

능동형 RFID 태그를 이용한 실내위치 측정 기법

이창환^o 황중선

고려대학교 디지털정보공학과

maso@kctc.co.kr^o, hwang@disys.korea.ac.kr

Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag

Lee Chang-Hwan^o Hwang Chong-Sun

^oDept. of Digital Information Engineering, Korea University

요 약

유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하려면 위치인식 기술과 이를 기반으로 하는 다양한 위치 인식시스템이 필수적이다. 그러나 복잡한 실내 환경에서는 Global Positioning System (GPS)의 이용이 불가능하며 실내 위치 측정을 위한 전문적인 시스템이 필요하다. RFID 기술은 적은 시설투자자와 낮은 비용으로 위치 측정 시스템을 구축할 수 있는 가능성을 제공한다. RFID 기술을 이용한 실내 위치 측정 시스템 LANDMARC는 기타 시스템과 달리 참고태그라는 개념을 도입하여 RFID 리더기의 배치 수량을 줄이는 동시에 위치 측정의 정확성을 보장함으로써 시스템을 도입하는데 소요되는 비용을 절감하였으며 현실에서의 높은 사용 가능성을 제공한다. 본 논문에서는 기존의 LANDMARC 시스템을 분석하여 문제점들을 해결하고 실내에서의 위치 측정의 정확도를 진일보 향상시킬 수 있는 보다 효율적인 방안을 제안했다. 실험 분석 결과 동일한 실내 환경하에서 본 논문에서 제안하는 방법이 기존의 LANDMARC 시스템에 비하여 더 높은 정확성을 보장함을 입증하였다.

1. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅은 사람, 물체, 건물 등 물리공간에 보이지 않는 컴퓨터를 내장시켜 모든 사물이 컴퓨팅 능력을 가지고 네트워크로 연결되어 서로 정보를 주고 받는 것으로 차세대 정보기술의 주요한 인프라 기술이다.

유비쿼터스 컴퓨팅은 사물들에 내장된 모든 컴퓨터가 서로 연결되어 언제 어디서나 사용이 가능하고 현실세계의 사물과 환경 속으로 스며들어 일상생활에 통합되는 것을 전제로 한다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하려면 위치 인식 기술과 이를 기반으로 하는 다양한 위치 인식 시스템이 필수적이다.

수 년간 많은 대학교 기업체에서 자동적으로 위치를 감지 [1]하는 방법을 연구하기 위하여 노력을 아끼지 않았다. 위치 인식기술은 삼각측량과 장면분석, 근접방식 등 3가지로 분류할 수 있으며 그 안에서도 여러 세부기술로 나뉘진다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 위치 측정 시스템으로는 Global Positioning System (GPS)[2]가 있다. 하지만 GPS는 위성에 의존하는 시스템으로 복잡한 실내 환경에서는 정확한 위치를 측정해낼 수 없다는 단점을 갖고 있다.

GPS의 이런 단점을 극복하고 복잡한 실내에서 위치를 측정하기 위하여 Infrared를 이용한 Active Badge[3], IEEE 802.11를 이용한 RADAR[4], Ultrasonic을 이용한 Cricket 위치 지원 시스템[5]과 Active Bat[6], 그리고 RFID 기술을 이용한 SpotON[7][8] 등 실내 위치 측정 시스템들이 개발되었으며 최근에 와서는 태그를 리딩할 수 있는 모듈을 탑재한 센서를 개발하여 센서 네트워크와 RFID 시스템을 통합하는 방법도 [10] 제안되었다. 이런 다양한 실내 위치 측정 시스템과 방법들은 모두 각각의 장점과 제한성을 갖고 있으며 그중에서도 RFID를 이용한 위치 측정 시스템은 적은 시설투자자와 낮은 비용으로 구축할 수 있는 위치 측정 시스템이다.

Michigan State University와 Hong Kong University of Science & Technology에서 개발한 LANDMARC[9]는 RFID 시스템을 이용하여 개발된 실내 위치 측정 시스템의 예이다.

LANDMARC는 참고태그라는 개념을 도입하여 고가의 RFID 리더기의 배치 수량을 줄이는 동시에 위치 측정의 정확성을 보장함으로써 시스템을 도입하는데 드는 비용을 절감하여 현실에서의 높은 사용 가능성을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장에서는 기존의 LANDMARC 시스템의 분석 및 LANDMARC의 문제점을 기술하며, 4장에서는 보다 효율적이고 안정적인 정확한 측정방법을 제안하고, 5장에서는 실험환경 구축 및 실험 성능평가를 하였으며, 6장에서 결론을 맺는다.

2. LANDMARC 시스템

LANDMARC는 많은 리더기를 배치하지 않는 상황에서 위치 측정의 정확도를 제고하기 위하여 참고태그라는 개념을 사용하였다. 참고태그는 이미 위치가 고정된 액티브 태그로서 목표태그의 위치를 측정함에 있어서 참조위치의 역할을 한다. 이런 방식은 아래와 같은 3가지 방법의 장점을 갖고 있다.

첫째, 위치 측정의 정확도를 제고하기 위하여 고가의 RFID 리더기들을 대량으로 배치할 필요가 없어서 경제적으로 실현 가능하다.

둘째, 환경요소의 변화에 대한 적응력이 강하다. 실내의 복잡한 환경으로 인하여 동일 태그라 할지라도 매번 리딩될 때마다 리딩된 신호의 세기가 다르다. 때문에 단순히 신호의 세기만으로는 리더기와 태그사이의 정확한 거리를 측정해낼 수 없다. 참고태그를 이용한 경우 목표태그가 받을 수 있는 실내 환경의 영향을 그 태그 주변의 참고태그들도 동일하게 받게 되므로 태그와 리더기사이의 거리를 측정하는데 영향을 끼치는 대부분 환경적 요소들을 상쇄할 수 있다.

셋째, 측정된 위치 정보가 더욱 정확하고 신뢰성 있다. LANDMARC의 핵심 고리는 각각의 RFID 리더기에서 리딩된 태그들의 신호의 세기에 의하여 목표태그의 주변 참고태그들을 선출하고 신호의 세기가 목표태그를 리딩한 신호의 세기에 접근할 수록 더욱 높은 가중치를 주어 선출된 참고태그들의 실제 위치 좌표를 이용하여 목표태그의 좌표를 계산하는 방식이다.

n 개의 RFID 리더기와 m 개의 참고태그로 실내 위치 감지 환경을 구축하고 각각의 RFID 리더기는 연속적으로 리딩하는 모드로 작동하도록 시스템을 설정한다. 각각의 리더기로부터 추적하려는 목표태그까지의 신호의 세기 벡터를 $\vec{S} = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ 라고 하고 각각의 리더기로부터 특정된 참고태그까지의 신호의 세기 벡터를 $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 라고 한다. 이때 목표태그와 참고태그 사이의 Euclidian 거리는

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2}, j \in (1, m)$$

이다. E 는 목표태그와 참고태그

사이 위치의 관계를 나타내는 인자로서 작을 수록 두 태그가 위치적으로 더 가깝다는 것을 말한다. 따라서 LANDMARC는 m 개의 참고태그로부터 목표태그까지의 E 벡터 $\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ 에서 E 가 가장 작은 k 개의 참고태그들

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i), w_i = \frac{1}{E_i^2} / \sum_{i=1}^k \frac{1}{E_i^2}$$

을 인접태그들로 선택하고

의하여 목표태그의 위치를 계산한다.

3. LANDMARC의 문제점

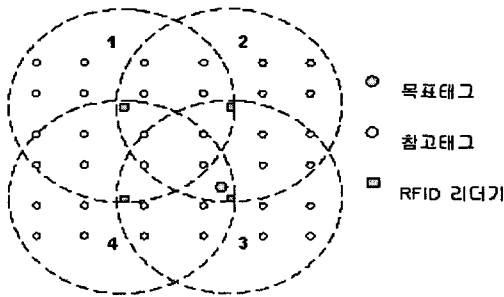
LANDMARC는 아래와 같은 문제점들이 존재한다.

첫째, 인접태그를 선출할 때마다 모든 참고태그를 후보태그로 두기에 필요 없는 계산량이 많아진다. 목표태그와 참고태그 사이의 Euclidian 거리를 구하는 공식

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2}, j \in (1, m)$$

로부터 볼 때 인접태그를 선

출하기 위하여 LANDMARC는 목표태그와 각 참고태그사이의 Euclidian 거리를 모두 구하고 비교한다. 그림 1과 같은 경우 목표태그를 리딩할 수 있는 리더기는 2번, 3번, 4번 리더기이다. 따라서 2번, 3번, 4번 리더기의 리딩 범위를 벗어난 참고태그들은 목표태그의 인접태그일 가능성이 적다. 하지만 LANDMARC의 공식을 그대로 활용한다면 1번 리더기에 의해서만 리딩될 수 있는 참고태그들도 계산에 참여하게 되어 불필요한 계산량을 초래하게 되며 서버의 부하를 증가시키고 위치 측정의 실시간성에 영향을 주게 된다.



[그림 1]. 실내 측위 시스템 배치도

둘째, 인접태그의 좌표에 의한 LANDMARC의 목표태그 위치 측정 방법은 위치 측정 결과의 정확성을 참고태그의 배치일도

에 의존하도록 하였다. 이는 인접된 참고 태그들을 선택한 후 단순히 각 참고태그에 가중치를 두어 목표태그의 위치를 계산하였기에 목표태그의 위치의 오차범위를 인접된 참고태그들로 이루어진 다각형으로 확정 시켰다. 따라서 참고태그들의 밀도가 작으면 작을수록 그에 따라 측정된 목표태그의 위치의 오차 범위는 커진다. 때문에 오차를 줄이기 위해서는 참고태그들이 밀도가 높게 놓여 있어야 하며 따라서 많은 참고태그들이 필요해지며 참고태그의 밀도가 높을수록 리더기에 의해 리딩 될 때 일어나는 태그간의 간섭현상이 더욱 심해지게 되어 리더기가 태그로부터의 신호의 세기를 정확히 측정하는데 불리한 영향을 미친다.

본 논문에서는 위와 같이 LANDMARC에 존재하는 문제점들을 해결하고 개선함으로써 보다 효율적이고 안정적이며 정확한 실내 위치 측정 방법을 제안한다.

4. 제안 방안

LANDMARC와 똑 같이 n 개의 RFID 리더기와 m 개의 참고태그로 실내 위치 감지 환경을 구축하고 각각의 RFID리더기는 연속적으로 리딩하는 모드로 작동하도록 시스템을 설정한다.

P 개의 RFID 리더기에서 목표태그가 동시에 감지되었다면 그중 임의의 $q(3 \leq q \leq p)$ 개의 RFID리더기에 의해 동시에 감지된 참고태그의 집합은 R 이다. R 에 속하는 참고태그의 개수를 r 이라면 R 을 인접태그의 후보태그 집합으로 하여

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^q (\theta_i - S_i)^2}, j \in (1, r)$$

를 이용하여 E 벡터

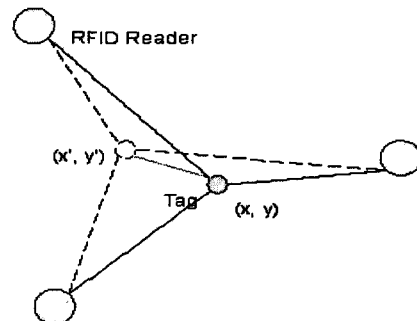
$\vec{E} = (E_1, E_2, \dots, E_m)$ 를 계산하고 그 중에서 가장 작은 k 개의

참고태그들을 인접태그들로 선택하여 인접태그의 집합 K 를 얻는다. 삼각측량 기법을 이용하여 집합 K 속의 각 태그들의 좌표 (x'_i, y'_i) 를 계산하고 실제 좌표 (x, y) 와 비교하여 오차 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ 를 계산한 후 k 개 인접태그들의 평균오차

$$(\Delta x, \Delta y) = \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta x_i, \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta y_i \right)$$

를 구한다. 그림 2와 같이 목표

태그에 대해서도 삼각측량 기법을 이용하여 좌표 (x', y') 를 계산한다. 이렇게 얻은 좌표에 k 개 인접태그들의 평균오차를 더해 주어 목표태그의 정확한 위치 좌표를 측정해낸다.



[그림 2]. 실제 위치와 측정 위치 사이의 오차

5. 실험 및 결과 분석

실험환경은 그림 3과 같이 실내에 4개의 RFID 리더기를 4각으로 배치하고 20개의 능동형 태그를 2m간격으로 균일하게 배치한다. 후보인접태그의 개수 $k = 4$ [9]로 설정하여 목표태그들을 서로 다른 위치에 놓고 각각 100번씩 위치를 측정된 결과를 $(x_{i,c}, y_{i,c}), t = 1, 2, \dots, 10, c = 1, 2, \dots, 100$ 라고 한다. 각 목표태그의 실제 위치를 $(x_i, y_i), t = 1, 2, \dots, 10$ 라고 한다면 각각의 목표 태그로 놓고 볼 때 측정된 위치와 실제 위치사이의

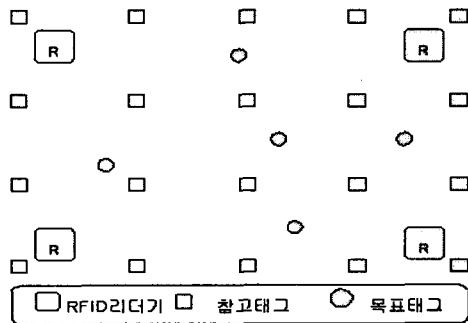
$$e_{i,c} = \sqrt{(x_{i,c} - x_i)^2 + (y_{i,c} - y_i)^2},$$

Euclidian 거리는 $t = 1, 2, \dots, 10, c = 1, 2, \dots, 100$ 이다. 따라서

$$\bar{e}_i = \frac{1}{100} \sum_{c=1}^{100} e_{i,c}, t = 1, 2, \dots, 10$$

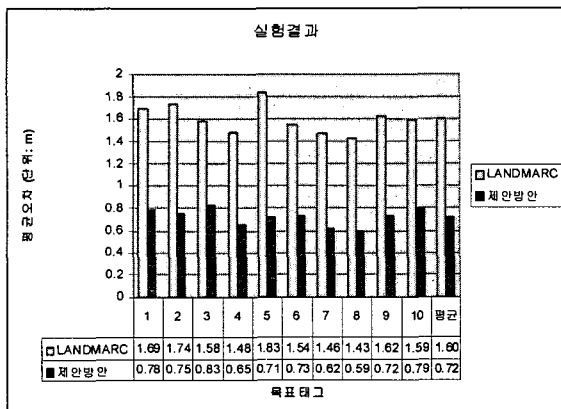
각 목표태그 위치의 평균 오차

총 평균 오차 $\bar{e}_t = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{e}_i$ 을 구하여 제안방법의 성능을 평가해본다.



[그림 3]. 실험을 위한 실내측위 시스템 배치도

그림 4에서 똑같은 실내 환경하에서 본 논문에서 제안하는 방법으로 목표태그의 위치를 측정하였을 때 기존의 LANDMARC 시스템을 사용하였을 때에 비하여 오차가 현저하게 줄어들음을 알 수 있다.



[그림 4]. 실험 결과

6. 결 론

본 논문에서는 RFID 기술을 이용한 실내 위치 측정 시스템인 LANDMARC를 분석하고 문제점을 해결함으로써 보다 효율적이고 정확한 개선방안을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방안은 후보 참고태그의 범위를 줄임으로써 기존의 LANDMARC에 비하여 계산량을 줄이고 서버의 부하를 감소시켜 위치 측정의 실시간성을 제고하였으며 참고태그들을 선출한 후 가중치를 부여하는 방식으로 계산하는 것이 아니라 선출된 각 태그 위치의 평균오차를 구하여 계산된 목표노드의 위치에 보간해주는 방식을 이용하여 목표노드의 위치 측정의 오차를 줄임으로써 정확도를 높였다. 실험결과 목표태그의 측정오차가 기존 LANDMARC 계산방식보다 50%이상의 측정 오차가 줄어 실내 위치 측정의 정확성을 보장하였다.

참고문헌

- [1] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Sensing Systems for Ubiquitous Computing," CSE 01-08-03, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, Aug 2001.
- [2] Garmin Corporation. About GPS. Website, 2001, <http://www.garmin.com/about GPS/>
- [3] R. Want et al., "The Active Badge Location System," ACM Trans. Information Systems, Jan. 1992, pp. 91-102.
- [4] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, and A. Balachandran, "Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System," Microsoft Research Technical Report, February 2000.
- [5] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The cricket location-support system. In Proceedings of MOBICOM 2000, pages 32-43, Boston, MA, August 2000. ACM, ACM Press.
- [6] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Any Ward, and Paul Webster. The anatomy of a contextaware application. In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999), pages 59-68, Seattle, WA, August 1999. ACM Press.
- [7] Jeffrey Hightower, Chris Vakili, Caetano Borriello, and Roy Want, "Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System", UW CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle.
- [8] Jeffrey Hightower, Roy Want, and Gaetano Borriello, "SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength", UW CSE 2000-02-02, University of Washington, Seattle, WA, Feb. 2000.
- [9] Ni, L.M.; Yunhao Liu; Yiu Cho Lau; Patil, A.P., "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID", Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on 23-26 March 2003 Page(s):407 - 415
- [10] 고경철, 이동욱, 고영배, "RFID 기반 유비쿼터스 센서 네트워크에서의 지능적 상황인지 지원", 한국정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회 2005, VOL.00 NO.00 pp.0262 ~ 0264 2005.07f