

다중 센서 데이터 분석을 이용한 동적보정점 결정 기법*

김병섭¹ · 김재훈^{2†}

¹한국인터넷진흥원 기반보호팀, ²아주대학교 산업공학과

A Dynamic Configuration of Calibration Points using Multidimensional Sensor Data Analysis

Byoung-Sub Kim¹ · Jae-Hoon Kim^{2†}

¹Critical Infrastructure Protection Team, KISA
²Dept. of Industrial Engineering, Ajou University

■ Abstract ■

Focusing on the drastic increase of smart devices, machine generated data expansion is a general phenomenon in network services and IoT (Internet of Things). Especially, built-in multi sensors in a smart device are used for collection of user status and moving data. Combining the internal sensor data and environmental information, we can determine landmarks that decide a pedestrian's locations. We use an ANOVA method to analyze data acquired from multi sensors and propose a landmark classification algorithm. We expect that the proposed algorithm can achieve higher accuracy of indoor-outdoor positioning system for pedestrians.

Keywords : LBS, Data Analysis, Positioning System, Hybrid Sensors

1. Introduction

위치기반 서비스(LBS : Location-Based Service)

란 이동통신망이나 GPS(Global Positioning System) 등을 통해 얻은 위치정보를 활용하여 이용자에게 여러 가지 서비스를 제공하는 시스템이나 서비스를 지

논문접수일 : 2015년 10월 21일 논문게재확정일 : 2015년 11월 30일

* 본 논문은 2015년도 정부(교육부, 미래창조과학부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2015-015848, No.2015R1A5A7037630).

† 교신저자, jayhoon@ajou.ac.kr

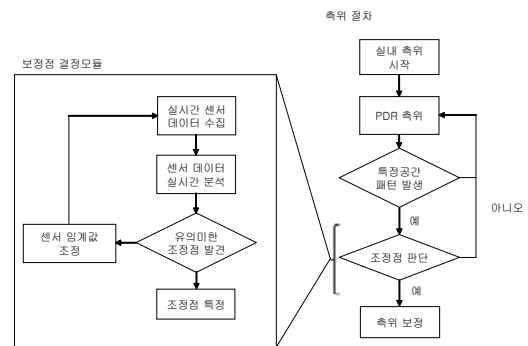
칭한다. 무선인터넷과 이동통신 기술의 발달 및 각종 스마트 디바이스의 보급의 확산, IoT로 대표되는 새로운 공간 중심 서비스로 인해 사용자의 위치 정보에 기반한 유용한 정보의 제공에 대한 중요성의 증대되고 있다. 특히, 실내 공간에서 일상 생활이 차지하는 비중이 높아지고, 항행(Navigation)과 같은 실외 공간을 대상으로 제공되어 오던 서비스가 점차 실내 공간을 대상으로 확장되어 가고 있다. 사용자의 위치 정보를 성공적으로 활용하기 위해서는 측위 결과뿐 아니라 공간에 대한 지도, 이동경로의 표시 등과 같은 다양한 형태의 정보를 결합하여야 한다. 전통적인 GNSS(Global Navigation Satellite System)방식 및 WPS(Wi-Fi Positioning System)은 거리에 따른 무선 신호의 세기 감소 정도를 측정하여 보행자의 위치를 측정하는 RSS(Received Signal Strength)방식[6, 7]과 이를 활용한 무선 신호 세기에 따른 핑거 프린트 지도(Fingerprint Map)제작 방식[5, 8]을 거쳐 RSS 방식의 보완을 위해서 MIMO(Multiple-In, Multiple-Out) 방식을 도입하여 다중 안테나에 들어오는 신호의 수신각(Angle-of-Arrival)을 활용한 보행자의 측위방식[11-13]으로 발전되고 있다.

또한 각종 스마트 디바이스에 내장된 다중 센서들을 사용하여 보행자의 움직임을 인식하고 위치를 나타내는 기술이 연구되고 있다[4]. 내장 센서를 이용한 방식은 WPS나 GNSS와 달리 보행자의 위치를 디바이스 내장형 센서 단독의 동작만으로 추정할 수 있다는 점에서 실용적인 가치가 높은 방식이다. 복합 측위 방식은 각 측위 방식의 장점만을 복합적으로 활용하여 보행자의 위치를 추정하는 방식으로 내장 센서기반 측위에서 발생하는 오차를 WPS(혹은 GNSS) 기반 측위 방식을 통해 보완하는 방식으로 이루어진다. 이 경우 WPS(혹은 GNSS)로부터 확보한 측위 값은 내장 센서로부터 확인된 측위 값을 보정하기 위한 보정점(Landmark) 값으로 사용하게 된다. 즉, WPS나 GNSS로부터 얻은 정확한 위치 값을 시작으로 하여 사용자의 이동을 내장센서를 이용해 측정하고 위치 시작 값과 사

용자의 이동거리/방향을 결합해 현재의 위치를 추정하는 방식을 사용하는 것이다. 이를 통해 WPS나 GNSS 신호를 수신할 수 없는 지역에 유용한 방식으로 끊임없이(Seamless) 실시간으로 위치 정보를 제공할 수 있다. 이와 같은 복합 측위에서는 보정점의 역할이 중요하다. 보다 정밀하고 촘촘한 보정점의 설정과 확인은 복합 측위품질을 결정짓는 핵심요소로, 본 논문에서는 사용자의 스마트 디바이스의 다중 센서 데이터와 특정 공간의 탐색 방법을 이용해 보정점을 자동적으로 확보해 나가는 기법을 제시한다.

2. Architecture and Technical Background

아래의 <그림 1>은 본 논문에서 제안하는 측위 프로세스를 나타내며, 보정점 결정방법에 대한 구조를 전반적으로 보여주고 있다. 보행자의 건물 진입과 동시에 스마트 디바이스의 다중 센서를 활용하여 실시간 측위를 시작한다. 센서를 사용하여 측위를 함으로 누적되는 오차는 보정점(Landmark)에서 조정된다. 각 보정점은동적으로 결정되는데, 다중 센서 데이터를 오랜 시간동안 학습하여 특정 지점(예 : 엘리베이터)의 인식 가능한 패턴이 발생할 때 그 지점을 보정점으로 특정하게 된다.



<그림 1> 복합측위에서의보정점의 확보

보행자의 이동시 위치 추정은 PDR(Pedestrian

Dead-Reckoning)[2-4] 기법을 이용한다. 보행자 위치 추측 방법(PDR)은 보행자의 위치를 실시간으로 측정하기 위해 스마트 디바이스에 내장된 관성센서(IMU : Inertial Motion Unit)를 사용한 내비게이션(Navigation) 기술을 실내 환경에서 응용하는 방식이다. 보행자의 걸음과 방향을 검출하기 위해 가속도 센서(Accelerometer)와 지자기 센서(Digital Compass) 및 자이로스코프 센서(Gyroscope)를 사용한다.

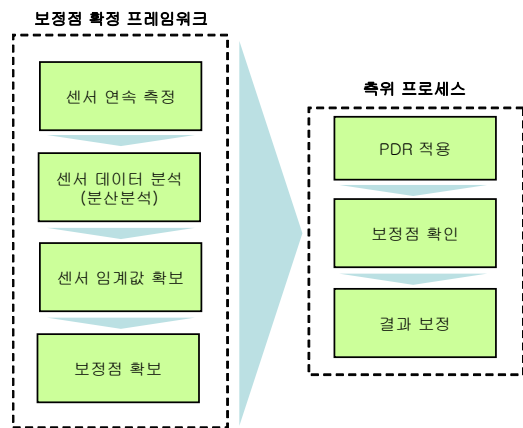
<그림 2>는 PDR을 활용한 보행자 위치 추정을 스마트 디바이스에서 구현한 예이다. 보정점은 PDR의 오차 축적을 방지하기 위해 이용된다. 즉, 오차로 인해 실제 보행자의 좌표값과 많이 벗어난 측위점(Positioning Point)을 보정(Calibration)해 주기 위해 절대적인 좌표값을 이미 알고 있는 보정점을 활용해 현재의 보행자 좌표값을 수정하게 된다. 기존의 복합 측위 방식 중에서 보정점을 활용하여 센서 기반 측위 방식의 오차를 줄이는 방법[1]은 특정 위치에서 측정되는 WPS 위치 값을 활용하여 보행자의 위치를 보정하는 방식이다. 하지만, 인프라의 설비 여부에 제한을 받는다는 한계가 있고 여기에 WPS 자체가 갖는 확정되지 않는 오차는 복합 측위 품질의 주요한 제한점이다.



<그림 2> 스마트 디바이스에서의 PDR 적용

본 논문에서는 스마트 디바이스의 다중 센서 데이터의 패턴을 분석하여 보정점을 특정한다. 즉, 보행자의 움직임 방식과, 실내 구조물간의 상관성을 토대로 다수의 보정점을 특정하여 WPS와 같은 인프라가 없이 복합 측위의 품질을 획기적으로 개

선할 기법을 제안한다. 보정점 결정 방식은 아래 <그림 3>과 같다. 실시간 연속 측위를 통해 얻어진 다중 센서의 데이터를 분석하여 보행자의 보행 및 상태의 패턴이 일정한 특징을 보이는 경우 그 지점을 새로운 보정점으로 선정할 수 있으며, 이를 이용해 보행자의 위치 값을 보정하여 PDR 방식을 적용했을 때 발생하는 누적 오차의 급격한 증가를 억제할 수 있다.



<그림 3> 보정점 결정과 보행자 측위

새로운 보정점으로 특정짓기 위해서는 센서데이터의 패턴을 이루는 개별 센서값들이 일정한 임계값을 넘어야 하는데, 의미있는 임계값의 설정이 보정 품질을 결정하는 주요한 요소가 된다.

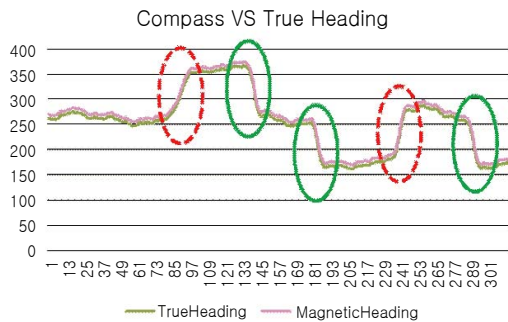
3. Algorithm

이번 장에서는 보정점 검출 알고리즘을 설명하고, 데이터 패턴 분석을 통해 얻은 귀납적인 데이터 패턴 분석을 보정점에 접목시키는 과정에 대해 소개한다.

보행(Walking) : 보행자가 ‘보행’을 하고 있다고 판단하는데 가장 중요한 센서는 가속도 센서다. 보행자의 걸음을 검출하는데 자이로스코프 센서와 지자기 센서[9]를 사용하여 검출하는 연구도 있지만, 보행자가 회전운동을 1회만 시행하거나 센서를

발에 부착시킨[10] 상황은 보행자가 스마트 디바이스를 손에 파지하고 보행하는 일반적 상황에서 적용할 수 없다. 보행자가 걷고 있는 상황에서는 가속도 센서의 Z축 진동이 약 $2.36(m/s^2)$ 의 분산을 가지며 3축 중에서 가장 큰 폭으로 요동치는 것을 확인할 수 있다.

회전(Turning) : 회전 운동은 보행자가 보행을 하면서 동시에 방향을 변화시키는 운동이다. 가속도 센서의 데이터 패턴뿐 아니라, 각속도의 변화를 나타내는 자이로스코프 센서, 지자기 센서의 데이터 패턴을 활용하여 회전 운동을 검출한다. 특히, 보행자의 회전 각도에 따라 센서 데이터 패턴이 다르게 나타나기 때문에 90도 회전, 180도 회전 모두 정확하게 검출할 수 있어야 한다.



<그림 4> 지자기 센서를 통해 나타난 보행자의 회전 반경과 실제 반경 값의 비교

위 <그림 4>는 회전 반경과 방향에 따른 지자기 센서의 방향각 값을 나타낸 그림이다. 점선은 보행자의 오른쪽 회전을 나타내며, 실선은 보행자의 왼쪽 회전을 나타내고 있다. 지자기 센서 값에 영향을 미칠 수 있는 철제 구조물이 없는 실내 넓은 공간과 같은 경우에는 지자기 센서 하나만으로도 보행자의 방향 검출의 정밀도를 높일 수 있다. 하지만, 좁은 복도나 철제 구조물이 존재하는 공간은 앞서 설명한 것과 같이 자이로스코프 센서와의 복합 활용이 이루어질 필요가 있다.

계단(Stairs) : 계단을 통한 이동은 가속도 센서의 데이터 패턴과 특정 패턴의 지속 시간을 분석하

면 확인이 가능하다. 계단을 통해 보행자가 이동하게 되면 보행운동과 회전운동(건물의 계단 구조에 따른)이 반드시 일어나게 된다. 특히, 보행운동에서 발생하는 Z축 값의 변화는 일반적인 보행운동과 다르게 더 큰 분산값을 갖는 패턴을 보이게 된다. 계단을 올라가는 경우와 내려가는 경우의 Z축 변화 추이를 분석하면 내려가는 경우의 Max/Min 값과 분산값이 더 크게 나타나는 양상을 보였다. 또한, 건물의 계단 구조에 따라 달라질 수 있지만 일반적인 건물의 계단 구조가 한 층의 변화에 보행자의 방향이 1회(180도) 변한다는 가정 하에(2회 계단을 오르는 경우 = 한 층 변화) 아래의 수식을 통해 보행자의 층 변화를 산출할 수 있다.

$$F = \text{abs}(N/2) + 2 \quad (1)$$

F는 보행자가 움직인 층 수를 나타내며, N은 건물의 구조상 한 층 움직이는 경우 1회의 회전운동(180도)을 해야만 한다고 가정했을 경우 회전운동을 하여 방향을 바꾼 총 회수가 된다. 예를 들어 보행자가 계단을 내려가는 도중 방향을 바꾸는 회전운동을 총 3회 하였다고 검출이 된다면, 보행자가 계단을 통해 내려간 층은 총 $\text{abs}(3/2)+1 = 2$ 층이 되는 것이다.

엘리베이터(Elevator) : 엘리베이터 상황을 검출하는 것은 가속도와 지자기 센서 데이터의 패턴분석을 통해 이루어진다. 보행자가 엘리베이터에 탑승하여 이동할 때 발생하는 Z축 가속도의 변화 분포만으로는 엘리베이터가 서는 경우와 움직이기 시작하는 경우를 구분하는데 한계가 있다. 일반적으로 사람이 엘리베이터에 탑승하게 되면 정지 상태로 있기 때문에 가속도 센서의 변화는 없어야 하지만, 중력에 의해 발생하는 관성이 가속도 센서에 영향을 미쳐 Z축 방향의 변화가 미세하게 관측된다.

따라서 변화를 판단하는 임계값(Threshold)을 산출하여 단순한 탑승의 여부를 판단하기 보다는 지자기 센서를 함께 사용함으로써 사람이 이동하는 층의 수를 파악한다. 가속도 센서가 정지 상태일 때 나

타나는 패턴의 분포와 엘리베이터가 정지/이동할 때 나타나는 패턴의 분포를 조합하게 되면 엘리베이터상태를 검출할 수 있게 되고 한 층을 이동할 때 지자기 센서의 층간 변화를 나타내는 데이터 패턴의 시간 간격을 조사하여 보행자가 엘리베이터를 탑승하고 몇 층을 이동하는지 검출한다.

에스컬레이터(Escalator) : 에스컬레이터 상태는 보행자가 층을 이동하는 중에 정지하고 있다는 상황을 가정한다. 에스컬레이터의 속도가 일정하다면, 가속도센서가 ‘정지’ 상태를 나타내는 패턴의 시간간격이 일정하게 나타난다. 계단과 마찬가지로 건물의 에스컬레이터 구조에 따라 달라질 수 있지만 식 (1)을 통해 방향 변화 시 나타나는 가속도 센서의 Z축 변화가 나타나는 횟수를 활용하여 이동하는 층의 수를 산출 할 수 있다.

특정 공간을 패턴 인식 알고리즘이 결정하기 위해서는 해당 공간을 구분할 수 있는 각 센서의 임계값 선정이 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 분산분석(ANOVA)을 사용하여 특정 공간의 결정에 영향을 미치는 센서를 확률적 검정을 통하여 확인하고, 각 특정 공간에서 센서들이 갖는 데이터의 {평균값, 최대값, 최소값, 분산값}을 산출하여 임계값 벡터로 활용한다. 각 센서(가속도 센서, 자이로스코프 센서, 지자기 센서)의 3축 데이터 집합을 (X, Y, Z)로 놓고, 특정 공간/상태의 구분(정지, 보행, 회전, 계단)을 위한 센서를 확인하기 위해 Mini-tab v16의 “One-Way ANOVA” 분석 방법을 채택하여 유의한 센서를 찾아내는 작업을 수행한다.

‘정지’ 상태에서 유의미한 변동치가 관측되는 센서는 없다. 반면 ‘보행’과 ‘회전’, ‘계단’의 경우 각 특정 상태에 미치는 센서가 존재하였다. ‘보행’, ‘계단’의 경우 가속도 센서(특히, Z-Axis)의 p-value 값은 0.000로(< 0.05) 센서 관측치가 특정 상태에서 유의미한 변동을 가져왔다고 말 할 수 있다. 가속도 센서의 박스플롯(Boxplot)을 분석한 결과 Z축의 값이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, ‘계단’의 경우 그 영향력이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

마찬가지로 ‘회전’의 경우 자이로스코프 센서와 지자기 센서의 영향력이 미치는 것으로 나타났으나, 지자기 센서의 경우 철제 구조물 및 자기장 영향에 따른 오차의 범위가 존재하여 자이로 센서의 영향력 보다 떨어지는 것으로 나타났다. 실험은 각 수준의 모평균의 95% 신뢰구간 내에서 실시하였으며, 가속도 센서의 경우 $R^2 = 96.28\%$, 자이로스코프 센서의 경우 $R^2 = 74.59\%$ 로 유의수준 내에 들어오는 것을 확인하였다. 반면 지자기 센서의 경우 $R^2 = 44.87\%$ 로 유의 수준이 가장 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

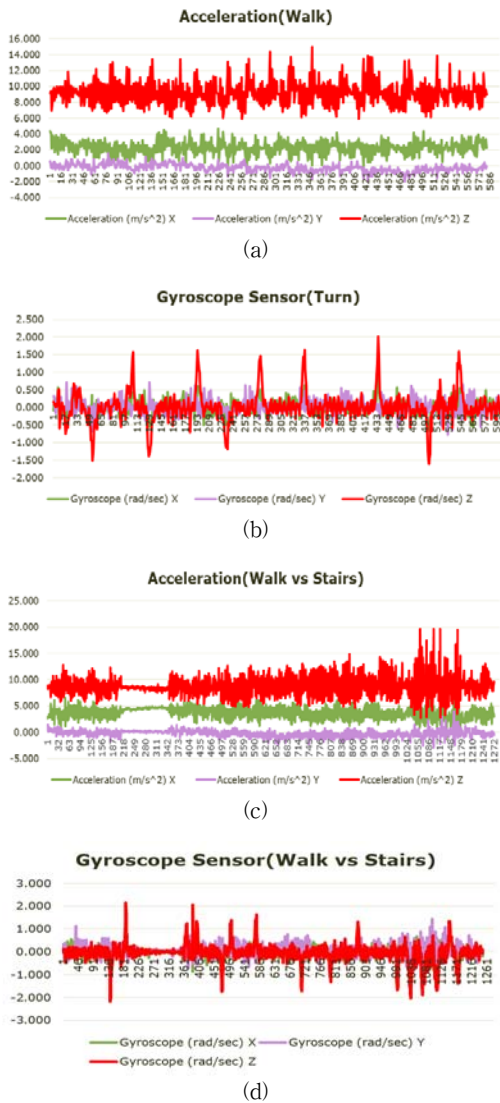
아래 <표 1>은 단순 상태(정지, 보행, 회전, 계단)에 대해 산출한 임계값을 표현한다. <그림 5>는 실험 구간에서 산출한 데이터의 시각화를 위해 그래프로 나타낸 그림의 모습이다. <표 1>과 <그림 5>를 비교해서 살펴보면 특정 공간에서 갖는 데이터의 패턴이 존재한다는 사실을 확인할 수 있다. 먼저 <그림 5>(a)는 보행구간에서 산출한 가속도계 데이터다. 가장 변이가 큰 값의 분포를 나타내는 값이 가속도계 Z축의 데이터이다. 다음 <그림 5>(b)는 회전구간에서 발생한 자이로스코프 센서의 데이터 모습이다. 회전의 방향에 따라 자이로센서(yaw) 데이터 값이 (+)값과 (-)값을 번갈아가며 나타내는 모습을 확인할 수 있다. <표 1>에서 제시한 최소값은 오른쪽 방향 회전시 발생하는 음의 센서데이터 값 중에서 절대값이 가장 큰 값을 나타내며, 최대값은 왼쪽 방향 회전시 발생하는 양의 센서데이터 값 중에서 절대값이 가장 큰 값을 나타내고 있다.

<표 1> 특정 공간의 임계값

	평균값	최대값	최소값	분산
정지	8.973	9.32	8.707	0.009
보행	9.1099	14.9578	5.9023	2.3549
회전	0.0151	2.0107	1.603	0.1741
계단	8.7039	19.6085	2.6965	4.0408

보행 : Accelerometer Z-axis(m/s^2),

회전 : Gyro(yaw)(rad/s^2).

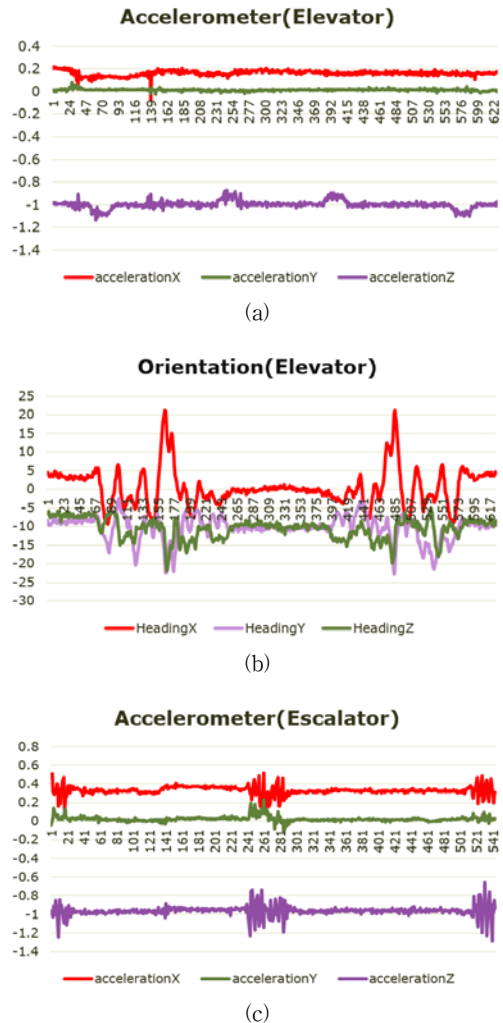


〈그림 5〉 단순 상태의 센서 데이터 패턴

마지막으로, 〈그림 5〉(c), 〈그림 5〉(d)는 ‘보행 (회전 포함)’, ‘계단’의 구간을 모두 나타낸 데이터 모습이다. 〈표 1〉에서 나타낸 것과 같이 계단구간의 가속도계 데이터의 분산 값은 보행구간과 비교했을 때, 약 2배 정도 큰 것으로 확인되었으며, 일정한 방향으로 식 (1)의 과 같은 회수의 회전 수($F = 2$)를 보이는 것으로 확인되었다.

에스컬레이터와 엘리베이터의 경우 보행자는 움

직이지 않는 정지상태로 이동하기 때문에 가속도 센서와 자이로스코프 센서는 모두 〈그림 5〉(c)와 〈그림 5〉(d)처럼 분산이 매우 작은 값으로 산출된다. 따라서 이들의 임계값은 〈표 1〉의 정지에 해당하는 가속도 센서의 임계값을 만족하는 경우 방향 센서의 임계값을 추가로 산출하여 검출하여야 한다.



〈그림 6〉 복합 상태의 센서 데이터 패턴

〈그림 6〉(a)와 〈그림 6〉(b)는 엘리베이터를 탑승하였을 때 나타나는 가속도 센서와 자이로 센서

의 데이터 값을 시각화한 그래프의 모습이다. 가속도 센서의 데이터 패턴은 보행자가 정지상태일 때 패턴과 거의 동일하지만 지자기 센서의 경우 엘리베이터 이동 시 특정 패턴을 가진 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. <그림 6> 데이터는 10층까지 정지하지 않고 올라간 뒤 다시 1층으로 내려오면서 측정되었다. 즉, 엘리베이터가 특정 층에서 멈추는 경우 가속도 센서, 자이로스코프 센서, 지자기 센서 모두 정지상태의 패턴을 보인다.

‘에스컬레이터’의 경우는 1층 이동 시 방향 전환(90도 회전)이 이루어진다는 점과 탑승 후 이동 시에는 정지상태라는 가정사항이 적용된다. <그림 6> (c)가 나타내는 패턴과 같이 정지상태의 패턴 발생 후 회전 상태의 가속도센서 변동이 검출되는 구간에서 자이로스코프 센서의 회전상태가 검출되는 경우 에스컬레이터에 탑승하였음을 확인할 수 있다.

센서 데이터 패턴 분석을 통한 실내의 특정 공간을 구분 짓고, 임계값 검출을 통해 특정 공간을 보정점으로 결정하는 알고리즘은 아래의 Pseudo code와 같다.

```

1 let ThresholdAcc(X), X ∈ S
2 let ThresholdGyro(Y), Y ∈ T
3 let ThresholdComp(Z), Z ∈ U
4 let N = 0, N ∈ StateEnum, the number of π/2 turn
5 let StateEnum = {"Walk", "Right/Left Turn", "Stair", "Esca", "Elevator"}
6 While True condition
7   let State = " "
8   let (mt, mt') are total and average moving time t
9   let repeatCount = 0 is the number of same 'Stop' status pattern in 'Escalator'
10  if ThresholdAcc(X) = "Stop"
11  if (ThresholdComp(Y) < Avg(fcompj, fcompj+1)) &&
    (ThresholdGyro(Y) > Avg(fgyroj, fgyroj+1))
12    report State is "Elevator"
13    calculate the floor, F = mt/mt'
14 else
    (ThresholdComp(Y) > Avg(fcompj, fcompj+1)) &&
    (ThresholdGyro(Y) > Avg(faccj+1, faccj+2))

```

```

15 if (Avg(fgyroj+1, fgyroj+2) = π/2) &&
    (repeatCount ≥ 2)
16 report State is "Escalator"
17 for Avg(faccj, faccj+2) = "Walk"
    N = N+1
18 calculate the floor,
    F = abs(N/2)+1

19 else if ThresholdAcc(X) = "Walk"
20 if (Avg(faccj, faccj+1) = Run)
    && (Avg(fgyroj+1, fgyroj+2) = π/2)
21 report State is "Stair"
22 for (Avg(faccj, faccj+2) = Walk) &&
    (faccj+2 ≠ "Run") N = N+1

23 calculate the floor,
    F = abs(N/2)+1

24 else if |fgyroj| = π/4
25   if fgyroj = π/4
26     report State is "Right Turn"
27   else fgyroj = -(π/4)
28     report State is "Left Turn"

29 else report State is "Walk"

```

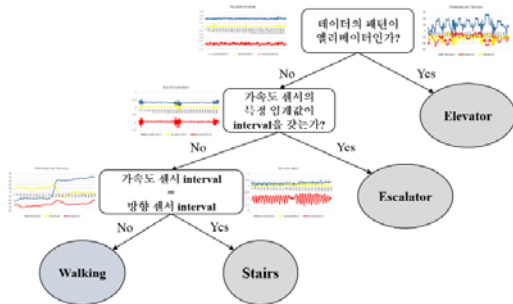
4번줄의 N 은 각 상태에서 나타나는 방향 전환(90도 방향전환)의 회수를 의미하며 식 (1)에서 명시한 N 의 값과 동일하다. 가속도 센서 값의 분포에 따라서 “정지(Stop)”와 “보행(Walk)”으로 나뉘게 된다 (Line #10, 19). “정지”의 상태에서 시점 j 에서 $j+1$ 까지 지자기센서 측정값의 평균값과 $j+1$ 에서 $j+2$ 까지 자이로센서 측정값의 평균 값을 비교하여 ‘Elevator’와 ‘Escalator’ 상태로 분류할 수 있다(Line #11~18). 시점 j 는 특정 상태 진입 시 측정을 시작하는 시점이며, 시점 $j+1$ 은 센서의 값이 처음 변화를 감지하게 되는 시점이다. 식 (1)의 N 값을 활용하여 에스컬레이터에서의 이동한 층을 계산할 수 있으며(Line #18), 엘리베이터에서의 이동한 층은 이동 시 걸린 총 시간을 한 층 이동하는데 걸리는 시간으로 나누어서 (즉, $F = m_t/m_t'$) 구할 수 있다(Line #13).

가속도센서값의 상태가 “보행”인 경우에는 특정 상태진입 시점(j)에서 측정 상태가 20번 줄처럼 “속보(Run)”로 변하는 경우와 자이로스코프센서의 값

이 변하는 시점(j+1)에 한하여 상태는 “계단(Stair)”로 분류할 수 있으며, 식 (1)을 활용하여 계단으로 이동한 층의 수를 계산할 수 있다(Line #19~21).

마지막으로, “회전(Turn)”은 자이로스코프센서를 활용하여 센서 값이 변할 때마다 변화량의 증감을 조사하여 “오른쪽 회전(Right Turn)”인지 “왼쪽 회전(Left Turn)”인지 알 수 있다(Line #24~28).

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 시작은 가장 먼저 가속도 센서값의 상태를 기준으로 크게 2가지(정지와 보행)로 나뉘며, 회전 검출을 위해 자이로스코프센서의 값을 분석한다는 점이 특징이다. 다음 페이지에 나와 있는 <그림 7>은 본 알고리즘을 나타낸 Pseudo code를 트리구조의 형태로 표현하여 이해하기 쉽도록 표현한 그림이다.



<그림 7> 트리 구조로 나타낸 Pseudo Code

4. Evaluation

앞서 설명한 알고리즘을 실내 환경에서 적용해 보행자가 보이는 행동 패턴의 검출 및 특정 공간에 대한 보정점 결정의 정확성을 평가하고자 한다. 알고리즘 검증 실험은 인천에 위치한 한 대형 백화점의 실내를 중심으로 수행하였다. 스마트폰 센서 데이터의 패턴 인식을 검증하기 위해 앞서 설명한 보행자 상태 및 실내의 특정 공간(계단, 엘리베이터, 에스컬레이터, 회전, 보행)을 모두 수용할 수 있는 장소를 선정하였다. 앞서 제시한 특정 실내 공간을 보정점으로 활용하기 위해서 제안한 알고리즘을 적용한 어플리케이션을 개발하여 보행자가

실내를 보행하는 동안 특정 공간을 검출하는 정밀성을 실험 한다.

테스트 어플리케이션 개발 환경은 Android 4.4.2 (KitKat) API Level 20을 적용하였으며, Samsung Galaxy S4 모델을 디바이스로 채택하였다. <그림 8>은 이번 실험에서 선정한 실내 공간의 평면도와 경로의 모습을 나타내고 있다. 특정 공간별로 실험을 각각 수행하였으며, 동일한 경로를 총 3회씩 보행하며 검출되는 공간의 회수를 측정하였다.



<그림 8> 백화점 평면도

아래의 <표 2>는 각 실험에서 포함하고 있는 실내 특정 공간의 수를 나타내고 있다. ‘회전’의 경우 오른쪽 과 왼쪽 각각 5회씩을 실험하였으며, ‘계단’은 식 (1)에서 제시한 N의 값이 3으로 총 2층에 해당하는 구간을 실험하였다. 엘리베이터는 2회를 탑승하였으며 올라가는 경우와 내려오는 경우를 실험하였다. 에스컬레이터는 계단과 마찬가지로 방향이 바뀌는 N의 값을 측정하여 층수를 산출하였다.

<표 2> 실험에 포함된 특정 공간의 수

(단위 : 회(층수))

공간	회전	계단	엘리베이터	에스컬레이터
횟수	10	3(2)	2(6)	3(4)

<표 3>은 실험 결과로 검출된 특정 공간의 횡수를 표로 나타낸 모습이다. 자이로스코프 센서가 기반이 되어 검출되는 회전과 계단은 비교적 검출이 잘 되는 것으로 나타났으며, 가속도 센서의 정지상태에 해당하는 임계값을 만족한다고 가정했을 때, 계단검출 방식과 동일한 에스컬레이터도 비교적 검출능력이 좋은 것으로 나타났다. 또한 층수의 경우 계단과 달리 1회 탑승 시 1층을 이동하였기 때문에 층수(F)는 N+1(층)을 적용하였다.

하지만, 엘리베이터의 경우는 제한한 알고리즘과 달리 특정 층에 멈출 경우 측정이 끝나는 오류를 범하는 경우가 발견되었다. 즉, 보행자가 원하는 목적지 층에 도달하기도 전에 도착하였다고 기기가 인지해 버리는 것이다. 가속도계의 상태가 정지상태라고 가정했을 때, 방향센서의 값에 따라서 엘리베이터가 이동 중인지 정지하고 있는지 판별하고 있지만, 앞서 제시한 알고리즘에서는 목적지 층에 도달하기 전에 정지한 특정 층에 대한 처리가 포함되어 있지 않기 때문에 이와 같은 오류가 검출된 것이다.

<표 3> 특정 공간의 보정점 검출 결과

(단위 : 회(층수))

공간 결과	회전	계단	엘리베이터	에스컬레이터
실제값	10	3(2)	2(6)	3(4)
검출값	9.6	2.6(1.7)	5.4(1.6)	2.3(3.3)

5. Conclusion and Discussion

본 연구의 목적은 실내 환경에서 보행자의 위치를 실시간으로 나타낼 수 있는 비 인프라 측위 방식의 한계인 시간에 따른 위치 오차값을 스마트 기기에 내장된 센서들을 활용하여 실내 특정 공간의 위치로 보정하기 위해 유효한 보정점을 검출해 내는 것이다. ‘지형정보분석(Map Matching)’을 활용하여 일정 부분 발생하는 오차를 줄일 수 있지만 실내 공간이 커질수록 비용과 시간이 많이 든다는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서 제안한 ‘실

내 특정 공간의 보정점 결정 프로세스’는 센서들이 내장된 스마트 기기를 소지하고 보행할 시 발생하는 데이터들의 패턴을 분석하여 보행자 주변의 가장 가까운 특정 공간으로 위치를 보정해주는 효율적인 프로세스라고 할 수 있다.

또한, 본 프레임워크에서 제공하는 알고리즘은 실내 공간에서 유의미한 보정점을 확정하기 위한 기술적 절차를 표현한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘이 없는 경우 실내 공간에서 PDR의 오차를 수정할 수 있는 보정점은 최초의 고정된(Seed) 보정점으로 한정할 수 밖에 없고, 이는 PDR의 오차를 줄일 수 있는 가능성을 대폭 줄이게 된다. 실험을 통해서 백화점 면적(약 6만 6,000m²)의 공간에서 고정된 보정점 이외에 특정 공간 및 구조물의 위치를 새로운 보정점으로 확보할 수 있는 가능성을 발견하였으며, PDR의 선형적인 오차 증가 패턴을 생각할 때, 보정점이 늘어나게 되면 PDR의 오차의 증가가 제한될 수 있다.

본 연구의 시작으로 인프라 설치에 따르는 비용적인 문제와 실 시간 측위에 따르는 오차의 문제를 함께 해결할 수 있는 새로운 실내 보행자 측위 프로세스가 구축될 수 있음을 기대해 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김재훈, 강석연, “스마트폰 IMU와 WPS를 결합한 복합 측위 방법론”, 『한국통신학회논문지』, 제38C권, 제8호(2013), pp.663-673
- [2] 남윤영, 최유주, 조위덕, “이미지 센서와 3축 가속도센서를 이용한 인간 행동 인식”, 『한국인터넷 정보학회논문지』, 제11권, 제1권(2010), pp.129-141.
- [3] 신승혁 외 4명, “MEMS형 관성센서 기반 휴대단말의 장착위치 인식”
- [4] 조성윤, 신승혁, 박찬국, “Seamless 보행자 항법을 위한 MEMS 센서 기반 보행 움직임 상황인식 기술 및 결합 항법”, 『Telecommunications Review』, 제19권, 제1호(2009), pp.

- 148-164.
- [5] Gezici, S., Z. Tian, and G. B. Giannakis, et al., "Localization via Ultra-Wideband Radios," *IEEE Signal Processing Magazine*, (2005), pp.70-83.
- [6] Gu, Y. and A. Lo, "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol.11, No.1(2009), pp.13-32.
- [7] Jimenez, A.R., et al., "A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU," *IEEE International Symposium on*, (2009), pp.37-42.
- [8] King, T., S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger, and W. Effelsberg, "COMPASS : A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses," *Proc. First ACM Intl Workshop on Wireless Network Test-beds*, Experimental evaluation and Characterization(WINTECH), Los Angeles, CA, USA, 2006.
- [9] Ladetto, Q. et al., "Digital Magnetic Compass and Gyroscope for Dismounted Soldier Position and Navigation," *Proc. NATO RTO Symposium on Emerging Military Capabilities Enabled by Advances in Navigation Sensors*, Istanbul, Turkey, 2002
- [10] Raul, F.A. et al., "Pedestrian tracking using inertial sensors," *Journal of Physical Agents*, Vol.3, No.1(2009), pp.35-43.
- [11] Sen, S., L. Jeongkeun, K. Kyu-Han, and P. Congdon, "Avoiding Multipath to Revive Inbuilding Wi-Fi Localization," *MobiSys proceeding on*, (2013), pp.249-262.
- [12] Wong, C., R. Klukas, and G. Messier, "Using WLAN infrastructure for Angle-of-Arrival indoor User Location," *IEEE Conference on*, 2008.
- [13] Xiong, J. and K. Jamieson, "SecureAngle : Improving Wireless Security Using Angle-of-Arrival Information," *ACM SIGCOMM Proceeding on*, Vol.11(2010), pp.1-6.