

영역 축소 기법을 이용한 협력 위치추정 테스트베드 설계 및 구현

Design and Implementation of Testbed for Cooperative Localization using Area Reduction Method

정승희*, 오창현*

Seung-Hui Jeong*, Chang-Heon Oh*

요 약

본 논문에서는 실외 환경에서 영역 축소 기법을 이용하여 대상의 위치를 추적할 수 있는 위치추정 알고리즘을 제안하고 이를 위한 테스트베드를 설계, 구현하였다. 제안한 알고리즘은 고정노드의 수가 제한된 환경에서 미지노드의 수신신호 세기를 활용한 상호협력 위치추정 방식으로 3단계의 영역 축소 기법을 통해 미지노드의 위치를 추정하였다. 또한 알고리즘의 검증을 위해 60m×23m 영역에서 5개의 고정노드용 지그비 모듈과 4개의 미지노드용 지그비 모듈을 배치하여 실험하였다. 실험 결과 가시거리 환경에서 고정노드의 수가 동일할 때 미지노드의 수가 증가할수록 제안한 영역 축소 기법을 이용한 협력 위치 추정의 정밀도가 향상됨을 확인하였다. 향후, 실내 및 비가시거리 환경에서도 연속 위치추정이 가능한 알고리즘의 보완이 필요할 것이다.

Abstract

In this study, we designed and implemented testbed for localization algorithm by using a area reduction method in outdoor environment. The proposed algorithm used 3 steps of area reduction method, which estimated blind nodes position. Also, we have experimented with using a Zigbee module for 5 fixed reference nodes and 4 blind nodes in sensor field of 60m×23m. The results show that our algorithm is improved the localization accuracy even at the number of ref. node is fixed and the number of blind node is increased. In future research, we will be adding the function of seamless localization in indoor and NLOS(non-line of sight) environment.

Keywords: cooperative localization, RSS, area reduction method

I. 서 론

최근 활성화 되고 있는 무선 센서 네트워크 환경에서 각각의 센서는 주로 응급 정보의 감지를 목적으로 활용되고 있다[1]-[3]. 그러나 센서가 응급 정보를 감지하여 송신되더라도 정확한 위치 정보가 파악되

지 못하면 응급 정보는 무의미한 정보로 남을 것이다 [4]. 그러므로 신뢰성 있는 위치 정보의 제공은 무선 센서 네트워크에서 필수적이며, 에너지 절약형 네트워크 설계에 반드시 요구되는 기술이다.

센서 노드의 위치를 파악하기 위한 무선 위치 추정 기술들 중에서 RSS (received signal strength) 기반

* 한국기술교육대학교 정보기술공학부(Dept. of Information Technology Eng., Korea University of Technology and Education.)

· 교신저자 (Corresponding Author) : 오창현

· 투고일자 : 2009년 9월 2일

· 심사(수정)일자 : 2009년 9월 3일 (수정일자 : 2009년 10월 23일)

· 게재일자 : 2009년 10월 30일

의 위치추정 방식은 구현 비용 대비 정확도 측면에서 효율적이므로 광범위한 분야에서 응용되고 있다. RSS 기반 위치추정 시스템에서 고정노드들은 자신의 절대좌표를 인지하는 반면 미지노드들의 위치는 고정노드에서 수신 신호 세기를 측정하여 그 위치를 추정하게 된다. 그러나 RSS 기반 위치추정 기술은 신호의 감쇠 및 장애물로 인해 빈번한 신호 세기 변화가 발생되므로 일반적으로 시간정보 기반의 위치추정 방식에 비해 위치추정 정밀도가 낮다고 알려져 있다. RSS 기반 위치추정의 낮은 신뢰성 문제를 해결하기 위한 일반적인 방법은 가능한 많은 수의 고정노드를 활용하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 전체 시스템 구축비용의 증가를 야기하므로 본 논문에서는 영역 축소 기법을 활용한 협력 위치추정 알고리즘을 제안하고 테스트베드 구축을 통해 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 영역 축소 기법을 이용한 협력 위치추정 알고리즘의 방법을 설명하고, III장에서는 검증을 위한 테스트베드 설계 및 구현을 기술한다. 또한 IV장에서 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하고 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 협력 위치추정 알고리즘

무선 센서 네트워크에서 RSS를 측정 할 수 있는 노드는 고정노드 (이하, RN(reference node)으로 표기함) 뿐만 아니라 수신된 외부 신호의 ID를 인식할 수 있어야하므로 미지노드 (이하, BN(blind node)으로 표기함) 또한 RSS 측정이 가능하다. 그러므로 제안하는 영역 축소기법을 이용한 협력 위치추정 알고리즘은 다음과 같다.

2-1 협력 위치추정 3단계

단계 1: BN의 초기 영역추정

일반적으로 RN들의 좌표는 알려져 있다. 그러므로 임의의 BN들이 존재할 것으로 예상되는 영역을 추정할 수 있다. 그림 1은 단계 1의 과정을 나타내고

있다. 그림 1에서 붉은색 영역은 고정된 RN을 통해 1차로 추정된 BN의 영역이다. 각각의 영역은 BN의 교차영역을 의미하며, RN의 개수가 증가할수록 BN의 존재영역은 협소해지게 된다.

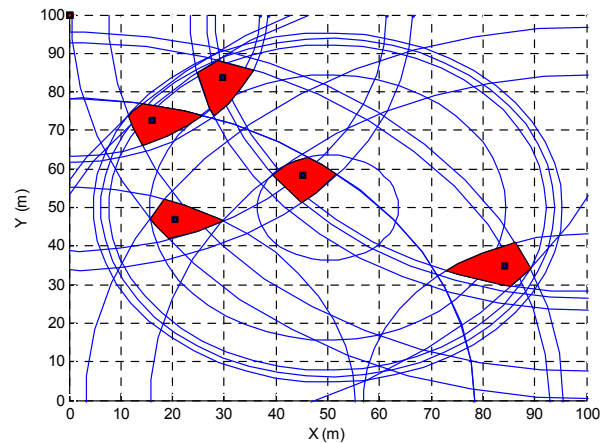


그림 1. RN을 이용한 BN의 초기 영역 추정
Fig. 1. Initial estimation of BN area using RN.

단계 2: 축소기법을 통한 BN의 영역 재추정

단계 1에서 획득된 BN의 영역은 BN이 위치할 것으로 예상되는 영역일 뿐, 실제 BN의 좌표는 아니므로 BN의 정밀한 좌표 추정을 위해 존재 가능한 영역을 더욱 축소할 필요가 있다. 그림 2에서 황색으로 표시된 영역은 BN 영역을 이용한 영역 재추정 결과를 나타내고 있다. 그러므로 본 단계를 거치면서 BN의 존재 가능한 영역은 점차 감소하게 된다.

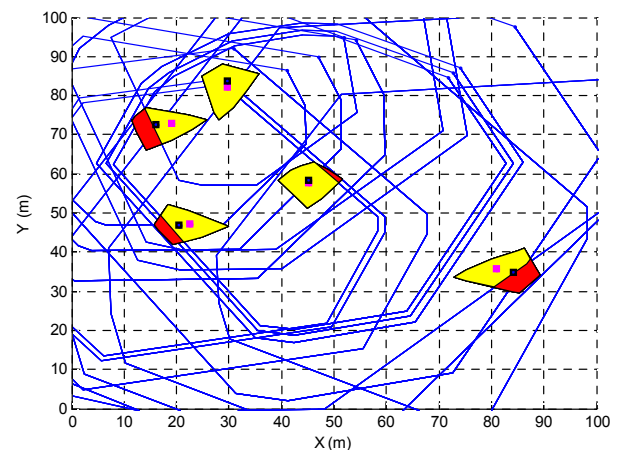


그림 2. BN 영역을 이용한 영역 축소
Fig. 2. Reduction of BN area using oneself.

단계 3: BN의 좌표 결정

단계 1, 2를 통해 BN이 존재할 것으로 예상되는 영역은 순차적으로 감소되었으나 추정된 영역의 한 점이 실제 BN의 좌표이므로 다음의 단계 3을 통해 해당 BN의 좌표를 한 점으로 추정해야 한다[5]. 본 논문에서는 반복을 통해 BN의 중첩 영역을 최소화하고 최종 영역의 무게 중심점을 BN의 좌표로 가정하였다. 식 (1)의 $I_{i,j}$ 는 해당 BN이 존재할 것으로 예상되는 중첩된 영역을 나타낸다.

$$I_{i,j} = C_i \cap C_j \{i, j | 1..n, i \neq j\}. \quad (1)$$

여기서 C_i 과 C_j 는 각 BN의 중첩영역으로 단계 2를 거쳐 축소된 영역이 결정되었으면 BN이 존재할 것으로 예상되는 영역의 면적은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Area = A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i). \quad (2)$$

따라서 식 (3)과 같이 중첩 영역의 X, Y 집합을 영역의 면적으로 나누면 면적에 대한 무게 중심 좌표를 도출해 낼 수 있다. 좌표 $Centroid_x$, $Centroid_y$ 는 BN의 추정된 최종 X, Y 좌표를 의미한다.

$$Centroid_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (3)$$

$$Centroid_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i).$$

2-2 제안 알고리즘의 순서도

그림 3은 앞에서 기술한 3단계 영역축소 기법을 이용한 협력 위치추정 알고리즘의 순서도이다. 초기 단계에서 수집된 RSS 정보는 실시간 위치추정 서버와 데이터 저장소로 전송되어 데이터의 저장과 동시에 거리로 환산된다. 위치추정 서버는 환산된 거리정보를 바탕으로 RN과 BN의 위치를 추정한다. 각 RN에서 수집된 거리정보를 통해 1차로 중첩영역을 도출하고 BN 영역까지 RSS 정보를 활용하여 2차 중첩영역을 계산한다. 모든 과정은 반복적으로 수행되며

더 이상 축소 영역이 발생하지 않는 경우 식 (3)과 같이 축소된 영역의 무게중심점을 BN의 추정좌표로 산출한다.

본 논문에서는 실제 RSS 데이터의 부정확성으로 인해 데이터 수집시 바로 거리로 환산되지 않고 데이터 저장소의 누적 데이터 평균값과 비교 후 거리정보로 변환되도록 설계하였다.

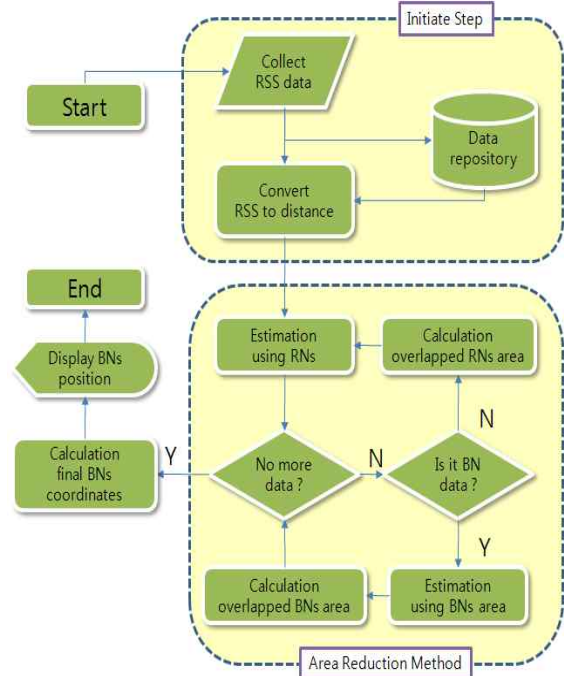


그림 3. 제안된 알고리즘의 순서도
Fig. 3. Flowchart of proposed algorithm.

III. 테스트베드 설계 및 구현

3-1 실험 환경

본 논문에서는 알고리즘의 검증에 위해 테스트베드를 구현하여 실험하였다. 송수신 모듈은 TI사의 CC2420 RF chipset이 탑재된 Hanback Electronics의 Zigbee V1.4 모듈을 활용하였다[6]. 사용된 Zigbee 모듈은 외장안테나를 부착하여 송수신 거리를 최대 200m 까지 확보할 수 있으며, 자체 배터리를 이용하여 주기적으로 자신의 ID를 주변으로 전파한다. 표 1은 실험에 사용된 파라미터를 나타내고 있다.

표 1. 실험 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Value
Sensor field	X=0-60[m], Y=0-23[m],
Zigbee module/TinyOS	HB-Zigbex V1.4/Ver. 1.x
Frequency range	2.4[GHz] - 2.483[GHz]
Number of reference node	5[EA], fixed distribution
Number of blind node	4[EA], random distribution
Conversion of distance	2.5[m/Lv]
Max signal transmit distance	Outdoor=200[m]/(LOS)
Battery (built-in)	1.5[V]×2[EA]
Tx/Rx height	1.2[m]
External dipole antenna	4.5[dBi], 50[Ω]

그림 4는 위치추정을 위한 RN 및 BN의 배치이다. 실험에 사용된 RN은 총 5개이며, 임의배치가 가능한 BN은 4개를 이용하였다.

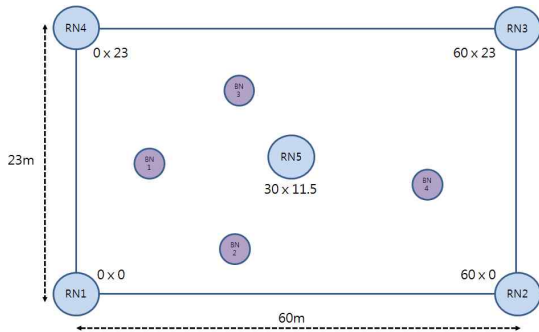


그림 4. RN 및 BN의 배치(실외환경)

Fig. 4. Distribution(outdoor) of RNs and BNs.

3-2 거리에 따른 RSS 측정

RSS를 이용하는 경우 각 노드 사이의 거리는 Friis의 공식을 이용하여 산출할 수 있다. 이때, 환경에 따라 수신신호의 세기가 불규칙적으로 변하지만 선형 감소 형태이므로 이를 환산하여 RSS의 오차를 보정할 수 있다. 그러므로 LOS(line of sight) 환경에서 수신 신호의 경로손실(L)은 식 (4)와 같다.

$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)[dB]. \quad (4)$$

이때 λ 는 신호의 파장을 의미하며, 거리에 따른

식으로 전환하면 식 (5)를 유도할 수 있다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{L}{20}} [m]. \quad (5)$$

그러나 식 (5)는 수신신호 측정시 발생할 수 있는 물리적 오차가 미반영 되었으므로 이에 대한 보정을 위해 식 (6)과 같이 오차 σ 을 거리에 합산해야 한다. 여기에서 C는 전파의 속도 상수이며, f는 사용 주파수이다.

$$d = \frac{C}{4\pi f} 10^{\frac{L}{20}} + \sigma [m]. \quad (6)$$

거리에 따른 RSS의 감쇠 값을 보정하기 위해 그림 5와 같이 실외 LOS 환경에서 10m 간격으로 RSS 측정을 수행하였다. 사용된 모듈은 RSS 측정값을 0Lv - 255Lv 단계로 구분할 수 있으며, 근거리의 경우 RSS는 255Lv에 근접하게 표현되고 원거리일수록 감소하는 형태를 보인다.

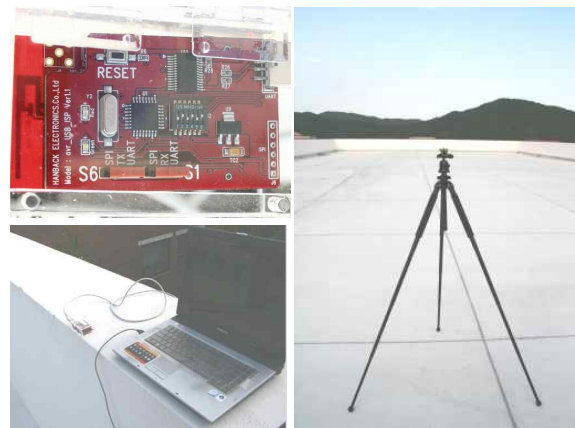


그림 5. 측정을 위한 실험 모듈

Fig. 5. Experiment devices for measurement.

본 논문에서는 불규칙한 RSS의 신뢰성 확보를 위해 실시간으로 측정된 RSS 데이터의 누적 평균을 사용하였으며, 안테나의 방사패턴을 고려하여 1m 전방향 측정값의 평균을 고려하였다. 실험 결과 그림 6과 같이 측정된 10m당 RSS는 레벨 4[Lv]씩 선형적으로 감소됨을 확인하였다. 그러므로 이후의 실험에서는 RSS에 따른 거리변환의 단위로 2.5[m/Lv]을 적용하

여 이격 거리를 산출하였다.

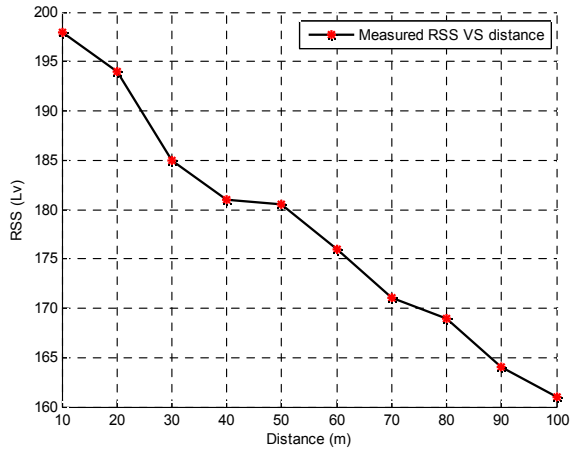


그림 6. 거리에 따른 측정 RSS의 평균
Fig. 6. Measured average RSS Vs. distance.

실험에서 수집된 RSS는 그림 7과 같이 2회에 걸쳐 normalize 하였으며, LOS 환경에서 RSS가 일정한 평균값임을 확인할 수 있다. 따라서 노드간 상호 RSS를 참조함으로써 협력적인 위치추정이 가능하게 된다.

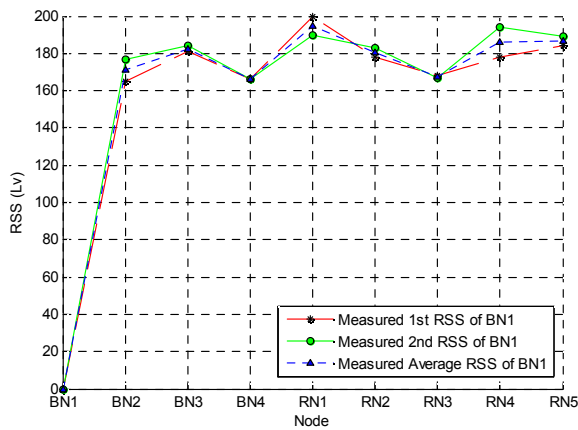


그림 7. 측정된 RSS의 표본 (BN1에서의 측정값)
Fig. 7. Sample of measured RSS(from BN1).

IV. 제안 알고리즘의 성능평가

4-1 기존 RSS 기반 위치추정의 문제점

기존의 RSS를 이용한 일반적인 위치추정 방식은 RN에 수신된 BN의 RSS 정보를 이용하여 삼변측량

법으로 도출된 영역의 중점을 활용하는 것이 일반적이다[7]-[9].

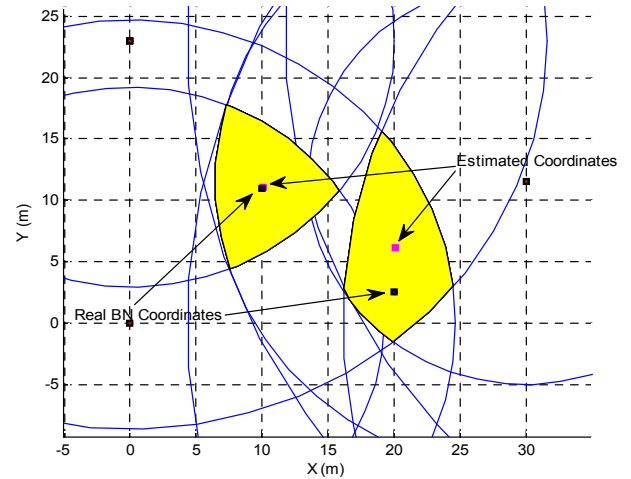


그림 8. 기존 RSS 기반 위치추정의 문제
Fig. 8. Limitation of conventional RSS based localization.

이는 RN에 의존적이므로 RN의 수가 증가할수록 높은 위치추정 정밀도를 보이거나 반대로 RN의 수가 제한되는 경우 위치추정의 한계를 보인다. 또한 기존 방법은 추정된 영역이 실제 BN을 기점으로 전방향으로 고르게 설정된 경우, 높은 위치추정 정밀도를 보이거나, 반대로 어느 특정방향으로 치우치는 경우 중점의 좌표는 실제 BN과 상당한 차이를 보이게 된다. 그림 8은 기존의 RSS를 이용한 위치추정 방식의 문제점을 나타내고 있다.

따라서 본 논문에서는 추정 영역의 불균등한 치우침 현상을 제거하기 위한 방법으로 제한한 알고리즘을 활용하여 추정하였으며, 제한된 RN의 개수를 극복하기 위해 각 BN의 RSS 정보를 추가적으로 활용하였다.

4-2 거리에 따른 RSS 측정

그림 9는 그림 4와 같이 배치된 환경에서 추정된 BN의 영역을 나타낸다. BN이 존재하는 영역은 3단계의 영역 축소 기법을 통해 붉은색 부분이 축소가 되었음을 확인할 수 있다. 그러므로 더 이상의 축소 영역이 발생하지 않을 때까지 제안된 알고리즘이 반복적으로 수행된다면 BN의 영역은 RN만 이용하여

추정된 영역에 비해 현저하게 감소됨을 예상할 수 있다.

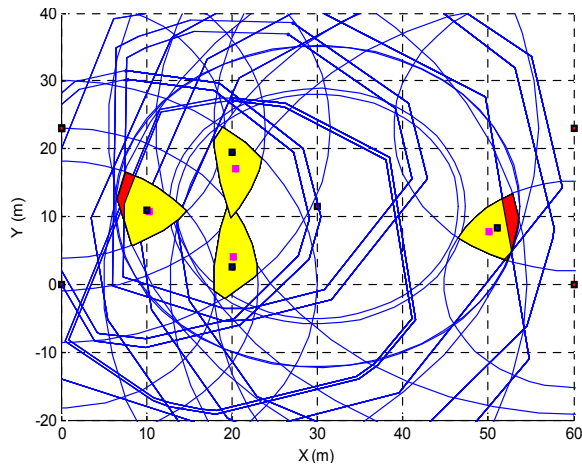


그림 9. BN 영역의 순차적 감소 과정
Fig. 9. Further reduction of BN area.

4-3 제안 알고리즘의 위치추정 정밀도

실험을 통해 그림 10과 같이 RN의 수가 5개이고 BN의 개수가 1개에서 4개인 경우 본 논문에서 제안한 영역 축소 기법을 이용한 협력 위치추정 방식이 최대 2m 정도 더 정밀하게 추정됨을 확인할 수 있다. 또한 BN의 증가는 이용 가능한 BN 영역의 증가를 의미하므로 RN의 수에 관계없이 전체 사용 가능한 BN의 수가 증가할수록 위치추정 정밀도는 선형적으로 향상될 것임을 예측해 볼 수 있다.

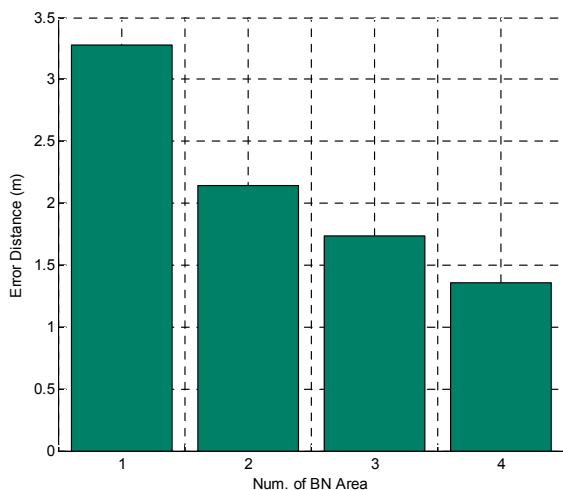


그림 10. BN 영역의 개수에 따른 오차거리 비교
Fig. 10. Comparison of error distances according to the # of BN area.

V. 결 론

본 논문에서는 실외 환경에서 영역 축소 기법을 이용하여 대상의 위치를 추적할 수 있는 협력 위치추정 알고리즘을 제안하고 이를 위한 테스트베드를 설계 및 구현하였다. 제안한 알고리즘은 RN의 수가 제한된 환경에서 BN의 RSS를 활용한 상호 협력적인 위치추정 방식으로 본 연구에서는 3단계의 영역 축소 기법을 통해 BN의 영역을 추정하였으며, 이를 재 활용하여 정밀도를 향상시키고자 하였다. 이를 위해 60m×23m 영역의 테스트베드에서 5개의 RN 및 4개의 BN을 배치하여 실험하였다. 사용된 RN과 BN은 2.4GHz 대역의 Zigbee 모듈을 이용하였으며, 각각의 모듈에는 CC2420 RF chip이 장착되어 있다. 실외의 LOS 환경에서 실험한 결과 RN 수가 동일할 때 BN 수가 증가할수록 제안한 영역 축소 기법을 이용한 협력 위치추정의 정밀도가 선형적으로 향상됨을 확인하였다. 향후, 실내 환경 및 NLOS 환경에서의 실험을 통해 실내의 환경에서 연속적인 위치추정이 가능한 알고리즘의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges," *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247-1256, Aug. 2003.
- [2] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 41-49, Aug. 2004.
- [3] K. Martinez, J. K. Hart, and R. Ong, "Environmental sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 50-56, Aug. 2004.
- [4] J. M. Rabaey, M. J. Ammer, J. L. da Silva, Jr., D. Patel, and S. Roundy, "PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking," *IEEE Computer*, vol. 33, no. 7, pp. 42-48, Jul. 2002.
- [5] Wenping Chen and Xiaofeng Meng, "A cooperative localization scheme for zigbee-based wireless sensor networks," *ICON '06. 14th IEEE International*

Conference, vol. 2, pp. 1-5, Sept. 2006.

- [6] K. Aamodt, *CC2420 Location Engine, Application Note AN042(Rev.1.0)*. July 2006.
- [7] M. Robinson and I. Psaromiligkos, "Received Signal Strength Based Location Estimation of a Wireless LAN Client," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 4, pp. 2350-2354, March 2005.
- [8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based user Location and Tracking System," *IEEE INFOCOM*, vol. 2, pp. 775-784, March 2000.
- [9] M. Robinson and I. Psaromiligkos, "Received Signal Strength Based Location Estimation of a Wireless LAN Client," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 4, pp. 2350-2354, March 2005.

오 창 현 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
 1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
 1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월~1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원
 1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원
 1999년 2월~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수
 2006년 8월~2007년 7월: 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
 관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR

정 승 희 (鄭昇熹)



2005년 2월: 한국기술교육대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2007년 2월: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (박사과정)
 관심분야 : 무선통신, Ranging/LBS

RFID/USN