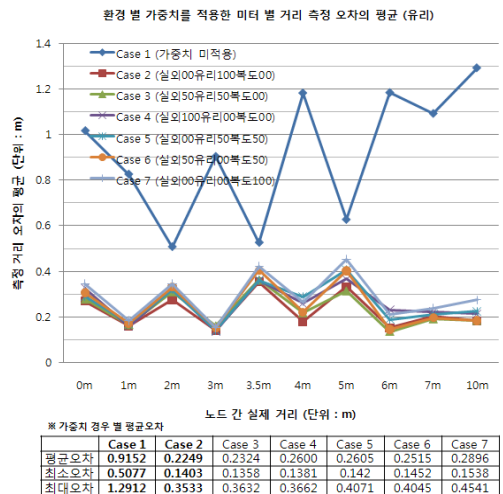


그림 8. 유리복도 환경에서의 거리 측정 결과  
Fig. 8. Ranging result from paned corridor environments

오차를 보인다. 그림 8은 실내유리복도환경에서의 거리측정 실험 결과를 나타내고 있으며, 유리를 100% 가중치로 하였을 경우 거리측정 오차가 약 0.35m 이내로써 가장 낮은 오차율을 보이며, 각 환경별 가중치에 따른 성능상의 차이는 다른 환경에서와 유사하게 유리복도 환경에 대한 가중치가 감소함에 따라 오차가 증가하는 경향을 나타냈다.

## 2. 이변측량 위치인식 실험

제안 기법을 적용한 이변측량기반 위치인식 실험을 위해 본 논문에서는 참고문헌[7]에서 제안된 이변측량 알고리즘을 이용하여 실외 주차장 및 실내 일반복도에서 가중치를 적용하여 위치인식 성능을 실험하였다. 그림 9는 위치인식을 실험을 위한 노드 배치 방법에 대한 것으로써 레퍼런스노드 간 간격을 10m로 두고 이동노드를 레퍼런스 노드들 사이의 지점인 0m, 3m, 5m, 7m, 10m에서 각각 100회씩 반복적으로 위치인식 실험을 수행하였다.

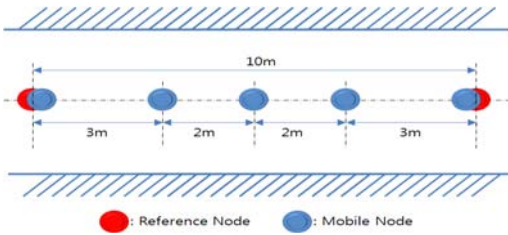


그림 9. 위치인식 실험을 위한 노드 위치  
Fig. 9. Position of nodes for localization test

그림 10은 실외환경에서의 위치인식 결과를 나타내고 있으며, 제안된 거리측정 오차보정 알고리즘을 적용하지 않은 Case 1의 경우 최대 1.05m의 위치인식 오차가 나타난 반면 제안 알고리즘을 적용한 경우 최대 0.47m의 위치인식 오차가 나타남으로써 매우 향상된 위치인식 성능을 보임을 알 수 있다.

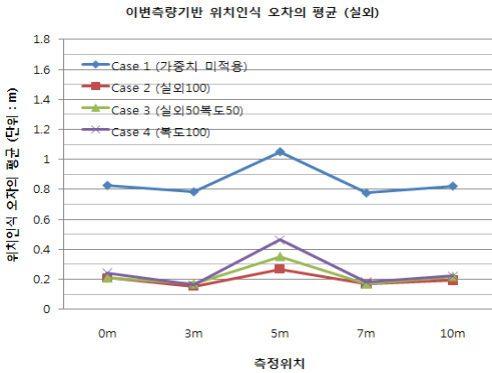


그림 10. 실외환경에서의 위치인식 결과  
Fig. 10. Localization result from outdoor environment

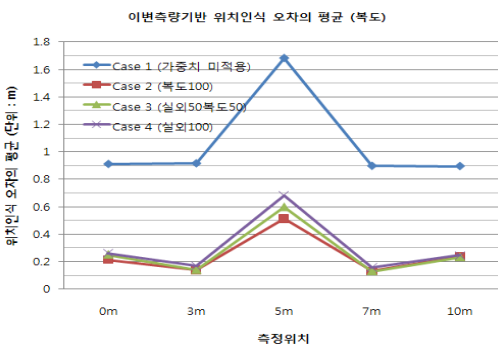


그림 11. 일반복도 환경에서의 위치인식 결과  
Fig. 11. Localization result from normal corridor environment

또한 그림 11은 일반복도 환경에서의 위치인식 실험 결과로써, 제안기법을 적용하지 않은 Case 1의 경우 최대 1.7m의 위치인식 오차가 발생하였으나 제안 기법을 적용한 경우 최대 0.7m의 위치인식 오차가 발생함을 보여 일반복도에서도 향상된 결과를 보임을 알 수 있다.

### V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 별도의 추가 장비 없이 CSS기반의 무선통신환경을 이용하는 센서네트워크상에서 블라인드 노드의 위치를 측정함에 있어 거리측정 오차를 줄임으로써 위치인식의 정밀도 향상을 도모하는 오차보정기법을 제안하였다. 제안된 기법은 사용자의 이동 환경을 가중치로 하여, 데이터베이스로부터 사용자 이동환경에 대한 표본을 비율적으로 추출하고, 회귀분석을 통하여 회귀식을 추정한다. 또한 추정된 회귀식을 측정된 거리에 적용함으로써 거리측정 오차를 감소시킨다. 거리측정 실험을 통하여 실외환경에서 약 0.2m 이하, 일반복도환경에서 약 0.55m 이하, 유리복도환경에서 약 0.35m 이하의 오차를 보임으로써, 일반적인 경우에서의 거리측정 오차평균인 약 1m에 비하여 상당히 향상된 성능을 보였으며, 이변측량기반 위치인식 실험에서도 실외 환경에서 최대 0.47m, 일반복도 환경에서 최대 0.7m의 위치인식오차를 보임으로써 제안기법을 적용하지 않은 경우인 실외 1.05m, 일반복도 1.7m의 경우에 비해 상당히 향상된 결과를 보였다.

본 논문에서는 사용자 이동환경에 따른 거리측정 및 위치인식에 대하여 다루었으나 위치인식 성능에 영향을 미치는 요인은 장소 이외에 온도, 습도, 풍량 등 대기의 상태에 따라 영향을 미칠 수 있다. 향후 연구로는 이러한 대기 상태에 영향을 미치는 요인들에 대한 폭넓은 데이터베이스를 구축하여 대기 상태 및 장애물 재질에 따른 CSS신호 전파 특성에 대하여 연구할 계획이다.

**참고문헌**

- [1] J. Rabaey, M. Ammer, J. Silva, D. Patel and S. Roundy, "Picoradio support ad hoc ultra-low power wireless networking", IEEE Comput., Vol.33, pp. 42-28, Jul. 2000.
- [2] M. Dominguez-Duran, D. Claros, C. Urdiales, F. Coslado and F. Sandoval, "Dynamic calibration and zero configuration positioning system for WSN", Proceedings of the 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, May. 2008.
- [3] Y. Nam, E. Choi and J. Huh, "Location awareness method using vector matching of RSSI in low-rate WPAN", Journal of Information Technology Applications and Management, 2005.
- [4] Z. Sahinoglu and S. Gezici, "Ranging in the IEEE 802.15.4a standard", WAMICON '06. IEEE Annual Wireless and Microwave Technology Conference, Dec. 2006.
- [5] IEEE Standards, "IEEE 802.15.4a : Wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks(LR- WPANs)", 2007.
- [6] Nanotron Technologies GmbH, "Realtime location systems(RTLS)", A White Paper from Nanotron Technologies GmbH, 2006.
- [7] Y. Park, "A high-precision indoor localization technique using ultrasonic and/or IEEE 802.15.4a based bilateration", Master's Thesis, Daegu Univ. 2009.

**저 자 소 개**

**남 민 석**



2008년 대구대학교  
전산통계학과 학사.  
현재, 대구대학교 컴퓨터  
정보공학과 석사과정.  
관심분야: 임베디드 시스템,  
WSN, 통계적 오차보정기법.

Email: msnam@daegu.ac.kr

**박 영 균**



2007년 대구대학교  
전산통계학과 학사.  
2009년 대구대학교  
컴퓨터정보공학과 석사.  
현재, 대구대학교 컴퓨터  
정보공학과 박사과정.

관심분야: 임베디드 시스템, WSN.

Email: superhornet@daegu.ac.kr

**남 영 진**



1992년 경북대학교  
전자공학과 학사.  
1994년 포항공과대학교  
전자전기공학과 석사.  
2004년 포항공과대학교  
컴퓨터공학과 박사.

현재, 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 조교수.  
관심분야: 임베디드 시스템, 저전력 스토리지.  
Email: yjnam@daegu.ac.kr

**이 동 하**

1985년 경북대학교  
전자공학과 학사.  
2001년 경북대학교  
전자공학과 석사.  
2005년 경북대학교  
전자공학과 박사.  
2006년 경북대학교

경영학과 T-MBA 수료.

현재, 영남대학교 겸임교수 및 대구경북과학  
기술원 선임연구부장.

관심분야: 영상처리, DTV시스템, 임베디드 소  
프트웨어.

Email: dhlee@dgist.ac.kr

**강 진 규**

1991년 서울대학교  
공업화학학과 학사.  
1993년 포항공대  
화학공학과 석사.  
2000년 포항공대  
화학공학과 박사.

현재, 경북대학교 겸임교  
수 및 대구경북과학기술원 공공원천기술연구  
센터장.

관심분야: WSN, 디스플레이, 에너지.

Email: apollon@dgist.ac.kr

**이 상 철**

1994년 포항공과대학교  
전자전기공학과 학사.  
1996년 포항공과대학교  
전자전기공학과 석사.  
2002년 포항공과대학교  
전자컴퓨터공학부 박사.

위덕대학교 정보통신과 겸임교수.

프랑스 국립과학원 post-doc.

현재, 영남대학교 겸임교수 및 대구경북과학  
기술원 선임연구원.

관심분야: Energy harvesting, RTLS, Tele  
-operation, U-healthcare, Smart grid.

Email: sclee@dgist.ac.kr