creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265945

2017年 2月

석사학위논문

관성 측정 장치를 활용한 보행자 추측 항법 시스템의 구현

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 정 훈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2017년 2월 석사학위논문

관성 측정 장치를 활용한 보행자 추측 항법 시스템의 구현

이 정 훈

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

관성 측정 장치를 활용한 보행자 추측 항법 시스템의 구현

Implementation of pedestrian dead-reckoning system using Inertial Measurement Unit

2017년 2월 24일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 정 훈

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

관성 측정 장치를 활용한 보행자 추측 항법 시스템의 구현

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 정 훈

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이정훈의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 종 안 印

위 원 조선대학교 교수 변 재 영 印

위 원 조선대학교 교수 최 광 석 印

2016년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

그 림 목 차 ····· ii
표 목 차 ····· iv
Acronyms ····· v
ABSTRACT ····· vi

Ⅰ. 서 론 ····· 1
A. 연구 배경 및 목적 ····· 1
B. 연구 목표 ····· 2
C. 논문 구성 ····· 2
Ⅱ. 실내 위치 측위 기존 연구 ····· 3
A. 삼각측량법을 활용한 측위 시스템 ····· 3
B. 핑거프린팅 기법을 활용한 측위 시스템 ····· 3
C. IMU를 활용한 보행자 추측 항법 시스템 ····· 4
Ⅲ. 제안한 PDR 시스템 ····· 9
A. 시스템 구조 ····· 9
B. 제안한 걸음 검출 방법 ····· 10
C. 제안한 보폭 추정 방법 ····· 15
D. 보행자 방향 추정 방법 ····· 17
E. 보행자 위치 추정 방법 ····· 18
Ⅳ. 실험 결과 및 분석 ····· 19
A. 테스트 환경 ····· 19
B. 실험 결과 및 성능 평가 ····· 20
Ⅴ. 결론 ····· 30
참고문헌 ····· 31

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림 1. 삼변측량법 위치 추정 ····· 3
그림 2. RSSI 기반 핑거프린팅 기법 구조 ····· 4
그림 3. 일반적 IMU PDR 시스템 블록도 ····· 5
그림 4. 피크치 검출 기법의 걸음 검출 ····· 6
그림 5. 걸음 주파수와 보폭의 관계 ····· 7
그림 6. 가속도 분산과 보폭의 관계 ····· 7
그림 7. 제안한 PDR 시스템 블록도 ····· 9
그림 8. 허리 부착형 IMU ····· 9
그림 9. 발 부착형 IMU ····· 9
그림 10. 영각속도 보정 알고리즘을 이용한 정적상태 검출기 순서도 ····· 11
그림 11. 각속도 Y축 raw data에 검출된 정적상태 구간 ····· 12
그림 12. 정적상태 보정을 통한 pitch 각 변화 비교 ····· 12
그림 13. 영가속도 검출과 영각속도 검출 구간 비교 ····· 13
그림 14. 걸음 검출과 보폭 ····· 14
그림 15. 보폭 검출과 보폭 ····· 14
그림 16. 각속도 pitch 각을 이용한 걸음 검출 결과 ····· 14
그림 17. 각속도 센서를 이용한 걸음 주파수와 보폭과의 관계 ····· 15
그림 18. y축 각속도 분산과 보폭과의 관계 ····· 16
그림 19. 정적 자세 검출기 순서도 ····· 17
그림 20. 실험 환경 (조선대학교 전자정보공과대학 건물 8층) ····· 19
그림 21. IMU 센서와 보행자 위치를 해석하는 host 단말기의 연결 설정 ····· 19
그림 22. 1걸음 오차 발생 구간 ····· 21
그림 23. 걸음 검출 실험 결과 ····· 22
그림 24. 각속도 yaw 각 우측 90도 회전 측정 결과 ····· 23
그림 25. 각속도 yaw 각 좌측 90도 회전 측정 결과 ····· 24
그림 26. 허리 부착형 지자기 센서 방위각 우측 90도 회전 측정 결과 ····· 25
그림 27. 허리 부착형 지자기 센서 방위각 좌측 90도 회전 측정 결과 ····· 25
그림 28. 발 부착형 지자기 센서 방위각 우측 90도 회전 측정 결과 ····· 26
그림 29. 발 부착형 지자기 센서 방위각 좌측 90도 회전 측정 결과 ····· 26

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 30. 센서 부착 위치별 우측 90도 회전 보행 추정 위치 비교 ····· 28
그림 31. 센서 부착 위치별 좌측 90도 회전 보행 추정 위치 비교 ····· 28
그림 32. 보통 걸음 속도 위치 추정 실험 결과 ····· 29
그림 33. 느린 걸음 속도 위치 추정 실험 결과 ····· 30

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 1. IMU 센서 감도 설정표 ····· 20
표 2. 걸음 검출 실험 결과 ····· 21
표 3. 보폭 측정 실험 결과 ····· 22
표 4. 보통 걸음 속도의 위치 오차 ····· 29
표 5. 느린 걸음 속도의 위치 오차 ····· 30

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Acronyms

LBS : Location Based Service

GPS : Global Positioning System

UWB : Ultra Wide Band

WLAN : Wireless Local Area Network

PDR : pedestrian dead-reckoning

IMU : Inertial measurement unit

TOA : Time of Arrival

LOS : Line of sight

ZARU : Zero angular rate update

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Implementation of pedestrian dead-reckoning system using Inertial Measurement Unit

Jeong-Hoon Lee
Advisor : Prof. Jae-Young Pyun, Ph.D.
Department of Information and Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

Nowadays, there are a variety of studies for providing indoor positioning service to pedestrian. global positioning system (GPS) is the best positioning system, but it is not good in indoor environment because attenuation of the GPS signal is severely occurred in indoor environment. For indoor positioning system, many researchers are studying a position estimation methods such as UWB (Ultra Wide Band), WLAN (Wireless Local Area Network), and etc.

The pedestrian dead-reckoning (PDR) system using inertial measurement unit (IMU) does not require additional external devices. The position of pedestrian is estimated by analyzing the signal pattern by itself. In general, PDR system shows different performances according to the position of sensors attached to the body. In this paper, PDR system using the 2 synchronized IMUs (waist-mounted IMU and foot-mounted IMU) is proposed. Both step detection and step length estimation is performed by using gyroscope sensor in foot-mounted IMU. On the other hand, heading estimation is operated in the waist-mounted IMU. Also, to reduce drift error from integration of gyroscope, static state detection process is implemented. In this paper, the performances of the waist-mounted PDR and foot-mounted PDR systems are compared and evaluated with positioning accuracy of the pedestrian.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

I. 서 론

A. 연구 배경 및 목적

위치 및 지리정보를 활용해 다양한 서비스를 제공하는 위치기반서비스 (location based system : LBS)가 크게 대두되고 있다 [1]. 보편적으로 활용되고 있는 GPS는 미국이 제공하는 위치 정보 시스템으로 GPS 수신 장치는 위성 4~5개에서 송신한 신호가 도달하는데 걸리는 시간 (time of arrival : TOA)를 계산하여 위치를 추정한다. 직진성이 강한 전파를 사용하는 GPS는 통신간에 가시성 (line of sight : LOS)가 유지되는 상태에서만 통신이 가능하여 실내 같은 특정한 환경에서는 측위가 어렵다는 단점이 있다 [2][3]. 이에 따라 실내에서 위치를 추정하기 위해 다양한 측위 시스템이 연구되어 지고 있으며, 크게 GPS와 같은 삼변측량법의 측위, 근거리 통신 인프라를 이용하는 핑거프린팅 방식의 측위 그리고 IMU (inertial measurement unit)과 같은 센서 기반 측위를 들 수 있다 [4][5].

IMU를 이용한 PDR 시스템은 외부의 추가적 인프라 없이 위치를 추정할 수 있는 장점을 갖지만 여러 가지 연구 이슈를 갖는다. 첫째로 모든 단계가 추정에 의존한다는 문제점과 MEMS (micro electro mechanical system) IMU의 특성상 낮은 정밀도를 갖고 있어 이를 개선을 위해 데이터의 정확도를 향상시키는 기법들이 연구되어지고 있다. 두 번째로 신체에 센서 부착 위치에 따른 이슈이다. 일반적으로 PDR (pedestrian dead-reckoning)시스템은 허리 부착형 IMU와 발 부착형 IMU 두 가지로 구분할 수 있다. PDR 시스템은 부착 위치에 따라 센서의 측정치 패턴이 다르게 나타나게 되며, 서로의 장·단점을 갖게 된다. 허리 부착형 PDR 시스템의 경우 일반적 보행 특성에서 센서의 자세 (orientation)의 변화가 적어 각속도, 지자기 센서의 방향 추정에 낮은 오차율을 갖는 반면, 걸음 검출 및 보폭 추정에 어려움이 있다. 이와 반대로 발 부착형 PDR 시스템의 경우 걸음 검출 및 보폭 추정에 비교적 장점이 있는 반면, 보행 시 발의 움직임에 따라 방향 오차가 발생하게 되어 진행 방향 결정에 어려움이 따른다 [6][7]. 본 논문에서는 위의 문제를 보안하기 위해 허리 부착형 IMU와 발 부착형 IMU를 결합한 PDR 시스템을 제안하고 성능을 분석하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 연구의 목표

관성 측정 센서를 이용한 PDR 시스템은 신체에 부착한 위치에 따라 다른 신호 패턴이 측정될 수 있으며, 센서 측정치를 이용하여 걸음 검출, 보폭 추정 그리고 방향을 결정하여 보행자의 위치를 추정하게 된다. 또한, 단일 센서의 신체 부착 위치에 따라 위의 추정과정에서 장점과 단점이 같이 존재하게 된다.

본 논문에서는 허리 부착형 IMU PDR 시스템과 발 부착형 IMU PDR 시스템의 추정 성능을 분석하며, 위 두 시스템의 장점을 결합한 PDR 시스템을 제안하였다. 또한, 각속도 센서를 활용한 걸음 검출 및 보폭 추정 방법에 대해 제안하였고, 각속도 보정(zero angular rate update : ZARU)를 이용한 정적상태 검출기를 구현하여 각속도 센서의 드리프트 (drift)오차를 제거하는 방법을 제안하였다.

C. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 실내 위치 추적 기반 기술에 대해 서술하고, 본 논문에서 얘기하고자하는 IMU를 이용한 PDR 시스템의 구조를 설명한다. 제3장에서는 본 논문에서 제안된 알고리즘에 대하여 기술하고, 제4장에서는 실험 통해 성능 비교 결과를 그래프를 이용하여 나타낸 뒤, 전반적인 성능을 검증한다. 이후 제안한 시스템의 성능을 분석하고, 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

II. 실내 위치 측위의 기존 연구들

A. 삼변측량법을 활용한 측위 시스템

삼변측량법은 RTLS (real time location system)에서 움직이는 사용자의 위치를 추정하는데 가장 많이 사용되는 방법이다. GPS는 위성으로 수신된 신호를 통해 위성과의 거리를 추정한 후 삼각측량법으로 위치를 추정한다. 이와 같은 방법으로 WLAN 네트워크 망을 이용하여 위치 추정이 가능하다. 삼변측량법을 사용하기 위해서는 2차원 평면상에서 세 개의 기준점이 필요하다. 그림 1처럼 모바일 장치는 3개의 AP로부터 신호를 수신하게 된다. AP와 모바일 장치와의 거리는

$$d_0^2 = (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2 \tag{1}$$

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2 \tag{2}$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 - (y - y_2)^2 \tag{3}$$

와 같이 표현이 가능하다. 추정된 각 AP와의 거리는 잡음을 포함하고 있기 때문에 높은 위치 정확도를 기대하기는 어렵다 [4][5][8].

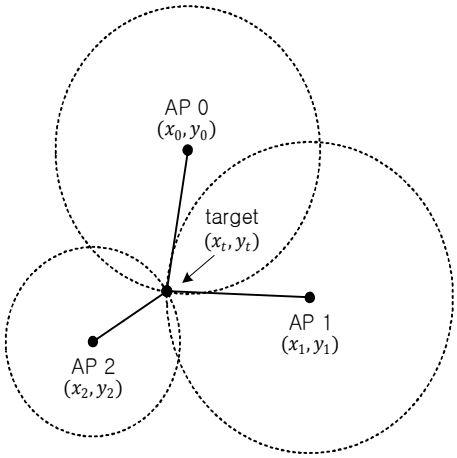

그림 1. 삼변측량법 위치 추정

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 핑거프린팅 기법을 활용한 측위 시스템

WLAN을 이용한 또 다른 측위방법으로 핑거프린팅 기법을 들 수 있다. 이 기법은 AP가 송신한 신호를 수신기 측에서 전력에 의해 수신된 신호의 강도로 표현한 RSSI를 이용하며 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$L = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)[dBm] \tag{4}$$

그림 2는 핑거프린팅 기법의 구조이다. 핑거프린팅 기법은 offline phase와 online phase로 구성되어 있다. offline phase는 참고 위치에서 수신되는 AP들의 RSSI를 데이터베이스에 저장하는 단계이다. online phase는 사용자의 위치를 추정하는 단계로서 현재 위치의 AP들의 RSSI를 offline phase과정에서 데이터베이스에 저장된 RSSI와 비교하여 현재 사용자 위치를 추정한다. 핑거프린팅 기법은 수신되는 AP의 개수가 많고 참고 위치의 영역의 크기가 작을수록 정확도를 높일 수 있으나 offline phase에 저장해야 될 AP의 RSSI와 참고 위치의 수가 늘어나게 되어 구성 시간이 증가하게 되며, offline phase에는 위치 매칭과정에서 비교할 대상이 많아 연산량이 증가하게 된다. 따라서 알맞은 AP 개수와 영역의 크기를 정하는게 중요하다 [9]-[12].

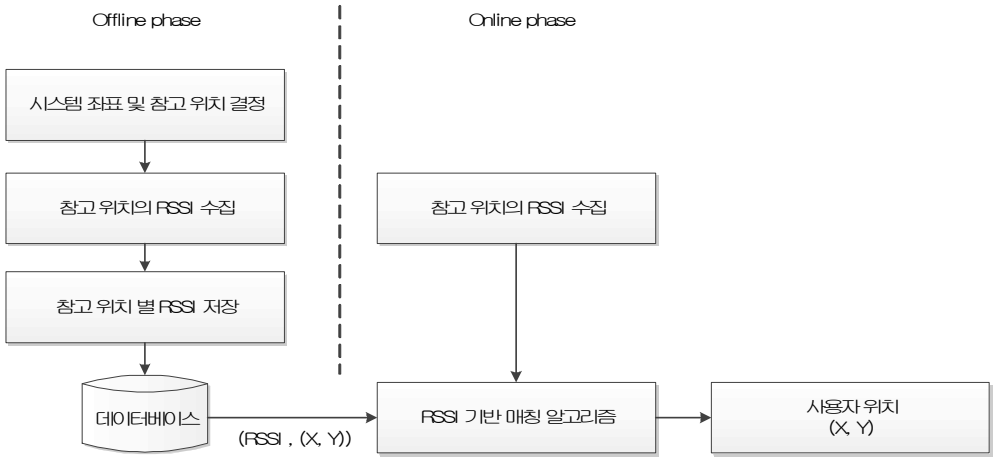

그림 2. RSSI 기반 핑거프린팅 기법 구조

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C. IMU를 활용한 보행자 추측 항법 시스템

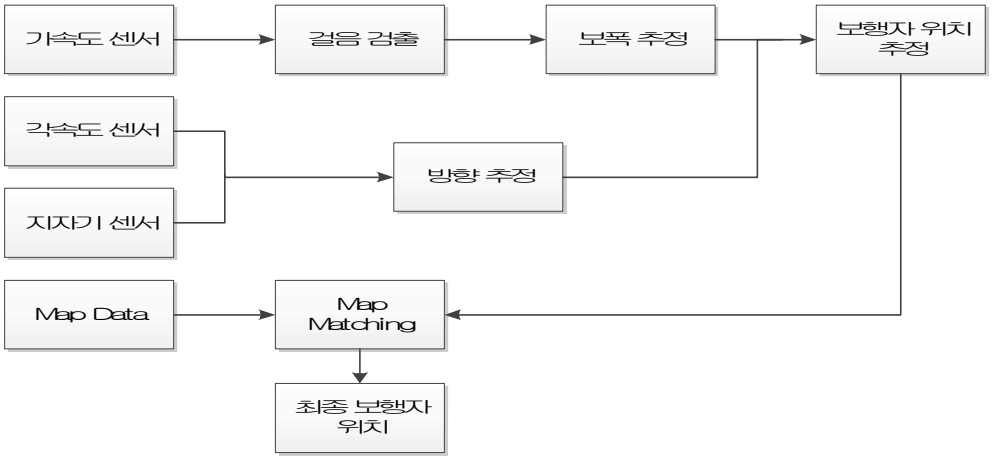

그림 3. 일반적 IMU PDR 시스템 블록도

IMU의 3개의 센서는 3축 직각좌표계 (X, Y, Z 축)을 활용하며, 가속도 센서는 중력 가속도를 이용한 roll과 pitch각 측정과 선형 가속도 성분을 이용한 각 축의 운동 시 발생하는 힘을 측정한다. 각속도 센서는 각 축을 회전축으로 하는 힘을 측정하여 각 축의 회전각인 roll, pitch, yaw를 계산할 수 있다. 지자기 센서는 자기의 세기를 측정하며 자북이라는 절대 정보를 제공한다. 그림 3은 PDR 시스템의 기본 구조이다. IMU 센서를 활용한 PDR 시스템은 구성된 가속도, 각속도, 지자기 센서의 측정치를 분석하고, 걸음 검출과 보폭 결정 그리고 보행 방향을 추정하여 보행자의 위치를 추정하게 된다. IMU의 측정 데이터는 낮은 정밀도와 바이어스 오차를 수반하고 있고 PDR 시스템의 모든 과정이 추정에 기반이 되어 있기 때문에 위치 오차가 존재하게 되며, 이를 해결하기 위해 정밀도 높은 알고리즘 구현이나 필터 설계 그리고 맵 매칭을 활용해 정확도를 향상시킬 수 있다.

1. 걸음 검출

PDR 시스템에서 보행자의 이동을 판단하기 위해 걸음 검출 방법을 활용한다. 따라서, 정확한 걸음을 검출하지 못하면 보행자의 이동거리에 오차를 발생하게 된다. 일반적으로 걸음 검출과 보폭 결정은 가속도 센서를 사용하며 영교차 검출 (zero

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

crossing) 기법, 피크치 검출 (peak detection) 기법 등이 있다. 그림 4는 보행 중 가속도 센서 측정치와 피크치 검출 기법에 의한 걸출 시점을 나타낸다. 보행 중 선형 가속도 측정치는 단진자 운동과 유사한 형태의 파형이 측정되며, 걸음으로 판단하는 임계치를 결정하여 가속도 측정치가 임계치를 넘는 경우 걸음으로 판단한다.

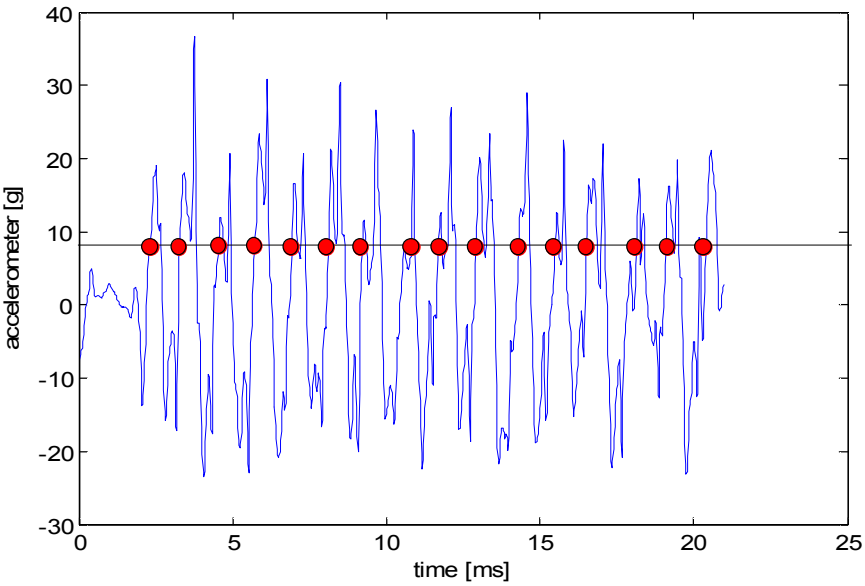

그림 4. 피크치 검출 기법의 걸음 검출

이러한 가속도 센서를 활용한 걸음 검출 방법의 경우 일반적 걸음에 적합하다. 가속도 센서의 출력값 (Acc_{output})은 중력 가속도 성분 ($gravity_{acc}$)과 선형 가속도 성분 ($linear_{acc}$) 그리고 오차 (E)를 포함하고 있으며 식 (5)와 같다. 중력 가속도는 센서의 자세를 측정하는 데 중요한 요소이지만, 보행자가 일반적 자세가 아닌 움직임에 의해 센서의 자세가 틀어지는 경우, 다른 축이 그 힘을 나눠 가지므로 걸음 검출에 오류를 발생할 수 있다 [13][14].

$$Acc_{output} = gravity_{acc} + linear_{acc} + E \tag{5}$$

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 보폭 추정

보폭 추정은 걸음이 검출된 경우 그 걸음의 보폭을 추정하는 과정이다. 가속도 센서 진행 방향 측정치를 2중 적분하여 보행자의 이동거리를 계산할 수 있지만, 적분 과정에 따른 드리프트 오차를 발생하여 시간이 지날수록 이동거리에 오차를 야기하게 된다. 따라서 보폭 추정 과정은 가속도 센서의 2중 적분 드리프트 오차 문제를 해결하기 위한 방안으로 제시되어지고 있다. 그중 가장 보편적으로 사용되는 가속도 센서와의 관계가 걸음 주파수와 보폭과의 관계 그리고 가속도 분산과 보폭과의 관계 특성을 활용한다. 그림 5는 걸음주파수와 보폭과의 관계를 나타내고, 그림 6는 가속도 분산과 보폭과의 관계를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯 걸음 주파수와 가속도 분산이 보폭의 관계가 선형적으로 나타남을 알 수 있으며, 선형 방정식을 세워 보폭을 추정할 수 있다. 하지만, 사람의 개인적 특성 (키, 나이, 다리길이 등)에 따라 보폭이 다를 수 있으므로 보행자별 고유한 보정상수가 필요하다 [15]-[17]. 식 (6)은 걸음 주파수를 이용한 보폭 추정식을 식 (7)은 가속도 분산을 이용한 보폭 추정식을 그리고 식 (8)은 걸음 주파수와 가속도 분산의 가중치를 이용한 보폭 추정 식을 나타내며 γ는 보행자별 보정상수이다.

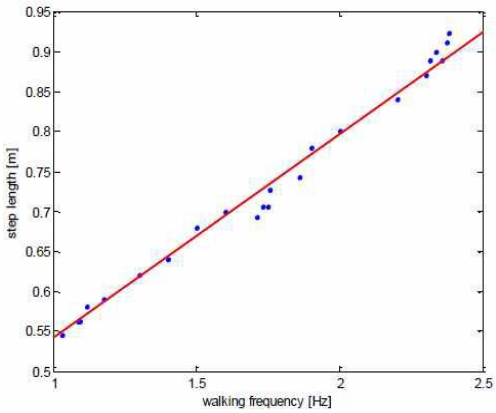

그림 5. 걸음 주파수와 보폭의 관계

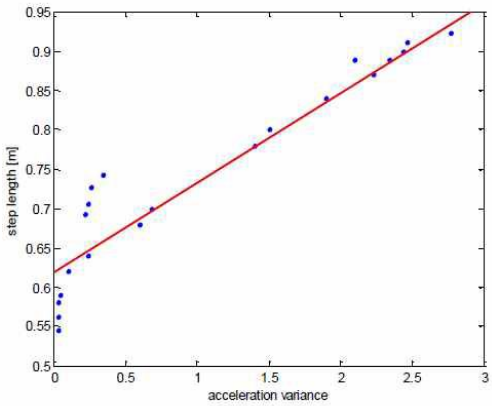

그림 6. 가속도 분산과 보폭의 관계

$$steplength = \alpha \cdot WF + \gamma \tag{6}$$

$$steplength = \alpha \cdot AV + \gamma \tag{7}$$

$$steplength = \alpha \cdot WF + \beta \cdot AV + \gamma \tag{8}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 방향 추정

보행방향은 지자기 센서와 각속도 센서를 이용하여 추정한다. 이 중, 지자기 센서는 지구자기장의 세기를 측정하여 자북 방향으로부터의 방위각을 추정할 수 있어 절대 방향을 제공한다. 식 (9)는 지자기 센서 측정치를 이용한 방위각 계산식이며 지자기 X축 측정치 (Mag_X)와 Y축 측정치 (Mag_Y)가 필요하다 [17].

$$Yaw_{mag} = atan(-Mag_Y/Mag_X) \tag{9}$$

실내 환경에서 자성체나 철에 의한 강 지자기 교란이나 전자기에 의한 약 지자기 교란에 의해 정확한 방위각을 추정하기엔 어려움이 있으며, 센서의 자세와 기울어짐(tilt)에 의해 각 축의 측정 세기가 변하게 되어 방위각에 오차가 발생할 수 있다.

반면, 각속도 센서를 이용한 보행방향 추정의 경우 급격한 회전에 민감한 반응을 얻을 수 있지만, 절대 방향을 알 수 없으며 측정된 각속도에 측정 시간을 곱해 적분하여 방향을 추정하기 때문에 noise에 따른 드리프트에 오차로 시간이 지날수록 추정치는 발산하게 된다. 식 (10)은 각속도 센서의 Z축 측정치 ($\omega_{m,i}$)를 나타내며, 측정치는 실제값 ($\omega_{t,i}$)과 오차 (E)를 포함하고 있다. 식 (11)은 각속도 Z축 측정치에 샘플링 시간 T를 곱하여 변화량을 계산하고, 식 (12)의 적분과정을 통해 Yaw (Ψ)를 계산한다.

$$\omega_{m,i} = \omega_{t,i} + E \tag{10}$$

$$\triangle\Psi_{m,i} = \omega_{m,i}T \tag{11}$$

$$\Psi_i = \Psi_{i-1} + \triangle\Psi_{m,i} \tag{12}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

III. 제안한 PDR 시스템

A. 시스템 구조

본 논문에서는 2개의 IMU를 사용하여 걸음 검출과 방향 추정하는 알고리즘을 제안한다. 그림 7는 제안한 PDR 시스템의 블록도이다.

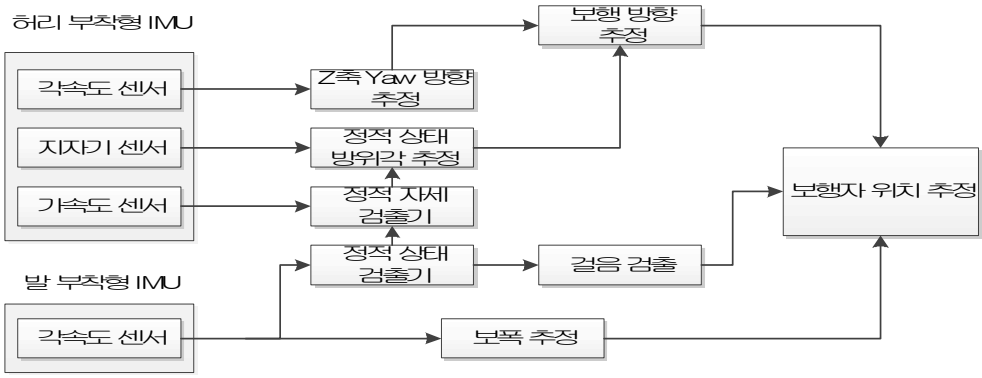

그림 7. 제안하는 PDR 시스템 블록도

제안하는 PDR 시스템의 그림 8과 9와 같이 2개의 센서는 보행자의 허리와 발 뒷꿈치에 각각 부착하였으며, 걸음 검출 및 보폭 결정은 발 부착형 센서의 각속도 센서를 이용하였으며, 방향은 허리 부착형 센서에서 지자기 센서의 방위각을 초기방향으로 활용하고 각속도 센서의 yaw축 회전각을 진행방향으로 추정하였다.

그림 8. 허리 부착형 IMU

그림 9. 발 부착형 IMU

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 제안한 걸음 검출 방법

1. 정적상태 검출기

각속도 센서의 드리프트 오차 문제를 해결하기 위해 우선 ZARU 알고리즘을 이용한 정적상태 검출기를 구현하였다 [18][19]. 정적상태 검출기는 각속도의 합이 0에 연속적으로 근접한 구간을 카운팅하며 보행자의 3가지 상태를 판단한다. 첫째로 발 부착형 센서의 보행 패턴에서 각속도의 합이 0에 근사한 값이 측정되는 구간은 센서가 부착된 발이 지면에 접지된 상태 (static status)에 나타나게 된다. 이 구간에서 roll과 pitch를 초기 자세인 0도로 보정하여 이전에 발생했던 드리프트 오차를 제거할 수 있다. 둘째로 0에 근사한 값이 연속적으로 카운팅 되어 지정된 시간동안 지속된 경우 보행자가 정지 상태 (standing status)로 판단하여 roll, pitch, yaw 모두 초기화 하였다. 마지막으로 각속도가 0에 근사하지 않은 값이 측정 된 경우, 보행 상태 (walking status)로 판단한다. 그림 10은 영각속도 보정 알고리즘 (ZARU)의 순서도이며, 그림 10은 영각속도 보정 알고리즘을 이용하여 구현한 정적상태 검출기의 순서도를 나타낸다.

그림 11은 보행 중 pitch축의 각속도 측정치와 정적상태로 검출된 구간을 나타내며, 이 구간을 정적상태로 판단하여 pitch축을 초기화 하였다. 그림 12는 각속도 y축 적분치인 pitch각을 정적 상태 보정과 비교하였다. 보정 전 pitch 측정치를 보면, 센서의 낮은 정밀도 때문에 센서가 부착된 발이 지면에 접지될 때 실제 측정치는 영점에 근접하지 못하거나 보다 더 측정되어 나타났다. 이는 발의 움직임과 드리프트에 따른 오차가 발생하여 측정치가 지속적으로 발산하게 하였다. 정적상태 보정 결과와 같이 정적상태 검출기를 활용하여 pitch각의 발산이 제거되었음을 알 수 있다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

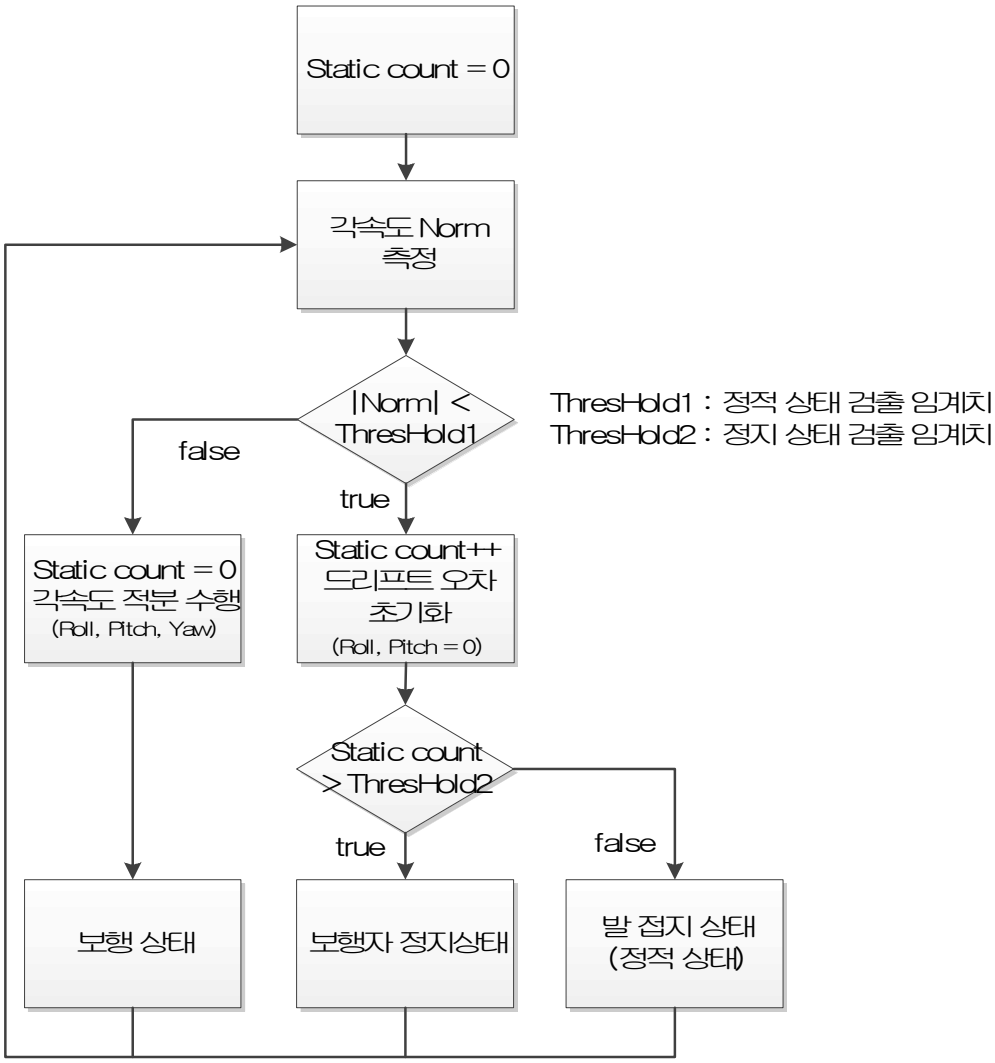

그림 10. 영각속도 보정 알고리즘을 이용한 정적상태 검출기 순서도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

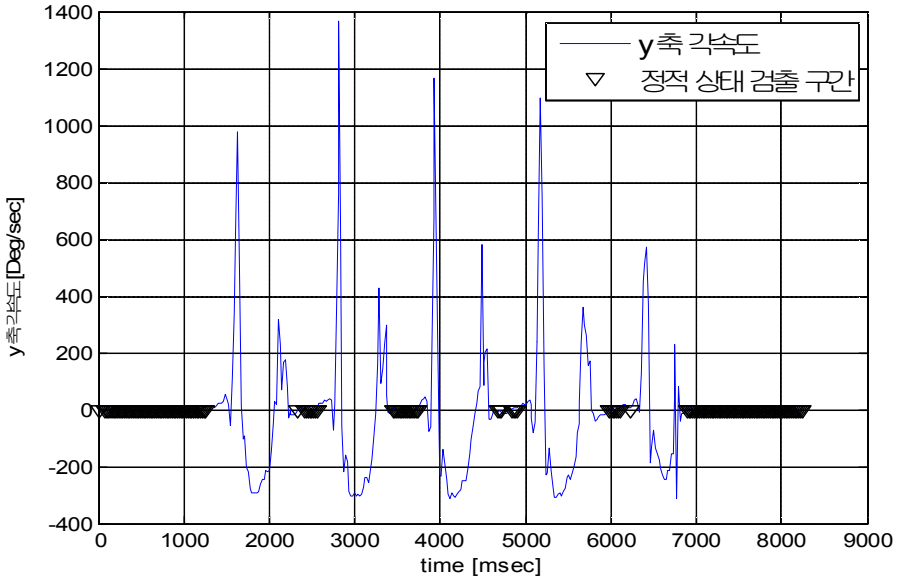

그림 11. 각속도 Y축 raw data에 검출된 정적상태 구간

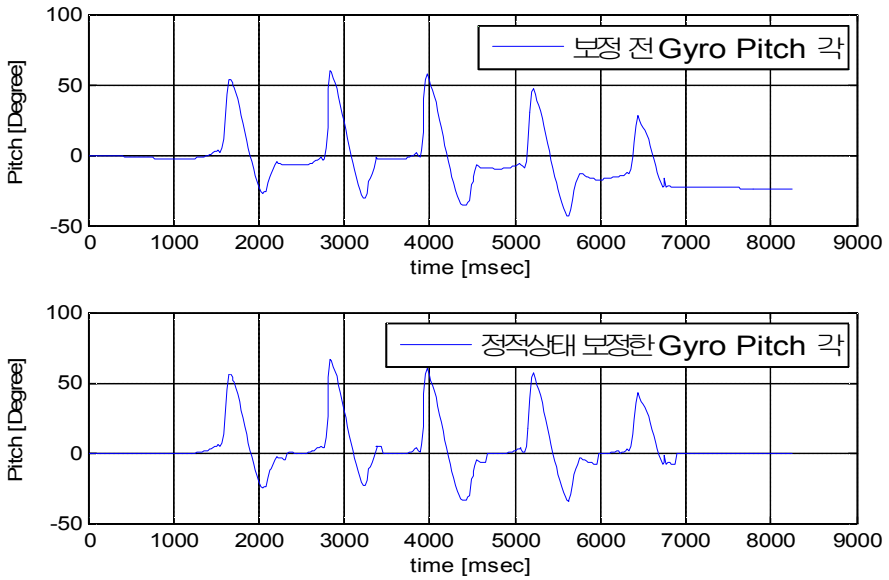

그림 12. 정적상태 보정을 통한 pitch 변화 비교

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

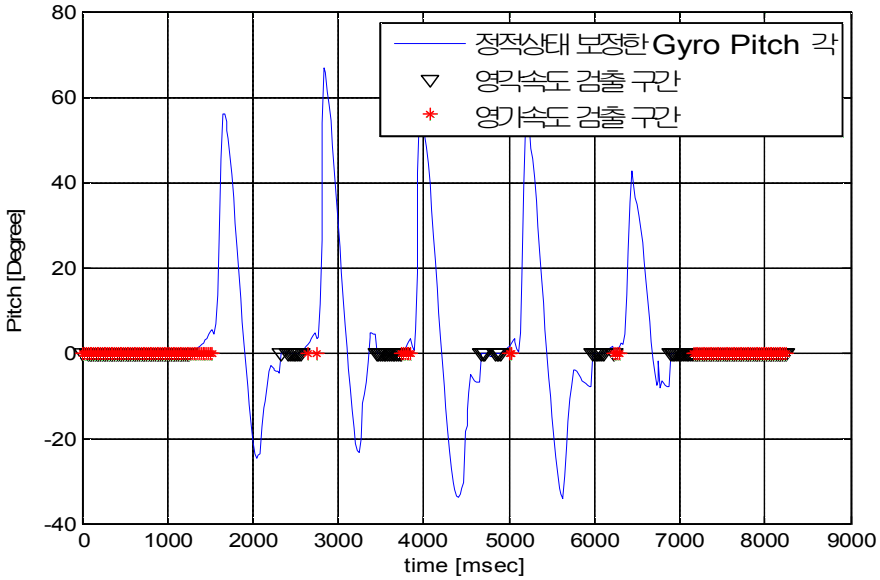

그림 13. 영가속도 검출과 영각속도 검출 구간 비교

정적 상태를 검출하는 방법으로 가속도 센서 측정치를 이용한 영가속도 보정 알고리즘과 각속도 센서 측정치를 이용한 영각속도 보정 알고리즘이 있다. 두 방식 모두 측정치가 0에 근사한 구간을 검출하게 되며, 검출된 구간에 드리프트 오차를 초기화 하게 된다. 그림 13은 영각속도 검출 구간과 영가속도 검출 구간을 비교하였다. 보행자가 정지한 상태에서는 영각속도 검출, 영가속도 검출 모두 발의 접지상태를 판단할 수 있었지만, 영가속도 검출의 경우 센서가 부착된 발이 지면에 닿을 때 반작용의 힘이 측정되어 영각속도 검출보다 늦게 정적상태가 검출됨을 알 수 있다.

2. 걸음 검출

일반적인 발 부착형 걸음 검출 방법의 경우 가속도 센서를 활용하여 센서가 부착된 발의 한 주기를 추정하여 걸음을 판단하게 되어 실제 걸음 검출이 아닌 보폭 검출이 이루어지게 된다. 그림 14와 15는 걸음 검출과 보폭 검출의 차이를 나타내며, 보폭 검출의 보폭은 걸음 검출의 보폭에 2배에 해당하게 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

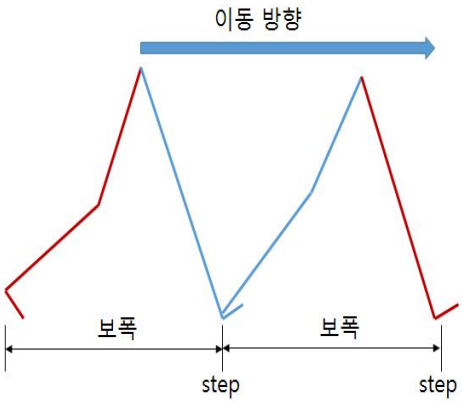

그림 14. 걸음 검출과 보폭

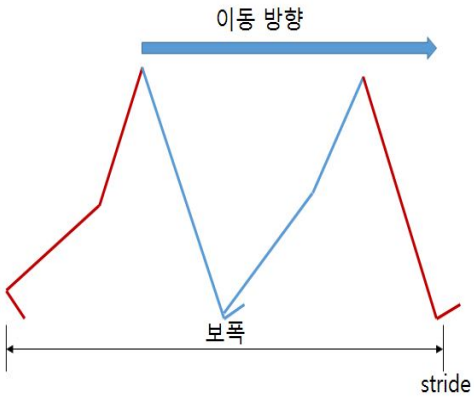

그림 15. 보폭 검출과 보폭

본 논문에서 제안한 걸음 검출 방법은 각속도 센서를 이용하여 발의 움직임에 발생하는 pitch각의 패턴을 분석하여 걸음 검출 방법을 구현하였다. 그림 16은 보행 중의 정적상태 보정된 각속도 pitch 각과 걸음이 검출된 구간을 나타낸다. 측정치의 잡음 또한 최대, 최소치를 갖기 때문에 임계치 검출 방식을 활용하여 잡음에 의한 검출을 방지하였다.

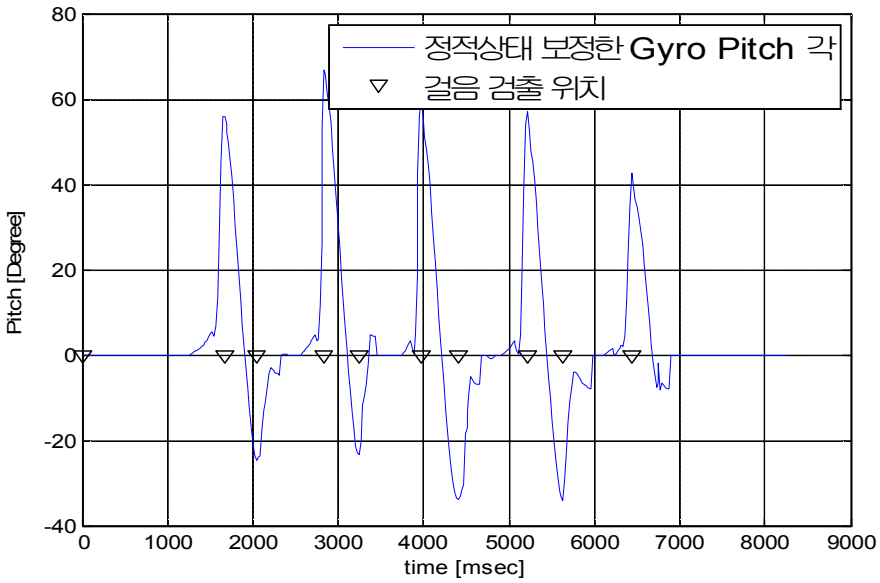

그림 16. 각속도 pitch각을 이용한 걸음 검출 결과

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C. 제안한 보폭 추정 방법

보행자의 보폭을 추정하기 위해 본 논문에서는 각속도 센서를 이용하여 '걸음 주파수와 보폭과의 관계'와 'y축 각속도 분산과 보폭과의 관계'에 관한 실험을 진행하였다. 그림 17은 각속도 센서 pitch 각을 이용한 걸음 검출 방법을 통해 걸음 주파수와 평균 보폭을 측정하여 나타내었으며, 그림 18은 y축 각속도 분산과 평균 보폭을 나타낸다. 실험을 통해 그림 5와 6의 가속도 센서를 활용한 걸음 주파수와 보폭과의 관계와 가속도 분산과 보폭과의 관계처럼 걸음이 빨라질수록 그리고 각속도 분산이 커질수록 선형적으로 보폭이 증가함을 확인할 수 있다. 실험을 진행함에 있어 비교적 정확한 보폭을 측정하기 위해 12회 20걸음 보행을 진행하였으며, 이때 총 이동거리를 구하여 식 (13)과 (14)와 같이 평균 보폭 (SL_{avg})과 걸음 주파수 (WF)를 측정하였다. 또한 전체 시간동안 y축 각속도의 분산을 구하여 식 (13)에서 구한 평균 보폭과 비교하였다.

$$SL_{avg} = distance_{total} / step \tag{13}$$

$$WF = step / time \tag{14}$$

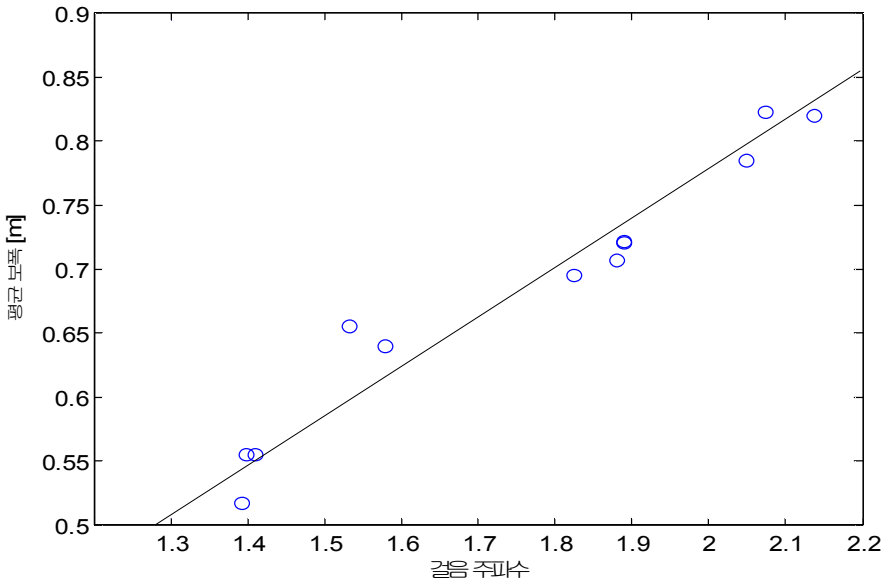

그림 17. 각속도 센서를 이용한 걸음 주파수와 보폭과의 관계

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

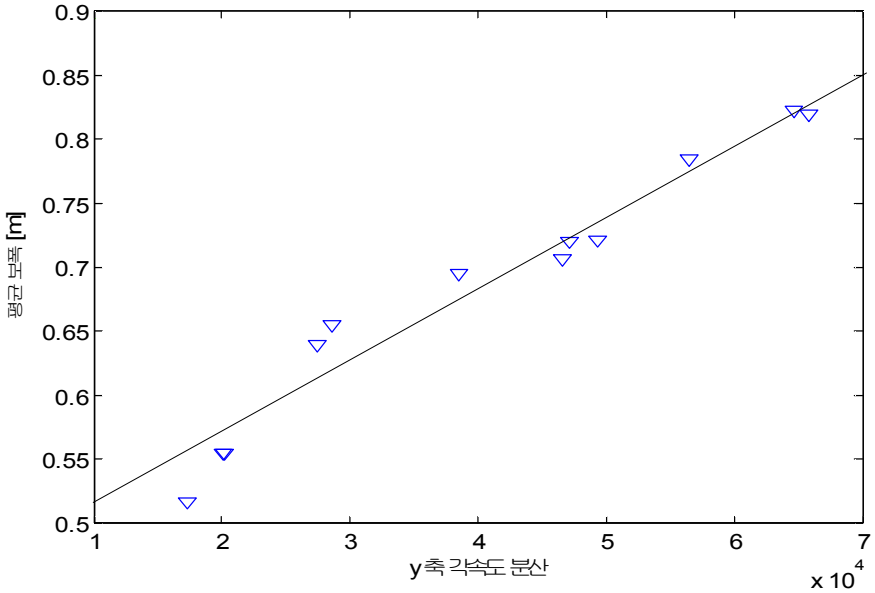

그림 18. y축 각속도 분산과 보폭과의 관계

D. 보행자 방향 추정 방법

1. 초기 방향 결정

관성 측정 장치를 이용한 보행자 항법 추정방식의 문제점은 초기 위치와 초기 방향을 알 수 없는 단점이 있다. 각속도 센서의 경우 절대 방향이 아닌 초기 0도의 방향을 갖게됨으로 절대적 방향을 알 수 없음으로, 지자기 센서를 활용한 자북에 대한 방위각을 초기 방향으로 활용하였다. 지자기 센서는 회전에 대한 민감도가 각속도 센서보다 낮아 급격한 회전의 변화에 낮은 정확성을 갖기 때문에 초기 방향 결정 및 보행 정지 상태에 각속도 센서의 드리프트 오차를 제거하기 위한 방향으로 활용하였다.

지자기 센서의 방위각은 식 (9)와 같이 두 측의 측정값을 통해 알 수 있지만, IMU의 자세에 따라 오차가 발생하게 된다. 따라서 자세 보정 과정을 통해 방위각을 보정해주게 되며 보정된 초기 방위각 ($Heading_{calib}$)은 식 (15)와 같다. 이때의 F_{magX}, F_{magY}, F_{magZ}는 X, Y, Z축에서의 지자기 측정치이고, 보정에 활용되는 roll (θ)과 pitch (ϕ)는 가속도와 각속도 센서를 통해 얻을 수 있다. 가속도 센서의 roll과 pitch는 정적상태에서는 중력가속도 성분만 존재하기 때문에 정확한 각도를 얻을 수 있지만, 보행 진행

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중에는 중력가속도 이외에 선형가속도가 존재하게 되어 정확한 roll과 pitch를 얻을 수 없어 보정 결과에 오차가 발생하게 된다. 반면 각속도 센서는 각속도 적분의 각도를 활용하기 때문에, 짧은 실험엔 비교적 정확한 roll과 pitch를 얻을 수 있지만 장시간 적분에 따른 드리프트 오차를 해결해야 한다.

$$Heading_{Calib} = atan\frac{F_{magZ}\sin\phi - F_{magY}\cos\phi}{F_{magX}\cos\theta + F_{magY}\sin\theta\cos\phi + F_{magZ}\sin\theta\cos\phi} \tag{15}$$

2. 보행 방향 결정

제안하는 PDR에서는 허리 부착형 IMU에서 방향을 추정하며, 보행 방향 추정식은 식 (16)과 같다. 정적상태에서 추정된 지자기 초기 방위각 ($Heading_{calib}$)에 식 (12)를 통해 얻은 각속도 yaw 각 (Ψ_{gyro})을 더하여 보행자 방향을 추정하였다.

$$Heading_{pedestrian} = Heading_{calib} + \Psi_{gyro} \tag{16}$$

3. 정적 자세 검출기

허리 부착형 IMU의 지자기 방위각 보정에 각속도 센서의 roll과 pitch각을 이용하였으므로 드리프트 오차를 해결할 방법이 필요하다. 본 논문에서는 발 부착형 IMU의 정적상태 검출기에서 보행 정지 상태가 판단되면 허리 부착형 IMU의 각속도 센서의 자세를 초기화 해주는 방법을 사용하였다. 하지만, 각속도의 roll과 pitch 각을 0도로 초기화 하게 될 경우 지자기 보정 방위각에 오차가 발생하게 된다. 가속도 센서는 정적상태에서 정확한 절대 자세를 알 수 있으므로 가속도 센서의 roll, pitch 측정치를 각속도 roll, pitch의 초기 자세로 활용하였다.

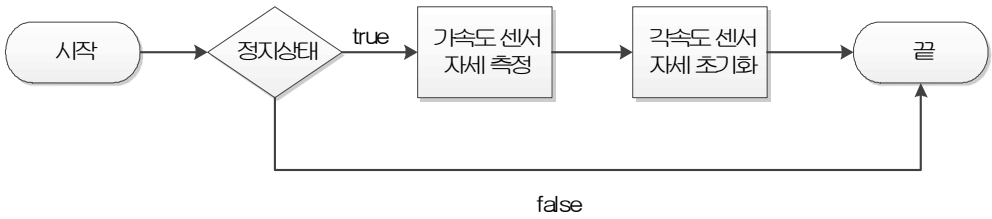

그림 19. 정적상태 검출기 순서도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

E. 보행자 위치 추정

PDR 시스템의 보행 추정 방법은 이미 알고 있는 위치에서 진행 방향 속도 및 자세각을 이용하여 현재의 위치를 계산하는 시스템이다. 가속도 적분을 통한 이동거리는 위치 오차가 누적되게 되므로 이를 해결하기 위해 보행자의 이동거리는 보폭으로 대체되어 활용하고 있으며 식 (17)과 (18)와 같다.

$$X_{current} = X_{pre} + StepLength \times \cos\psi \tag{17}$$

$$Y_{current} = Y_{pre} + StepLength \times \sin\psi \tag{18}$$

이때, $X_{current}$, $Y_{current}$는 이전단계에서의 X축, Y축 좌표인 X_{pre}, Y_{pre}에서 보행자의 이동으로 바뀐 새로운 X, Y축 좌표이며, ψ는 식 (16)으로 얻어진 보행 방향 추정값이다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

IV. 실험 결과 및 분석

제안한 시스템의 실험은 조선대학교 전자정보공과대학 8층에서 진행되었다. 관성 측정 센서들의 측정 데이터는 동기화되어 2.4G 대역 무선 통신을 통해 노트북에 연결된 수신기에 전달되며, 노트북에서는 C++환경의 실시간 PDR 응용 프로그램을 통해 수신된 센서 데이터를 해석하고 보행자 위치 추적을 진행하였다.

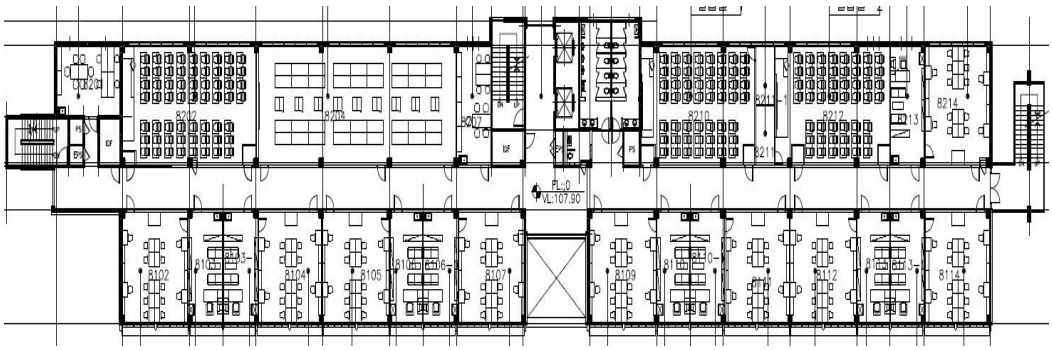

그림 20. 실험 환경 (조선대학교 전자정보공과대학 건물 8층)

A. 테스트 환경

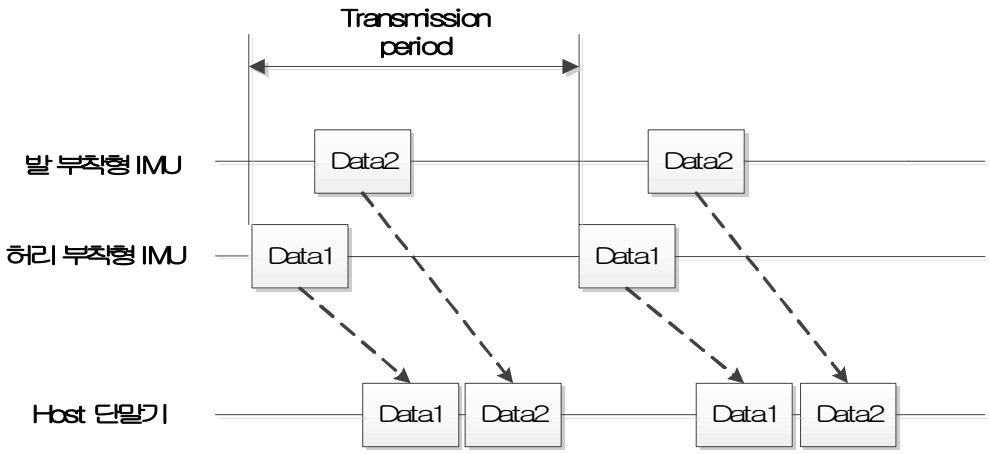

그림 21. IMU 센서와 보행자 위치를 해석하는 host 단말기의 연결 설정

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 21는 본 논문에서 실험한 IMU와 보행자 위치를 해석하는 host 단말기의 연결 설정을 나타낸다. 실험에 사용한 모듈은 관성 측정 장치와 2.4GHz 대역 무선수신기로 구성되어 있으며, 수신기는 IMU 센서 측정 데이터를 수신하고 Serial Port를 통해 host 단말기에 전송한다. 표 1은 실험에 사용한 관성 측정 장치의 설정 값을 나타낸다.

표 1. IMU 센서 감도 설정표

센서 설정	설정 값
데이터 출력 속도	20ms
각속도센서 감도	2000dps
가속도센서 감도	8g

B. 실험 결과 및 성능 평가

본 논문의 성능을 평가하기 위해 두 가지 실험 환경을 준비하였다. 첫 번째 실험에서는 제안하는 PDR 시스템의 추정과정과 검출과정의 성능평가를 진행하였으며, 두 번째 실험에서는 보행 속도에 따른 보행자의 위치 추정 결과 성능을 확인하였다.

1. 추정 및 검출 과정 성능평가

1) 걸음 검출 실험

걸음 검출 실험은 총 30 걸음씩 10회 수행되었으며, 직진 보행 하였다. 제안한 각속도 pitch 각에 의한 걸음 검출 방법을 수행하였다. 표 2는 걸음 검출 실험 결과이며, 최소 97%의 정확도를 확인할 수 있었다. 실험의 한걸음 오차는 마지막 걸음 후, 보행자는 정지 상태 (standing)로 가기위해 뒤쪽 발이 앞쪽 발 위치에 돌아오면서 측정치가 임계치를 넘으면서 걸음으로 측정되는 경우가 발생하였다. 그림 22는 1걸음의 오차원인을 보이고 있으며, 그림 23은 실험에서 측정된 각속도 pitch 각과 걸음이 카운팅 된 구간을 나타낸다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2. 걸음 검출 실험 결과

실험 횟수	측정 걸음 수	정확도
1	30	100%
2	30	100%
3	31	97%
4	31	97%
5	31	97%
6	30	100%
7	30	100%
8	31	97%
9	31	97%
10	30	100%

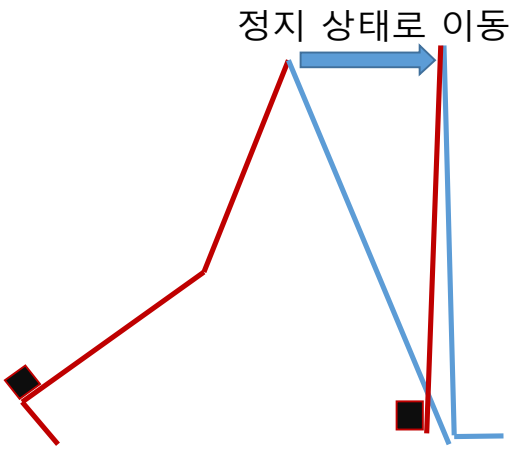

그림 22. 1걸음 오차 발생 구간

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

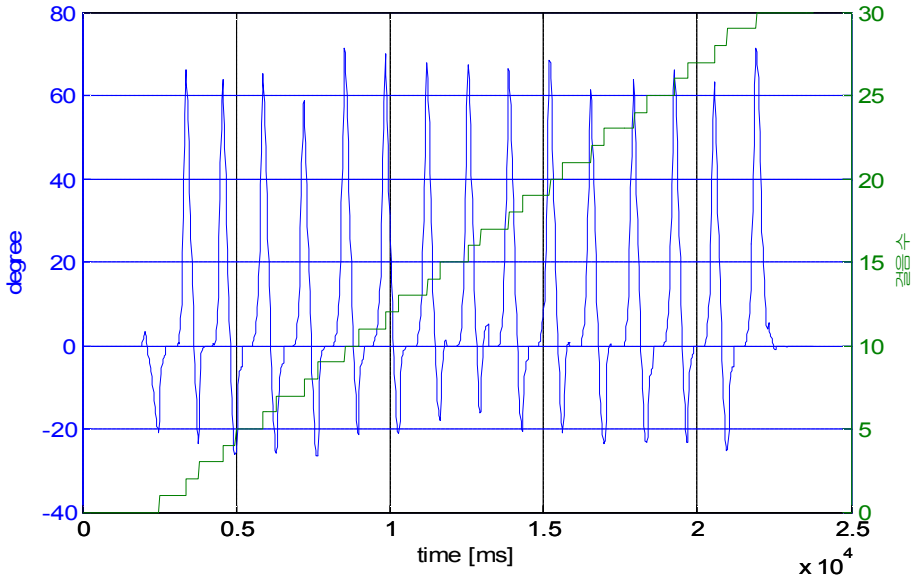

그림 23. 걸음 검출 실험 결과

2) 보폭 추정 실험

보폭은 걸음 주파수와 보폭과의 관계를 이용하여 추정하였으며, 10회의 걸음 검출 실험을 통해 진행되었다. 각 실험마다 걸음 속도를 다르게 하였으며, 매 실험마다의 걸음 속도는 일정히 유지하였다.

표 2. 걸음 검출 실험 결과

실험 횟수	측정 거리 [m]	실제 거리 [m]	오차 [m]	정확도 [%]
1	18.30	18.64	-0.34	98.17
2	15.50	15.87	-0.37	97.66
3	19.5	18.7	0.8	95.73
4	20.21	19.4	0.81	95.81
5	17.97	16.75	1.22	92.72
6	15.95	14.96	0.99	93.39
7	22.00	21.6	0.4	98.15
8	20.41	20.24	0.17	99.71
9	17.54	16.9	0.74	96.22
10	20.00	19.2	0.8	95.84

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 방향 추정 실험

발 부착형 IMU를 이용한 보행 방향과 허리 부착형 IMU를 이용한 보행 방향의 성능을 분석하기 위해서 서로를 비교하는 실험을 수행하였다. 실험 결과들은 보행자의 방향을 결정할 수 있는 각속도 센서와 지자기 센서의 측정치를 비교하였다. 또한, 회전 방향에 따라 성능을 분석하기 위해 좌측 회전과 우측 회전 각각 실험하였으며, 발 부착형 IMU의 경우 왼쪽 발 뒷꿈치에 부착되었다.

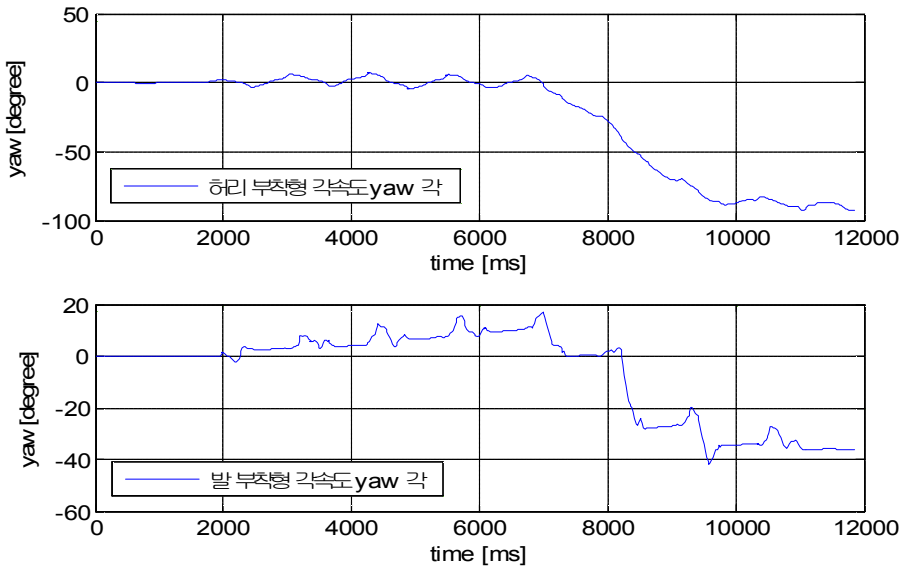

그림 24. 각속도 yaw 각 우측 90도 회전 측정 결과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

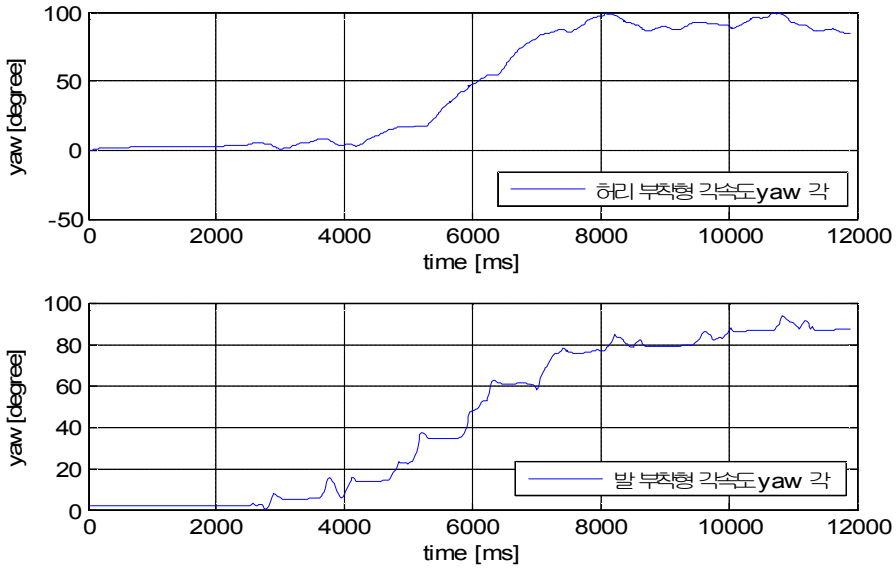

그림 25. 각속도 yaw 각 좌측 90도 회전 측정 결과

그림 24와 25는 각속도 센서를 이용하여 우측 방향과 좌측 방향 90도 회전을 측정한 실험이다. 허리 부착형 IMU의 각속도 yaw 각의 경우 90도에 근사한 방향이 모두 측정되었으며, 발 부착형 IMU의 각속도 yaw 각에 비해 보다 선형적으로 측정되었다. 발 부착형 IMU의 yaw 각은 보행 중 발의 움직임에 의한 오차가 발생하여 선형적으로 측정되지 않으며, 그림 24의 아래처럼 IMU가 부착된 발의 반대 방향 회전의 경우, 90도 회전을 측정할 수 없었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

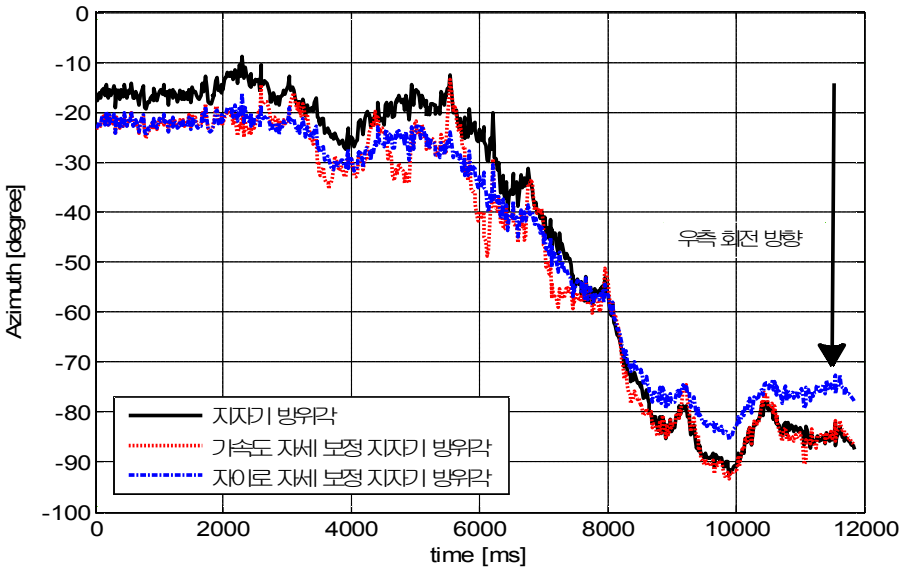

그림 26. 허리 부착형 지자기 센서 방위각 우측 90도 회전 측정 결과

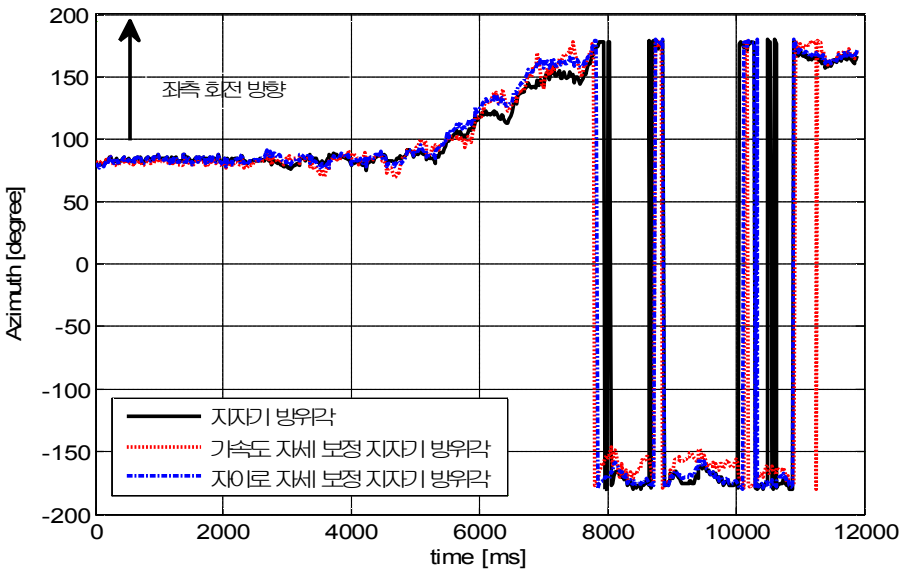

그림 27. 허리 부착형 지자기 센서 방위각 좌측 90도 회전 측정 결과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

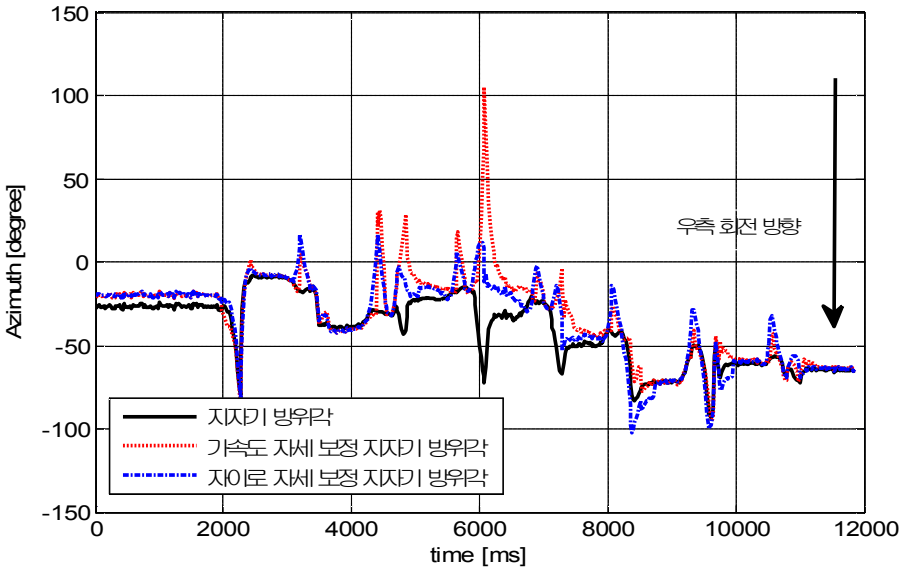

그림 28. 발 부착형 지자기 센서 방위각 우측 90도 회전 측정 결과

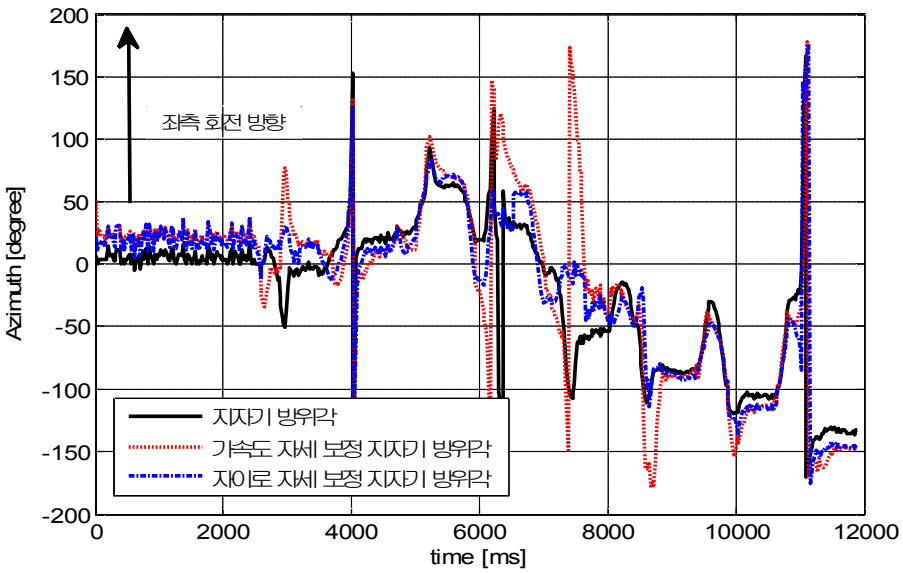

그림 29. 발 부착형 지자기 센서 방위각 좌측 90도 회전 측정 결과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다음은 지자기 센서 측정치의 방위각 비교 실험을 진행하였다. 그림 26과 28은 우측 90도 회전을 포함한 방위각을 측정하였으며, 그림 27과 29는 좌측 90도 회전을 포함한 방위각을 측정하였다. 또한 지자기 측정치에 IMU에 자세에 따른 보정을 수행한 결과를 비교하였다. 보정한 자세 정보는 가속도 센서와 각속도 센서의 측정치를 이용하여 roll, pitch를 측정 하였으며 식 (15)를 이용하여 보정하였다.

허리 부착형 IMU의 지자기 방위각의 경우 발 부착형 IMU보다 선형적 측정이 가능하지만, 정확한 90도 회전 측정에 어려움이 있었다. 발 부착형 IMU의 지자기 방위각의 경우, 회전 측정과 선형성 모두 기대하기에 어려움이 있다. 이는 실내 바닥 환경에 지자기 교란이 발생하여 실제 정확한 방향을 얻는데 어려움이 있음을 의미한다. 또한, 보행 중 가속도 센서를 이용한 roll, pitch는 센서가 정적인 상태가 아니기 때문에 선형 가속도가 반영되어 roll, pitch의 정확도를 기대하기 어려워 방위각의 오차를 야기할 수 있었다. 반면 각속도 센서의 roll과 pitch는 보행 중에도 정확한 각을 반영할 수 있지만, 장시간 진행 될 경우 드리프트 오차가 누적되어 발산하기 때문에 보행 정지 상태를 검출하여 드리프트 오차를 초기화 해줄 필요가 있다.

4) 위치 추정 결과

본 논문에서 제안한 방향 추정 방법을 이용하여 보행자 위치 추정을 진행하였다. 보행 방향 추정은 식 (16)을 이용하고 식 (17)과 (18)을 통해 보행자의 X, Y 좌표를 계산하였으며, 그림 30과 31은 보행의 실험 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯 허리 부착형 IMU의 보행 초기 방향과 발 부착형 IMU의 보행 초기 방향은 차이가 남을 볼 수 있다. 이 차이로 발의 방향과 몸의 방향이 실제 진행방향과 다를 수 있다는 점을 알 수 있으며, 특히 발 부착형 IMU의 지자기 방위각의 경우 지자기 교란에 의해 초기 방향의 오차가 크게 발생할 수 있음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

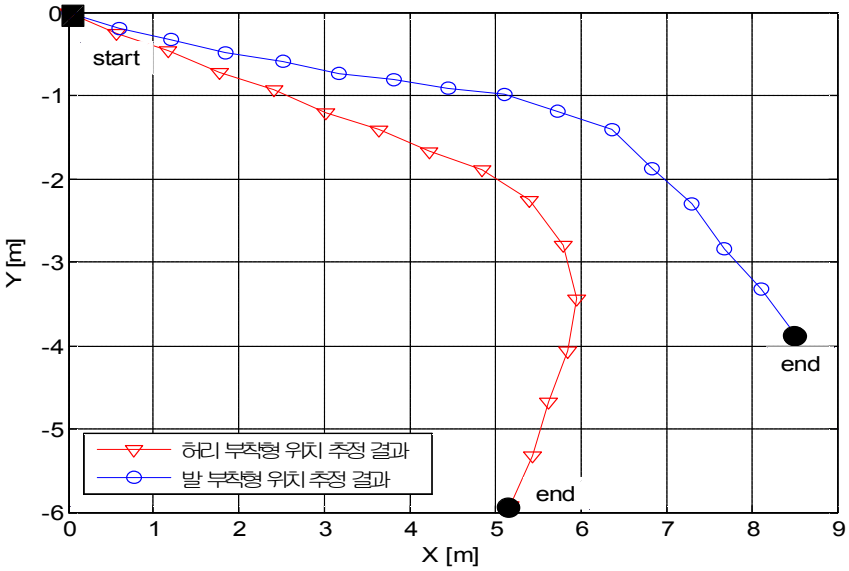

그림 30. 센서 부착 위치별 우측 90도 회전 보행 추정 위치 비교

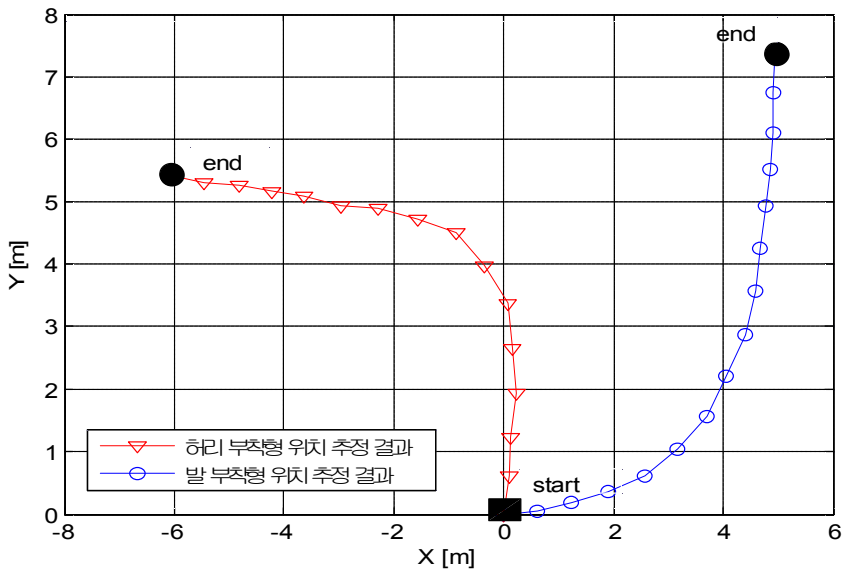

그림 31. 센서 부착 위치별 좌측 90도 회전 보행 추정 위치 비교

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 보행자 위치 추적 결과

위의 추정 및 검출 과정 실험을 통해서 보행자 방향 추정에 있어 허리 부착형 IMU의 보행 추정이 발 부착형 IMU의 방향 추정보다 안정적인 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 논문에서는 각 추정 및 검출과정을 IMU위치 별로 분리하여 걸음 검출 및 보폭 추정을 발 부착형 IMU에서 수행하였고, 보행자 방향 추정을 허리 부착형 IMU에서 수행하여 보행자 위치를 추정하였다. 그림 32와 표 4는 보통 걸음에서의 참고 위치와 비교한 결과이며, 그림 33과 표 5는 느린 걸음에서의 참고 위치와 비교하여 나타내었다.

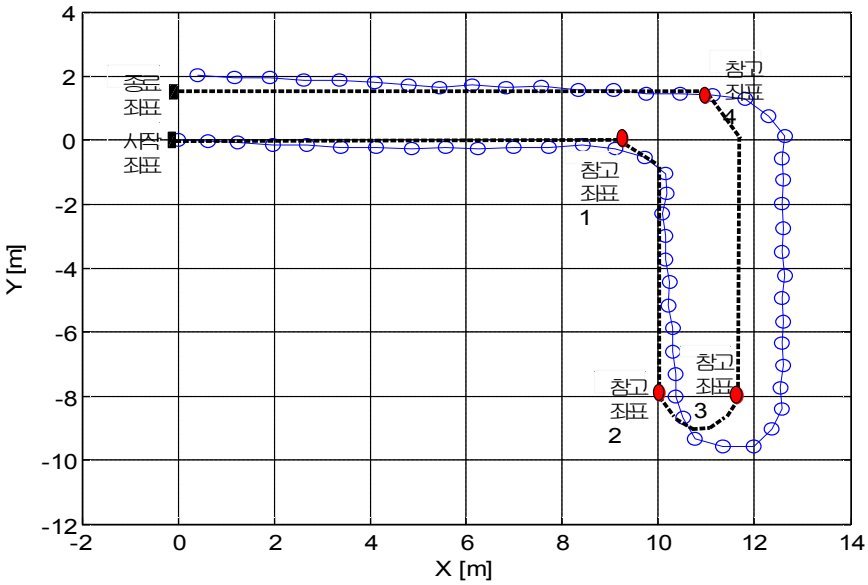

그림 32. 보통 걸음 속도 위치 추정 실험 결과

표 4. 보통 걸음 속도의 위치 오차

	실제 위치(x, y)	측정 위치(x, y)	위치 오차 [m]
참고 좌표 1	(9, 0)	(9.1, −0.24)	0.283
참고 좌표 2	(10, −8)	(10.35, −8)	0.350
참고 좌표 3	(11.8, −8)	(12.5, −8.4)	0.806
참고 좌표 4	(11, 1.35)	(11.8, 1.27)	0.804
종료 좌표	(0, 1.35)	(0.42, 2.0)	0.763

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

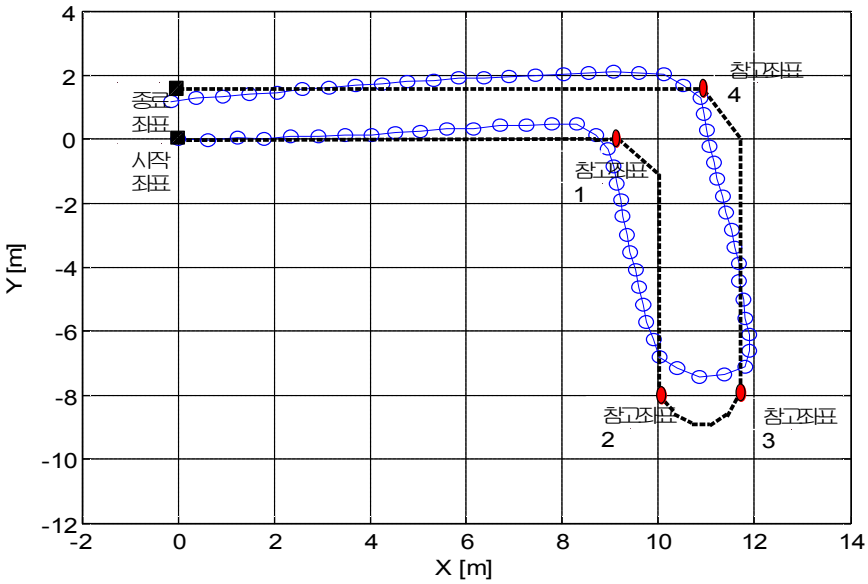

그림 33. 느린 걸음 속도 위치 추정 실험 결과

표 5. 느린 걸음 속도의 위치 오차

	실제 위치(x, y)	측정 위치(x, y)	위치 오차 [m]
참고 좌표 1	(9, 0)	(8,3, 0.46)	0.838
참고 좌표 2	(10, -8)	(10.03, -6.79)	1.21
참고 좌표 3	(11.8, -8)	(11.88, -6.61)	1.89
참고 좌표 4	(11, 1.35)	(10.1, 2.01)	1.87
종료 좌표	(0, 1.35)	(-0.15, 1.17)	0.234

직선 보행에서 보폭은 보통 걸음 속도와 느린 걸음 속도 모두 1m이내의 성능을 보였다. 보통 걸음 속도에서 참고 좌표3과 4의 위치 오차는 회전 구간에서 보폭이 보다 크게 반영되어 나타남을 알 수 있다. 이는 급격한 회전구간에서 보폭은 직선 보행에서의 보폭보다 더 적기 때문이다. 느린 걸음을 진행하는 동안 보통 걸음 속도보다 몸의 움직임의 더 크게 반영되어 회전 반경에 오차가 발생하였다. 느린 걸음에서도 참고 좌표3과 4의 위치오차는 회전 구간에서 보폭이 크게 반영되어 위치 오차가 발생함을 확인할 수 있었다. 보통 걸음 속도의 경우 0.9m 이내의 오차를 느린 걸음 속도의 경우 1.9m 이내의 오차가 나타났으며, 종료 좌표에서는 0.3m 이내 오차가 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

V. 결론

본 논문은 2개의 관성 측정 장치를 이용하여 PDR 시스템을 구현하였다. 일반적으로 PDR 시스템은 단일 관성 측정 장치의 PDR으로 구성되며, 크게 Waist-IMU PDR 시스템과 발 부착형 PDR 시스템이 있다. 단일 관성 측정 장치의 PDR 시스템은 부착위치에 따라 추정 과정에서 장·단점이 존재한다. 본 논문에서 부착 위치별 성능을 진행하였다. 허리 부착형 IMU PDR 시스템의 경우 지자기 센서와 각속도 센서의 측정치가 안정적이어서 방향 추정에 활용하기에 적합하였고, 발 부착형 IMU PDR 시스템의 경우, 지자기 센서는 지자기 교란에 의해 정확한 방위각을 측정 할 수 없었으며 각속도 센서는 발의 움직임에 따른 각도 오차가 발생하여 방향 성분을 활용하기엔 어려웠지만 정확한 걸음을 측정하는데 장점이 있었다.

본 논문에서 허리 부착형 IMU에서 보행 방향을 추정하는 방법을 제안하였으며, 발 부착형 IMU를 이용하여 걸음 및 보폭 검출 방법을 제안하였다. 발 부착형 IMU에 ZARU 알고리즘을 이용한 정적상태 검출기로 각속도 센서의 드리프트 오차를 제거하는데 활용하여 각속도 센서를 이용한 걸음 검출 성능을 향상 시킬 수 있었으며, 보행 정지 상태를 검출하여 허리 부착형 IMU의 각속도 센서의 자세를 가속도 센서의 자세로 초기화하여 드리프트 오차를 제거하여 지자기 보정에 성능 향상을 볼 수 있었다. 제안한 각속도 pitch 각을 이용한 걸음 검출의 경우 최소 97%의 정확도를 볼 수 있었으며, 걸음 주파수를 이용한 보폭 실험의 경우 최소 92%의 정확도를 볼 수 있었다. 제안한 PDR 시스템의 보행 실험에서 보통 걸음의 경우 0.9m 이내의 위치 오차를 보였으며, 느린 걸음의 경우 참고 좌표에서 1.9m 이내의 오차를 보였지만 종료 좌표에서 0.3m 이내 오차를 확인할 수 있었다.

다중 IMU를 결합한 PDR 시스템은 단일 IMU PDR 시스템의 장점을 가져와 구성할 수 있는 장점도 있지만, 보행자 상·하체의 자세를 추정 할 수 있는데 장점이 있다고 본다. 이후, 여러 센서들을 결합하여 검출과 추정과정을 보안한다면 보다 높은 위치 추정 정확도를 얻을 수 있다고 본다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고 문헌

[1] D. Tancharoen and K. Aizawa, “Wearable Video Retrieval and Navigation System using GPS Data”, IEEE International Conference Computer and Information Technology, Jul. 2010.

[2] Yuntaka Masumoto, “Global positioning system”, US patent 5210540A, Jun. 1992.

[3] D. G. Steer, L. Strawczynski, and J. Michael Watters, “Combining GPS TOA/TDOA of cellular signals to locate terminal”, US Patent 5982324A, May. 1998.

[4] 김진영, 서철헌, “무선 측위 시스템”, 공감북스, 2016.

[5] 김범곤, 김관형, “무선 위치 인식 기술 소개”, 대한토목학회지, 제 58권. 제 10호, pp. 65-67, 2010.

[6] X. Yuan, C. Liu, S. Zhang, S. Yu and S. Liu, “Indoor pedestrian navigation using miniaturized low-cost MEMS inertial measurement units”, Position, Location and Navigation Symposium, Jul. 2014.

[7] A. R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto and J. Guevara, “A Comparision of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU”, IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Aug, 2009.

[8] X. Yuan, C. Liu, S. Zhang, S. Yu and S. Liu, “Indoor pedestrian navigation using miniaturized low-cost MEMS inertial measurement units”, Position, Location and Navigation Symposium, Jul. 2014.

[9] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, “RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system”, INFOCOM 2000, Mar. 2000.

[10] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, “Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting”, Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Service, Aug. 2004.

[11] F. Alizadeh-Shabdiz, R. K. Jones, E. J. Morgan, and M. G. Shean, “Location beacon database and server, method of building location

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

beacon database, and location based service using same", Patent WO2006110181, Oct. 2004.

[12] O. Costilla-Reyes and K. Namuduri, "Dynamic Wi-Fi Fingerprinting Indoor Positioning System", International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Oct. 2014

[13] Hongyu Wang, Zhanhao Zhanhao Zhao and Jialiang Hu, "Study on Improvement of Fingerprint Matching Algorithm in Wireless LAN Based Indoor Positioning System", Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parrallel/Distributed Computing (SNPD), Jun. 2016.

[14] E. Foxilin, "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensor", IEEE Computer Graphics and Application, Vol 25, page 38-46, Nov. 2005.

[15] Estefania Munoz Diaz and Ana Luz Mendiguchia Gonzalez, "Step detector and step length estimator for an inertial pocket navigation system", Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2014 International Conference, Sep. 2015.

[16] S. H. Shin, C. G. Park, J. W. Kim, H. S. Hong, and J. M. Lee, "Adaptive Step Length Estimation Algorithm Using Low-Cost MEMS Inertial Sensors", Sensors Applications Symposium, IEEE, Feb. 2007.

[17] E. M Diaz, A. L. M. Gonzalez and F. de Ponte Muller, "Standalone inertial pocket navigation system", Position, Location and Navigation Symposium, IEEE, Jul. 2014.

[18] F. Woyano, Soyeon Lee and Sangjoon Park, "Evaluation and comparison of performance analysis of indoor inertial navigation system based on foot mounted IMU", Advanced Communication Technology (ICACT), Jan. 2016.

[19] A. R. Jimenez, F. Seco and J. C. Prieto, "Indoor pedestrian navigation using an INS/EKF framework for yaw drift reduction and a foot-mounted IMU", Positioning Navigation and Communication (WPNC), Mar. 2010.

Collection @ chosun