

GPS와 추측방법을 이용한 개인휴대 항법시스템

Personal Navigation System Using GPS and Dead Reckoning

홍진석, 윤선일, 지규인
(Jin Seok Hong, Seon Il Yoon, and Gyu-In Jee)

Abstracts : In this paper, a personal navigation system is developed using GPS and dead reckoning sensors. This personal navigation system can be used to track a person inside a building, on an urban street, and in the mountain area. GPS can provide accurate absolute position information, but it can't be used without receiving enough satellite signals. Although the inertial sensors such as gyro and accelerometer can be used without this difficulty, the inertial sensors severely suffer from their drift errors and the magnetometer can be easily distorted by surrounding electromagnetic field. GPS and DR sensors can be integrated together to overcome these problems. A new personal navigation system that can be carried with person is developed. A pedometer, actually vertically mounted accelerometer, detects one's footstep and gyro detects heading angle. These DR sensors are integrated with GPS and the human's walking pattern provides additional navigation information for compensating the DR sensors. The field tests are performed to evaluate the proposed navigation algorithm.

Keywords : dead-reckoning, GPS, pedometer, gyroscope, personal navigation, kalman filter

I. 서론

GPS와 같은 손쉬운 항법 수단이 널리 쓰이게 되면서 기존의 항법시스템처럼 비행기나 자동차 같은 항체가 아닌 사람의 위치를 파악하고 추적하는 개인 휴대 항법시스템의 개발이 가능하게 되었다. 또한 이동통신 시스템에서의 응급구조 서비스(E911), 경로안내시스템 등과 같은 위치기반 서비스의 필요성이 증대하면서 개인 위치추적시스템의 개발이 필요하게 되었다.

개인휴대항법에 사용될 수 있는 방법으로 추측항법(Dead Reckoning), 관성항법(Inertial Navigation System), 전파항법(Radio Navigation System) 등이 있다. 대표적인 전파항법 시스템인 GPS는 어디서나 손쉽게 사용자의 위치와 속도 정보를 얻을 수 있고 시간에 따른 오차 누적이 없지만, 위성신호를 수신할 수 없는 상황, 즉 도심이나 숲, 실내에서는 사용할 수 없는 단점이 있다[1]-[4]. 관성항법의 경우 외부 정보에 의존하지 않고 연속적으로 항법정보를 얻을 수 있으나 고가의 관성 센서를 사용하지 않는 한 센서 오차로 인해 원하는 성능을 기대할 수 없다[5]. 추측항법을 도보로 이동하는 사람에게 적용할 경우 차량과는 달리 이동거리를 알아내는 주행거리계(Odometer)를 부착할 수 없다. 또한 저가의 관성 센서 정보를 관성항법과 같은 방식으로 처리하여 위치를 계산하는 경우 일반적으로 속도오차가 시간에 따라 누적된다. 이러한 문제들을 해

결하기 위해 새로운 방식의 알고리즘이 필요하다.

사람의 보행특징을 이용하여 걸음을 검출하고 걸음 정보를 GPS와 결합하면 안정적인 속도정보를 얻을 수 있다[6]. 또한 GPS의 방향정보를 이용하여 추측항법의 방향오차를 줄일 수 있다[7][8]. GPS를 이용할 수 있는 실외에서는 GPS와 함께 추측항법을 이용하여 성능을 개선할 수 있고 GPS를 이용할 수 없는 장소, 특히 실내에서는 추측항법 단독으로 위치를 결정할 수 있다. 저가 저급의 관성센서를 사용하는 추측항법의 경우 많은 누적 오차로 인해 센서 보정이 반드시 필요하다. 개인휴대항법 시스템에서는 걸음검출방법을 이용하여 속도를 얻을 수 있고, 전자나침반으로부터 절대 방위각을 구하거나 자이로의 각속도를 적분하여 방향을 결정할 수 있다[9][10]. 그러나 실내의 왜곡된 자장은 전자나침반의 방향에 오차를 일으키게 하고, 자이로 바이어스와 드리프트 또한 방향 오차 발생의 원인이 된다. 두 센서로부터 얻은 방향 오차를 보상하기 위해 칼만필터를 이용한 결합방식과 보행특징을 이용한 제한보행 방식을 적용할 수 있다.

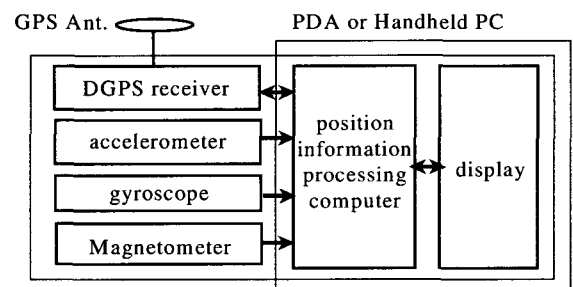


그림 1. 휴대용 위치정보 시스템.
Fig. 1. Portable navigation system.

접수일자 : 2000. 6. 23., 수정완료 : 2001. 2. 5.

홍진석, 지규인 : 건국대학교 전자정보통신공학과(miseok@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr)

윤선일 : LG 이노텍(siyoon@lginnotek.com)

※ 본 논문은 정보통신부 대기기초연구 지원사업에 의하여 연구되었습니다.

본 논문에서는 사람이 도보로 이동하면서 사용할 수 있는 걸음계수방식의 새로운 추측항법을 이용하여 GPS와 결합한 형태의 실외 및 실내에서 사용 가능한 개인휴대 항법 시스템을 제안한다. 그림 1은 제안하는 개인휴대 항법 시스템의 구성을 보여준다.

II. 개인휴대 항법을 위한 걸음계수방식의 추측항법 알고리즘

저가의 관성 센서를 사용하는 경우 일반적인 스트랩다운 방식으로는 정규오차를 보상하여도 비정규 오차에 의하여 성능이 급격히 나빠지는 현상을 볼 수 있다. 따라서 스트랩다운 관성항법 방식이 아닌, 사람의 걸음을 감지하여 이동거리를 계산하는 추측항법 방식의 항법알고리즘을 사용한다. 전자나침반을 이용하여 방위각을 측정하고 가속도계를 이용한 전자 보행계 (Electronic Pedometer)를 사용하여 사용자의 위치를 계산한다.

1. 추측항법 알고리즘

추측항법에 사용되는 센서는 동작검출(Motion Sensing)과 방향검출(Heading Sensing)의 범주에 속한다. 추측항법은 그림 2와 같이 이미 위치를 알고 있는 한 점에서 진행 방향 속도 및 자세각을 이용하여 새로운 위치를 계산하는 항법 방식이다. 추측항법의 위치해결 구하는 식은 다음과 같다[7] [11].

$$\begin{aligned}
 x_n &= x_0 + \sum_{i=0}^{n-1} d_i \cos \theta_i \\
 y_n &= y_0 + \sum_{i=0}^{n-1} d_i \sin \theta_i \\
 \theta_n &= \sum_{i=0}^{n-1} \omega_i
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

추측항법은 항법 계산 주기동안 항체의 진행 궤적을 직선으로 가정하여 위치 변화를 계산하고 그 값을 이전 시간의 값에 누적시켜 위치를 계산하므로 일반적으로 시간이 경과함에 따라 위치오차가 누적된다.

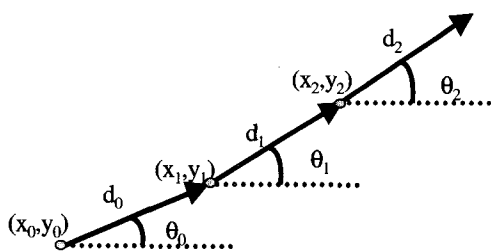


그림 2. 추측항법 알고리즘.
Fig. 2. Dead-reckoning algorithm.

2. 걸음 검출

추측항법을 위해서는 사람의 보행이동에 따른 속도 혹은 이동거리에 대한 정보를 만들어야 한다. 차량에서 사용하는 주행거리계(Odometer)처럼 사람의 걸음

수를 추정할 수 여기에 보폭을 곱하면 일정시간동안 이동한 보행거리를 계산할 수 있다. 걸음 수를 세기위한 한 가지 방법으로 사람의 등에 수직 방향으로 가속도계를 설치하여 걸음에 따른 충격 혹은 가속도의 변화형태를 사용할 수 있다. 사람의 한 걸음 동안의 수

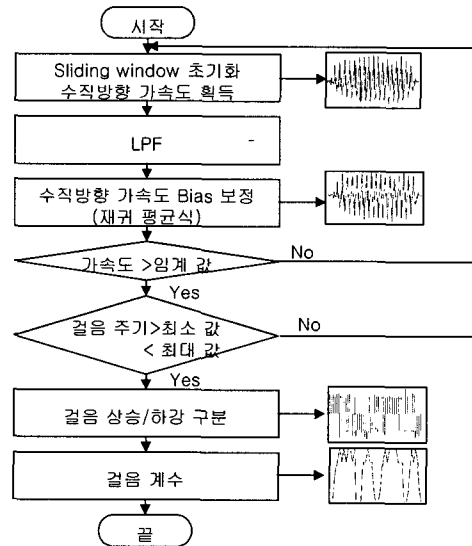


그림 3. 걸음 검출 알고리즘.
Fig. 3. Foot detection algorithm.

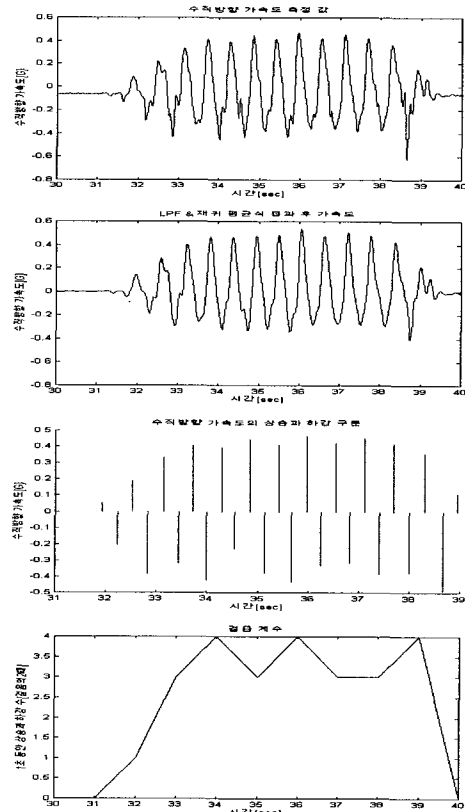


그림 4. 원시데이터 처리과정.
Fig. 4. Processing of raw measurement data.

직방향 가속도는 발걸음이 지면에 닿고 떨어짐에 따른 가속도에 의한 상승곡면과 하강곡면으로 이루어져 있다. 측정된 수직방향의 가속도 값을 저역 통과필터 처리를 한 후 재귀평균식(recursive mean)을 이용하여 가속도 출력의 상승곡면과 하강곡면을 구분하면 매 걸음에 따른 펄스를 얻을 수 있다. 이 펄스를 계수하면 걸음 수를 셀 수 있다. 이상과 같은 걸음검출 알고리즘과 각 부분을 통과한 파형을 그림 3에, 각 부분에 대한 원시데이터 처리과정을 그림 4에 나타냈다. 그림 4의 두번째 그림에 바이어스가 없는 이유는 재귀평균식을 이용하여 바이어스가 보정되었기 때문이다.

3. 보폭 추정

걸음계수 방법으로 사람의 보행 속도를 추정하기 위해서는 각 개인마다의 보폭을 알아야 한다. 보폭을 추정할 수 있는 방법으로는 실제 알고 있는 거리를 걸어 걸음 수로 나누는 평균 보폭방법, GPS를 이용하여 보폭을 추정하는 방법, 그리고 전진방향 가속도를 이용한 방법들을 고려할 수 있다. 평균보폭을 이용한 방법은 우선, 보폭 추정을 위한 시험 구간의 실제 거리를 알고 있어야 하고 시험 도중 걸음 형태가 바뀔 때 오차가 발생한다. GPS를 이용하는 방법은 GPS 신호를 수신할 수 있는 장소에서 사용할 수 있으며, 일정구간 동안의 보행 거리를 GPS로 측정하여 이를 걸음수로 나누어 보폭을 계산할 수 있다. 반면 GPS 신호를 수신할 수 없는 곳에서는 사용이 불가능하며 GPS 오차로 인해 단거리 보행에서는 보폭 추정 오차가 상대적으로 커지게 된다. GPS를 사용할 수 없는 곳에서 전진방향의 가속도를 측정하여 보행거리에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이 경우, 한 걸음동안의 가속도 성분을 적분하여 속도와 거리를 구하게 되는데 중력가속도 성분을 초기 보폭 결정을 위하여 보상해주어야 한다.

이미 알고있는 거리를 도보로 이동하여 총 거리를 걸음수로 나누어 평균 보폭을 구하고 이를 이용하여 보행 실험을 하였으며 환산계수를 구하는 식은 (2)와 같다. GPS와 추측방법이 통합된 시스템의 경우에는 GPS정보를 이용하여 보폭을 추정하였다

$$\text{환산계수} = \frac{\text{이동거리}}{\text{총 걸음 수}} \quad (2)$$

III. GPS 와 관성센서 통합 알고리즘

GPS를 사용할 수 있는 실외에서는 GPS와 함께 추측방법을 결합하여 보폭과 방향각을 보정한다. GPS 정보의 정확도는 일반적으로 시간에 따라 오차가 누적되지 않는 안정된 성질을 가지고 있다. 그러나 GPS는 신호를 얻을 수 없는 숲, 도심, 터널, 실내 등에서 사용이 제한된다. 이에 반해 DR은 외부로부터의 정보에 의존하지 않고, 연속적인 위치정보를 제공하기 때문에 GPS를 이용할 수 없는 곳에서도 사용할 수 있다. 그러나 오차누적으로 인해 시간에 따라 항법 성능이 급격히 저하된다. 따라서 특성이 다른 두 시스템인 GPS와 DR의 통합을 통해 두 시스템의 단점을 보완하여

보다 개선된 항법해를 구할 수 있다. GPS/INS 혹은 GPS/DR 통합 기법은 센서 오차의 상태변수를 GPS 정보를 이용하여 추정하는 방법이다. 본 논문에서는 GPS의 측정값과 여러 DR 센서들을 결합하는 새로운 통합항법시스템을 칼만 필터를 이용하여 구성한다 [8] [12].

1. GPS와 추측 방법을 이용한 통합 항법 알고리즘

전자나침반과 가속도계로 구성된 추측항법과 GPS를 결합한 통합항법 알고리즘의 구성도는 그림 5와 같다.

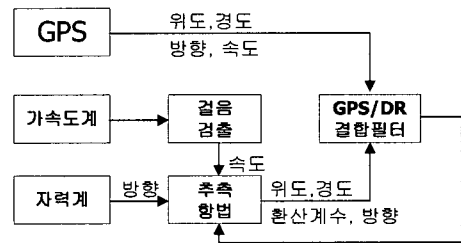


그림 5. GPS와 통합된 걸음계수 방식의 추측항법 알고리즘.

Fig. 5. GPS/Electro pedometric dead-reckoning navigation algorithm.

가속도계를 이용하여 계산된 사람의 보행거리에 대한 정보와 전자나침반에서 측정되는 진행 방향에 대한 정보를 사용하는 추측항법 알고리즘은 시간에 따라 오차가 커지기 때문에 GPS로부터의 정보를 이용하여 보정을 한다. 통합을 위한 방법으로 약결합 방식(loosely coupled approach)의 칼만 필터를 사용하였다[9] [11] [13]. 평면 보행만을 고려하여 DR 시스템을 꾸미면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{L} &= \frac{V_N}{(R_N + h)} \\ \dot{l} &= \frac{V_E}{(R_N + h) \cos L} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, L : 위도, l : 경도, R_N : 지구반지름, h : 고도, V_N : 북쪽방향 속도, V_E : 동쪽방향 속도

(3)의 속도 성분은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_N &= S_0 N \cos \Psi \\ V_E &= S_0 N \sin \Psi \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, S_0 : 보폭, N : 걸음 수, Ψ : 방향 따라서 DR식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \dot{L} &= \frac{(1 + S_0) N \cos \Psi}{(R_N + h)} \\ \dot{l} &= \frac{(1 + S_0) N \sin \Psi}{(R_N + h) \cos L} \end{aligned} \quad (5)$$

오차 모델을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta \dot{L} &= \frac{N \cos \psi}{(R_N + h)} \delta \dot{S}_o - \frac{S_o N \sin \psi}{(R_N + h)} \delta \dot{\psi} \\ \delta \dot{L} &= \frac{N \sin \psi}{(R_N + h) \cos L} \delta \dot{S}_o + \frac{S_o N \cos \psi}{(R_N + h) \cos L} \delta \dot{\psi} + \frac{S_o N \sin \psi \sin L}{(R_N + h) \cos^2 L} \delta \dot{L} \end{aligned} \quad (6)$$

칼만필터의 상태변수는 위도, 경도, 보폭 환산계수, 방향은 다음과 같은 상태 변수와 상태변수식으로 모델링 한다.

$$\begin{aligned} \delta \dot{S}_o &= 0 \\ \delta \dot{\psi} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

전체 모델식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \delta \dot{L} \\ \delta \dot{L} \\ \delta \dot{S}_o \\ \delta \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{N \cos \psi}{R_0} & -\frac{S_o N \sin \psi}{R_0} \\ \frac{S_o N \sin \psi \sin L}{R_0 \cos^2 L} & 0 & \frac{N \sin \psi}{R_0 + \cos L} & \frac{S_o N \cos \psi}{R_0 \cos L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta L \\ \delta L \\ \delta S_o \\ \delta \psi \end{bmatrix} + w_t \quad (8)$$

여기서 $R_N + h \approx R_0$ 로 근사 되었다.

IV. 실내 항법 알고리즘

GPS를 이용할 수 있는 장소에서는 비교적 안정적인 절대위치정보를 얻을 수 있다. 그러나 실내, 도심, 숲, 터널 등 GPS를 이용할 수 없는 장소에서는 추측항법을 사용할 수 밖에 없으며, 이 경우 오차누적으로 인해 항법 성능이 시간이 지남에 따라 저하된다. 특히 저가, 저급의 관성센서를 사용하는 시스템의 경우 급격한 성능 저하를 보인다. 가속도계를 이용한 보행계에 의한 제안된 개인휴대항법 시스템의 경우에는 저가, 저급의 관성센서를 사용하게 되며, 이동거리의 오차보다는 자이로와 전자나침반을 이용한 방향정보에 더 많은 오차가 시간에 따라 누적된다. 특히 건물내의 배전반, 통신기기, 모니터 등의 전기/전자기기들은 주변 자장을 심하게 왜곡시켜 전자나침반의 측정값에 큰 오차요인으로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 자이로와 전자 나침반을 칼만 필터를 이용하여 결합하는 방법과 보행을 직진과 회전으로 제한하는 제한보행 방식을 적용하면 급격한 성능 저하를 막아 상대적으로 안정된 항법 성능을 얻을 수 있다. 실내에서 개인휴대항법 시스템의 방향각 센서를 보정하기 위하여 그림 6의 자이로와 전자나침반을 결합한 형태와 그림 7의 직진과 회전의 보행형태에 의한 실내항법 시스템을 구성하였다[10].

1. 칼만필터를 이용한 방향각 결정 알고리즘

방향각을 얻기 위하여 전자나침반을 이용하게 되면 절대각을 얻을 수 있는 장점이 있지만 주변의 자기장의 왜곡으로 방향각에 불특정의 큰 오차가 발생할 수 있다는 단점이 있다. 자이로를 사용하여 방향을 구할 경우 자이로 출력값인 각속도를 적분하여 방향을 얻기 때문에 주변의 영향을 받지 않지만 자이로의 바이어

스와 드리프트에 의하여 방향각이 시간이 지남에 따라 발산하는 문제를 가지고 있다. 전자나침반과 자이로의 상반된 특성을 잘 결합한다면 안정된 방향각 출력을 얻을 수 있다. 칼만 필터를 이용하기 위하여 (9)와 같은 형태의 시스템 모델을 사용하여 센서를 결합하였다.

$$\begin{aligned} \dot{B} &= w \\ B &= \varphi_{Mag} - \varphi_{Gyro} + v \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 B : 자이로의 바이어스, w, v : 백색잡음, φ_{Mag} : 전자나침반 방향, φ_{Gyro} : Gyro 방향.

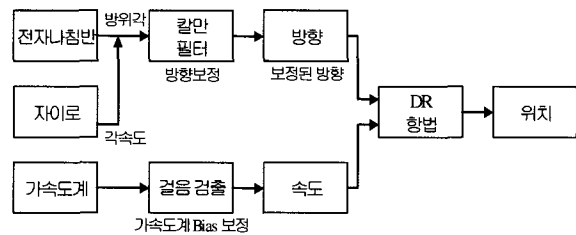


그림 6. 칼만 필터에 의한 실내 항법 블록도.
Fig. 6. Block diagram of indoor navigation using Kalman filter.

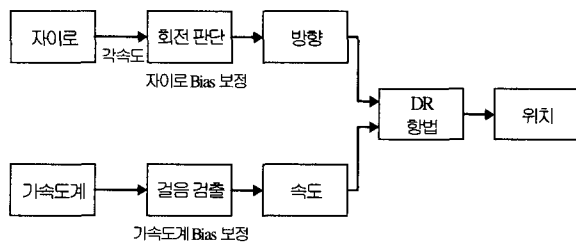


그림 7. 직진과 회전의 제한보행 방식의 실내 항법 블록도.
Fig. 7. Indoor navigation using restricted walking pattern.

2. 자이로를 이용한 직진과 회전의 제한보행 방식

실내에서 전자나침반을 사용하는 경우, 주변 자장의 영향으로 전자나침반으로부터의 측정값을 방향각으로 사용하기 어려운 상황이 자주 발생하게 된다. 이러한 이유로 자이로 측정값만을 이용하여 방향각을 결정하는 경우를 고려할 수 있다. 이때 자이로의 드리프트 오차를 보정하기 위해서는 자이로 측정값 이외의 추가적인 정보가 필요하게 된다. 예를 들어 차량항법의 경우처럼 정지한 경우 몸을 좌우로 회전하지 않는다는 가정을 이용하여 이 순간의 자이로 바이어스를 보정할 수 있다. 그러나 이러한 보정방법을 사용한다 하더라도 계속적인 보행을 통하여 자이로에 의한 방향각 오차는 계속 증가한다. 그러므로 주행 중 자이로의 오차를 보다 정확하게 보정하기 위해서는 사람의 보행형태에 대한 추가적인 정보가 필요하다.

실내 항법을 사용하는 하나의 응용 분야인 실내에서

무선통신 전파환경을 측정하는 시스템을 고려해보도록 하자. 측정하는 사람은 전파측정 장비와 위치측정 장치를 몸에 휴대하고 빌딩 건물 속을 걸어 다니면서 실내에서의 전파환경을 측정한다. 이러한 시스템에서 요구하는 항법 성능은 수 m 이내이며, 저가의 항법장치를 사용한다. 이러한 경우 자이로 바이어스에 의한 방향각 오차를 줄이기 위한 하나의 방법으로 측정하는 사람의 보행형태에 대한 제한을 고려할 수 있다. 즉, 측정하는 사람의 보행이 일정한 방향으로의 직진과 그리고 짧은 기간동안의 상대적으로 큰 회전으로 구성되어 지도록 요구할 수 있다. 이러한 경우 자이로에 의하여 직진과 회전을 판단하게 되며, 직진 구간인 경우에는 자이로로부터 구해지는 방향각의 변화를 제한할 수 있다.

이 방법은 방향을 자이로만으로 구하기 때문에 GPS를 수신할 수 없는 실내, 지하, 빌딩 밀집지역에서 주변 자장의 왜곡에 무관하게 추가적인 외부 정보를 이용하지 않고 항법에 적용할 수 있다는 용이점은 있지만, 사람의 보행에 직진과 회전이라는 단순한 보행 제한을 두게 되어 일반적인 경우에 사용할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

3. 직진과 회전 판단

일반적인 직진 보행 형태는 개인마다 차이는 있지만 약 10도 내외의 좌우 흔들림이 있다. 그림8은 사각형 구간 보행 시 자이로의 출력으로 직진 구간에서의 좌우 흔들림과 회전구간에서의 큰 각속도를 볼 수 있다. 회전 또는 직진 보행의 판단은 자이로 출력이 일정시간 동안 임계값을 넘으면 회전구간으로 판단하고 나머지는 직진 보행구간으로 판단한다.

4. 자이로 바이어스 추정 및 회전각 측정

저급의 센서를 이용하는 시스템에서는 오차 누적에 의한 급격한 성능저하 문제가 발생하므로 특히 센서 보정이 중요하다. 자이로의 바이어스와 드리프트, 보행인의 걸음 특징, 장착오차에 의해 각속도에 오차가 발생한다. 직진과 회전 판단에 의하여 직진 구간으로 판단되면 자이로의 출력을 다음과 같은 제귀 평균식에 적용하여 자이로의 바이어스를 추정한다.

$$\hat{B}_n = \left(\frac{n-1}{n}\right)\hat{B}_{n-1} + \left(\frac{1}{n}\right)G_i \quad (10)$$

여기서 \hat{B} : 보정된 자이로 바이어스, G_i : 직진구간에서의 자이로 출력값.

추정된 자이로 바이어스를 이용하여 회전 구간 동안 자이로 출력을 보정한 후 적분하여 회전각을 측정한다. 그림 8은 회전과 직진을 구분하는 임계값과 자이로의 출력에서 바이어스를 추정하는 구간을 나타낸다. 그림 9에서 보정된 자이로 출력이 시간이 지남에 따라 정지값에 수렴하는 것을 알 수 있다.

V. 개인휴대항법 시스템 구성

사용된 센서의 종류 및 사양은 표 1과 같다. 제안된

시스템의 성능을 분석하기 위하여 그림 10과 같이 프로토타입 항법 모듈을 제작하였다. 보행 실험 데이터를 획득한 후 Matlab/Simulink로 성능을 분석하였다. GPS와 전자나침반의 데이터는 직렬통신을 통하여, 가속도계와 자이로의 데이터는 A/D 보드를 통하여 항법 컴퓨터로 전달된다.

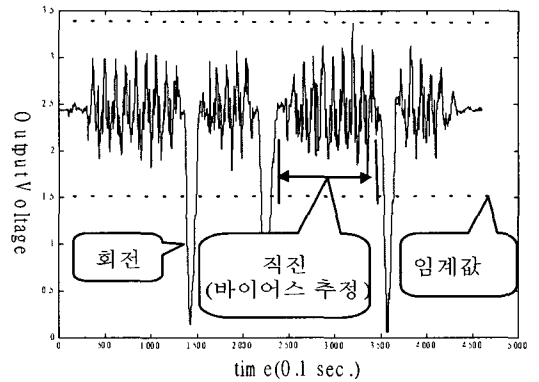


그림 8. 자이로 출력의 바이어스 추정.
Fig. 8. Bias estimation of gyroscope.

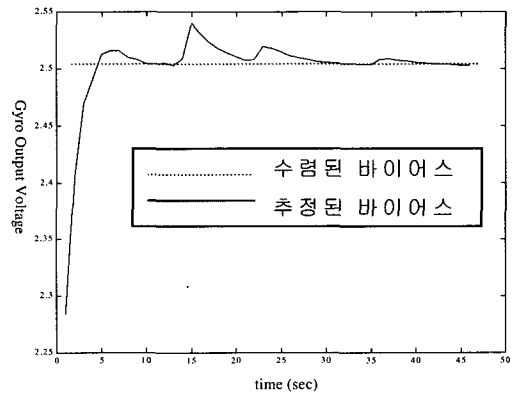


그림 9. 보정된 자이로 바이어스.
Fig. 9. Compensated gyroscope bias.

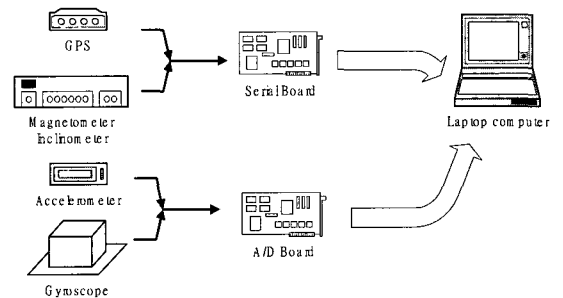


그림 10. 데이터 습득 모듈.
Fig. 10. Data acquisition module.

표 1. 센서의 성능 및 특성.

Table 1. Specification of sensors.

제품	자이로-Matsushita			가속도계	전자 나침반
	Roll	Pitch	Yaw	Sumitomo DMS-0038	TCM2-50
Sensitivity drift	-0.6%	1.2%	-1.8%	$\pm 2\%$	
Zero point drift	3.5%	-2.9%	3.8%	$\pm 20\text{ mg}$	
Scale factor	25.31	24.85	25.13	1v/1g	
Zero point output	2.52 v	2.52 v	2.50 v	2.5 v	
Output range	$\pm 60^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 2\text{ g}$	0~359.9 deg
Resolution	2.5mv	2.5mv	2.5mv	1 mg	0.1 deg

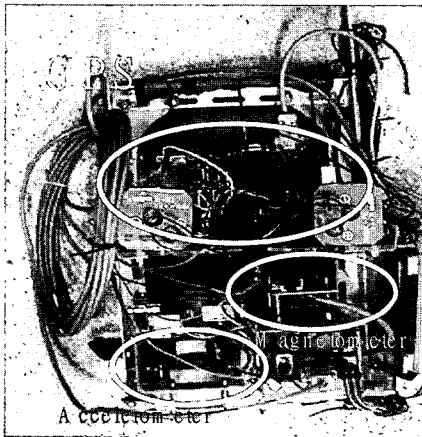


그림 11. 개인휴대항법 시스템 실제모습.
Fig. 11. Prototype of personal navigation system.

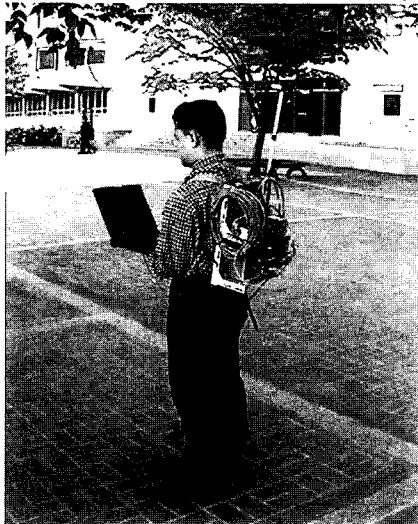


그림 12. 실험 장면.
Fig. 12. Picture of experiment.

VI. 실험 결과 및 분석

실험은 GPS를 이용할 수 있는 실외와 GPS를 이용할 수 없는 실내를 구분하여 실시하였다. 실외에서는 GPS/DR 결합 항법 실험을 하였고, 실내에서는 추측 항법만을 이용하는 실내 항법을 실험하였다.

1. GPS/DR 결합 실험

개발된 개인휴대항법시스템을 이용하여 건국대학교 교내에 있는 호수 주위를 일반적 걸음으로 보행하여 보폭간의 변화가 크지 않다. 보행하는 구간은 건물과 수목으로 인해 많은 위성신호를 수신할 수 없었다. 실험 중 보인 위성 수는 그림 13과 같고, 이때 GDOP은 그림 14에 나타냈다. 그림 14에서 GDOP를 계산할 수 없는 3개 이하 가시위성 일 때는 값을 1000으로 정하여 구분하였다. 실험은 760초 동안 수행되었으며 동시에 공과대학 옥상에 설치된 기준국을 이용하여 DGPS신호를 받아 개인휴대 항법 시스템의 성능을 비교 분석 하였다.

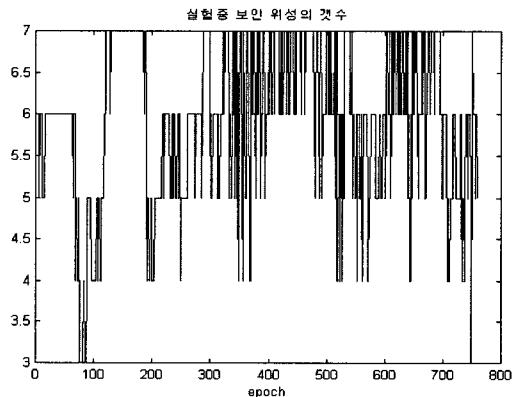


그림 13. 실험 중 관측된 위성의 개수.
Fig. 13. Number of satellite during the experiment.

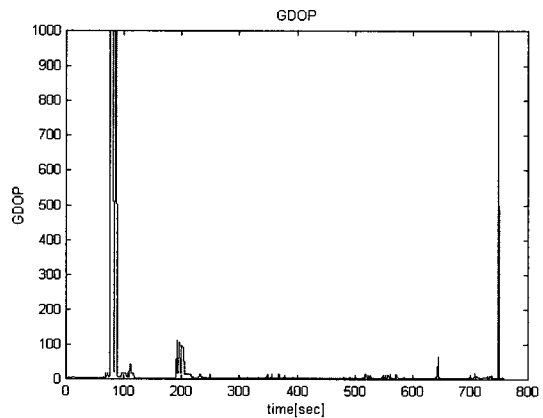


그림 14. 실험 동안의 GDOP.
Fig. 14. GDOP during the experiment.

GPS를 이용하여 보정을 하지않고 추측항법만을 이용하여 보행한 결과는 그림 15이고 전체 보행에 대한

추측항법의 위치오차는 그림 16에 나타냈다. 추측항법의 초기위치는 GPS위치를 사용하였다. 그림을 살펴보면 이동 거리가 증가함에 따라 추측항법의 위치오차가 증가 하는 것을 알 수 있다. 전체 이동 거리는 1000m 이고 오차는 대략 100m이므로 이동거리에 10% 정도의 오차가 발생했다. 그림16에서 x축은 이동 거리이며 초기 이동 구간인 0~200m까지는 주변환경이 건물로 인해 가시위성 수의 제한으로 정확한 GPS해를 구할 수 없어 생긴 오차이다. 이동거리 200~500m사이의 오차 증가율은 그림 15에서 A지점에서 발생한 방향오차가 계속 누적되어 발생한 것이고, 이동거리 500~1000m 구간에서는 그림 15의 B지점에서 방향오차가 줄어들고 위치가 바이어스된 결과이다. 그림 21에서 이동거리 구간 700~800m사이의 오차 증가율은 그림 20의 A지점에서 발생한 방향오차가 누적되어 발생하였고, 이동거리 구간 800~1000m 사이의 오차는 그림 20의 B지점에서 방향오차가 줄어들고 위치가 바이어스된 결과이며 이 결과로부터 방향의 오차가 위치 오차에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

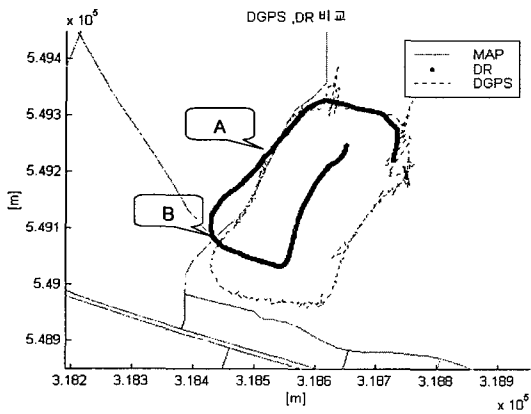


그림 15. 추측항법 보행 궤적.
Fig. 15. Trajectory of dead-reckoning navigation.

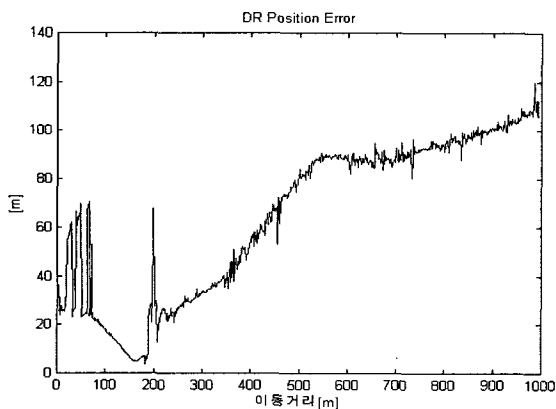


그림 16. 추측항법과 DGPS 사이의 위치 오차.
Fig. 16. Position difference between DR and DGPS.

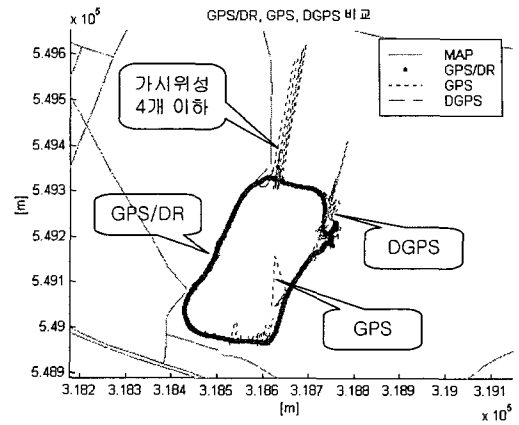


그림 17. GPS/DR 보행 궤적.
Fig. 17. Trajectory of GPS/DR navigation.

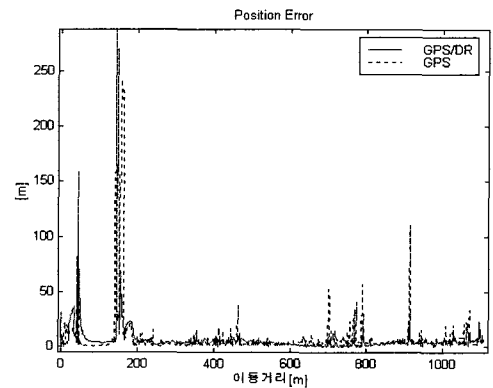


그림 18. GPS/DR 시스템 위치 오차.
Fig. 18. Position error of GPS/DR system.

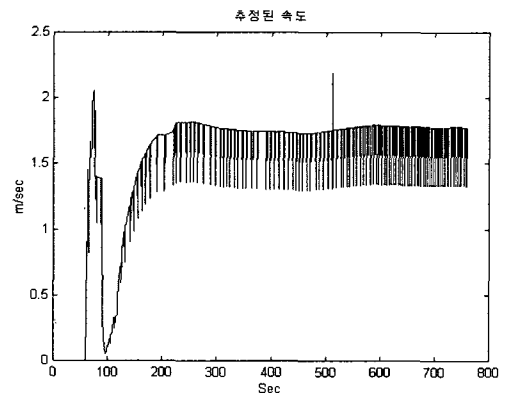


그림 19. GPS/DR 추정된 속도.
Fig. 19. Estimated velocity of GPS/DR system.

GPS와 통합된 GPS/DR 시스템의 보행결과는 그림 17과 같다. 그림에 GPS와 DGPS의 결과를 같이 나타냈다. 가시위성의 수가 감소하고 GDOP의 값이 커지면 GPS의 오차가 증가하므로 측정치 오차 공분산값을 증가시켜 GPS/DR의 성능을 개선시켰다. 이동 거리에 대한 위치 오차는 그림 18에 나타냈다. 그림 19는 결합

필터에 의해 추정된 속도이다. 그림을 살펴보면 초기 속도의 심한 변화는 GPS오차로 인한 것이고 시간이 지남에 따라 일정한 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이것

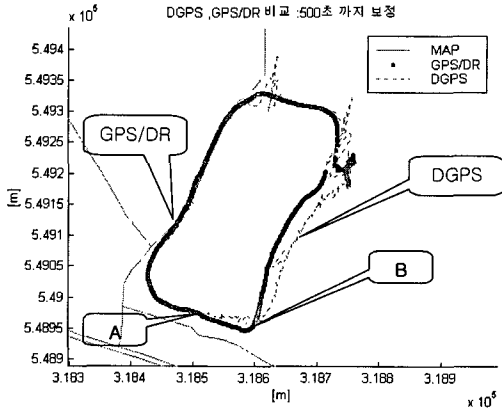


그림 20. GPS/DR 보행 궤적(500초 까지 보정).
Fig. 20. Trajectory of GPS/DR navigation (GPS off after 500s).

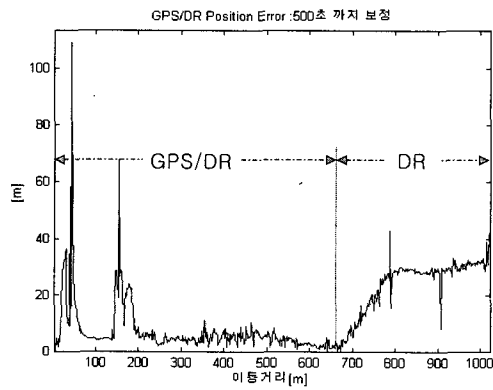


그림 21. GPS/DR 시스템 위치와 DGPS 위치 차.
Fig. 21. Position difference between GPS/DR and DGPS.

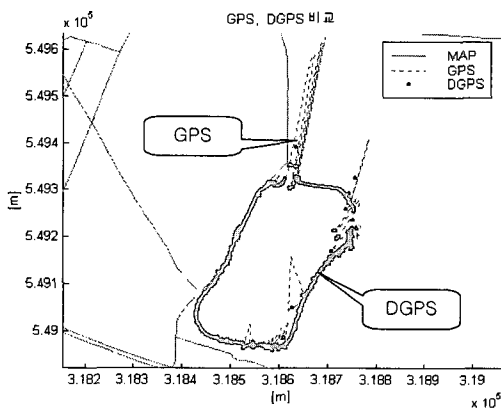


그림 22. GPS와 DGPS 보행 궤적.
Fig. 22. Trajectories of GPS and DGPS.

은 사람의 보폭의 변화가 보행 중에서는 크지 않으며 일정한 걸음을 걸어 환산계수 오차가 보정된 것이다. 그림 20과 그림 21은 전체 보행 시간 중 500초 동안만 GPS 보정을 수행하고 나머지 260초는 추측항법으로 보행한 결과이다. 개발된 시스템이 GPS 신호가 없는 동안에도 잘 동작하는 것을 알 수 있다. 그림 22는 SA가 제거된 상황에서의 GPS와 DGPS 위치를 나타낸 것으로 두 시스템간의 차이는 수m 이내이다.

2. 실내 항법 실험

실험은 가로 20m 세로 9m인 직사각형의 농구코트를 경로로 하여 실시하였고 출발점과 도착점이 일치하게 이동 경로를 설정하였다. 설정된 경로를 3회 반복하여 보행하였고 칼만필터를 이용한 방법과 자이로를 이용한 직진과 회전의 제한보행 방법을 이용하여 결과를 분석하였다.

3. 칼만필터 이용 방법

이 방법은 걷는데 따른 제약 조건이 없지만 주변환경, 자장 변화에 따른 전자나침반 방위각 측정 오차를 예측하기 어렵기 때문에 전자나침반의 절대방위각 정보를 이용한 자이로 드리프트 오차 보정이 효과적으로 이루어 지지 못한 경우가 자주 발생한다. 실제 경로에 비해 특정 구간이 휘어지는 그림 26은 그러한 결과를 잘 보여주고 있다.

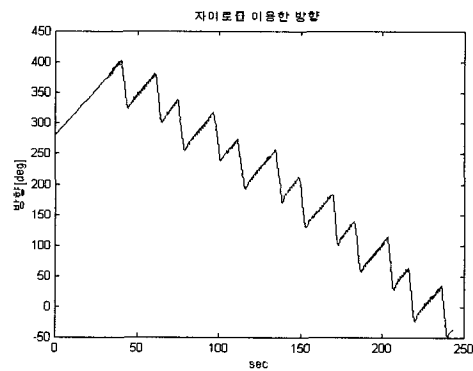


그림 23. 자이로에 의한 방향.
Fig. 23. Heading output using gyroscope.

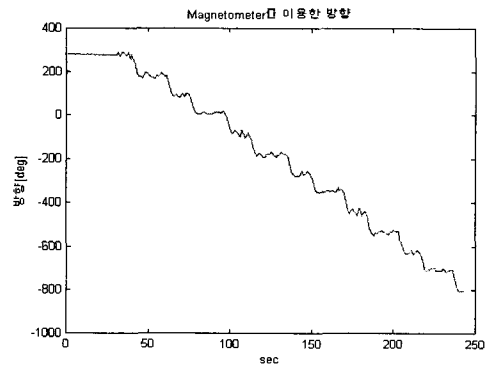


그림 24. 전자나침반에 의한 방향.
Fig. 24. Heading output of magnetometer.

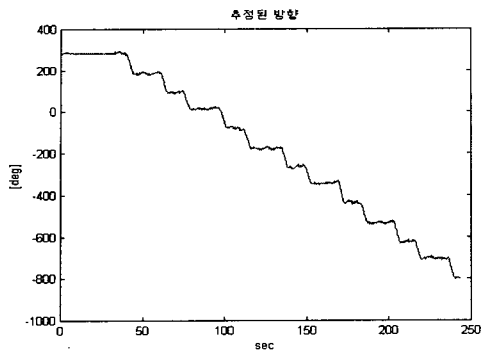


그림 25. 칼만 필터에 의한 방향.
Fig. 25. Heading output of Kalman filter.

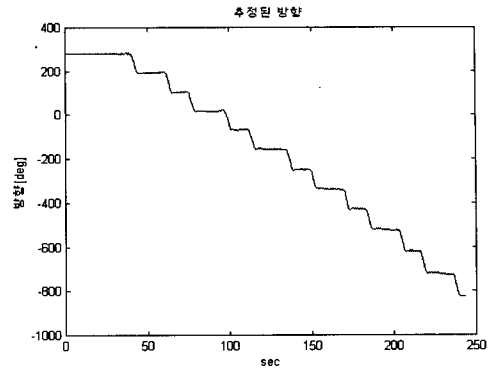


그림 27. 직진과 회전에 의한 4각형 경로의 방향각.
Fig. 27. Heading output of restricted navigation when walk along square path.

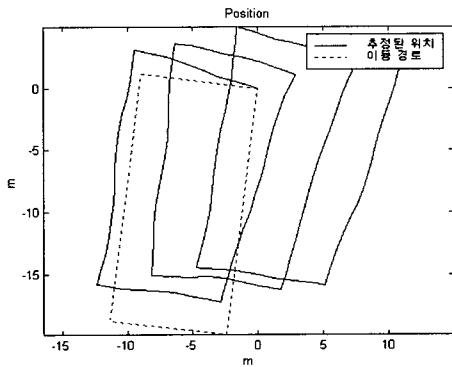


그림 26. 칼만 필터에 의한 결과 실내항법 결과.
Fig. 26. Trajectory of indoor navigation using Kalman filter.

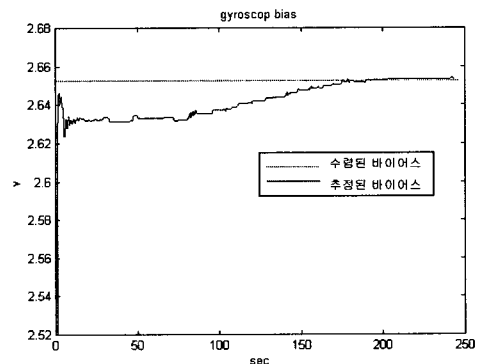


그림 28. 추정된 자이로 바이어스.
Fig. 28. Estimated bias of gyroscope.

칼만 필터를 이용해 전자나침반과 자이로를 결합한 결과는 다음과 같다. 그림 23은 직사각형 경로를 3회 반복하여 보행한 후 자이로의 출력을 적분하여 얻은 방향각으로 직진보행구간에서는 자이로의 드리프트에 의한 방향각 증가와 사람의 걸음형태에 의해 5도 내외로 방향각이 흔들리는 것을 알 수 있다. 그림 24는 전자나침반으로 구한 방향각으로 자이로와 같은 드리프트에 의한 오차는 없으나 주변자기장과 센서의 흔들림에 의해 출력이 심하게 왜곡되는 것을 알 수 있다. 그림 25는 칼만 필터를 사용하여 전자나침반과 자이로를 결합한 방향각의 출력이다. 직진구간을 살펴보면 자이로 방향각의 드리프트 오차가 보상된 것을 알 수 있고 전체 구간에서 전자나침반의 잡음 성분이 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 그림 26은 칼만 필터를 사용해 방향각을 결정하여 얻은 위치의 궤적을 실제경로와 함께 나타낸 것이다

4. 자이로를 이용한 직진과 회전의 제한보행 방법

사람의 보행형태가 직진과 회전만으로 구성됐다고 가정하고 자이로만을 이용하여 회전의 방향각을 결정할 수 있다. 제한보행 방식의 실내항법은 일반적인 형태의 항법보다는 한정된 장소에서 사용하거나 또는

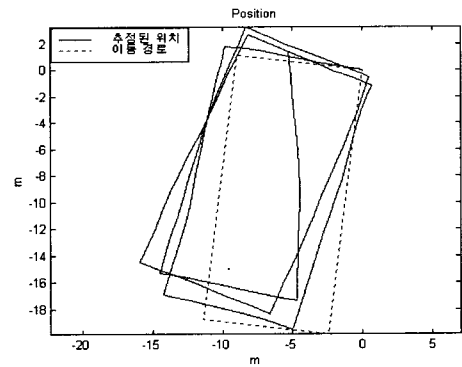


그림 29. 자이로에 의한 직진과 회전 결과 (직사각 경로).
Fig. 29. Trajectory of restricted navigation when walk along square path.

특수 목적에 사용할 수 있는 방법이다.

직진과 회전의 제한보행 방법을 이용하여 추측항법을 수행한 결과는 다음과 같다. 그림 27은 직사각형 경로를 직진과 회전 검출 알고리즘을 사용하여 얻은 방향각이다. 그림 28은 자이로를 이용하여 직진과 회

전을 구분하고 방향을 계산하기 위한 자이로 바이어스를 직진구간에서 추정된 결과다. 그림 29는 칼만 필터를 이용한 방향결합 성능분석 실험과 같은 직사각형 경로를 보행한 결과이고 실제 보행이 직진과 회전으로 구성되었기 때문에 칼만 필터를 이용한 경우에 비하여 개선된 성능을 보인다.

5. 실내 항법 성능 분석

실험에 대한 성능 분석은 걸음 검출 오차와 폐경로 보행후의 위치오차로 비교하여 표 2에 나타내었다. 걸음 검출 오차는 실험 구간의 실제 걸음과 검출한 걸음의 차이를 백분율로 나타낸 것이고 위치오차는 출발점과 도착점의 차이를 이동 거리에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 실험에서 출발점과 도착점의 위치는 동일하다. 방향오차는 전체 방향 변화량 1080 도에 대한 추정된 방향의 변화량의 차이이다.

걸음은 총 216보를 걸었으며 검출된 걸음은 217보로 0.46%의 걸음검출 오차를 보였다. 위치오차에서 칼만필터에 의한 방식보다 제한보행방식이 나은 것으로 나타났다. 전자나침반은 특정위치에서 같은 오차성분을 보이기 때문에 출발점과 도착점이 같은 실험에서 전자나침반을 사용하는 칼만필터 방식은 방향오차가 적다. 자이로를 사용하는 제한보행방식은 바이어스와 드리프트로 인해 방향오차가 발생한다. 그러나 위치오차에서는 이동 중 주변환경의 변화로 인해 자장의 왜곡이 발생하여 전자나침반을 사용하는 칼만필터 방법보다 제한보행 방법이 나은 결과를 보였다.

칼만 필터를 이용한 자이로와 전자나침반의 방향각 결합 방법은 사용자가 임의의 경로를 보행할 수 있지만 전자나침반이 주변 자기장의 영향으로 왜곡되는 구간에서는 결합 성능이 향상되지 않는 것을 알 수 있다. 회전과 직진 만으로 보행을 제한한 알고리즘의 경우 칼만 필터를 이용한 방법에 비하여 나은 성능을 나타냈지만 사용자의 움직임을 회전과 직진만으로 제한 한다는 단점을 가지고 있다.

표 2. 실내 항법 실험 성능비교.

Table 2. Performance comparison of indoor navigation

방법	위치오차 거리	위치오차 비율	방향 오차
칼만필터방식	11.1029 m	6.3810 %	0.15 deg
제한보행방식	5.4951 m	3.1581 %	17.05 deg

VII. 결론

본 연구에서는 GPS신호를 수신할 수 있는 실외에서는 GPS와 추측항법을 결합하여 사용하고 GPS가 수신되지 않는 상황(건물내부, 도심지의 빌딩숲, 차량내부)에서는 추측항법을 이용하여 항상 사용할 수 있도록 하는 새로운 개념의 개인휴대 위치정보시스템을 위한 항법알고리즘을 개발하였다. 이를 위해 센서 오차

보정 알고리즘, 관성센서를 이용한 걸음 검출 알고리즘, 추측항법/GPS 통합 항법 알고리즘 개발등에 대한 연구를 하였고 기초 실험을 통하여 개발된 시스템의 기본적인 성능을 분석하였다. 사람의 걸음을 계수하여 얻은 속도 정보를 이용한 추측항법시스템은 비교적 큰 오차의 누적 없이 동작되며, 충분히 실용화 될 수 있는 가능성을 확인하였다. 특히 주변환경 등 제약조건이 많은 실내에서의 문제점을 극복하기위한 방법을 제시하고, 실험 결과를 비교 분석했다.

실내항법에서는 사람의 등에 장착된 1축 자이로와 1축 가속도계, 그리고 초기방위각을 위한 전자나침반을 사용하는 현재의 휴대용 실내항법시스템에 적용 가능한 방법은 일반적인 방법으로 전자나침반과 자이로를 결합한 칼만필터 방식과 특정 장소에서 사용할 수 있는 직진과 회전에 관한 정보를 자이로만을 이용하여 계산하는 방법을 들 수 있다.

개인 휴대용 위치정보시스템은 새로운 형태의 항법 시스템으로 사람이 휴대하지 않고 차량에 사용하는 경우 움직임의 형태가 제한되므로 차량항법장치로도 효과적으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 기존의 차량항법 시스템들과는 달리 차량에 장착된 속도계를 사용하지 않으므로 쉽게 차량에 장착될 수 있고 또한 언제나 휴대와 이동이 가능하므로 개인 항법용 그리고 차량항법용으로서의 공용이 가능한 시스템으로 개발이 가능하다.

참고문헌

- [1] The Institute of Navigation, *Global Positioning System*, vol. I,II,III,IV, 1980-1986.
- [2] B. Hofman-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *GPS Theory and Practice, 4th Ed.*, Springer-Verlag Wien New York, 1977.
- [3] T. Logsdon, *Understanding the NAVSTAR GPS, GIS, and IVHS, 2nd Ed.*, Van Nostrand Reinhold, 1995.
- [4] Bradford W. Parkinson and James J. Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., vol. 1-2, 1996.
- [5] G. M. Siouris, *Aerospace avionics system - A modern synthesis*, Academic Press, 1993.
- [6] R. W. Levi and T. Judd, "Dead reckoning navigational system using accelerometer to measure foot impacts," *United States Patent*, no. 5583776, 1996.
- [7] Y. Zhao, *Vehicle Location and Navigation Systems*, Artech House, 1997.
- [8] E. D. Kaplan, *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech House, 1996.
- [9] 홍진석, 송지훈, 지규인, "개인휴대 항법시스템을

위한 추측항법 알고리즘,” *Proceedings of the 13th KACC* vol. I, pp. 53-58, 1998.

- [10] 홍진석, 윤선일, 지규인, “개인휴대 항법시스템을 위한 보행형태를 이용한 센서보정,” *Proceedings of the 14th KACC*, vol. C, pp. 353-356, 1999.
- [11] 김진원, 지규인, 이장규, “GPS와 dead-reckoning을 이용한 항법시스템 설계,” 제어계측·자동화·로보

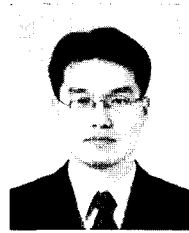
틱스연구회합동학술발표회, pp. 467-470, 1996.

- [12] P. S. Maybeck, *Stochastic Models, Estimation and Control*, I, Navtech Book & Software Store, vol. 2, 1994.
- [13] 김세환, 박상현, 윤상준, 이상정, “차량항법시스템을 위한 새로운 GPS/DR integration 필터,” *Proceedings of the 11th KACC*, pp. 884-887, October, 1996.



홍진석

1970년 9월 5일생. 1994년 건국대 학교 전자공학과 졸업. 1996년 동대학원 석사, 1996~현재 건국 대학교 전자정보 통신공학과 박사 과정. 관심분야는 GPS 추적루프 알고리즘, 소프트웨어 GPS 수신기.



윤선일

1973년 6월 6일생. 1999년 건국대 학교 전자공학과 졸업. 2001년 건국 대학교 전자정보통신공학과 (공학석사), 2001년~현재 LG 이노텍 시스템연구소 연구원. 관심 분야는 수중 유도무기, GPS/INS.



지규인

1959년 11월 24일생. 1982년 서울대 공대 제어계측공학과 졸업. 1984년 서울대 대학원 제어계측공학과 석사, 1989년 Case Western Reserve University 시스템공학과 박사, 1990년 Rensselaer Polytechnic Institute 연구원. 1990년 9월~1992년 2월 강원대학교 제어계측공학과 전임강사. 1992년 3월~현재 건국 대학교 전자정보통신공학과 교수. 연구관심 분야는 소프트웨어 GPS수신기, 무선추위 (Wireless Location), GPS/INS항법시스템.