

RFID 시스템을 이용한 위치 추정 기법 개발

김동진, 조치현, 박재현, 추호성, 이정해
홍익대학교 전자전기공학부

Development of a Positioning System using RFID

Dong-Jin Kim, Chihyun Cho, Jae-Hyun Park, Hosung Choo and Jeong-Hae Lee
Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University
E-mail: jeonglee@hongik.ac.kr

Abstract

A location positioning system using RFID is proposed in this paper. This positioning system can be used for improving the accuracy of the estimation of the location by employing multiple RFID tags without any information from satellites. Using the fact that the tag responds at the high power of reader antenna as the distance between the tag and the reader increases, the positioning method utilizing the sweep of output power of reader antenna is employed. The empirical equations for estimating the location using multiple tags are developed. Then, the locations are estimated using the equations with commercial RFID system. The error ranges between the real location and the estimated locations are determined.

I. 서론

최근 무선 통신과 위성 통신의 발달로 위치 추정 시스템의 개발이 가속화 되고 있다. 현재 대부분의 위치 추적 시스템은 위성 항법 장치인 GPS에 거의 의존하고 있는 실정이며, 이는 주로 차량 위치 추적이나 전문화된 응급 서비스 등에서 상용화되고 있다. 하지만 이러한 GPS를 이용한 위치 추정 시스템은 일반적으로 위성 신호의 수신에 불가능한 실내에서는 그 사용이 어렵고 또한, 상대적으로 좁은 공간 안에서 위치 추적의 오차가 크다는 단점이 있다. 최근에 이러한 GPS에 의한 위치 추정의 단점을 개선하기 위하여 위성 신호의 수신에 불리한 실내에서 휴대 전화나 CDMA, 디지털 TV 신호 등을 이용한 위치 추적 시스템이 개발되고 있다[1-3].

본 논문에서는 GPS가 아닌 RFID 시스템의 태그 안테나에 저장되어 있는 인식 정보를 통하여 위치 추정 시스템을 구현할 수 있는 해석 방법을 제안하였다. 이

러한 RFID 시스템을 이용한 위치 추정 기법은 기본적으로 위성 신호를 사용하지 않기 때문에 실내에서의 위치 추정이 가능한 것은 물론, 상점 건물이나 골목과 같은 상대적으로 좁은 공간에서 활동이 이루어 지는 환경에서의 위치 추적에 매우 효율적으로 적용할 수 있다. 일반적으로 RFID 시스템은 인식 정보를 저장하고 있는 태그와 그 정보를 읽는 리더로 구분되는데, 태그 안테나의 인식 수는 리더 안테나와 태그 안테나 사이의 거리에 따라 변화하게 되고 또한 리더 안테나의 인식 거리는 안테나의 출력에 따라 달라지게 된다[4]. 따라서 본 논문에서는 고정되어 있는 태그에 저장되어 있는 위치 정보, 즉 태그의 경도와 위도의 좌표 정보를 이용하여 태그 안테나의 인식 수와 리더 안테나의 출력에 따른 상대적인 거리를 해석하고, 이를 통하여 리더 안테나의 위치 좌표를 계산하는 방법을 제안하였다. 특히 리더 안테나의 출력에 따른 위치 추정의 해석 방법은 상용화된 RFID 시스템을 사용한 실험을 통하여 실제 위치 추정 시스템 구현이 가능함을 확인하였다.

II. RFID를 이용한 위치 추정 기법

RFID 시스템의 리더와 태그 안테나가 등방형성의 복사 패턴을 가진다고 가정하면, 태그의 인식 수는 안테나와 리더 안테나 사이의 거리에 의해 변화하며, 최대 인식거리는 리더 안테나의 출력에 따라 변화한다. 이는 태그의 인식 수 또는 리더의 출력을 이용하여 태그와 리더 사이의 거리에 대한 예측이 가능함을 의미한다.

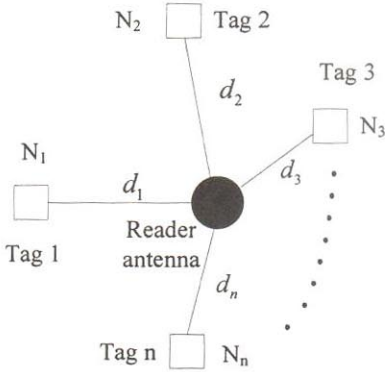


그림 1. 태그의 인식 수에 따른 위치 계산.

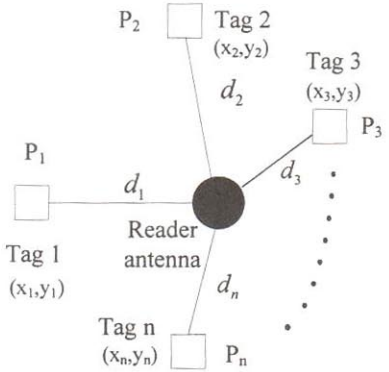


그림 2. 리더의 출력에 따른 위치 계산.

먼저 그림 1과 같이 일정한 출력을 가지는 리더 안테나에 태그가 인식된 경우 각 태그의 인식 수에 의한 거리 추정 방법을 고려하면, 리더 안테나의 위치는 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$N_1 \times d_1 = N_2 \times d_2 = N_3 \times d_3 = \dots = N_n \times d_n \quad (1)$$

이때 인식된 각 태그를 Tag1, Tag2, Tag3이라 하면, $N_1, N_2, N_3 \dots$ 은 각 태그의 인식 수를 의미하고 $d_1, d_2, d_3 \dots$ 은 각 태그와 리더 사이의 거리를 나타낸다. 이러한 위치 계산법은 태그의 인식 수가 리더와의 거리에 선형적으로 반비례 한다면 위치 추적 시스템에 효율적으로 적용할 수 있다. 하지만 일반적인 RFID 시스템은 현실적으로 태그와 리더의 거리가 일정거리 이내로 위치하면 그 인식 수의 차이가 크지 않거나 일정한 인식 수를 나타냄으로 인식 수와 거리 사이의 상관 관계의 모델링이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 RFID 시스템을 이용한 위치 추적 해석의 또 다른 방법으로 리더 안테나의 출력에 의한 거리 계산법을 제안하였다.

리더의 출력은 일반적으로 그 세기가 증가할수록 인식 가능한 태그와의 거리가 늘어나게 되고 따라서 리더의 출력에 따른 태그와 리더 사이의 거리를 계산할 수 있다. 인식 수에 따른 거리 계산과 마찬가지로 그림 2와 같은 공간을 고려하고, 리더 안테나의 출력이 태그와의 거리에 선형적으로 비례한다고 가정하면 각 태그 안테나와 리더 사이의 거리에 대한 관계식은 식 (2)로 계산할 수 있다.

$$\frac{d_1}{P_1} = \frac{d_2}{P_2} = \frac{d_3}{P_3} = \dots = \frac{d_n}{P_n} \quad (2)$$

이때, 리더 안테나는 각 태그 안테나들 사이에 위치하여 있다고 가정하고, $P_1, P_2, P_3 \dots$ 은 리더 안테나로부터 각 태그가 처음으로 인식 되었을 때의 출력을 나타내며, $d_1, d_2, d_3 \dots$ 은 각 태그와 리더 사이의 거리를 의미한다. 인식 수에 따른 계산법과 마찬가지로 리더의 출력이 태그와의 거리에 정비례한다면 이상의 위치 계산법은 매우 유용하지만, 일반적으로 리더의 출력은 태그와의 거리에 지수 승으로 비례하므로 이를 고려한 식 (3)을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} (P_2)^{1/r} \times d_1 &= (P_1)^{1/r} \times d_2 \\ (P_3)^{1/r} \times d_1 &= (P_1)^{1/r} \times d_3 \\ (P_3)^{1/r} \times d_2 &= (P_2)^{1/r} \times d_3 \\ &\vdots \\ (P_n)^{1/r} \times d_{n-1} &= (P_{n-1})^{1/r} \times d_n \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 리더 안테나의 출력에 따라 인식된 모든 태그의 개수가 n 개라고 한다면, 유도될 수 있는 계산식은 모두 nC_2 개가 된다. 이상의 과정은 리더의 출력이 태그와의 거리의 r 제곱에 비례한다는 의미로 이때의 r 값은 리더 안테나의 성능에 따라 다른 값을 가지게 되고 그 값은 실험적으로 계산할 수 있다. 또한 각 태그로부터 얻어드린 태그의 위치 정보, 즉 경도와 위도를 각각 $x_1, x_2, x_3 \dots$ 과 $y_1, y_2, y_3 \dots$ 이라고 하고, 리더 안테나의 경도와 위도를 각각 x, y 라 하면 각 태그와 리더 사이의 거리는 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \sqrt{(g(x-x_1))^2 + (l(y-y_1))^2} \\
 d_2 &= \sqrt{(g(x-x_2))^2 + (l(y-y_2))^2} \\
 d_3 &= \sqrt{(g(x-x_3))^2 + (l(y-y_3))^2} \\
 &\vdots \\
 d_n &= \sqrt{(g(x-x_n))^2 + (l(y-y_n))^2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 g 와 l 은 실거리를 계산하기 위한 파라미터들로 각각 경도와 위도 좌표 1 간격의 실제 길이를 의미한다. 이상의 식 (3)과 (4)로부터 유도할 수 있는 연립방정식의 해는 리더 안테나의 위치 좌표 x , y 로 계산되고, 이는 RFID 시스템이 리더의 출력에 대하여 안정적으로 태그를 인식한다면 위치 추정에 대한 정확한 해를 제공하게 된다. 하지만 상용의 리더 안테나 방사 패턴은 전방향성이나 등방향성의 복사 패턴을 가지지 못함에 따라 안테나의 출력에 따른 인식 거리는 태그의 성능, 복사 패턴 그리고 부착된 모양과 같은 많은 변수를 내포하게 되고, 따라서 식 (3)으로부터 유도되는 연립방정식의 해를 구하지 못하는 경우가 발생한다. 또한 많은 태그가 인식 될 경우 연립 가능한 거리와 출력의 관계식은 nC_2 만큼 증가하게 되고 이는 위치 추적 계산의 과정이 매우 복잡해 짐을 의미한다.

이를 해결하기 위한 방법으로 인식된 여러 태그 중 단 2개의 태그를 선택하여 이 태그들에 대한 출력에 따른 거리의 내분점을 평균 값으로 처리하는 계산법을 고려한다. 그림 3은 선택된 2개의 태그의 직선 거리에 대한 내분점을 고려한 것으로 리더의 출력에 의해 결정되는 두 태그 사이의 내분점은 식 (5)로부터 계산된다.

$$\begin{aligned}
 x_{12} &= \frac{x_1 \times P_2^{1/r} + x_2 \times P_1^{1/r}}{P_1^{1/r} + P_2^{1/r}} \\
 y_{12} &= \frac{y_1 \times P_2^{1/r} + y_2 \times P_1^{1/r}}{P_1^{1/r} + P_2^{1/r}}
 \end{aligned} \tag{5}$$

이때 x_{12} , y_{12} 는 Tag 1과 Tag 2의 출력에 따른 내분점에 의한 경도와 위도 좌표를 의미하고, P_1 과 P_2 는 각각 Tag 1과 Tag 2가 처음 인식 되었을 때의 리더 안테나의 출력을 나타낸다. 만약 인식된 태그의 수가 n 개 라면 식 (5)로부터 계산되는 내분점은 모두 nC_2 가 되고, 식 (6)과 같이 내분점들의 합을 nC_2 으로 나눈 평균 값을 리더 안테나의 좌표로 취하게 된다.

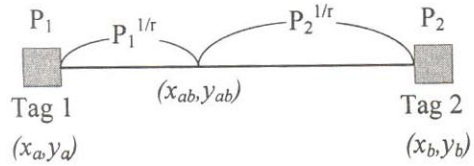


그림 3. 리더 안테나의 출력에 따른 2개의 태그의 내분점.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{23} + x_{24} + \dots + x_{n-1,n}}{nC_2} \\
 y &= \frac{y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{23} + y_{24} + \dots + y_{n-1,n}}{nC_2}
 \end{aligned} \tag{6}$$

이러한 해석 법은 수치적으로 정확한 해를 얻을 수는 없지만, 2개 이상의 태그만 인식 된다면 출력에 따른 거리의 관계를 통해 그 해를 항상 얻을 수 있으며 또한 식 (3)에 의한 연립방정식의 해법보다 그 과정에 매우 간략해 짐으로 실제 측정에 매우 유용하게 적용된다.

III. 측정 결과 및 분석

이상에서 기술된 RFID 위치 추정 기법을 상용화된 RFID 시스템을 이용한 모의 실험으로 확인하였다. 사용된 RFID 시스템은 Alien사의 ALR-9800이고 동작 주파수 대역은 910MHz~914MHz이다[5]. 리더 안테나는 패치 안테나 형태의 원형 편파 특성을 나타내며, 전방향성이나 등방향성에 가까운 복사 패턴을 구현하기 위해 2개의 안테나를 양방향으로 붙여 측정하였다. 실제 측정에서는 리더 안테나의 위치 좌표를 출력에 따른 각 태그들의 내분점의 평균 값으로 계산하였고 이때 사용된 식 (5)의 r 값은 리더 안테나와 태그 안테나의 거리를 달리하여 실험적으로 구한 값으로 1.4로 계산하였다. 또한, 태그의 위치 좌표는 현재 일반적으로 사용되고 있는 GPS의 정보와의 호환성을 위하여 위도와 경도를 나타낸 GPS 위치 프로토콜을 사용하였다. 그림 4는 실제 모의 실험의 측정 환경과 몇 개의 표본 위치에 대한 위치 추정의 결과값을 도시하였다. 모의 실험에서는 모두 8개의 태그 안테나를 사용하였고 태그의 위치와 간격은 GPS 위치 프로토콜에 따른 경도와 위도의 위치 좌표를 기준으로 설정되었다. 위치 프로토콜의 최소 단위인 경도와 위도의 1/100초는 각각 25Cm, 30Cm를 나타내고 따라서 Tag a와 Tag b의 위치 좌표는 같은

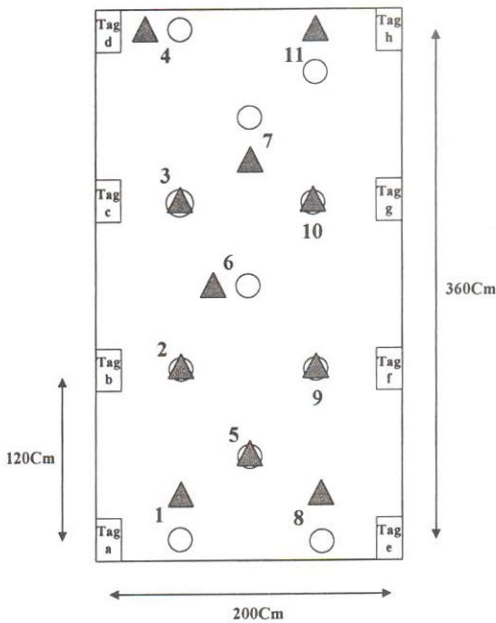


그림 4. 리더 안테나의 출력에 의한 위치 추적의 실제 측정 환경 및 결과.

경도상에서 위도 4/100초 간격을, Tag a와 Tag e의 위치 좌표는 같은 위도상에서 경도 8/100초의 간격을 의미한다. 또한 실험이 진행된 리더 안테나의 위치는 원으로 표시하였고, 위치 추정 계산에 의한 결과 값은 삼각형으로 표시하였다. 표 1은 각 표본 위치에 대한 결과의 오차 값을 나타낸 것으로 제안된 위치 추정의 계산에 의한 위치 추적에 대한 오차가 30Cm 내외로 매우 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이상의 모의 실험은 리더의 출력에 의한 위치 추정 기법이 매우 유용함을 의미하고 또한 전방향성이나 등방향성의 리더 안테나와 태그 안테나를 사용한다면 더욱더 정확한 시스템 구현이 가능할 것으로 예상할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 RFID를 이용한 위치 추정의 기법으로 태그 안테나의 인식 수에 의한 위치 계산법과 리더 안테나의 출력에 의한 해석 방법을 고려하였다. 인식 수에 의한 거리 계산법은 실제 RFID 시스템에 있어서 인식 수가 거리에 따른 변동 폭이 크지 않다는 한계성 때문에 현실적인 위치 추적 시스템에 적합하지 않다. 리더의 출력에 의한 위치 계산법은 리더 안테나의 위치가

표 1. 위치 추적의 실제 측정 결과의 오차 거리

모의 실험 순번	오차 거리	모의 실험 순번	오차 거리
1	30Cm	7	30Cm
2	0Cm	8	30Cm
3	0Cm	9	0Cm
4	25Cm	10	0Cm
5	0Cm	11	30Cm
6	25Cm		

인식된 태그들의 사이에 있다고 가정하여 수치적으로 정확한 위치를 추적할 수 있는 계산법을 유도하였다. 실제 측정에 있어서는 수식의 간략화와 안정적인 위치 좌표의 해를 구하기 위하여 인식된 태그 사이의 내분점을 이용한 계산법을 이용하였다. 상용화된 RFID 시스템을 이용한 모의 실험 결과 그 오차 범위가 30Cm 내외의 안정적인 위치 좌표를 확인하였고, 이는 리더의 출력에 따른 위치 계산 기법이 RFID를 이용한 위치 추정 시스템에 효과적으로 적용될 수 있다는 가능성을 확인시켜 주며, 전방향성 또는 등방향성의 안테나가 이용된다면 더욱더 정확한 성능을 갖는 위치 추적 시스템에 유용하게 적용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] F. van Diggelen, "Indoor GPS theory & implementation," *IEEE Position Location and Navigation symposium*, pp. 240-247, 2002.
- [2] S. S. Woo, H. R. You, and T. G. Kim, "The position location system Using IS-95 CDMA networks," *IEEE EUROCOMM*, pp. 20-24, 2000.
- [3] X. Wang, Y. Wu, and J. Y. Chouinard, "A new position location system using ATSC TxID signals," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2815-2819, 2005.
- [4] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., West Sussex, England: Wiley, 2003.
- [5] <http://www.alientechnology.com>