RSSI의 회귀 분석을 이용한 무선센서노드의 위치관리

양현호*

Lode Location Management Using RSSI Regression Analysis in Wireless Sensor Network

Hyunho Yang*

본 연구는 지식경제부의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
IITA-2009-(C1090-0902-0047)

요 약

WSN(Wireless Sensor Network)의 기술 요소 중의 하나는 센서노드의 위치 관리이다. GPS, 초음파 센서, RSSI 등이 전형적인 노드의 위치 관리 방법이다. 본 논문에서는 센서 노드 위치 측정의 정확성을 향상시키기 위해 RSSI 측정에 회귀분석을 적용한 새로운 위치 관리 방식을 제안한다. 또한 기존 방식의 실험적인 결과와의 비교를 통해 제안된 방식의 성능을 평가한다. 결과에 따르면 우리의 제안된 방식인 LM-RAR은 RSSI와 Friis 공식을 사용한 기존의 위치 관리 방식보다 향상된 정확성을 보인다.

ABSTRACT

One of the key technical challenges of wireless sensor network (WSN) is location management of sensor nodes. Typical node location management methods use GPS, ultrasonic sensors or RSSI. In this paper we propose a new location management method which adopts regression analysis of RSSI measurement to improve the accuracy of sensor node position estimation. We also evaluated the performance of proposed method by comparing the experimental results with existing scheme. According to the results, our proposed method, LM-RAR, shows better accuracy than existing location management scheme using RSSI and Friis' equation.

키워드

RSSI, Location management, Triangulation, Friis Equation, Regression analysis

* 군산대학교 정보통신공학과

접수일자 2009. 02. 11
심사완료일자 2009. 04. 21

Ⅰ. 서 론

최근 낮은 전력의 프로세서와 메모리 그리고 무선주파수(RF) 통신 칩을 갖춘 작은 센서로 구성된 무선 센서 노드의 응용분야는 빠르게 성장하고 있다. 환경 모니터링, 빌딩 모니터링, 객체 추적은 전형적인 응용분야이다[1]. GPS(Global Positioning System)[2]와 셀룰러 네트워크는 지금까지 가장 인기 있는 위치 관리 시스템으로 고려되어진다. 이러한 시스템 외에도 적외선을 이용하는 AT&T사의 Active Badge[3], 초음파를 이용하는 캠브리지 대학의 Active Bat 및 MIT의 Cricket[4] 등이 있다.

RSS(Received Signal Strength) 기반 위치인식은 별도의 장치 없이 RF의 세기만으로 위치를 인식할 수 있는 방법으로 실내외 모두에서 사용 가능하고 구조가 단순하며 전력소모가 적고 오차 범위도 적절하다. RSS 기반의 위치인식에는 크게 2가지 방식이 가능한데 하나는 여러 곳에 적절히 고정 배치된 노드가 신호를 발신하고 이를 이동노드가 수신, 자신의 위치를 계산하여 전송하는 방식이고 다른 하나는 이동 중인 노드가 신호를 발신하고 고정된 노드가 신호를 수신, 위치를 계산하는 방식이다. [7]

본 논문에서는 새로운 RSS 기반의 위치 관리 방식인 LM-RAR(Location Management by Regression Analysis of RSSI)을 제안한다. 제안하는 방식에서 노드 사이의 거리는 RSSI와 거리간의 회귀분석을 사용하여 계산된다. 또한 제안된 LM-RAR 방식을 증명하기 위해 송신기와 수신기 사이에서 전파의 경로 손실을 이용하여 거리를 측정한 기존의 방식과 비교한다.

본 논문의 2장에서는 RSSI를 이용한 위치 관리 방식에 관련된 연구와 기존의 측정 오차의 보정 방식에 대해 기술하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 측정오차 보정방식인 LM-RAR을 기술하였으며 4장에서는 제안된 방식을 평가하는 실험 환경과 장비를 설명하고 위치 측정 실험을 하여 얻은 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 계획을 기술한다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 RSSI를 이용한 거리 측정

RSSI를 이용한 거리 측정은 송신기와 수신기 사이에서 전파의 경로 손실을 이용하여 거리를 측정하는 것이다. 수신 신호 세기를 이용하는 경우 이동 개체로부터 기준점 사이의 거리는 식 (1)의 Friis의 공식을 통해 구할 수 있다.

$$L = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)[dB] \tag{1}$$

여기서 λ는 전파의 파장을 나타내며 거리 d와 동일한 단위를 사용한다. 식 (1)을 두 지점 사이의 거리 d에 대해 나타내면 식 (2)와 같이 된다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi}\times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f}\times 10^{\frac{L}{20}} \tag{2}$$

여기서 c는 전파속도이며 f는 주파수를 나타낸다. 또한 L은 송신기와 수신기 사이의 경로 손실로써 송신기의 송신전력과 수신기의 수신 전력의 차이를 통해 얻을 수 있다.

Friis의 공식은 자유 공간에서의 경로 손실을 구하는 것이므로 상당한 오차를 발생시킬 수도 있다. 그래서 2.3절에 기술된 에러 보정기술이 요구된다.

2.2 삼각측량법을 이용한 위치 측정

삼각측량법은 간단한 기하학적인 방법으로 2차원 평면상에서 이동하는 개체의 실시간 위치를 추정하는데 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 그림 1은 삼각측량법을 보이고 있다. 2차원 평면상(이하 2차원 평면만을 가정한다.)에서 이동하는 개체의 실시간 위치를 추정하기 위해서는 최소 3개 이상의 기준점이 필요하다. 예를 들어 그림 1에서 보듯이 3개의 기준점이 있고 각각의 좌표를 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$라 한다. 이동하는 개체를 M으로 나타내고, 현재의 위치를 (x, y)라고 한다. 또한 3 기준점의 위치를 알고 이동 개체 M으로부터 세 개의 기준점까지의 거리를 d_1, d_2, d_3라고 가정한다.

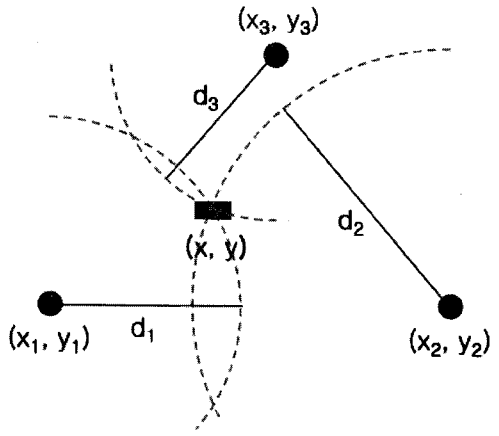


그림 1. 삼각측량법
Fig. 1 Triangulation

d_1, d_2, d_3는 피타고라스 정리에 의해 식(3), (4), (5)와 같이 계산될 수 있다.

$$d_1 = \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2} \quad (3)$$

$$d_2 = \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2} \quad (4)$$

$$d_3 = \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2} \quad (5)$$

d_1, d_2, d_3의 값은 송신기와 수신기 사이에서 전파의 경로 손실을 이용하여 얻은 거리이다.

2.3 측정오차의 보정

오차를 발생시키는 여러 가지 원인 중에는 환경의 측정 조건의 변화 등으로 생기는 Systematic error, 센서에서 나타나는 열잡음이나 물리적인 event에 의해 생성된 음향잡음 등에 의해 발생하는 Random error, 인간의 실수나 측정 절차상의 선천적인 결함으로 인해 나타나는 Gross error 등이 있다. [9] 이러한 오류를 정정하고 측정 정밀도를 향상시키기 위해 몇 가지 방법을 제안되었다.

Three-sigma 기준은 Tree-sigma limit 보다 더 큰 오차를 가지면 측정된 값을 받아들이지 않는다.

Chauvenet의 기준은 이용할 수 있는 측정값이 매우 작을 때 이 값을 이용할지 안 할지를 결정하는데 유용한 test rule을 제공한다. 이 기준은 평균값으로부터 최대값 또는 최소값의 편차에 따라 측정값을 평가한다. 만약 편차가 상응하는 임계값보다 크다면 측정값이 에러를 가지고 있다고 결정하고 그 값을 받아들이지 않는다.

Grubbs 기준은 더욱 정확한 결정 규칙을 제공하는 Chauvenet의 기준의 향상된 version이다.

Ⅲ. LM-RAR: RSSI의 회귀 분석을 이용한 무선센서노드의 위치관리

본 논문에서는 RSSI 측정 data의 회귀 분석을 기반으로 한 새로운 위치 측정 기술(LM-RAR)을 제안한다. 회귀분석은 측정된 값과 수학적 모델을 바탕으로 하는 회귀식에 따라서 독립변수에 대해 종속변수를 예측하는데 유용한 통계적인 방식이다. 통계학에서 관찰된 연속형 변수들에 대해 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계에 따른 수학적 모델[10]인 선형적 관계식을 구하여 어떤 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수를 예측한다. 예를 들면 RSSI라는 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수인 거리를 예측할 수 있게 하는 것이다.

LM-RAR은 RF 환경이 안정적이라는 가정 하에 RSSI에 의존하여 노드 사이의 거리를 측정한다. LM-RAR에서의 특정한 측정 거리는 다음의 절차에 따라 측정된다.

i) 노드에 대한 다양한 거리에서의 RSSI 값을 측정한다.
ii) 절차 i)에서 측정된 RSSI값을 이용하여 RSSI와 거리의 관계를 예측하는 회귀선을 생성한다.
iii) 회귀식을 이용하여 RSSI와 거리 간의 변환 표를 작성한다.
iv) 알지 못하는 거리에 대한 RSSI를 측정한다.
vi) 거리를 구하기 위해 절차 iii)에서 작성된 변환 표를 참조한다.

Ⅳ. 거리 측정 실험

4.1 RSSI에 대한 노드 측정

첫 번째 실험은 각각의 노드를 측정하고 회귀식을 이용하여 RSSI와 거리간의 변환 표를 만드는 것이다. RSSI 값을 측정하기 위해 그림2에서 보듯이 고정노드 4개, 싱크 노드 1개, 이동노드 1개로 실험 환경을 설정한다. 모든 노드는 IEEE 802.15.4 표준을 지원할 수 있는 CC2420 칩을 장착하고 2.4 GHz의 Zigbee 표준을 지원한다. 각 노드는 TinyOs에 의하여 동작되고 각 노드별로 0 ~ 10m 사이의 거리를 50cm의 간격으로 RSSI 값의 측정이 이루어진다. RSSI 값은 각 고정노드의 CC2420 chip에 의해 제공되어 싱크 노드로 전송되고 컴퓨터로 옮겨진다.

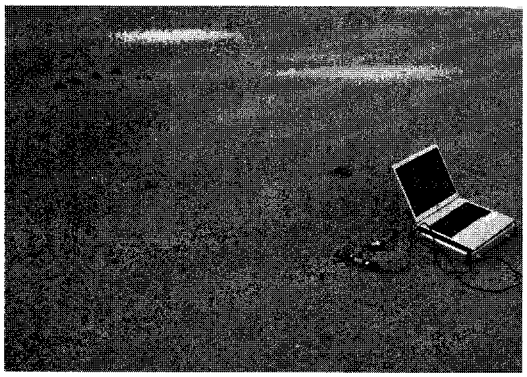


그림 2. 측정을 위한 실험 설정
Fig. 2 Experimental Setting for Measurement

두 번째 방식의 회귀식은 몇몇 데이터 조작에서 비롯된다. 식 (6)은 회귀식이고 각각의 계수는 표 1과 같다. 노드 2에 대한 회귀선은 그림3에서 보이는 것과 같다.

$$y = ax^2 + bx + c \tag{6}$$

표 1. 회귀식의 계수
Table 1 Regression Coefficients

	a	b	c
1번 노드	0.0007	-0.4045	53.362
2번 노드	0.0021	-0.9264	100.01
3번 노드	0.0035	-1.4051	143.2
4번 노드	0.0039	-1.6087	166.21

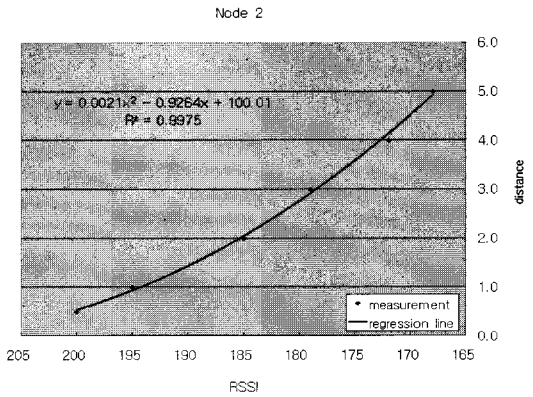


그림 3. 2번 노드의 회귀선
Fig. 3 Regression Line for Node 2

4.2 거리 측정

제안된 방식을 평가하기 위해 두 가지 회귀 분석을 실행한다. 하나는 기존의 Friis 공식을 이용한 방식이고 다른 하나는 본 논문에서 제안하는 LM-RAR 방식이다.

이 두 가지 모두 회귀식은 측정된 RSSI 값에서 비롯되는 것이다. 그렇지만 첫 번째 경우, 거리는 Friis 공식을 이용하여 계산되는 반면, 두 번째 경우 거리는 3장에서 기술된 것과 같은 절차에 따라 RSSI 측정값으로부터 비롯된 회귀식을 통해 변환된다. 그림 4는 RSSI 값과 Friis 공식에 의해 계산된 거리와의 관계를 나타낸 것이다.

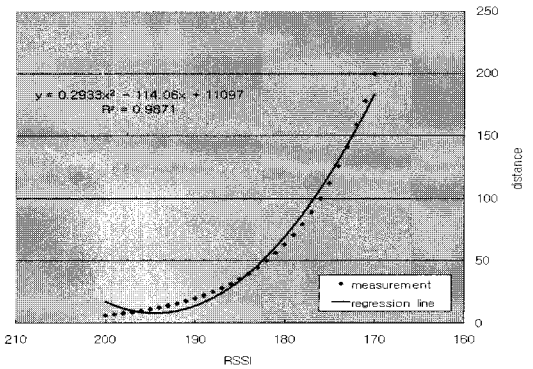
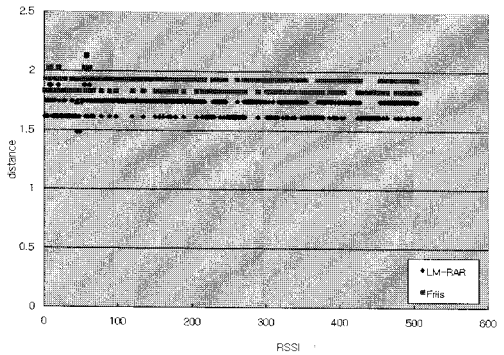


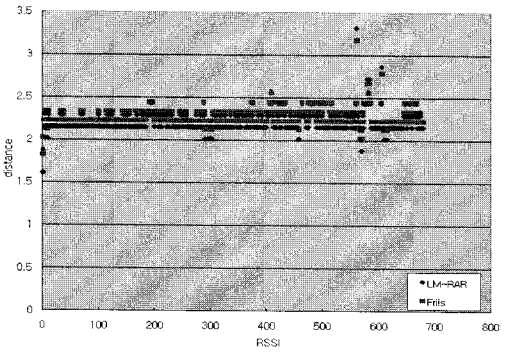
그림 4. RSSI 값과 Friis 공식에 의해 계산된 거리와의 관계
Fig. 4 RSSI Value vs. Calculated Distance using Friis Equation

4.3 결과 및 토의

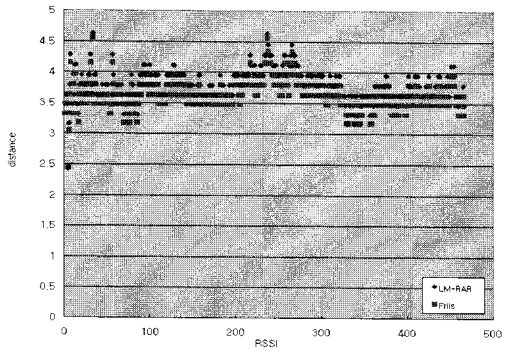
싱크 노드와 테스트 노드 사이의 거리 측정은 1m~5m까지 0.5m 단위로 실외 주차장에서 이루어졌다. 그림 5는 각각 1.5m(a), 2m(b), 4m(c)의 결과를 보이고 있다.



(a) 1.5m



(b) 2m



(c) 4m

그림 5. 거리 측정 실험 결과
Fig. 5 Results of Distance Measurement

그림 5(a)를 보면 평균 거리 값은 LM-RAR이 1.70m인 반면 Friis 공식은 1.89m를 획득하였다. 거리 측정 오차는 26%에서 13%로 감소하였고 정확도는 2배로 향상되었다. 그림 5(b)에서처럼 거리가 2m인 경우에는 Friis 공식의 평균이 2.27m인 반면 LM-RAR은 2.15m이다. 이 경우 측정 오차는 13.5%에서 7.5%로 변화되었다. 마지막으로 거리가 4m인 경우에는 Friis 공식의 평균이 3.26m이고 LM-RAR이 3.77m이며 측정 오차는 9.5%에서 5.8%로 변화를 보였다.

이렇듯 측정 세 가지 실험 모두에서 측정 오차는 현저하게 감소되었고 정확성은 향상되었다. 이것은 거리를 5m 이하일 때로 가정한다.

V. 결 론

본 논문에서는 회귀분석을 이용하여 센서 노드 사이의 거리를 측정하는 새로운 방식인LM-RAR을 제안하였다. 실험 결과에 따르면 제안된 방식은 기존의 Friis 공식을 이용한 방식에 비해 향상된 위치 정확도를 보이고 있다.

그렇지만 LM-RAR의 적용한 위치 계산의 정확도는 5m를 넘을 경우 현저하게 저하되는 결과를 보였으며 이는 거리가 멀어짐에 따라 전파 환경의 영향을 더욱 많이 받기 때문으로 추정된다. 본 논문에서 제안하는 방식이 현실적으로 유용한 방식이 되기 위해서는 이 문제를 해결하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] J. Park et al, "Location Measurement Technology in Ubiquitous Sensor Networks," Journal of IEEK, Vol. 32, No. 7, Jul., 2005

[2] Hada. Y, Takase. K, "Multiple mobile robot navigation using the indoor global positioning system (iGPS)," IEEE/RSJ International Conference, pp.1005~1010 vol.2, 29 Oct.-3 Nov. 2001

[3] J. Krumm, L. Willicams, G. Smith, "SmartMoveX on a Graph-An Inexpensive Active Badge Tracker," Technical Report MSR-TR-2002-70, Microsoft

Research, June 2002.

[4] Hari Balakrishnan et al., "Lessons from Developing and Deploying the Cricket Indoor Location System," November 7. 2003

[5] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system," In Proc. IEEE INFOCOM, Tel-Aviv, Israel, pp.775-784, March 2000

[6] J. Krumm et al., "Multi-Camera Multi-Person Tracking for EasyLiving," Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance, pp.3-10, Jul. 1, 2000

[7] S. So et al., "Design and Implementation of ZigBee Tag Based Apartment Location Recognition System," Journal if IEEK, Vol. 44, No. 10, Oct., 2007

[8] Hanbaek Eleltronics, "Ubiquitous Sensor Network System Using ZigbeX" May, 2006.

[9] Chongming Zhang, Xi Zhou, Chuanshan Gao, Chunmei Wang, "On Improving the Precision of Localization with Gross Error Removal," The 28th International Conference on Distributed Computing System Workshops, pp.144~149, 2008 IEEE

[10] J. Kim, "Regression Analysis: Fundamentals and Application," Journal of KSA, Vol. 35, No. 2, pp.237~244, 2001.

저자소개

양현호(Hyun-ho Yang)

1986년 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 광주과학기술원 정보통신공학과(공학박사)
1989년 ~ 1990년 삼성 SDS 주식회사
1991년 ~ 1997년 포스데이타 주식회사
1997년 ~ 2005년 순천청암대학
2005년 ~ 현재 군산대학교 정보통신공학과
※관심분야 : 무선 데이타통신, Ad Hoc 네트워크, 무선 센서망