

# RFID 태그를 이용한 실내 위치 추적 시스템에 관한 연구

조재형  
단국대학교 산업공학과 교수

## A Position Tracking System Using Pattern Matching and Regression Curve

Jaehyung Cho  
Professor, Department of Industrial Engineering, Dankook University

**요약** 무선 위치 추적 시스템은 모바일, 로봇 추적 시스템 및 인터넷 위치 기반 서비스(LBS) 애플리케이션과 같은 응용분야에서 사용할 수 있다. GPS 시스템은 가장 잘 알려진 위치 추적 시스템이지만 실내에서의 사용이 용이하지 않다. 실내 위치 추적 시스템에 대한 비용 효율적인 측면에서 무선 주파수 식별(RFID) 위치 추적 방법을 연구하였다. RFID 시스템 대부분은 소모성 배터리를 사용하는 능동형 RFID 태그를 사용지만, 본 논문에서는 패시브 RFID 태그를 사용하는 저렴한 실내 위치 추적 시스템을 개발하였다. 정밀한 추적 알고리즘을 사용하기 위하여 패턴인식에 의한 위치 추적 방법과 회귀곡선을 생성하여 위치를 추적하는 시스템을 연구하였다. 시스템은 잡음으로 인한 오류 수준을 검증하여 테스트하였다. 회귀식에 의해 생성된 3차원 곡선은 미분방정식에 의해서 확률적으로 설명력이 높은 좌표를 추정하였다. 이 제안된 시스템은 모바일 로봇 시스템, AGV 및 휴대전화 LBS에도 적용될 수 있다.

**주제어** : 위치추적, RFID, 회귀곡선, 패턴매칭, 태그

**Abstract** Location positioning systems are available in applications such as mobile, robotic tracking systems and Wireless location-based service (LBS) applications. The GPS system is the most well-known location tracking system, but it is not easy to use indoors. The method of radio frequency identification (RFID) location tracking was studied in terms of cost-effectiveness for indoor location tracking systems. Most RFID systems use active RFID tags using expendable batteries, but in this paper, an inexpensive indoor location tracking system using passive RFID tags has been developed. A pattern matching method and a system for tracing location by generating regression curves were studied to use precision tracking algorithms. The system was tested by verifying the level of error caused by noise. The three-dimensional curves are produced by the regression equation estimated the statistically meaningful coordinates by the differential equation. The proposed system could also be applied to mobile robot systems, AGVs and mobile phone LBSs.

**Key Words** : Position Tracking, RFID, Regression Curve, Pattern Matching, Tag

### 1. 서론

위치 추적 시스템은 토지 측량, 자동 비행 시스템, 모바일 로봇, 가상현실 및 위치 기반 서비스(LBS, Location

Base System)과 같은 많은 응용 분야에 사용된다. LBS와 같은 포지셔닝 시스템은 넓은 영역을 인식할 수 있어야 하며, 기기나 태그의 형태로 휴대 전화나 컴퓨터와 함께 기능해야 한다. 이러한 시스템은 비상 상황이나 자동

\*Corresponding Author : Jaehyung Cho(jaecho@dankook.ac.kr)

Received October 11, 2019

Accepted December 20, 2019

Revised November 15, 2019

Published December 28, 2019

차 내비게이션 시스템, 여행자 관광 계획, 광고, 지도 등을 포함한 많은 영역에 적용되며, 정보를 공유 차원에 있어서 사용자에게 더 많은 정보를 제공할 수 있다. 위치 추적 장치는 GPS 장치, 모바일 추적 시스템, Wi-Fi 포지셔닝 시스템, RFID 추적 시스템과 같은 무선 추적 시스템이 개발되었다[1]. 이 장치들은 각각 장단점이 있다. 위치 추적 시스템을 위한 GPS 시스템은 현재 가장 잘 알려져 있으나[2], 일반적으로 GPS 시스템은 위성과 추적 시스템을 통해 실외의 사용으로 제한되며, 건물 내부에서는 신호가 차단되어 GPS 수신기가 제대로 작동하지 않는 단점이 있다.

실내 위치 추적 시스템은 실외 위치 추적 시스템과 약간 다른 방식으로 사용되어 왔다. 실내 추적 시스템에는 Wi-Fi 포지셔닝 시스템과 비콘이나 블루투스 기술을 사용하는 시스템이 포함된다[3-5]. 환경에 따라 달라지나, 이 장치들은 약 1 - 10m의 정밀도를 보여준다. 실내의 무선 환경에서 3차원 위치 추적에 대한 연구가 있었다[6]. 스마트팩토리과 같이 IoT 환경에서 Wi-Fi를 이용한 무선 시스템의 위치 정확도를 향상시키는 것은 복잡한 작업이며, 실내의 무선 위치 추적 시스템의 정확도는 설치비용에 비례하며, 공간에 대한 제한이 있다[7-9].

실내 위치 추적 시스템을 위한 RFID 시스템은 1990년대 후반부터 연구되어 왔다. RFID 기술은 무선 신호로 인식되는 비접촉식 자동식별 기술이다. RFID 태그는 몇 미터에서 수십 미터까지 읽을 수 있다. 이러한 장점들 때문에 많은 연구자들이 RFID를 사용하는 시스템을 연구하였다[10]. RFID 태그의 위치를 계산하기도 하였으며, 로봇 자동 적용을 위한 새로운 위치추적 시스템을 개발하였다[11]. Fu 등은 대상 시스템의 위치를 결정하기 위해 핑거프린트 접근법을 사용하였다[12]. Landmarc는 위치 감지 시스템으로, 물체의 위치 추적의 전체적인 정확도를 향상시킨다[13]. 그러나 이러한 모든 시스템은 시스템의 위치를 이용하여 액티브 RFID 태그를 인식하며, 모두 액티브 태그와 함께 사용할 배터리를 요구한다. 패시브 RFID 태그를 사용하여 실내 시스템의 위치를 추적하는 것은 정밀도와 정확도에 문제가 있다. 일부 연구원들은 패시브 타입의 RFID 태그를 사용하는 위치 추적 시스템을 연구했다. Ting 등은 패시브 타입 RFID 시스템에 기초한 위치 추적 시스템을 연구하였다[14]. 그들은 4개의 리더기를 사용하여 RFID 수신 신호 강도(RSSI)를 얻어 룩업 테이블(LUT)을 만들었다. 다른 연구원들은 RSSI를 사용한 위치 추적 방법을 연구하였다[15,16], 그러나 그들은 통신장비 전자파의 간섭이나 주변 환경에

따른 불안정한 전파에 의해서 많은 오류와 불일치를 포함하는 그리드 거리의 1-3m의 범위를 식별하였으며, 상대적으로 고 비용의 장비를 활용하여 위치를 추정하였다[17]. Zhang은 움직이는 수동태그를 추적하기 위해 두 개의 안테나를 사용하는 추적 시스템을 연구하였다[18].

본 논문에서는 저비용 패시브 RFID 태그를 이용한 실시간 RFID 실내 위치추정 시스템을 연구한다. 제안된 시스템은 저비용 패시브 RFID 태그를 사용하여 AGV, 자동 로봇 위치 추적 장치, 모바일 장치 및 위치 추적 장치에 적용될 수 있다. 움직이는 물체에 RFID 리더기가 장착되고, RFID 수동태그는 위치를 추적하기 위해 바닥이나 천장에 고정된다. 리더기에 의해 검출된 태그에는 현재 위치를 인식할 수 있는 일정한 패턴이 있다. 이러한 패턴을 이용한 추적시스템을 핑거프린트 기법이라고 한다. 이 방법에서 데이터 분석을 통해 여러 가지 가능한 위치 추적 알고리즘을 개발할 수 있다. 위치를 추적하는 간단한 방법은 중앙 위치를 평균화하는 것이다. 검출된 태그의 패턴은 리더기의 위치에 따라 검출된 신호의 패턴을 합리적으로 계산하는 오류 보정 방법을 적용할 수 있다. 위치추적 방법으로 여러 방법을 비교하여 실험 전반에 걸쳐 서로 다른 추적 알고리즘의 정확성을 표시하여 선택할 수 있다. 본 논문에서는 4가지의 다른 추적 방법의 결과를 비교한다.

## 2. 태그 신호에 의한 좌표 계산 시스템

본 연구의 목적은 수동 RFID 태그를 이용한 위치 추적 시스템을 개발하는 것이다. 일반적으로 RFID 태그 신호는 리더기로 전송되며, 위치는 리더기의 데이터를 사용하여 추적된다. 전송된 태그가 하나만 검출되면 태그의 위치는 리더기 위치이며, 이 경우에는 그 위치만 사용하여 추적되므로 정확도가 감소하고 태그 위치의 밀도에 비례하는 많은 오류가 발생할 수 있다. 정확도를 높이기 위해서는 많은 태그 신호를 감지할 수 있는 곳에 리더기를 배치하는 것이 중요하다. 이 경우 태그 위치를 추적할 수 있으며, 태그로 경계되는 영역의 중심이 리더기의 위치다. 위치를 추적할 때 태그를 배열하는 방법은 여러 가지가 있다. 태그의 위치는 노드로 설정하고, 태그를 둘러싼 영역은 셀로 설정할 수 있다. 리더기의 위치 좌표는 리더기에 의해 추적되는 노드의 위치에 의해 결정된다. Fig. 1은 리더기와 태그가 역세스 포인트를 통해서 외부에서도 리더기의 위치를 추적할 수 있는 구조를 보여준다.

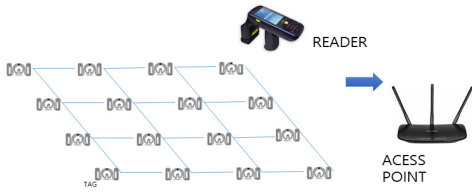


Fig. 1. Configuration of Position Tracking System.

신호의 강도(RSSI, Received Signal Strength Indicator)는 리더기와 태그의 안테나 특성과 온도와 습도와 같은 환경에 따라 달라진다. 따라서 신호와 탐지 가능 영역의 균일한 강도의 결론을 내리는 것은 어려운 일이다. 더욱이, 태그의 평균값에 의한 중심점의 안쪽으로 이동으로 인해 코너 영역 근처에서는 큰 오차가 발생한다. 중심 근처의 오류는 일관성 없는 가독성에서 비롯된다. 신호의 강도는 방사선 각도에 따라 변화하며 태그 상호작용에 따라 리더기 반응이 달라진다. 본 논문에서 시스템의 오류 및 환경에 취약한 특성을 고려하여 위치 추적 방법을 제안하고 그 결과를 비교하고자 한다.

그리드형태의 태그를 이용한 가장 간단한 위치추적 방법으로, 이산신호를 사용한 면적 계산 방정식을 사용하여 리더기의 좌표를 추적하는 방법이다. 위치 좌표는 리더기의 중심 좌표로서, 일반적으로 움직이는 로봇이나 리더기의 위치다. 리더기를 태그로 형성되어 있는 그리드의 중앙에 배치하면 도메인 내에 있는 태그의 신호 데이터를 인식한다. 중심 위치는 다음 식(1)을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_b &= \sum_{i=1}^m (x_i \cdot (\sum_{j=1}^n b_{i,j})) / p, \\ y_b &= \sum_{j=1}^n (y_j \cdot (\sum_{i=1}^m b_{i,j})) / q \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x_b$ 와  $y_b$ 는 이산신호를 이용한 리더기의  $x$ 와  $y$ 의 좌표이다.  $b_{i,j}$ 는 값이 0 또는 1이고  $m$ ,  $n$ 는 열과 행의 수이며,  $p$ 와  $q$ 는  $b_{i,j}$ 가 1일 때의 증분 값이다. 태그가 인식된 영역의 중심이 좌표로 결정된다. 그러나 이와 같이 중심 좌표를 추정 좌표로 사용하는 경우에는 모서리 영역에서 좌표가 부정확한 값으로 나타날 수 있다.

이 부분을 보완하기 위한 방법으로 신호강도를 가중치로 하여 신호강도가 각각 다른 노드 위치에서 신호강도를 가중치로 활용한 비율로 좌표를 계산하는 방법이 있

다. 각 노드의 가중치는 코너 영역에서 발생하는 오류를 현저하게 보상할 수 있다.  $R_{i,j}$ 는 노드  $i$ ,  $j$ 의 전파세기라고 한다면, 계산된 좌표  $(x_R, y_R)$ 은 다음 식(2)와 같이 계산된다.

$$x_R = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i (\sum_{j=1}^n R_{i,j}))}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}}, y_R = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j (\sum_{i=1}^m R_{i,j}))}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}} \quad (2)$$

모바일 로봇이나 리더의 위치에서는 RFID 태그 위치의 데이터와 각 노드의 데이터를 비교하여 평균 좌표값을 가진 비례 연산을 이용하여 리더기의 위치를 추적한다. 신호강도 세기에 따라 가중치를 주는 이 방법으로 정확도의 향상이 기대되나 시스템의 가장자리 코너 부근에서는 여전히 좌표 측정 오류의 확률이 존재하며, 일관성 없는 전파의 방향성에 대해서는 보정이 어렵다는 문제가 있다.

### 3. 제안된 좌표 계산 시스템

코너에서의 오류와 방향성 오류를 보정하는 방법으로 태그 패턴에 따른 위치를 추적하는 방법이 고려된다. 리더기에서 인식되는 태그들의 반응 패턴은 리더기의 위치에 따라 다르게 나타난다. 태그 그룹에 응답하는 것은 방해 신호를 포함하지만, 리더기가 반응하는 일반적인 패턴과 태그 그룹은 지정 위치에 따라 크게 변하지 않는다. 따라서 좌표는 태그 그룹의 특성을 이용하여 좌표를 추적할 수 있다.

각 노드에서 리더기가 태그를 활성화하여 읽는 태그 데이터는 2진 데이터로 저장한다. 각 노드를 숫자로 사용하는 2진 비트는 태그 ID의 감지 여부를 나타내며, 이 데이터는  $n$ 개의 태그를 바이너리 코드화 한다. 숫자 "1"은 감지된 비트를 나타내고 숫자 "0"은 감지되지 않은 비트를 나타낸다. 생성된 2진수는 노드 특성 데이터로 사용된다. 바이너리 코드는 리더기에 의해 감지된 태그 데이터를 사용하여 중심 좌표를 계산하지 않고 생성할 수 있다. 2진 코드에서 각 자릿수는 태그 반응의 유효성을 나타낸다. 임계값을 설정하고, 임계값보다 낮은 태그를 삭제한다. 분리된 태그는 교란 신호로 판단되며 또한 삭제된다. 이 2진수 데이터는 방해 신호를 높은 정확도로 배제한다. 결과는 식(3)과 같이 각 노드에서 2진 데이터로 생성된 바이너리 코드와 리더기에서 산출한 데이터를 'AND' 연

산 ‘•’을 통하여 매칭된 수를 카운트하여 나타낸다.

$$R'_{i,j} = c(B_{i,j} \cdot r_{i,j}) / (m \times n) \quad (3)$$

여기서  $R'_{i,j}$ 는 신호세기와 달리 패턴매칭의 일치 비율로 나타나며, 함수  $c$ 는 실험에 의한 각 노드에서의 바이너리 코드  $B_{i,j}$ 와 리더기에 의해서 탐지한 각 노드에서의 바이너리 코드  $r_{i,j}$ 의 ‘AND’ 연산 결과 매칭된 수를 나타내는 함수이다. 이 값  $R_{i,j}$ 을 식(2)의  $e$ 에 대입하여 좌표를 추정한다. 일치 비율인  $R'_{i,j}$ 는 가중치 값으로 활용된다. 패턴 매칭에 의한 좌표 추적 방법은 패턴 매칭을 위한 바이너리 코드의 세밀한 취득 데이터에 의해서 정밀도가 좌우된다.

정확도를 개선하기 위하여 단위 시간에 데이터 세트를 획득하여 회귀곡선을 생성하여 좌표를 계산한다. 3차원 회귀곡선은 확률적으로 의미 있는 형태의 결과 값을 결정해 준다. 회귀곡선의 독립변수는 노드의 수평축과 수직축의 좌표로 하고 종속변수는 패턴 매칭에 의해 계산된 매칭 비율 값으로 한다. 매칭비율 값은 노드를 잇는 곡선을 보간 하였을 때, 가장 강한 강도의 노드를 중심으로 하강하는 곡선의 형태를 보인다. 군집된 데이터의 집합을 3차 곡선 근사식으로 피팅한다. 이 경우 회귀곡선은 다음 식(4)와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} r_x &= \alpha_1 x^3 + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x + \alpha_4 \\ r_y &= \beta_1 y^3 + \beta_2 y^2 + \beta_3 y + \beta_4 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $r_x, r_y$ 는 각각  $x, y$ 축 상의 신호 강도 값이다. 이 곡선의 미분방정식에 의해서 다음 식(5)와 같이 곡선에서의 최댓값을 구할 수 있다.

$$\frac{dr_x(c_i)}{dx} = 0, \quad \frac{dr_y(c_j)}{dy} = 0 \quad (5)$$

회귀곡선에서 결정계수  $R^2$ 를 계산하면 다항회귀가 관측된 데이터를 얼마나 잘 예측하는지 확인할 수 있다.  $R^2$ 가 0에 가까우면 보간이 그다지 개선되지 않음을 나타내며,  $R^2$ 가 1에 가까우면 독립변수가 종속 변수의 변량 대부분을 설명하고 있음을 나타낸다. 곡선의 신뢰도 확보를 위한 결정계수  $R^2$ 를 구하기 위해 회귀곡선을 생성한 다음 곡선으로부터 잔차를 구한다. 잔차는 관측된

종속 값과 예측하는 값 사이의 차이이다. 설명력이 높은 회귀곡선을 생성한 후, 미분에 의해서 가중치가 있는 리더기의 두 축의 좌표를 구할 수 있다. 각 축에서 좌표를 구하는 방법은 다음 식(6)을 이용한다.

$$\begin{aligned} x_r &= \left( \sum_{j=1}^n x_j R_x(c_j) \right) / \sum_{j=1}^n R_x(c_j) \\ y_r &= \left( \sum_{i=1}^m x_i R_y(c_i) \right) / \sum_{i=1}^m R_y(c_i) \end{aligned} \quad (6)$$

이와 같은 방법으로 구한 좌표는 코너 영역에서도 특별한 보정 없이 비교적 정확한 값을 구할 수 있다.

## 4. 실험결과

### 4.1 실험환경

실험을 수행하기 위해 RFID 태그는 300mm 격자공간이 있는 사각 격자 위에 수직으로 9개, 수평으로 9개씩 각각 배치되었다. 총 81개의 노드를 그리드에 배치했고, 64개의 셀을 생성하였다. 리더기의 탐지 가능 영역이 가변적이며, 감지된 태그의 좌표를 사용한 계산식을 통하여 일관성을 유지했다. 안테나가 수신한 신호 강도에 따라 센서에 의한 태그의 수도 경우에 따라 다르게 나타났다. 각 노드에서 감지한 태그 위치에 따라 계산된 중심 좌표에는 실제 좌표와 일치하지 않는 오류가 발생되었으며, 계산 방법에 따라 결과가 다르게 나타났다. 각 위치 추적 시스템을 평가하기 위해 12개의 무작위 점을 선택하여 오류를 비교하였다. Table 1에서 위치를 추적하기 위한 방식과 사용 계산 방법을 정리하였다.

Table 1. Calculation Equation for Estimated Coordinates.

name	method	coordinate	Equation
binary	Average	$(x_b, y_b)$	(1)
weight	Moving Average	$(x_R, y_R)$	(2)
pattern	Pattern Matching	$(x_p, y_p)$	(3)
regression	Regression Curve	$(x_r, y_r)$	(6)

### 4.2 실험 결과 분석

실험을 위하여 좌표(3.5, 5.5)에서는 중앙 좌표는 리더기가 인식한 태그들을 사용하여 계산하였다. Table 2와

같이 감지된 태그를 이산신호로 이용한 면적 계산방법으로 구한 좌표  $(x_b, y_b)$ 는 (3.75, 4.75)로 계산되었다. 신호 강도를 가중치로 하여 중심 위치를 계산한 방법으로 구한 좌표  $(x_R, y_R)$ 은 (3.57, 5.32)로 계산되었다.

Table 2. Calculated Coordinates at (3.5, 5.5)

method	coordinate	(x, y)	error
binary	$(x_b, y_b)$	(3.75, 4.75)	0.79
weight	$(x_R, y_R)$	(3.57, 5.32)	0.19
pattern	$(x_p, y_p)$	(3.67, 5.36)	0.22
regression	$(x_r, y_r)$	(3.45, 5.64)	0.15

다음으로 패턴매칭의 결과를 가중치로 하여 중심 좌표를 계산하는 방법으로 구한 좌표는  $(x_p, y_p)$ 로 표시하였다. 패턴 매칭에 의해서 나타난 가중치  $R_{i,j}$ 값은 다음 Table 3과 같다. 이 값을 식(2)에 대입하여 얻은 좌표는 (3.61, 5.36)로 오류의 크기가 신호 강도를 가중치로 한 계산 방법에 비교하여 다소 큰 오류를 포함하는 것으로 나타났다.

마지막으로 회귀곡선을 생성하여 미분방정식에 의해서 최댓점을 예측하여 계산한 결과 좌표인  $(x_r, y_r)$ 은 (3.45, 5.64)로 예측되었다.

Table 3. Probabilities by Pattern Matching at (3.5, 5.5)

		(3.5, 5.5)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.08	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.29	0.32	0.25	0.20	0.19	0.14	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.35	0.68	0.43	0.25	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.84	0.86	1.00	0.29	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.71	1.00	0.86	0.71	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.57	0.71	0.71	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.14	0.29	0.29	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

이 위치에서의 회귀곡선은 다음 Table 4와 같이 구하였다. 6번째 곡선에서 설명력  $R^2$ 가 가장 컸으며, 가중치로 활용하는 매칭확률  $R_x(x_2)$ 가 1.164로 가장 크게 나타났다. 좌표를 추정하기 위하여 활용된 회귀곡선은 설명력  $R^2$ 가 60%이상인 곡선만 사용되었다.

Table 4. 3-dimensional Regression Curve at Coordinate (3.5, 5.5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_1$	0.00	0.003	0.004	0.011	0.018	0.02	0.016	0.006	0.00
$\alpha_2$	0.00	-0.05	-0.08	-0.19	-0.31	-0.34	-0.27	-0.11	0.00
$\alpha_3$	0.00	0.2	0.38	0.94	1.5	1.62	1.3	0.5	0.00
$\alpha_4$	0.00	-0.15	-0.27	-0.68	-1.2	-1.2	-0.95	-0.43	0.00
$R^2$	0.00	0.669	0.779	0.799	0.857	0.917	0.734	0.686	0.00
$x_1$	0.00	7.516	8.878	7.917	8.016	7.927	7.759	8.758	0.00
$x_2$	0.00	3.058	3.479	3.598	3.465	3.406	3.490	3.069	0.00
$R_x(x_2)$	0.00	0.114	0.305	0.755	1.024	1.164	0.978	0.248	0.00

좌표 (3.5, 5.5)에서는 길이를 1로 하였을 때, 3차 회귀곡선 보간에 의한 방법이 가장 작은 오차율이 0.22로 가장 작았으며, 바이너리방식의 위치 추적 시스템이 오차율 0.79로 가장 컸다. Fig. 2는 좌표 (3.5, 5.5)에서의 3차원 회귀곡선 중에 6번째 곡선이며, 5개 세트의 태그 데이터로부터 얻은 곡선이다. 회귀곡선의 잔차의 노름(Norm)은 0.19이다.

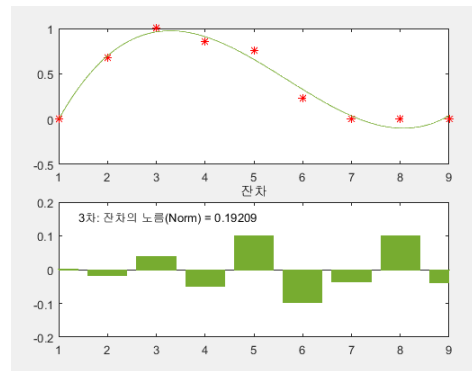


Fig. 2. 6th 3-dimensional Regression Curve at Coordinate (3.5, 5.5).

$(x_b, y_b)$ 는 신호 강도를 고려하지 않고 반응하는 태그의 위치에서 면적 중심을 계산한 결과로 다소 정확도가 떨어졌으며, 특히 코너 부근에서는 좌표 예측이 취약함을 알 수 있었다.

$(x_R, y_R)$ 은 위 방법의 보완 방법으로 신호 강도를 가중치로 하여 계산하였으므로 보다 정확한 좌표를 추정할 수 있으나 RFID 신호의 특성상 주변 상황에 따른 불규칙한 신호 강도와 방향성에 따라서 신뢰도에서 문제가 발생한다.  $(x_p, y_p)$ 는 각 노드에서 패턴을 바이너리 정보로

저장하여 리더기의 위치와 비교하는 방법으로 신호의 불규칙성이나 방향성에 대한 상대적 정확도를 기대할 수 있다. 또한 높은 정확도를 위해서는 노드에 대한 정보가 많을수록 유리한 구조로 되어있다. 마지막으로  $(x_r, y_r)$ 은 여러 세트의 데이터를 활용하기 때문에 한 차례의 정보 획득에 의한 계산이 아니고  $n$ 개의 데이터를 회귀곡선으로 보간하여 구하는 방법을 사용함으로써 확률적 정확도를 확보할 수 있는 장점이 있다.

Table 5에서 주어진 12점의 좌표에 대하여 4가지의 위치 추적 계산 결과를 비교했다. 2진 좌표를 이용한 계산(binary) 방식은 평균 0.2-0.9의 오차를 나타낸다. 태그와 태그의 간격에 20%-90%에 해당한다. 신호강도를 가중치로 하여 중심 위치를 계산한 방법(weight)은 태그 배열 간격의 13%-53%를 보여준다. 패턴 매칭(pattern) 방법은 평균 30.5%의 오차율을 보여 신호강도의 가중치를 계산한 방법에 비해 다소의 개선점을 보였으며, 코너 부근의 오류확률이 개선되어 표준편차가 줄어들었음을 볼 수 있다.

Table 5. Test Data for 12 Points.

points	binary	weight	pattern	regression
(1.5,1.5)	0.820	0.301	0.323	0.386
(2.0,8.0)	0.549	0.334	0.552	0.215
(2.5,7.5)	0.953	0.476	0.232	0.312
(3.0,7.0)	0.639	0.378	0.365	0.250
(3.5,5.5)	0.792	0.194	0.381	0.150
(4.0,6.0)	0.564	0.146	0.214	0.150
(4.5,4.5)	0.173	0.260	0.187	0.178
(5.5,3.5)	0.195	0.136	0.214	0.256
(6.0,8.5)	0.967	0.273	0.358	0.262
(7.0,3.0)	0.502	0.314	0.254	0.353
7.5,2.5)	0.324	0.455	0.158	0.198
(8.0,2.0)	0.496	0.532	0.425	0.204
average	0.581	0.317	0.305	0.243
std	0.268	0.127	0.116	0.076

회귀곡선의 보간에 의한 좌표 계산 방법(regression)은 오류 평균이나 표준 편차 면에서 다른 방법에 비해 비교적 정확한 결과를 얻어 가장 우수한 결과를 보였다. 최소 오차 값은 좌표 (3.5, 5.5)에서 15% 좌표 (1.5, 1.5)에서 최대 오차 38.6%이다. 평균 오차값은 24.3%이며, 표준편차는 0.076이다. 태그 패턴을 이용한 리더기 위치 추적의 신뢰성은 매칭 비율을 데이터 세트의 곡선 보간을 사용하여 증가될 수 있다. 다음 Fig. 3은 12포인트에 대한 평균오차와 표준편차를 보여준다.

## 5. 결론

RFID에 기반한 실내 위치 추적 시스템을 개발하기 위해 4 가지 다른 방법을 사용하여 비교하였다. 감지된 태그를 이산신호로 이용한 면적 계산방법은 불규칙한 오류 분포를 보였으며, 특히 가장자리 부근에서 오류가 가장 크기 때문에 신뢰도가 가장 낮은 방법으로 판명되었다.

신호강도를 가중치로 하여 중심 위치를 계산한 방법은 모든 노드에서 가중치를 일정하게 부여한 방법과 비교하여 보다 나은 결과를 얻을 수 있었으나 가장자리 부근에서 오류의 분포가 여전히 크게 나타났다.

본 논문에서 제안한 패턴 매칭의 결과를 가중치로 하여 중심 좌표를 계산하는 방법은 신호강도를 가중치로 한 방법에 비교하여 오류 평균은 비슷한 값으로 나타났으나, 표준편차는 더 작은 값으로 오류의 확률이 비교적 고르게 분포됨을 알 수 있다. 코너 부근에서도 상대적으로 작은 오류 분포를 보였기 때문이며, 확률적 신뢰성을 높일 수 있는 방법이라 할 수 있다.

회귀곡선을 이용한 위치 추적 방법에서는 태그 패턴을 이용한 리더기 위치 추적의 매칭 비율을 데이터 세트로 활용한다. 이 데이터 세트를 3차원 곡선으로 피팅하여 신뢰성이 증가될 수 있다.

연구의 결과, RFID를 이용한 저비용의 실내 위치 추적 시스템이 개발되었다. 개발된 시스템은 수동형 RFID 태그를 사용한다. 개발된 시스템은 와이파이를 사용하는 시스템에 비해 저렴하며, 비교적 정확한 결과를 제공한다. 더구나 실내 위치추적 시스템의 유효성은 실험을 통해 입증되었다. 개발된 시스템은 신호 오작동과 방해 신호로 인해 발생하는 오류를 보상한다. 정확한 좌표 값을 얻기 위해 회귀곡선의 근사치를 사용하였다. 이 좌표는 평균 오차 값이 태그 거리의 24.3% 미만이었다. 이 결과는 단순히 중앙 좌표를 계산하는 방법에 비해 평균 33.8%의 정확도가 향상되었다.

향후 연구에서는 개발된 실내 위치 추적 시스템을 모바일 로봇, AGV, 스마트폰에 적용하여 실시간 위치 추적에 대한 향상된 구현기술을 위한 연구가 요구된다.

## REFERENCES

- [1] H. Bekkali, M. Sanson & Matsumoto (2007). *RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and kalman filtering*, *Proceedings of the WiMOB*. DOI: 10.1109/WIMOB.2007.4390815

- [2] J. Na. (2006). The blind interactive guide system using RFID-based indoor positioning system, *Proceedings of the ICCHP*, 1298-1305.
- [3] A. Oh. (2015). Smart Factory Logistics Management System Using House Interior Position Tracking Technology Based on Bluetooth Beacon, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 19(11), 2677-2682.
- [4] M. J. Hyun & B. H. Kim. (2018). Study on the Beacon Signal Characteristic for Efficiency Analysis of Indoor Positioning, *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(11), 1-7.
- [5] H. D. Park. (2014). Sensor Node Control Considering Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, *Journal of Digital Convergence*, 12(2), 271-276.
- [6] B. Kang, S. Choi, G. Kim & Y. Park. (2014). A Study on a 3-Dimensional Positioning System over Indoor Wireless Environments, *Journal of Digital Convergence*, 12(11), 273-279.
- [7] Y. Jung. (2017). A Study on Improving Manufacturing Environment Using Iot Technology in Small Business Environment, *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(2), 83-90.
- [8] Y. Jung. (2018). Linking Algorithm Between Iot Devices for Smart Factory Environment of SMEs, *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(2), 233-238.
- [9] H. K. Ryu & T. W. Kim. (2019). Development of a Safety Accident Prevention System for Construction Equipment Utilizing Ilt and RTLS Technology, *Journal of the Korea Convergence society*, 10(9), 179-186.
- [10] A. Cangialosi, J. E. Monaly & S. C. Yang. (2007). Leveraging RFID in hospitals: Patient life cycle and mobility perspectives, *IEEE Communications Magazine*, 45(9), 18-23.
- [11] T. Mori, C. Siridanupath, H. Noguchi & T. Sato. (2008). Active RFID-based indoor object management system in sensor - embedded environment, *Proceedings of the 5th International Conference on Networked Sensing Systems 2008, Kanazawa, Japan*, 17-19.
- [12] A. Fu & G. Retscher. (2009). Active RFID Trilateration and Location Fingerprinting Based on RSSI for Pedestrian Navigation, *Journal of Navigation*, 62(2), 323-340.
- [13] L. Ni, M. Yunhao, L. Cho, Yiu & A. Patil. (2003). LandMarc: indoor location sensing using active RFID, *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2003)*, 407-415.
- [14] S. Ting, L. Kwok, S. Tsang, H. Albert, C. Ho & T. George. (2011). The study on using passive RFID tags for indoor positioning, *International Journal of Engineering Business Management*, 3(1), 9-15.
- [15] Y. Kim, Y. Jeong & G. C. Park. (2014). Energy-efficient Routing Protocol based on Localization Identification and RSSI Value in Sensor Network, *Journal of Digital Convergence*, 12(1), 339-345.
- [16] S. Mazuelas, A. Bahillo, R. M. Lorenzo, P. Fernandez, F. A. Lago, E. Garcia, J. Blas & E. J. Abril. (2009). Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks, *IEEE J. Sel. Topics Signal Process*, 3(5), 821-831.
- [17] A. Ramon, J. Ruiz, F. Granja, J. Carlos, P. Honorato, I. Jorge & G. Rosas. (2012). Accurate Pedestrian Indoor Navigation by Tightly Coupling Foot-Mounted IMU and RFID Measurements, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 178-189.
- [18] Y. Zhang, M. Amin & S. Kaushik. (2007). *Localization and Tracking of Passive RFID Tags Based on Direction Estimation*, International Journal of Antennas and Propagation.

## 조 재 형(Jaehyung Cho)

[정회원]



- 1991년 7월 : University of Illinois at Chicago 기계공학과(공학석사)
- 1995년 7월 : University of Illinois at Chicago 기계공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 산업공학과 교수
- 관심분야 : CAD/CAM/CAE, Smart

Factory

· E-Mail : jaecho@dankook.ac.kr