

칼만필터를 적용한 RFID-기반 위치결정 시스템의 정확도 분석

The Accuracy analysis of a RFID-based Positioning System with Kalman-filter

허준¹⁾·김정환²⁾·손홍규³⁾·윤공현⁴⁾

Heo, Joon·Kim, Jung Hwan·Sohn, Hong Gyoo·Yun, Kong Hyun

¹⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:jheo@yonsei.ac.kr)

²⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:roak7@hanmail.net)

³⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수(E-mail:sohn@yonsei.ac.kr)

⁴⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사후과정(E-mail:ykh1207@yonsei.ac.kr)

Abstract

Positioning technology for moving object is an important and essential component of ubiquitous. Also RFID (Radio Frequency IDentification) is a core technology of ubiquitous wireless communication. In this study we adapted kalman-filter theory to RFID-based Positioning System in order to trace a time-variant moving object and verify the positioning accuracy using RMSE (Roong technology for moving object is an important and essential component of ubiquitous Mean Square Error). The purpose of this study is to verify an effect of kalman-filter on the positioning accuracy and to analyze what does each design factor have an effect on the positioning accuracy by means of simulations and to suggest a standard of optimal design factor of a RFID-based Positioning System. From the results of simulations, Kalman-filer improved the positioning accuracy remarkably; the detection range of RFID tag is not a determining factor. The smaller standard deviation of detection range improves the positioning accuracy. However it accompanies a smaller fluctuation of the positioning accuracy. The larger detection rate of RFID tag yields the smaller fluctuation in the positioning accuracy and has more stable system and improves the positioning accuracy;

1. 서 론

RFID (Radio Frequency IDentification)는 휴대용 리더로의 전자기적 주파수의 전달을 통해 정보를 저장하고 복원하는 방법이다. RFID는 바코드를 이용한 물건의 인식 뿐 아니라 위치결정 시스템에도 적용될 수 있는 기술로서 무선 기술이나 모바일 기술의 네트워크 센서로부터의 정보는 대상물의 위치를 전제로 하기 때문에 유비쿼터스 시대의 필수적인 기술 요소라 할 수 있다.

현재 GPS (Global Positioning System)는 효율적이고 정확한 위치 결정 시스템이지만 위성을 통해 정보를 얻기 때문에 대상물이 신호가 통과되지 않는 건물 안에 위치해 있거나 주변에 장애물이 많은 지역에 위치했을 때에는 대상물의 위치정보를 얻는데 한계점을 지니고 있다. 지금까지 많은 연구를 통해 RFID 기술은 이러한 한계를 극복할 수 있는 하나의 해결책으로 제시되고 있다. RFID는 근접감지 (proximity sensing) 이론에 근거해 대상물의 위치를 관측하는데 여기에 관성항법장치(Inertial Navigation System)를 통해 얻은 방향각과 속도, 시간에 대한 정보를 바탕으로 추측항법(Dead reckoning) 이론을 더하고 칼만필터(Kalman-filter)를 적용함으로써 시간에 따라 변화하는 대상물의 위치를 추정, 보정하고 그 정확도의 향상을 RMSE (Root Mean Square Error)값을 통해 확인하였다. 또한 RFID-기반 위치결정 시스템의 디자인 시 위치 정확도에 영향을 미치는 주요 요소들을 제시하고, 요소

들의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행함으로써 보다 나은 시스템 구현을 위한 각 요소들의 기준을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 칼만필터 (Kalman-filter)

칼만필터는 최소제곱법(Least Square Method)을 사용하여 실시간으로 변화하는 대상물의 위치 변화를 추적하는 효율적인 계산법이다. 모델링 된 시스템의 결과값과 새로운 입력값을 이용한 반복적인 연산을 통해 최적값을 추정하는 알고리즘으로 본 논문에서 각 시스템 요소를 변화시켜가며 시뮬레이션 수행 시에 변화하는 대상물의 위치를 추정, 보정하기 위해 칼만필터의 개념을 도입하였다.

<시간갱신 식>

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + G_k Q_k G_k^T \quad (1)$$

$$\hat{x}_{k+1}^- = A_k \hat{x}_k + B_k \hat{u}_k \quad (2)$$

<관측갱신 식>

$$P_{k+1} = [(P_{k+1}^-)^{-1} + H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + P_{k+1} H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-) \quad (4)$$

2.2 위치결정방법

위치 결정 방법에는 근접감지와 추측항법이 있는데 근접감지는 한 개의 기점범위 안에 기반을 두며 그림 1 은 근접감지의 기본 개념을 보여준다. 기점과 대상물사이의 거리 D는 식 (5)를 통해 구할 수 있고 이 때 (x_0, y_0) 는 기점의 좌표이며, (x, y) 는 대상물의 좌표이다.

추측항법은 그림 2와 같이 움직이는 대상물에 외부의 도움 없이 자신의 방향각과 속도, 시간을 관측할 수 있는 관성항법장치와 같은 센서를 장착하여 알고 있는 이전의 위치 정보를 바탕으로 현재의 위치를 관측하는 방법이다.



그림 1 : 근접감지

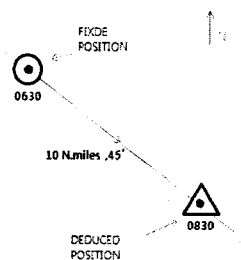


그림 2 : 추측항법

$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (5)$$

2.3 정확도 평가

정확도(Accuracy)는 실제 위치와의 근접성 정도를 나타낸다. 앞으로 시행할 시뮬레이션에서 실제 위

치의 x, y 좌표와 관측된 \hat{x}, \hat{y} 좌표와의 차이에 따른 정확도를 분석하기 위해 시스템의 정확도를 관측할 수 있는 방법으로 RMSE 값을 선택하였다. 2차원에서 RMSE는 잔차 제곱 합의 평균의 제곱근으로서 실제 값과 실험/관측을 통한 결과 값이 평균적으로 얼마나 떨어져있는가 하는 정확도의 개념으로 사용될 수 있으며 다음 식 (6)을 통해 구할 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2]}{n-1}} \quad (6)$$

여기서 (\hat{x}_i, \hat{y}_i) 는 관측된 좌표 값이며 (x_i, y_i) 는 실제 위치의 좌표 값이며 n 은 관측한 횟수를 의미한다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 디자인

시뮬레이션을 수행하기 위해 RFID-기반 위치결정 시스템의 구현 시 위치 좌표값이 저장되어있는 태그가 설치되어 있다고 가정하고 그로 인해 각각의 태그의 위치 좌표값을 알고 있으며, 움직이는 대상물에는 추측항법을 위해 속도와 방향, 시간을 관측할 수 있는 INS 기계, 태그와 통신 할 수 있는 리더가 장착되어 있다고 가정하였다. 그 다음 근접감지, 추측항법 알고리즘을 이용하고 시간에 따라 변하는 대상물의 위치와 속도를 예측, 보정하기 위해 칼만 필터의 개념을 적용하여 RMSE 값에 따른 위치의 정확도를 관측하였다. 본 논문에서는 시스템의 디자인 요소를 태그의 탐지 범위, 태그의 탐지 범위의 표준편차, 태그의 탐지 확률 등의 4가지로 설정하였다.

탐지 범위의 변화에 따른 시뮬레이션은 탐지 범위를 8m부터 27m까지 1m 단위로 변화를 시키며 수행하였고, 탐지 범위의 표준편차에 따른 시뮬레이션은 주어진 탐지 범위에 대해 표준편차를 10%, 20%, 30%로 변화시키며 수행하였다. 태그의 탐지 확률은 100%가 이상적이겠지만 실제 현실에서는 전원부족, 다중경로, 장애물, 신호 간섭 등의 이유들로 인해 태그가 100%의 탐지 확률로 작동하기 어렵기 때문에 80%, 70%, 60% 의 비율로 변화를 주어 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 주요 요소 중의 하나로 모든 RFID 태그가 같은 탐지범위를 갖는다고 가정하였지만 실제로는 환경적 요인으로 인해 어느 정도 차이가 발생할 수 있기 때문에 이러한 영향을 반영하기 위해 탐지 범위는 주어진 탐지 범위를 평균으로 갖고 10%의 표준편차를 따르는 가우시안 랜덤 변수로 취급하였다. 움직이는 대상물의 초기 속도는 10, 초기 각은 10° 로 설정하였으며 방향각은 평균 0, 표준편차 1을 갖는 정규분포를 따르는 랜덤 변수로 설정하였다.

표 1 : 각 시뮬레이션에 따른 RMSE값의 평균

	Kalman-filter	Non kalman-filter
Range	1.18m	2.35m
Std rate= 10%	1.13m	2.35m
Std rate= 20%	1.36m	2.86m
Std rate= 30%	1.64m	3.39m
Detection rate= 80%	1.74m	3.36m
Detection rate= 70%	1.97m	3.94m
Detection rate= 60%	2.41m	4.79m

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

(1) 칼만필터의 적용에 따른 정확도 향상

표1은 각각의 디자인 요소의 변화에 따라 앞에서 언급되었던 칼만필터가 시스템에 적용되었을 때와 그

렇지 않았을 때의 정확도를 RMSE 값을 통해 비교한 것이며 각각의 시뮬레이션에서 칼만필터를 적용했을 때와 그렇지 않았을 때의 두 상황 모두 동일한 조건하에서 수행되었는데 모든 시뮬레이션의 결과, 시스템에 칼만필터를 적용했을 때 RMSE값이 현저하게 작아지는 결과가 나타났다. 즉 칼만필터를 적용함으로써 정확도를 높이고 보다 안정적인 RFID-기반 위치결정 시스템을 구현할 수 있음을 확인하였다.

(2) 태그 탐지 범위의 표준편차에 따른 정확도

탐지 범위의 표준편차는 다른 시뮬레이션의 수행 시에는 탐지 범위의 10%를 표준편차로 갖는 가우시안 분포로 가정하였다. 이번 시뮬레이션에서는 탐지 범위를 이러한 표준편차를 10%, 20%, 30%로 변화시키며 수행하였다. 표1에서 확인 할 수 있듯이 탐지 범위의 표준편차 이외의 다른 요소들의 동일한 조건하에서 시뮬레이션 수행 한 결과 탐지 범위의 표준편차가 클수록 RMSE의 값이 크며 그 변동 또한 크다는 것을 확인할 수 있었다. 즉 탐지 범위의 표준편차가 작을수록 시스템은 변동이 적고 보다 안정적이며 정확도가 향상되었다. 즉, RFID-기반 위치결정 시스템의 정확도를 높이기 위해선 탐지 범위의 표준편차는 작을수록 좋다는 것을 확인하였다.

(3) 태그의 탐지 확률에 따른 정확도

태그의 탐지 확률을 80%, 70%, 60% 로 변화시켜 시뮬레이션을 수행 한 결과 표1을 통해 다른 요소들보다 탐지 확률에 따른 RMSE값의 변동이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 보다 높은 탐지 확률을 갖을 때의 RMSE 값이 상대적으로 낮은 탐지 확률을 갖을 때보다 값이 작고 변동이 작으며 안정적인 것을 확인할 수 있었다. 즉 탐지 확률이 높을수록 RFID-기반 위치결정 시스템은 보다 안정적이고 높은 정확도를 갖음을 확인하였다.

4. 결과 및 추후 연구

유비쿼터스 시대가 도래함에 따라 대상물의 위치를 실시간으로 파악하는 것이 최대의 이슈이자 핵심 과제가 되고 있다. 본 논문에서는 우리가 설정한 위치의 좌표정보가 저장된 RFID 태그와 정보 전달을 위한 RFID 리더, 추측항법을 위한 속도계, 방향각, 시간을 계산할 수 있는 INS장비를 갖춘 움직이는 대상을 가정하고, 움직이는 대상물의 좌표를 관측하기 위해 근접감지, 추측항법 알고리즘을 사용하였으며 시간에 따라 변화하는 대상물의 위치정보를 추정, 보정하기 위해 칼만필터를 적용하였고, 위치결정 시스템의 정확도를 분석하기 위한 방법으로 RMSE 값을 선택하였다. 시뮬레이션은 칼만필터를 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우 태그의 탐지 범위, 탐지 범위의 표준편차, 태그의 탐지 확률, 다중 범위에 따른 가중치 등 각각의 요소의 변화에 따른 정확도를 비교하여 수행하였다. 시뮬레이션 결과 칼만필터를 적용하였을 때 위치의 정확도가 현저하게 높아졌으며 보다 안정적인 시스템이 구현됨을 확인할 수 있었다. 각 요소들에 대해서는 근처 태그까지 탐지 범위가 닿는다면 그 이상의 탐지 범위는 시스템의 정확도를 높이는 데 큰 영향을 주지 못하며 탐지 범위의 표준편차가 작을수록 RMSE값이 작아지고 변동 또한 작아져 정확도가 높아지며, 태그의 탐지 확률이 높을수록 정확도가 높아지고 그 변동 또한 작은 안정된 시스템이 구현됨을 확인하였다. 또한 가중치를 고려한 탐지 범위가 세분화될수록 정확도가 크게 높아짐을 통해 다중 범위 분류가 시스템의 중요한 요소임을 확인하였다.

참고문헌

- G.Welch and G.Bishop. An introduction to the Kalman filter. Notes of ACM SIG-GRAPH tutorial on the Kalman filter,2001
- Lewis, Frank L, Optimal Estimation, A Wiley-Interscience publication, 1986
- 조대진, RFID 이론과 응용, 홍릉과학출판사, 2005
- Y. Fukuju, Minami,M., Morikawa, H., and Aoyama, T.:DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment. WSTFES2003, Hakodate, Japan (2003) 53-56