Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 11. No. 3, pp. 37-43, 2020

ISSN 2233-4890 / eISSN 2713-6353
https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.3.037

지하철에서 스마트폰 센서를 이용한 사용자 위치 추적 방법

조정길
성결대학교 컴퓨터공학과 교수

A User's Location Localization Method using Smartphone Sensor on a Subway

Jung-Gil Cho
Professor, Department of Computer Engineering, Sungkyul University

요 약 스마트폰 기반의 추적은 다양한 시나리오에서 널리 연구되어왔다. 그러나 우리가 아는 한, GPS 신호 및 무선 인프라가 항상 이용 가능하지 않는 지하 대중교통 시스템의 추적 문제를 해결한 연구는 극소수에 불과하다. 전동차의 위치를 아는 것은 지하철 승객에게 유용한 서비스를 개발하는데 필요하다. 따라서 지하철 승객을 대상으로 스마트폰 센서를 이용하여 모션 상태 및 정차역을 추정하는 방법이 연구되고 있다. 이 논문에서는 스마트폰의 기압계와 자기 센서를 이용하는 추적 방법을 제안한다. 이 논문에서 제안된 방법은 먼저 기압의 변동 및 자기장의 세기에 따라 전동차가 운행하는지 정차하는지를 추정한다. 그 다음에 고도 값과 자기장 값으로 전동차가 정차하는 정확한 역을 추정한다. 우리는 서울의 지하철 5호선 데이터를 사용하여 제안된 방법을 평가했다. 이전 방법과 비교하여 제안된 방법은 더 높은 정확성을 얻었다.

주제어 : 기압계, 자기 센서, 추적, 지하철, 스마트폰 센서

Abstract Smartphone-based localization has been widely studied in many different scenarios. But as far as we know, few work has addressed the problem of localization in underground public transportation systems, where GPS signal and wireless infrastructure are not always available. Knowing the location of a train is necessary to develop a useful service for subway passengers. And so, estimation of motion state and stop station by using sensors on a smartphone is being studied for subway passengers. This paper proposes a localization method that uses a barometer and a magnetic sensor on a smartphone. The method proposed in this paper first estimates whether the train runs or stops according to the change in air pressure and the strength of the magnetic field. The altitude value and the magnetic field value are then used to estimate the exact stop station of the train. We evaluated the proposed method using data from the Seoul's subway line 5. Compared with previous methods, the proposed method achieves higher accuracy.

Key Words : Barometer, Magnetic Sensor, Localization, Subway, Smartphone Sensor

*Corresponding Author : Jung-Gil Cho(jkcho@sungkyul.ac.kr)
Received January 15, 2020 Revised February 28, 2020
Accepted March 20, 2020 Published March 28, 2020

1. 서론

지하철은 근래에 와서 중요하고 편리한 대중교통 수단이 되고 있으며 도시의 인구가 늘어남에 따라 지하철 이용객이 증가하고 있다[1]. 국내 스마트폰 사용자는 인구 대비 94~95%로 보급률이 높은데[2], 대부분의 승객은 지하철을 타고 다니면서 독서, 게임, 비디오 시청, 음악 듣기 또는 잠자는 데 시간을 보낸다. 현재의 전동차는 도착할 역을 음성 안내와 화면에 표시하며, 승객은 시끄럽고 혼잡한 전동차 환경에서 이러한 정보를 쉽게 무시할 수가 있다. 따라서 승객들은 전동차를 타는 동안 주의를 기울이지 않으면 정차역을 쉽게 놓칠 수가 있다. 요즘 우리는 스마트폰의 보급률을 바탕으로 모바일 기기에서 지하철을 실시간으로 추적하여 승객의 지하 위치에 대한 지능적인 정보를 제공하고 도착 시간을 예측할 수 있는 솔루션을 찾고 있다[3].

스마트폰 기반의 위치 파악은 다양한 시나리오에서 널리 연구되어왔다[4,5]. 그러나 우리가 아는 한, GPS 신호 및 무선 인프라가 항상 이용 가능하지 않는 지하 대중교통 시스템의 추적 문제를 해결한 연구는 소수에 불과하다. 지하철에서 위치 정보를 사용할 수 있다면 다음에 도착할 역을 알리고, 대중교통 안내 및 출구 가이드를 제공하고, 사용자가 가고자하는 역에 언제 도착하는지 알릴 수 있는 응용프로그램을 개발할 수 있는 많은 기회가 있다. 전동차가 항상 시간표에 따라 정확히 운행하는 것은 아니기 때문에 지하에서 전동차의 위치를 얻는 것이 중요한 문제이다. 기존의 연구는 주로 내장 관성 센서에 의존하여 스마트폰이 자신의 위치를 실질적으로 결정할 수 있게 한다[4,6]. 그러나 고정된 스마트폰 자세와 신뢰할 수 있는 센서 판독 값과 같은 접근 방식의 일부 강력한 가정은 실제 사용을 방해한다.

따라서 이 논문에서는 모바일 기기의 내장 관성 센서를 이용한 실시간 지하철 승객 추적 시스템을 제안한다. 즉 스마트폰의 기압계(Barometer)와 자기 센서(Magnetic Sensor)를 이용하여 지하철 전동차의 위치를 추정한다. 제안된 방법은 먼저 기압의 변동량 및 자기장의 세기에 따라 전동차가 운행하는지 정차하는지를 추정한다. 그 다음에 고도 값과 자기장 값으로 전동차가 정차하는 정확한 역을 추정한다.

2. 관련 연구

위치 기반 서비스(LBS, Location-based Services)는 무선 인터넷 사용자에게 사용자의 변경되는 위치에 따르는 특정 정보를 제공하는 무선 콘텐츠 서비스들을 가리킨다. 그러나 GPS 신호 및 무선 인프라가 항상 이용 가능하지 않는 건물 내부나 지하 대중교통 시스템에서는 다른 방법으로 추적(localization) 문제를 해결해야 한다. 건물 내부에서의 추적은 스마트폰 센서인 자기계, 가속도계, 나침판, 자이로스코프 등을 이용하여 자기 지문 인식으로 해결할 수가 있다. 또한 건물의 층 추적도 이러한 스마트폰 센서를 이용하여 해결할 수가 있다[6-8]. 그리고 이 논문에서 제안한 지하철 전동차에서의 추적도 스마트폰 센서를 이용하여 추정할 수가 있다[9-14].

대부분의 지하철 승객들은 스마트폰을 많이 활용하고 있다. 이런 여파로 지하철 전동차에서 스마트폰 센서로 추적 및 활동 인식에 대한 여러 연구가 활발하게 수행되었다. Stockx(2014)의 연구에서는 가속도계와 시간표를 이용하여 가속도의 크기에 따라 모션 상태를 추정하는 방법을 제안하였다[11]. 그러나 가속도계를 사용하는 방법은 스마트폰을 잡는 방법에 민감하게 영향을 받기 때문에 노이즈 제거를 위한 복잡한 처리가 필요하다. Hyuga(2016)의 연구에서는 기압계를 이용하여 지하철 전동차 추적을 위한 방법을 제안하였다[12]. 제안된 방법은 기압의 변동량에 의해 전동차의 운동 상태를 추정한다. 기압계를 사용하는 방법은 측정값을 유지하는 방법에 영향을 받지 않기 때문에 단순히 측정된 값을 사용할 수 있으나 승객의 밀도와 같은 다양한 요소로 인하여 기압에 영향을 주게 된다. Watanabe(2012)의 연구에서는 지하철역 사이를 운행하면서 기압 변화의 유사성으로부터 정차역을 추정한다[13]. 전동차가 운행하는 동안에 기압의 변동이 독특하고 위치를 식별하기 위한 지문이 될 수 있다고 추정했다. 그러나 반대쪽 열차의 영향으로 인해 기압이 변하기 때문에 정확한 패턴과 항상 일치 할 수는 없다. Sankaran(2014)의 연구에서는 기압계를 이용하여 운동 상태를 추정하는 방법을 제안했다[14]. 그러나 이 방법은 전동차를 내리고 타는 승차 여부만 추정하고 정차역을 추정하지는 못한다.

앞에서 논의된 스마트폰 센서를 이용한 여러 연구들에서는 각각의 문제점을 가지고 있다. 가속도계 측정은 스마트폰을 잡는 방법과 위치에 따라 민감하게 영향을 받아 가속도 노이즈가 발생하므로 노이즈 제거를 위한 복잡한 처리가 필요하게 되며, 현대 열차에서는 모션 동안의 충격이 크게 감소하여 가속도가 제대로 작동하지 않는다. 그리고 기압계 측정은 승객의 밀도나 다른 전동차의 영향으로 기압이 변할 수가 있다. 또한 자기 센서 측

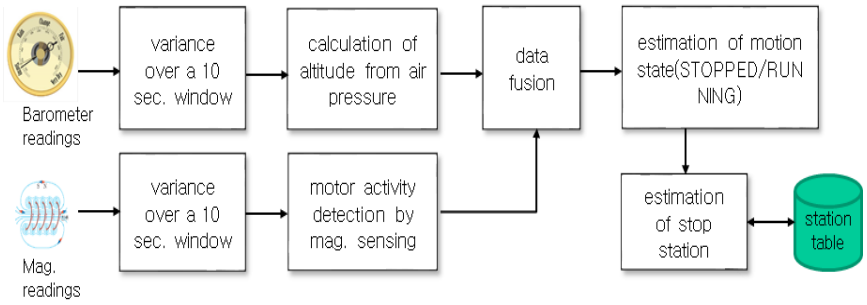

Fig. 1. Proposed passenger motion tracking system

정은 다른 열차의 자기 노이즈로 인하여 오류를 유발할 수가 있다. 그러나 이 논문에서는 기압계 측정은 측정값을 유지하는 방법에 영향을 받지 않기 때문에 단순히 측정된 값을 사용할 수가 있어서 안정적이며, 자기 센서 측정은 자기장의 크기 변화가 전동차의 운동 상태를 분류하는데 효율적이기 때문에 적용한다.

3. 제안된 사용자 위치 추적

이 논문에서 제안하는 사용자 위치 추적 시스템은 Fig. 1과 같으며, 기압 측정 및 모터 활동 감지, 모션 상태 추정, 정차역 추정 단계로 이루어진다. 지하철의 전동차를 추적하는 방법은 스마트폰의 기압계와 자력계를 이용한 위치 파악 방법으로 추정한다. 기압은 기본적으로 고도에 따라 변하지만 베르누이의 원리 때문에 터널에서 급격히 변동된다. 전동차가 정차하면 기압의 변경은 상대적으로 안정되고 기압 값은 정차역의 고도를 반영한다. 따라서 전동차가 정차하는 동안의 기압의 변화로 전동차의 모션 상태인 정차 또는 운행을 추적할 수가 있다.

또한 전동차의 모터 및 전기 인버터는 전동차의 가속 기간 중에 큰 자기 소음을 방출한다. 철도를 따라가면서 전기 및 금속 재료가 복잡한 공간 자성 패턴을 형성하기 때문에 승객 주변의 자기장은 전동차가 움직이는 한 특징적인 특징을 나타낸다. 그러나 정차 기간과의 차이는 가속 및 감속 기간보다 상대적으로 작을 수 있으므로 오탐지 정차 감지가 발생할 수 있다. 따라서 제안된 시스템에서는 오 탐지 정차 감지를 줄이기 위하여 기압계로 추정한 결과와 자력계로 추정한 결과를 반영하여 모션 상태를 추정한다.

3.1 기압 측정 및 모터 활동 감지

지하철 전동차의 최대 속도는 100 km/h이며, 운행시의 최대 속도는 80 km/h이다. 그리고 전동차는 출발 후의 24초간은 가속 운전, 7초간은 타력 운전, 41초간은 감속 운전을 하여 총 72초간을 운행하며 대략적인 이동거리는 900 m 정도가 된다. 전동차의 이러한 운동 중에 터널 내부 공기압 변동의 진폭은 전동차 속도의 제곱에 비례한다.

먼저 측정된 기압으로부터 고도를 계산한다. 식 1은 기압 데이터를 고도로 변환한다[15]. 온도는 정확한 고도를 계산하기위한 보정 계수로 사용되므로 온도 요소는 여기에서 고려되지 않는다. 공식에서 h는 고도이고 p는 기압이며, 기압이 약 0.1 pha 만큼 변할 때, 높이는 약 0.837m만큼 변동한다.

$$h = (1 - \sqrt[5.255]{\frac{p}{1013.25}}\ ) \times \frac{288.15}{0.0065} \tag{1}$$

또한 자력계를 이용하여 전동차 주변의 자기장의 강도를 측정한다. 현대 지하철 운영 시스템은 일반적으로 전기 엔진으로 구동된다. 각 카트에 분배되는 엔진은 권선 전류와 자기장 사이의 상호 작용에 의존하여 힘을 성한다. 가속 단계에서, 전류의 상당한 변경은 현저한자기장을 유발하며, 이는 지하철 전동차를 앞으로 밀기위해 상당한 회전력을 발생시킨다[16]. 전동차가 부드럽게 움직이면 모터 전류가 안정되어 자기장 강도가 감소한다. 따라서 운행 시작 시에 자기장 강도는 일반적으로 다른 위상에 비해 더 크다[17]. 식 2는 시간 t에서 자기장 강도 M(t)을 다음과 같이 정의한다.

$$M(t) = \sqrt{(M_x^2(t) + M_y^2(t) + M_z^2(t))} \tag{2}$$

공식에서 $M_x(t)$, $M_x(t)$ 및 $M_x(t)$는 각각 시간 t

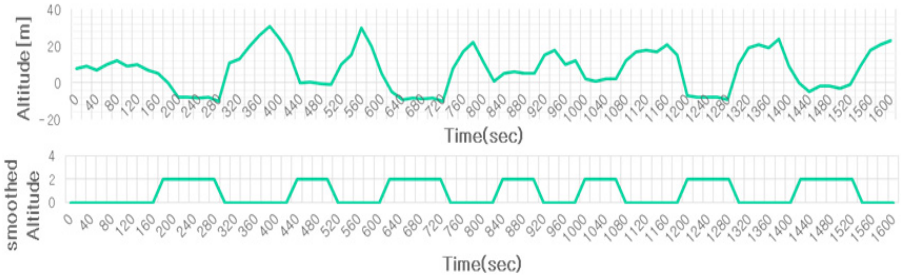

Fig. 2. Estimation of motion state: (A) Altitude variance, (B) Smoothed altitude

에서 X-축, Y-축 및 Z-축 상의 자기장 강도를 나타낸다. 원시 데이터에서 측정 노이즈를 필터링하기 위해 10초의 지속 시간에 해당하는 500 크기의 이동 평균 윈도우를 채택한다.

3.2 모션 상태 추정

이 논문에서 제안된 방법은 측정된 고도의 변동과 전동차 주변의 자기장 크기의 변동을 분석함으로써 지하철 전동차의 모션 상태(STOPPED 또는 RUNNING)를 추정한다.

전동차가 운행 중이거나 정차 되었을 때 고도의 변동이 일어난다. 고도는 지하철 터널의 영향과 실제 노선의 높이에 따라 바뀐다. 제안된 방법은 고도 변동의 분산이 특정 임계값을 초과하면 전동차가 운행 중(RUNNING)임을 추정할 수 있으며, 임계값보다 작으면 전동차가 정차(STOPPED)되었다고 추정할 수가 있다.

Fig. 2는 서울 지하철 5호선에서 운행하고 정차하는 전동차 내에서의 기압의 변동을 고도로 변환한 데이터의 실험 결과를 보여주고 있다. Fig. 2 (A)는 관측된 기압에서 계산한 고도의 변동이다. Fig. 2 (B)는 임계값을 0.07로 설정하고 평탄화한 모션 감지 결과를 보여주는데, 볼록한 부분은 STOPPED를 의미하고, 나머지는 RUNNING을 의미한다.

전동차가 운행 중일 때에는 자기장의 큰 분산 값이 빈번히 감지되지만 전동차가 정차중일 때에는 거의 모든 구간에서 자기장의 분산 값이 상당히 적은 수준을 유지한다. Fig. 3은 예비 실험에서 수집된 모든 데이터 세트에 대한 분산 값의 누적 분포를 나타낸다. 정차 기간에는 분산 샘플의 80 % 이상이 10 이하로 집중된다. 이것은 분산 샘플이 훨씬 더 넓은 범위에 분산되어있는 운행 기간과는 대조적이다. 이 결과는 자기장의 크기 변동이 전동차의 모션 상태를 분류하는 강력한 기능으로 작용한다는 것을 의미한다.

분산 표본 m이 주어지면 전동차의 정차 확률은 다음의 식 3의 자기력 모델을 기반으로 계산할 수 있다.

$$p(stop|m) \overset{\text{def}}{=} \frac{p(m|stop)}{p(m|stop)+p(m|mov)} \quad (3)$$

정차 기간의 집합을 찾기 위해 각 분산 샘플을 기반으로 정차 확률을 계산한다.

3.3 정차역 추정

전 단계에서는 측정된 고도와 모터 활동을 감지한 자기장의 크기로 전동차의 정차를 추정하였다. 이 단계에서 제안된 방법은 전동차가 정차 되었다고 추정한 후에 실제 전동차가 정차된 정확한 정차역을 판단한다.

고도를 이용한 정차역 추정에서, 측정된 고도와 실제 지하철역의 고도는 상관관계를 갖는다. 이러한 유사성에 의해 전동차가 정차된 역을 추정한다. 따라서 모션 상태

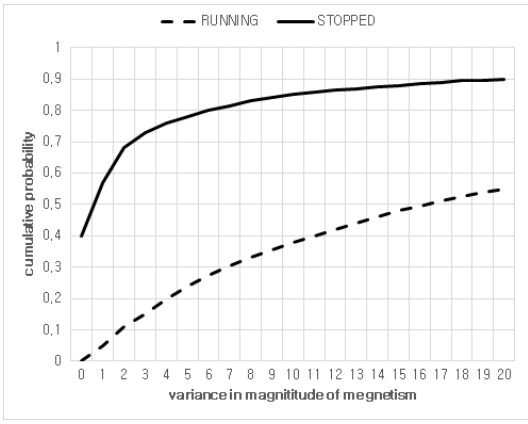

Fig. 3. Cumulative distribution of RUNNING and STOPPED

를 정확히 감지하면 정차역을 결정할 수가 있다. 이 논문에서 제안된 방법은 운행에서 정차로 바뀔 때 고도를 기록한다. 정차역 추정은 A(고도의 추정치 값)와 B(특정 노선에 있는 지하철역의 실제 고도)간의 유사도를 계산한다. 고도의 상대적 변화를 비교하기 위해서 A와 B의 각 원소에서 A와 B의 평균을 각각 뺀 다음에 다음 공식 4를 사용하여 코사인 유사도를 계산한다.

$$\text{유사도} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (B_i)^2}} \quad (4)$$

분산이 작을수록 계산된 고도와 실제 고도가 더 유사하다. 따라서 유사도가 가장 높은 섹션의 마지막 역이 추정된 역이다.

자기장을 이용한 정차역 추정에서, 식 3에서 정차 확률의 시퀀스(결과)가 주어지면 마지막으로 정차한 기간 집합을 식별할 수가 있다. 시스템은 먼저 10초의 슬라이딩 윈도우에서 정차 확률의 시퀀스를 평균한 다음에, 평활화된 확률 곡선 결과에서 피크를 검출한다. 전동차가 각각 정차 기간은 보통 단일 양의 피크를 포함하며, 각각에 대해 인접한 운행 기간과 함께 최적의 경계를 탐색한다.

경계 최적화를 위해, 각 시간 간격을 중심으로 10초의 다른 슬라이딩 윈도우를 고려한다. 그런 다음에 확률이 가장 많이 변하는 시간을 찾기 위해 윈도우 앞과 뒤의 평균 정차 확률의 차이를 계산한다. 음의 피크와 양의 피크는 각각 실제 정차 기간의 시작과 끝에 거의 동시에 나타난다. 그리고 자기장의 평활화된 크기에서 양의 피크를 발견하는데 이러한 피크를 상태 경계의 후보로 삼는다. 정차 기간의 전과후의 최적 경계를 찾기 위해, 먼저 차동 정차 확률이 최소화나 최대화되는 시간을 검색하고, 이를 경계의 초기 솔루션으로 간주한다. 그런 다음에 자기장이 최대가 되는 초기 해를 중심으로 10초 동안의 시간의 목록을 계산한다. 윈도우에서 적어도 하나의 피크가 감지되면 정차 확률이 가장 큰 피크를 추정된 경계로 간주한다. 그렇지 않으면 상태 경계에 대한 최종 추정치로 초기 해를 채택한다. 시스템에 의해 추정된 일련의 모션 상태는 각 정차 기간의 경계를 정확하게 식별하여 세분화된 승객 모션 추적을 일반적으로 수 초 단위로 제공한다.

```
StoppedEstimation(  BAV, MAV  ) {
  if BAV=STOPPED and MAV=STOPPED then
    if BAV=Tbl.alt then StpStn ← stname
  if BAV=STOPPED and MAV=RUNNING then
    if BAV=Tbl.alt and BAV.dirt=Tbl.dirt then
        StpStn ← stname
  if BAV=RUNNING and MAV=STOPPED then
    if BAV=Tbl.alt and BAV.dirt=Tbl.dirt then
        StpStn ← stname
  if BAV=RUNNING and MAV=RUNNING then
    StpStn ← null
}
```

Fig. 4. Proposed stop station estimation algorithm

다음에, 고도를 이용한 정차역 추정과 자기장을 이용한 정차역 추정의 결과를 가지고 Fig. 4의 알고리즘에 따라 정확한 정차역을 결정한다. Fig. 4는 고도 정차역 추정(BAV)과 자기장 정차역 추정(MAV)의 결과를 분석해서 실제 정차역의 해를 구한다. 두 방법 모두 STOPPED로 정차역이 추정되면 추가로 테이블의 고도와 비교하여 정차역 추정을 확정한다. 두 방법 중에 한 방법만 STOPPED로 정차역이 추정되면 추가로 테이블의 고도와 방향을 비교하여 정차역 추정을 확정한다. 그리고 두 방법 모두 RUNNING으로 정차역이 추정되면 정차역 추정을 하지 않는다.

4. 결과 및 논의

4.1 실험 결과

이 논문에서 제안된 방법을 평가하기 위하여 우리는 서울 지하철 5호선에서 각각 5회의 왕복 데이터를 수집했다. 전동차의 실제 운행을 기반으로 전동차가 역에서 멈추거나 출발할 때마다 수동으로 실제 모션 상태인 STOPPED와 RUNNING를 입력했다. 또한 정확한 정차역을 추정하는데 사용하기 위하여 각 지하철역의 고도와 방향도 조사하여 테이블로 저장하였다.

모션 상태에서 정차 상태로 추정된 시간 간격이 역에서 실제 정차 상태와 맞는지 확인하여 모션 상태 추정 정확도를 평가했다. STOPPED 감지의 성능을 평가하기 위하여 정확률(precision), 재현율(recall), F-measure를 사용한다. 정확률, 재현율, F-measure은 각각 식 5, 식 6, 식 7이다. TP는 실제 모션 상태와 추정된 모션 상태가 모두 STOPPED이며, FP는 실제 모션 상태는 RUNNING인데 추정 모션 상태는 STOPPED이며, FN은 실제 모션 상태는 STOPPED인데 추정 모션 상태는 RUNNING인 경우이다.

$$\text{정확률} = TP/(TP+FP) \quad (5)$$

$$재현율 = TP/(TP+FN) \quad (6)$$

$$F-measure = \frac{2\times 정확률 \times 재현율}{정확률 + 재현율} \quad (7)$$

Table 1. The result of performance comparison with other methods

	precision	recall	F-measure
this paper	0.96	0.87	0.91
Stockx(2014)	0.86	0.75	0.80
Hyuga(2016)	0.94	0.75	0.83

모션 상태 추정 정확도에서, Table 1의 성능 비교 평가에서는 이 논문의 방법을 Stockx(2014)의 방법과 Hyuga(2016)의 방법으로 비교하였다. Table 1은 세 가지 방법의 결과를 나타내고 있으며, 그 중에서 이 논문의 방법이 가장 좋은 결과를 보여주고 있다. Stockx(2014)의 방법은 3 축 가속도를 기반으로 하여 가속도 결과 값만 고려하였으며, 성능에서 이 논문과 많은 차이가 있게 도출되었다. 그 이유는 가속도계를 사용하는 방법은 스마트폰을 잡는 방법에 민감하게 영향을 받으며, 그 때문에 노이즈 제거를 위한 복잡한 처리가 필요하기 때문이다. Hyuga(2016)의 방법은 이 논문에서 사용한 스마트폰의 기압계 센서를 기반으로 하였다. 이 논문에서 Hyuga(2016)의 방법과 비교하는 이유는 기압계 센서와 자기 센서인 두개의 센서가 정차 모션을 판별하기 위해 더 많은 정보를 얻을 수 있다는 것을 증명하기 위해서이다.

현재 역인 정차역의 추정 정확성(accuracy rate)은 정확한 추정 비율에 의하여 평가한다. 정차로 추정된 역이 실제로 전동차가 정차한 역인 경우에는 정확한 추정이다. 그러나 전동차가 실제로 정차한 역인데도 정차 추정이 없다면 이 경우에는 잘못된 추정이다. Table 2는 다른 방법과 비교한 정차역 추정의 성능 평가 결과이다. 제안된 정차역 추정 방법의 순수 성능을 평가하기 위하여 모션 상태의 추정이 완벽하게 작동한다는 가정 하에 정확도를 평가하였다. 이 논문의 정확성은 97%이상이고 만족한 결과를 얻었다.

Table 2. Performance of motion state estimation with other methods

	this paper	Stockx(2014)	Hyuga(2016)
accurate rate (%)	97.3	85.4	95.2

4.2 논의

이 연구는 스마트폰의 기압계와 자기 센서를 사용하여 지하철의 지하구간에서 사용자의 추적을 수행하는 것을 목표로 하였다. 실험 결과는 모션 상태에서 정차역을 추정할 때 관련 연구들보다 더 좋은 결과를 얻었다. 실험 결과에서는 모두 모션 상태 추정 오차와 정차역 추정 오류가 나타났다. 모션 상태 추정 오차는 다른 전동차의 간섭에 의한 경우, 역 사이에서 전동차가 멈추는 경우, 노선의 최적 매개변수에 따른 부정확한 정확도인 경우이다. 정차역 추정 오류는 모션 상태가 잘못 추정된 경우, 공기조절과 사람들의 밀도가 기압에 영향을 주는 경우, 날씨의 변화인 경우이다.

이 논문에서 제안한 방법에는 모션 상태 추정 오차와 정차역 추정 오류를 줄이기 위하여 기압계와 자기 센서를 이용하여 모션 상태 추정과 정차역 추정을 크로스로 체크하였다. Stockx(2014)의 결과는 모션 상태 추정과 정차역 추정에서 가속도 측정 결과가 노이즈와 현대 전동차의 동작 감소로 인하여 제일 좋지 못한 결과를 초래하였다. 그리고 Hyuga(2016)의 결과는 모션 상태 추정과 정차역 추정을 기압계의 결과만 반영하여 오류나 오차를 보정하지 못하였다. 이 논문에서는 먼저 기압계로 정차역을 추정할 경우에 다른 전동차의 간섭에 의한 경우의 오차, 공기조절과 사람들의 밀도가 기압에 영향을 주는 경우, 날씨의 변화인 경우에 자기 센서로 정차역을 추정하여 비교함으로써 오차나 오류를 줄일 수 있음을 보여주었다.

5. 결론

이 논문에서는 스마트폰의 기압계와 자기 센서를 이용하여 지하철 전동차의 모션 상태와 최근의 정차역을 실시간으로 추정하는 방법을 제안하였다. 전동차의 기압은 운행 중에 빠르게 변하기 때문에 전동차가 운행중인지 정차중인지를 추정할 수가 있다. 또한 전동차가 운행 중일 때에는 자기장의 큰 분산 값이 감지되지만 전동차가 정차중일 때에는 거의 모든 구간에서 자기장의 분산 값이 상당히 적은 수준을 유지한다. 우리는 서울 지하철 5호선에서의 실험을 통해 제안된 방법을 평가했다. 현장 실험을 통하여 모션 상태의 추정 정확도와 정차역의 추정 정확성에서 기존의 연구 결과보다 높은 결과로 역에서 정차 기간을 식별할 수가 있음을 보여주었다. 향후 연

구로 다른 센서와 개략적인 위치 정보를 사용하여 의사결정의 정확성(accuracy)을 향상시킬 것이다. 또한 자동적으로 승차 노선 및 방향을 추정하기 위해 연구할 계획이다.

REFERENCES

[1] D. H. Kwon, S. H. Jang, H. J. Mun & M. H. Chey. (2019). The Running Vibration Assessment of Daegu Metropolitan Transit using Smartphone Acceleration Sensor. *Journal of the Korea Convergence Society, 10(6),* 179-184.
DOI : 10.15207/JKCS.2019.10.6.179

[2] D. H. Choi. (2019). A Study on Smartphone Addiction and Mental Health Trend Improvement in Koreans. *Journal of Convergence for Information Technology, 9(11),* 22-27.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.11.022

[3] G. Liu, J. Liu, F. Li, X. Ma, Y. Chen & H. Liu. (2017). SubTrack: Enabling Real-Time Tracking of Subway Riding on Mobile Devices. *2017 IEEE 14th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems(MASS),* 90-98.
DOI : 10.1109/MASS.2017.55

[4] A. Thiagarajan, J. Biagioni, T. Gerlich & J. Eriksson. (2010). Cooperative transit tracking using smartphones. *in SenSys ', 10,* 85-98.

[5] P. Zhou, Y. Zheng, & M. Li. (2012). How long to wait?: predicting bus arrival time with mobile phone based participatory sensing. *in MobiSys, 12,* 379-392.

[6] S. S. Kim, J. W. Kim & D. S. Han. (2017). Floor Detection Using a Barometer Sensor in a Smartphone. *2017 Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN2017).*

[7] J. S. Jeon, Y. S. Kong, Y. Y. Nam & K. B. Yim. (2015). An Indoor Positioning System Using Bluetooth RSSI with an Acceleroeter and a Barometer on a Smartphone. *2015 10th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA).*
DOI : 10.1109/BWCCA.2015.142

[8] K. Muralidharan, A. J. Khan & A. Misra. (2014). Barometric Phone Sensors- More Hype Than Hope!. *Proceedings of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications.*
DOI : 10.1145/2565585.2565596

[9] W. Gu, M. Jin. Z. Zhou, C. J. Spanos & L. Zhang. (2016). MetroEye: Smart Tracking Your Metro Trips Underground. *Computer Science Published in MOBIQUITOUS 2016(MobiQuitous, 2016),* 84-93.
DOI : 10.1145/2994374.2994381

[10] H. Shin, G. W. Lee & D. S. Han. (2018). Subway STOP/Departure Detection using a Magnetic Sensor of the Smartphone. *ICVISP 2018: Proceedings of the 2nd International Conference on Vision, Image and Signal Processing,* 1-5.
DOI : 10.1145/3271553.3271614

[11] T. Stockx, B. Hecht & J. Schoning. (2014). Subwayps: Towards smartphone positioning in underground public transportation systems. *in SIGSPATIAL, 14,* 93-102.

[12] S. Hyuga, M. Ito, M. Iwai & K. Sezaki. (2016). An Online Localization Method for a Subway Train Utilizing the Barometer on a Smartphone. *in SIGSPATIAL '16, 5,* 1-4.

[13] T. Watanabe, D. Kamisaka, S. Muramatsu & H. Yokoyama. (2012). At which station am I?: Identifying subway stations using only a pressure sensor. *2012 16th International Symposium on Wearable Computers.*
DOI : 10.1109/ISWC.2012.18

[14] K. Sankaran, M. Zhu, X. F. Guo & A. L. Ananda. (2014). Using mobile phone barometer for low-power transportation context detection. *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems,* 191-205.

[15] T. Willemsen, F. Keller & H. Sternberg. (2014). Concept for building a mems based indoor localization system. *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN),* 1-10.
DOI : 10.1109/IPIN.2014.7275461

[16] G. Lee & D. Han. (2014). Subway train stop detection using magnetometer sensing data. *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN),* 766-769.
DOI : 10.1109/IPIN.2014.7275562

[17] M. Havas, S. Shum & D. Raheman. (2004). Passenger exposure to magnetic fields on go-trains and on buses, streetcars, and subways run by the toronto transit commission. *Biological Effects of EMFs, 3rd International Workshop,* 1065-1071.

조 정 길(Jung-Gil Cho) [정회원]

· 1987년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과(공학사)
· 1993년 2월 : 숭실대학교 정보과학대학원(이학석사)
· 2003년 2월 : 충북대학교 전산과(이학박사)
· 2004년 3월 ~ 현재 : 성결대학교 컴퓨터공학과 교수
· 관심분야 : XML 문서관리, 정보 검색, 스마트폰 사용성
· E-Mail : jkcho@sungkyul.ac.kr