2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

불균일 Tag Floor 상에서의 전송신호 전력 조절을 통한 RFID 위치추정

이제원, 박영수, 김대현, 김상우
포항공과대학교

RFID Localization using variable Transmission-signal Power over Uneven Tag Floor

Jewon Lee, Youngsu Park, Daehyun Kim, Sang Woo Kim
POSTECH

Abstract - 위치추정은 현재 이동로봇 분야에서 매우 중요하게 다루어지는 문제이다. RFID 위치추정 시스템은 저렴하고, 오차누적의 위험이 없고, map과 같은 사전정보의 제약이 없기에 범용적으로 사용될 수 있다. 하지만 RFID 위치추정에 있어, tag들의 서로 다른 인식거리 차이는 위치추정의 오차를 증폭시키는 역할을 한다. 따라서 이 논문에서는 이를 극복하기 위해 tag들의 인식거리 정보를 활용하여 위치추정을 수행한다. 또한 보다 정확한 위치추정을 위해, 송신신호 전력조절을 통하여, 인식거리를 조절하는 방법을 사용한다. 이들의 성능은 simulation을 통해서 확인하였다.

1. 서 론

위치추정은 현재 이동로봇 분야에서 매우 중요하게 다루어지는 문제로서, 항만 자동화, 무인차량 구현과 같은 미래기술을 연구함에 있어 필히 해결해야만 하는 문제이다. 이를 위하여 로봇의 현재위치를 구할 수 있는 Odometry, INS, vision, GPS와 같은 위치측정 시스템이 많이 사용되고 있다.

하지만 INS와 Odometry는 시간이 흐르면서 오차가 누적되는 문제가 있다.[1] 또한 Vision 시스템은 처리해야할 정보에 대해 미리 알고 있어야만 응용될 수 있으므로 여러 분야에 범용적으로 사용되기 힘들고, 조명의 변화나 기후변화, 시야가림과 같은 문제에 의해 시스템에 많은 제약이 걸린다. 또한 위성을 이용한 GPS는 낮은 정확도로 인해 정밀한 이동로봇의 움직임이 필요한 경우에는 적합하지 못하다.

RFID 위치추정은 RFID reader를 이용하여, 주위의 바닥에 설치된 RFID Tag를 인식하는 방식을 이용한다. Tag의 위치는 Tag에 저장되어 있고, 이를 이용하여 현재 RFID reader의 위치를 추정하는 방식이다. 따라서 INS와는 달리 시간에 따른 오차누적을 피할 수 있으며, 센서와 passive tag의 가격이 INS, LRF 등에 비해 저렴하기에 설치비용이 적게 들어간다. 또한 Tag를 밀집되게 배치함으로써 상당히 높은 정확도를 얻을 수 있으며, Vision과는 달리 위치추정 방식이 특정상황에 제약되지 않기에 여러 분야에 걸쳐서 사용될 수 있다.

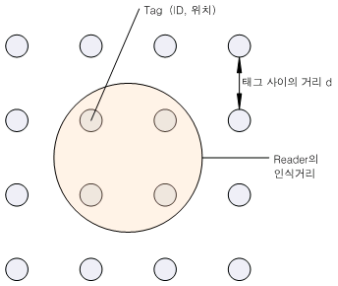
하지만, Passive RFID 위치추정 시스템에서 정확한 위치추정에 있어 장애가 존재한다. Tag들의 성능이 균등하지 못하기에, 동일한 전력의 전송신호에서도 인식할 수 있는 거리에 차이가 발생한다. 따라서, 매우 좋은 성능의 Tag와 그렇지 못한 Tag들이 섞여 있는 경우, RFID reader의 위치가 성능이 좋은 Tag와 가깝게 있다고 오판하여 위치추정 오차가 커지게 된다. 또한 Tag와 Reader 사이의 인식거리가 고정되지 않고, 시간이 지남에 따라 변할 수도 있다.

이 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여, 전송신호 전력조절을 이용하여, 균등하지 못한 Tag들의 배치, 즉 Tag Floor 상에서도 정확한 위치추정을 할 수 있는 방법을 제안한다. 각 전력에 따른 각 Tag들의 인식거리를 사전에 알고 있다면, 각 인식된 tag들의 위치에서 인식거리를 반지름으로 하는 원들의 교면 상에 Reader가 존재해야만 하며, 이를 통해 상당히 정확한 Reader의 위치를 추정할 수 있다.

2. 본 론

2.1 Tag Floor 상에서의 RFID 위치추정

RFID의 위치추정을 위해서는 인식할 Tag들을 바닥에 배치하여, Robot에 포함된 RFID Reader가 이 Tag들을 항상 인식할 수 있도록 하여야 한다. 이때, Tag들은 똑같은 패턴으로 반복적으로 배치할 수 있도록 주로 정사각형이나 혹은 정삼각형의 형태로 배치한다.[4] 각 Tag들은 자신의 ID와 사전에 입력된 자신의 위치정보를 가지고 있으며, Reader는 인식거리 범위 내에 있는 Tag로부터 이 값들을 읽어낼 수 있다.[그림 1.]



<그림 1> RFID Tag Floor Localization의 기본 개념

2.1.1 위치추정

인식된 Tag들의 위치들로부터 현재 Reader의 위치를 추정하는 기존의 방법들로는 Min-Max 연산과, Mean 연산, Weighted Mean 연산들이 있다.

Min-Max 연산은 기본적 Tag들이 모두 동일한 인식거리를 지니고 있다고 가정한다. 인식된 위치들에서 x, y에 대해 각각 최대값, 최소값을 구하고, 두 값의 중간값을 구하여, 그 값이 Reader의 위치일 것이라고 추정한다.[3] 하지만 성능이 균등하지 못한 Tag들이 배치되는 실제 실험에서는 멀리는 떨어져 있지만, 성능이 좋아 Reader에 의해 인식되는 Tag에 의해, Reader의 위치추정 결과에 큰 왜곡을 초래하여 큰 오차를 보이게 된다.

Mean 연산은 인식된 Tag의 위치들의 평균을 구하는 것으로, 역시 균일한 Tag의 배치를 가정한다. 실제 불균등한 Tag들이 배치된 상황에서는 Min-Max 연산에 비해 결과에 반영되는 Tag의 수들이 많기 때문, 그 왜곡의 정도가 Min-Max보다 작지만, 역시 상당히 큰 위치추정 오차를 보이게 된다.

Weighted Mean 연산은 Mean 연산의 단점을 보완하고자 나온 방법으로, 각 Tag의 위치들에 서로 다른 Weight를 부여한다.[4] 주로 Reader에 대해 가깝다고 여겨지는 Tag들에 높은 Weight를 부여함으로써, Mean에 비해 더 정확한 위치추정을 할 수 있으며, 불균등한 Tag들의 배치 문제에 있어서도 더 강한 특성을 보이나, 역시 왜곡은 존재한다.

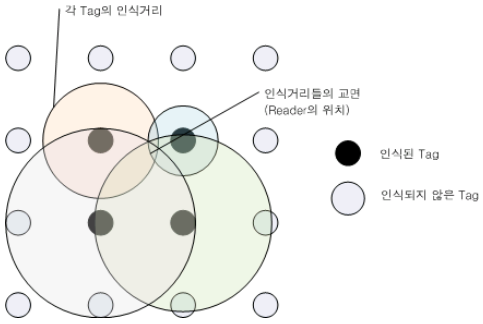
이 논문에서는, 불균등한 Tag Floor 상에서 기존의 위치추정 방법의 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 방법을 제안한다. 각 Tag와 Reader 사이에는 고유한 인식거리가 존재하며, 이를 측정할 수 있다. 따라서 이 값들을 알고 있다면, 각 인식된 Tag에서 인식거리를 반지름으로 하는 원을 그린다. 인식거리의 정의에 따라, Reader는 이 원 내부에 존재하여야만 하며, 모든 인식된 Tag에 대해 이를 만족시키기 위해서는, Reader가 원들의 교면 상에 존재해야만 한다. [그림 2.]

이때, 교면 상에서 Reader의 정확한 위치는 알 수 없다. 하지만, Reader의 움직임, 움직임 전의 추정된 위치와 같은 추가 정보가 존재한다면, 추가적인 filtering을 통해 더 정확한 위치추정을 할 수 있다. 그렇지 않다면, 기본적으로 각 위치에 Reader가 존재할 확률은 모두 동일하므로, 위치들의 평균값을 취하면 된다.

2.1.2 전송신호 전력 조절

RFID Reader와 Tag 사이의 인식거리는 전송신호에 따라 변화하게 된다. 이때 Reader에서 강한 전력을 지닌 신호를 보낼수록 멀리 있는 Tag를 인식할 수 있게 된다.[2]

따라서 이를 위에 제안한 방법과 결합하여, 새로운 추정방법을 제안한다. 하나의 전력에서 구해진 추정지역과, 다시 다른 전력에서 구해진 추정지역 사이의 교면을 구하여, RFID reader의 위치 범위를 좁힘으로써, 더 정확한 Reader의 위치를 추정한다.



〈그림 2.〉 제안한 위치추정법의 기본 개념

일반적으로 적은 전력에서의 교면이, 강한 전력에서의 교면에 포함되는 형태를 보인다. 따라서 동일한 Tag가 인식된다면 저전력에서 더 정확한 위치를 구할 수 있지만, 저전력만 사용하면 작은 인식거리로 인해 인식되는 Tag의 수가 더 적어짐으로써, 오히려 역으로 교면이 커져버릴 수도 있고 , 때로는 Tag가 전혀 인식이 되지 않는 경우, 즉 위치추정에 실패하는 경우도 발생하므로, 강한 전력에서 추정지역을 얻은 이후, 낮은 전력에서의 추정지역 사이에서 교면을 구하는 것이 더 좋은 효율을 보일 수 있다.

2.1.2 인식거리 추정

실제 Tag Floor를 설치할 때, 모든 Tag의 Power에 따른 인식거리를 측정하고 설치하는 것은, 많은 비용의 소모를 요한다. 뿐만 아니라, 시간이 지남에 따라 인식거리의 변화라는 측면도 무시할 수 없다. 따라서 인식된 Tag와 현재의 Reader와의 거리를 수집하여, 각 Tag와 Reader 사이의 인식거리를 추정이 필요하다.

하지만, 여기에는 문제가 있는데, 첫째, 실제 Reader의 위치를 알 수 없다. 둘째, 인식된 Tag는 인식거리 안에 있다는 것을 나타낼 뿐, Tag와 Reader 사이의 거리만으로는 인식거리를 그대로 구할 수는 없다.

따라서, 인식거리 추정을 위해 다음의 방법을 사용할 수 있다. 첫째, Reader와 Tag 사이의 거리 계산에 있어, Reader의 추정위치를 사용한다. 둘째, 추정위치를 통해 계산한 reader-tag 거리에서 충분히 큰 값들을 골라낸다. 셋째, 이 값을 통해서 다시 추정인식거리를 계산하고, 다시 이를 이용하여, 더 정밀한 reader의 위치를 추정함으로써, 위의 과정을 iterative하게 밟는다.

추정된 Reader 위치에 의한 Tag-reader의 거리와 실제 Reader의 위치에 의한 거리는 다음과 같이 표현된다..

(x_r, y_r) : *reader*의 위치 $(\hat{x}_r, \hat{y}_r)$: 추정위치, (x_t, y_t) : *Tag*의 위치

$$\left| [(x_r - x_t)^2 + (y_r - y_t)^2] - [(\hat{x}_r - x_t)^2 + (\hat{y}_r - y_t)^2] \right| \quad \text{.....(1)}$$

(1) 식은 아래의 식과 같이 쓸 수 있다.

$$= \left| (x_r - \hat{x}_r)(x_r - x_t + \hat{x}_r - x_t) + (y_r - \hat{y}_r)(y_r - y_t + \hat{y}_r - y_t) \right|$$

$$\le \left| (x_r - \hat{x}_r) \right| \times [\left| x_r - x_t \right| + \left| \hat{x}_r - x_t \right|] + \left| (y_r - \hat{y}_r) \right| \times [\left| y_r - y_t \right| + \left| \hat{y}_r - y_t \right|]$$

$$\le 2\varepsilon(R + \hat{R}) \quad \text{.....(2)}$$

R : 인식거리, $\hat{R}$: 추정된 인식거리, ε : 위치오차

따라서 거리 측정의 오차는 약 위치오차와 인식거리의 곱에 4배보다 작다. 위의 (2)식에서 tag와 reader 사이의 거리가 인식거리에 가깝도록 tag를 선택하였다면, 아래와 같은 관계가 성립한다.

$$\left| [(x_r - x_t)^2 + (y_r - y_t)^2] - [(\hat{x}_r - x_t)^2 + (\hat{y}_r - y_t)^2] \right| \approx \left| R^2 - \hat{R}^2 \right| \quad \text{.....(3)}$$

$$\left| R - \hat{R} \right| \le 2\varepsilon \quad \text{.....(4)}$$

따라서 각 송신전력에 따라 reader와 tag사이의 거리가 충분히 먼 것을 골라낸다면, 그 거리는 인식거리와 유사할 것이고, 추정된 인식거리의 오차는 거리오차의 2배보다 작은 것을 알 수 있다. 또한, 추정인식거리를 이용하여 추정위치를 구하여 추정위치 오차를 줄이고 다시 추정인식거리를 구하는 iterative 방식이 유효한 방법임을 추측할 수 있다.

2.2 시뮬레이션

성능을 확인하기 위해 simulation을 수행하였다. tag들은 100x100 tag floor 상에 정사각형의 형태로 배치되었으며, 각 tag 사이의 거리는 1이다.

〈표 1〉 시뮬레이션 상, 각 태그 모델 파워에 따른 인식거리

power	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0	0.5	0.6	0.7	0.4	0.2	1.1	1.4	1.5	2.5
1	0.75	0.9	1.05	0.6	0.3	1.6	2.1	2.25	3.75

이때 tag의 model을 9개로서, 각 파워에서 표[1]과 같은 값을 지니며, tag의 사이의 거리에 대한 상대비다. 이 tag들을 고른 확률로 분포시킨다. reader는 (20,20)에서 (25,20)로 x방향으로 0.2씩 이동하면서 인식범위 내의 tag들을 인식하고, 다시 y로 0.2 이동하고 위의 과정을 반복하였다. 이는 y가 25에 도달할 때까지 수행 되었다.

2.2.1 위치추정 시뮬레이션

2종류의 시뮬레이션이 수행되었는데, 하나는 power를 0으로 두고, mean, min-max, 제안한 추정법 사이의 오차율을 보는 것이고, 다른 하나는 전송신호 전력조절을 이용한 방법과 mean 연산의 오차율을 비교하기 위해 수행되었다. 모두 Recognition Range를 알고 있다는 가정하에 수행되었다. 각 시뮬레이션은 20번씩 반복 실험하여 그 결과를 평균을 내었다.

2.2.1.1 위치추정 성능 비교

전송신호 전력조절 없이, 순수 제안한 추정에 의한 위치오차의 평균은 약 0.345이고, Mean 연산의 경우 0.515, Min-Max 연산의 경우 0.766으로 나왔다. 이 결과에 따르면, 태그들의 인식거리가 대체로 작고 서로 간의 차이가 많이 나는 경우, 인식거리를 이용하는 추정이 가장 정확하고, Min-Max 연산이 가장 부정확한 것으로 나타났다.

2.2.1.2 전송신호 전력조절을 이용한 위치추정 성능 비교

본 논문에서 제안한, 전송 방식에 의한 위치추정 오차평균은 tag간의 거리를 1로 두었을 때를 기준으로, 약 0.162이며, 인식된 Tag들의 위치를 단순히 평균을 낸 위치추정의 오차의 평균은 약 0.462로, Mean 연산보다 송신신호 전력 조절과 인식거리를 이용한 방법이 더 좋은 결과를 보여주었다.

3. 결 론

시뮬레이션 결과를 비추어 볼 때, 사전에 가지고 있는 인식거리 정보를 활용하여 위치추정을 하는 방법은 기존의 방법에 비해 평균적으로 더 정확한 모습을 보여주었다. 하지만 이 방법은 인식거리 정보를 요구하며, 모든 tag에 대해 측정하기 쉽지 않고, 시간이 흐름에 따라 변할 수 있는 값이다. 따라서 정확한 인식거리 추정을 위한 방법과 구현에 대한 연구가 필요하다. 뿐만 아니라, RFID Reader를 포함하는 로봇이 멈춰있는 상황이 아닌, 움직이는 상황에서의 위치 추정에 대한 연구도 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] W.E Dixon, D. M. Dawson, E. Zegrglu and Behal, "Nonlinear control of wheeled Mobile Robots", springer, Page. 1-4, 2003.

[2] Youngsu Park, Jewon Lee, Sang Woo Kim, "Improving position estimation on RFID tag floor localization using RFID reader transmission power control", Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2009. Pages : 1716 - 1721

[3] Soonshin Han, HyungSoo Lim, and JangMyung Lee, "An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System", IEEE Transactions on Inductirial Electronics, Vol 54, page: 3362~, December, 2007

[4] Hyun-Jeong Lee, Moon Sik Kim, and Min Cheol Lee, "Technique to correct the localization error of the mobile robot positioning system using an RFID", SICE Annual Conference 2007, p. 1506-1511