

보행항법장치의 모델링 및 오차 보정

Modeling & Error Compensation of Walking Navigation System

趙 星 閔* · 朴 贊 國**

(Seong Yun Cho · Chan Gook Park)

Abstract - In this paper, the system model for the compensation of the low-cost personal navigation system is derived and the error compensation method using GPS is also proposed. WNS(Walking Navigation System) is a kind of personal navigation system using the number of a walk, stride and azimuth. Because the accuracy of these variables determines the navigation performance, computational methods have been investigated. The step is detected using the walking patterns, stride is determined by neural network and azimuth is calculated with gyro output. The neural network filters off unnecessary motions. However, the error compensation method is needed, because the error of navigation information increases with time. In this paper, the accumulated error due to the step detection error, stride error and gyro bias is compensated by the integration with GPS. Loosely coupled Kalman filter is used for the integration of WNS and GPS. It is shown by simulation that the error is bounded even though GPS signal is blocked.

Key Words : WNS(Walking Navigation System), neural network, WNS/GPS, Kalman filter

1. 서 론

개인항법장치(PNS : Personal Navigation System)는 기존의 군사용, 항해용으로 사용되던 항법장치가 민수용으로 사용 범위가 확대되면서 자리잡게된 응용 분야로 응급시 휴대폰 사용자의 위치 파악 및 인력의 효율적 관리, 가상현실 등에 이용될 수 있다. 개인항법장치는 노천지역 뿐 아니라 건물 내에서의 사용자의 위치 정보 또한 정해진 오차 범위 내의 정확도를 가지고 제공할 수 있어야 하므로 이에 적합한 하드웨어 및 항법 알고리즘이 필요하다.

GPS(Global Positioning System)는 위성항법 시스템으로 가장 큰 오차 요인이었던 SA(Selective Availability)가 2000년 5월에 제거됨으로써 사용 범위가 가용성이 커졌다. 그러나 GPS는 가시위성의 수가 4개 이상이어야 사용할 수 있으므로 개인항법장치가 많이 사용될 도심지, 숲속, 건물내부와 같이 위성 전파의 수신에 제한되는 곳에서는 사용할 수 없다는 단점이 있다[1,2,3].

관성항법장치(INS : Inertial Navigation System)는 관성 센서를 사용하여 운동체의 관성을 측정함으로써 움직임을 계산하는 장치로 사용 장소에 관계없이 항법 정보를 연속적으로 제공한다. 그러나 지금까지 관성 센서는 고가이며 구입이 제한되어 군사용으로 주로 사용되었다. 또한 센서 데이터의 적분연산을 통하여 항법 정보를 계산하므로 시간에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다. 그러므로 외부 정보를 이용하는

오차 보상 필터를 사용해야만 오차의 발산을 막을 수 있다 [1,2,3,4].

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술의 발달로 인하여 저가의 반도체형 관성 센서가 개발됨으로써, 관성항법의 원리를 민수용으로 전환하고자 하는 연구가 진행되고 있으며 그 대표적인 한가지 예가 개인항법장치이다. 그러나 성능이 기존의 관성 센서에 비하여 현저하게 떨어지므로 단순한 적분연산을 통하여 계산된 항법 정보를 그대로 사용할 수 없다. 또한 기존에 많이 연구된 INS/GPS 결합 알고리즘을 저가형 개인항법장치에 그대로 적용하면, GPS 정보를 사용할 수 없는 경우에 오차가 짧은 시간 내에 발산하게 되므로 사용할 수 없다. 따라서 일반적으로 저급 센서라고 할 수 있는 0.05[deg/s] 이하의 반도체형 관성 센서를 사용하여 개인항법장치를 구성하는 경우에 사용될 새로운 항법 알고리즘의 연구가 필요하게 되었다[5,6].

본 논문에서는 저급 관성 센서를 사용하여 항법장치를 제작하고 사람의 보행 특성을 항법 알고리즘에 반영하여 걸음 검출 및 회전 검출, 보폭 결정을 통한 새로운 항법 알고리즘을 이용하여 항법 정보를 제공하는 보행항법장치의 개념 및 기본 모델을 제시하고 이때 필요한 보폭 정보를 신경 회로망을 이용하여 제공하는 방법을 제시한다.

기존의 관성항법장치는 주로 가속도계와 자이로 바이어스에 의해서 오차가 발산하게 된다. 따라서 항법 정보의 정확성을 유지하기 위하여 관성 센서의 오차 추정 및 위치, 속도, 자세를 보정하는 필터를 이용하였다[1,2]. 걸음 검출에 의한 보행항법장치 또한 걸음 검출 오차, 보폭 오차, 및 회전을 측정하는 자이로의 바이어스에 의하여 오차가 커지게 된다. 따라서 보행항법장치에 적합한 오차 보정 필터가 필요하다. 본 논문에서는 보행항법장치의 오차 보정을 위한 필터 모델과

* 正 會 員 : 光云大學 制御計測工學科 博士課程

** 正 會 員 : 光云大學 制御計測工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2001年 9月 17日

最終完了 : 2002年 4月 2日

GPS와의 결합에 의한 오차 추정 칼만필터를 구성하여 오차를 보정하는 방법을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 확인한다.

본 논문의 2절에서는 보행항법장치의 기본 개념 및 구성도를 설명하고, 3절에서는 신경 회로망을 이용한 보폭 결정 방법을 제시한다. 그리고 4절에서는 GPS와의 결합에 의한 오차 보정 기법을 제시하고 5절에서 결론을 맺는다.

2. 보행항법장치 구성도

기존의 스트랩다운 관성항법장치는 관성측정장치(IMU : Inertial Measurement Unit)의 출력을 적분하여 자세 및 속도, 위치를 계산하였다. 그러나 저급 관성 센서를 이용하여 IMU를 구성하고 이를 사람의 몸에 장착하고 항법을 수행하는 개인항법장치에서는 기존의 항법 알고리즘으로는 원하는 정확도를 갖는 항법 정보를 계산할 수 없다. 첫째 이유는 저급 관성 센서가 갖는 성능의 한계 때문이며, 두 번째 이유는 장착 비정렬에 의한 오차 때문이다. 센서 오차 및 장착 오차는 적분 연산에 의하여 시간에 따라 누적되며 그 결과 항법 정보는 짧은 시간 내에 발산하게 된다. 따라서 저급 관성 센서를 사용하는 개인항법장치에서는 새로운 항법 알고리즘이 사용되어야 한다. 본 논문에서 제시하는 개인항법장치는 사람의 걸음 정보를 이용하기 때문에 특별히 보행항법장치로 정의한다. 이때 사용되는 알고리즘의 기본은 사람의 걸음을 검출하고 추정된 걸음의 보폭을 걸음 수에 곱하여 이동거리를 계산하고, 방위각을 계산하여 이동 방향을 설정하는 것이다. 알고리즘의 구성도는 그림 1과 같다.

저역 통과 필터링(LPF : Low Pass Filter)된 IMU의 출력을 이용하여 먼저 걸음을 검출한다. 사람이 걸음을 걸을 때 몸의 움직임은 걸음마다 비슷하며 몸에 장착된 IMU의 출력 또한 유사한 패턴으로 나타나게 된다. 이 패턴의 유사성을 이용하여 걸음을 검출할 수 있다. 이렇게 검출된 걸음 수는 보폭 결정과 항법 계산을 위하여 걸음 주파수로 계산된다.

걸음에 따라 보폭은 다르게 나타난다. 항법 계산에서 보폭은 걸음 주파수와 곱해져서 식(1)과 같이 걸음의 속력이 구해지므로 잘못된 보폭 결정에 의한 오차는 기존의 관성항법 계산에서의 가속도계 바이어스 오차와 같이 이동 거리 계산에 오차를 발생시킨다. 따라서 걸음에 따라 보폭은 정확하게 결정되어야 한다. 본 논문에서는 3장에서 신경 회로망을 이용하여 보폭을 결정하는 방법을 제시한다.

$$s_w = l_w f_w \tag{1}$$

여기서 s_w 는 걸음 속력, l_w 는 보폭, 그리고 f_w 는 걸음 주파수를 의미한다.

항법 계산에서 중요한 변수중의 하나가 방위각이다. 방위각은 자이로의 출력을 이용하여 계산할 수 있다. IMU의 자세는 초기 자세값과 자이로의 출력으로 구성된 쿼터니언 미분방정식을 이용하여 연속으로 계산할 수 있다. 식 (2)는 쿼터니언 미분방정식을 나타낸 것이며 방위각은 식 (3)을 통하여 구할 수 있다.

$$\dot{Q} = \frac{1}{2} Q * \omega_{nb}^b \tag{2}$$

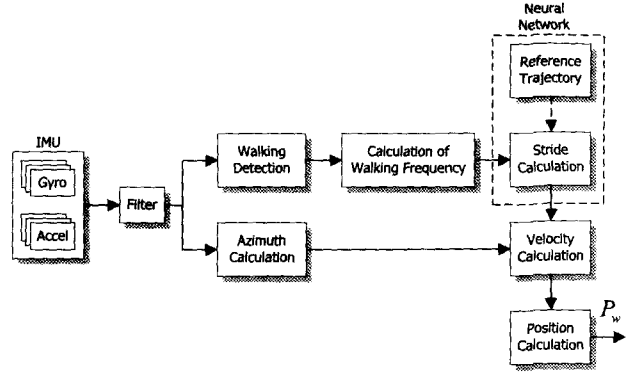


그림 1 WNS 알고리즘 기본 구성도
Fig. 1 Block diagram of WNS algorithm

$$\psi_w = \tan^{-1} \frac{2q_1q_2 + 2q_0q_3}{q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2} \tag{3}$$

여기서, Q 는 IMU의 자세를 쿼터니언으로 나타낸 것으로 $Q = [q_0 : q_1 \ q_2 \ q_3]$ 이며, ψ_w 는 방위각을 표기한 것이다. 그리고 저급 자이로는 지구 자전 각속도를 측정할 수 없으므로 항법좌표계에 대한 동체좌표계의 회전 각속도 ω_{nb}^b 는 자이로 출력(ω_{ib}^b)으로 대신할 수 있다.

걸음에 의한 사람의 속도 및 이동 거리는 식 (1)에서 계산된 걸음의 속력과 자이로의 출력을 통하여 계산된 방위각을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$V_w = [s_w \cos(\psi_w) \ s_w \sin(\psi_w) \ 0]^T \tag{4}$$

$$P_w = P_0 + \int_{t_0}^t V_w dt = P_0 + V_w / f_w \tag{5}$$

여기서 V_w 는 항법좌표계(NED)에서의 걸음의 속도, P_w 는 이동한 위치, P_0 는 위치 계산 주기 내의 초기 위치를 나타낸 것이다. 걸음은 높이 변화가 없는 수평면을 걷는 것으로 가정한 것이며 위치는 초기 위치에서 이동한 상대 위치를 나타낸 것이다.

3. 신경 회로망을 이용한 보폭 결정

보행항법장치에서 보폭은 걸음 주파수와 곱해져서 식 (1)과 같이 걸음 속력이 구해지므로 기존의 관성항법장치에서의 가속도계 출력을 한 번 적분한 것과 같은 역할을 한다. 그러므로 보폭 오차는 가속도계 바이어스 오차처럼 작용하여 시간에 따라 누적되어 위치 오차를 증가시키게 된다. 따라서 걸음에 따른 정확한 보폭을 적용하는 것이 필수적이다. 보폭을 추정할 수 있는 방법으로는 실제 알고 있는 거리를 걸어 걸음 수로 나누는 평균 보폭방법, GPS를 이용하여 평균 보폭을 추정하는 방법, 전진 방향 가속도를 이용하는 방법 등을 고려할 수 있다. 평균 보폭을 이용하는 방법은 걸음의 패턴에 따라 달라지는 보폭을 반영하기 어렵고, GPS를 이용하는 경우 GPS 신호를 수신할 수 없는 곳에서는 사용할 수 없으며 GPS 오차에 의하여 단거리 보행에서는 보폭 추정 오차가

커지게 된다. 그리고 전진 방향 가속도를 이용하는 방법은 개인항법에서 사용되는 가속도계가 저급이므로 항법장치의 특정 배치 및 오차 보정 기법을 별도로 사용하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 걸음 패턴에 따른 보폭 변화를 반영하기 위하여 걸음 주파수에 따라 보폭이 달라지는 특성을 이용하여 신경 회로망을 이용하여 보폭을 결정하는 방법을 사용하였다[6,7,8,9,10].

구성한 보폭 결정 신경 회로망은 그림 2와 같다. 그림상에서 a_{peak+} 와 a_{peak-} 는 각각 한 걸음 구간동안의 가속도계 출력값의 양의 피크값과 음의 피크값을 의미하며 $w_{i,j}^n$ 는 $n-1$ 번째 층(layer)의 j 번째 뉴런과 n 번째 층의 i 번째 뉴런 사이의 가중치, b_i^n 는 n 번째 층의 i 번째 뉴런의 바이어스 값을 나타낸 것이다. 그리고 a_i 는 i 번째 뉴런의 활성화 함수(activation function)의 출력값을 의미하며 $l_{reference}$ 는 학습에 필요한 목표 값으로 학습을 위한 기준 궤적에서 계산된 평균 보폭을 가리킨다.

본 논문에서 구성한 신경 회로망의 입력은 걸음에 따른 가속도계 출력값의 양의 피크값과 음의 피크값의 절대치 합과 걸음 주파수로 하였으며 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer) 그리고 출력층(output layer)으로 구성되어 있다. 여기서 은닉층의 뉴런의 개수는 시행착오를 통하여 4개로 선정하였다. 출력층의 활성화 함수는 다음과 같이 설정하였다.

$$l_w = \begin{cases} 0 & n_w < 0.1[m] \\ n_w & 0.1[m] \leq n_w \leq 1.5[m] \\ 1.5 & n_w > 1.5[m] \end{cases} \quad (6)$$

여기서 n_w 는 출력층 활성화 함수의 입력값이다. 이 활성화 함수는 보폭의 한계성을 내포하며, 불필요한 움직임과 걸음에 따른 보폭을 구분하는 역할을 한다.

구성된 신경 회로망은 먼저 정해진 궤적을 보행함으로써 가중치와 바이어스 값을 학습시킨다. 여기서 학습 방법은 역전파(back propagation) 알고리즘을 사용하였으며 표 1과 같이 이루어진다.

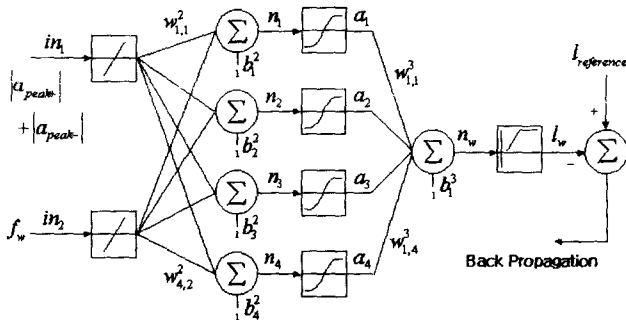


그림 2 보폭 계산을 위한 신경 회로망
Fig. 2 Neural network for stride calculation

표 1 역전파 알고리즘을 이용한 학습

Table 1 Learning using by backpropagation algorithm

Calculation of Weights for the Output-Layer Neurons
$w_{1,k}^3(n+1) = w_{1,k}^3(n) + \Delta w_{1,k}^3(n+1)$ <p>where,</p> $k = 1, 2, 3, \text{ and } 4$ $\Delta w_{1,k}^3(n+1) = -\alpha \frac{\partial \epsilon^2}{\partial w_{1,k}^3}$ $= -\alpha \frac{\partial \epsilon^2}{\partial l_w} \frac{\partial l_w}{\partial n_w} \frac{\partial n_w}{\partial w_{1,k}^3}$ <p>where,</p> <p>α is learning rate</p> $\epsilon = l_{reference} - l_w$ $\frac{\partial \epsilon^2}{\partial l_w} = -2\epsilon$ $\frac{\partial l_w}{\partial n_w} = \begin{cases} 1, & 0.1[m] \leq n_w \leq 1.5[m] \\ 0, & n_w < 0.1[m] \text{ or } n_w > 1.5[m] \end{cases}$ $\frac{\partial n_w}{\partial w_{1,k}^3} = a_k$
Calculation of Weights for the Hidden-Layer Neurons
$w_{i,j}^2(n+1) = w_{i,j}^2(n) + \Delta w_{i,j}^2(n+1)$ <p>where,</p> $i = 1, 2, 3, \text{ and } 4$ $j = 1, \text{ and } 2$ $\Delta w_{i,j}^2 = -\alpha \frac{\partial \epsilon^2}{\partial w_{i,j}^2}$ $= -\alpha \frac{\partial \epsilon^2}{\partial l_w} \frac{\partial l_w}{\partial n_w} \frac{\partial n_w}{\partial a_i} \frac{\partial a_i}{\partial n_i} \frac{\partial n_i}{\partial w_{i,j}^2}$ <p>where,</p> $\frac{\partial \epsilon^2}{\partial l_w} = -2\epsilon$ $\frac{\partial l_w}{\partial n_w} = \begin{cases} 1, & 0.1[m] \leq n_w \leq 1.5[m] \\ 0, & n_w < 0.1[m] \text{ or } n_w > 1.5[m] \end{cases}$ $\frac{\partial n_w}{\partial a_i} = w_{1,i}^3$ $\frac{\partial a_i}{\partial n_i} = 1 - a_i^2$ $\frac{\partial n_i}{\partial w_{i,j}^2} = in_j$

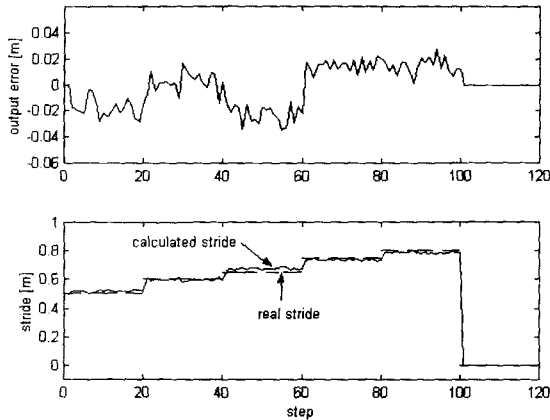


그림 3 신경회로망을 이용하여 계산된 보폭
Fig. 3 Stride calculated by neural network

그림 3은 학습된 후 입력에 의한 신경망의 출력을 오차와 보폭으로 나타낸 것이다. 처음 100걸음은 20걸음씩 걸음 속도를 다르게 하였을 때의 결과로 반복(iteration)된 학습에 의하여 걸음의 속도에 따른 보폭 결정이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 이 때 학습은 60회 반복 수행하였다. 마지막 20걸음은 제자리걸음을 걸었을 때의 결과로 출력층 활성화 함수의 임계치 적용에 의하여 보폭을 0으로 출력함으로써 불필요한 움직임에 따른 오차를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 실제 시스템의 적용을 고려하여 학습 시간이 크지 않도록 간단하게 신경 회로망을 구성하였다. 걸음의 형태 및 계단 보행 등의 판별을 위해서 입력과 은닉층 뉴런의 개수를 늘리고 학습 반복 회수를 증가시킴으로써 학습 시간은 늘어나지만 다양한 출력 정보를 통하여 보행항법장치의 성능을 향상시킬 수 있다.

4. WNS/GPS 결합 기법

걸음 검출에 의하여 수행되는 항법은 2절에서 설명한 것과 같이 걸음 주파수와 보폭 그리고 방위각에 의하여 이루어진다. 여기서 걸음 주파수와 보폭은 걸음 속도에 따라 달라지며 걸음 검출 오차 등에 의하여 오차가 발생한다. 방위각은 수직 축 차이로에 의하여 계산되며 장착 비정렬과 차이로 바이어스에 의하여 오차가 발생하며 이 오차는 방위각 계산에서 계속 누적되어 발산하게 된다. 이 오차들에 의하여 항법 정보는 시간에 따라 발산하므로 오차 보정 기법이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 GPS의 위치 정보를 보행항법장치의 항법 정보와 결합하여 항법 정보 오차 및 관성센서 바이어스를 추정, 보상하는 칼만 필터를 구성하였다. WNS/GPS 결합 구성도는 그림 4와 같다.

칼만 필터의 상태변수는 거리오차, 속도오차, 방위각 오차, 차이로 바이어스, 보폭 오차 그리고 걸음 주파수 오차로 하였으며 오차 미분 방정식은 선형 섭동법(linear perturbation)을 이용하여 유도하였다.

먼저 걸음 주파수 오차는 걸음 검출을 통해 측정되는 시간을 계산하기 위한 프로세서의 시각 오차와 걸음 검출 시점의 오차로 인하여 발생하며 다음과 같이 표현된다.

$$\delta f = w_f, \quad w_f \sim N(0, Q_f) \tag{7}$$

보폭 오차는 신경 회로망을 통하여 학습된 보폭이 갖는 바이어스와 걸음을 걸을 때마다 발생하는 보폭의 백색 잡음 오차로 다음과 같이 표현한다.

$$\delta l = \nabla_l + w_l \tag{8}$$

여기서 ∇_l 은 보폭 오차의 랜덤 상수를 나타내며, w_l 은 백색 잡음을 의미하며 다음과 같은 특성을 갖는다.

$$\dot{\nabla}_l = 0, \quad \nabla_l(0) \sim N(0, P_l), \quad w_l \sim N(0, Q_l) \tag{9}$$

방위각 오차는 차이로 오차에 의한 것이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta \dot{\psi} = (\delta \omega_{ib}^b)_z = \varepsilon_z + w_\varepsilon \tag{10}$$

여기서 $\dot{\varepsilon}_z = 0, \quad \varepsilon_z(0) \sim N(0, P_\varepsilon), \quad w_\varepsilon \sim N(0, Q_\varepsilon)$.

속도 오차 모델은 식 (4)를 이용하여 구한다. 식 (4)를 미분한 다음 선형 섭동법으로 오차에 대한 식으로 전개한 다음 오차의 제곱항은 작은 값이므로 무시하고 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta V_w^N = & -(s_w \dot{\psi} \sin \psi_w + s_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w) \delta \psi_w \\ & - s_w \sin \psi_w \varepsilon_z + (f_w \cos \psi_w - f_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w) \delta l_w \\ & + (l_w \cos \psi_w - l_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w) \delta f_w \end{aligned} \tag{11a}$$

$$\begin{aligned} \delta V_w^E = & (s_w \dot{\psi} \cos \psi_w - s_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w) \delta \psi_w \\ & + s_w \cos \psi_w \varepsilon_z + (f_w \sin \psi_w + f_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w) \delta l_w \\ & + (l_w \sin \psi_w + l_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w) \delta f_w \end{aligned} \tag{11b}$$

마지막으로 이동 거리 오차 모델은 식 (5)를 이용하여 구한다. 식 (5)를 미분하여 선형 섭동법을 이용하여 전개하면 다음과 같다.

$$\delta \dot{D}_w = \delta V_w \tag{12}$$

여기서 δD_w 는 이동 거리 오차이다.

위에서 구한 오차 미분방정식을 이용하여 오차 추정 칼만 필터를 구성한다. 칼만 필터의 시스템 식은 다음과 같다.

$$\dot{x}(t) = F(t)x(t) + w(t), \quad w(t) \sim N(0, Q) \tag{13}$$

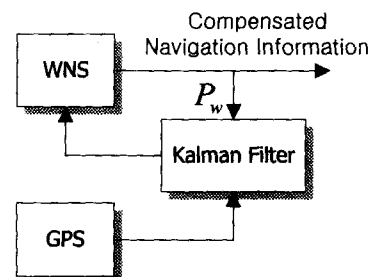


그림 4 WNS/GPS 결합 구성도
Fig. 4 Block diagram of WNS/GPS integration

여기서,

$$x(t) = [\delta D_w^N \delta D_w^E \delta V_w^N \delta V_w^E \delta \psi_w \varepsilon_z \delta l_w \delta f_w]^T,$$

$$F(t) = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & F_{va} & F_{vgb} & F_{vl} & F_{vf} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 2} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \end{bmatrix},$$

$$F_{va} = \begin{bmatrix} -s_w \sin \psi_w - s_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w \\ s_w \cos \psi_w - s_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w \end{bmatrix},$$

$$F_{vgb} = \begin{bmatrix} -s_w \sin \psi_w \\ s_w \cos \psi_w \end{bmatrix},$$

$$F_{vl} = \begin{bmatrix} f_w \cos \psi_w - f_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w \\ f_w \sin \psi_w + f_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w \end{bmatrix},$$

$$F_{vf} = \begin{bmatrix} l_w \cos \psi_w - l_w \dot{\psi}_w \sin \psi_w \\ l_w \sin \psi_w + l_w \dot{\psi}_w \cos \psi_w \end{bmatrix}$$

그리고 추정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z(t) &= \begin{bmatrix} D_{WNS}^N(t) \\ D_{WNS}^E(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} D_{GPS}^N(t) \\ D_{GPS}^E(t) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} I_{2 \times 2} & 0_{2 \times 6} \end{bmatrix} x(t) + v(t) \\ &= Hx(t) + v(t), \quad v(t) \sim N(0, R) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 D_{WNS} 는 보행항법장치에서 계산된 각 축의 이동 거리를 표시한 것이며, D_{GPS} 는 GPS로부터 구한 각 축의 이동 거리를 나타낸 것이다.

본 논문에서 제시한 보행항법장치와 GPS와의 결합 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 시뮬레이션에서 사용된 궤적은 그림 5와 같으며, 총 400걸음을 보행한 것으로 가정한다. 여기서 사용된 자이로는 1[deg/s]의 바이어스를 가지고 있는 저급으로 가정한다. 앞에서 제시한 시스템 오차 모델을 이용하여 칼만필터를 구성하였고 초기 오차 공분산, 공정 잡음 및 측정 잡음 공분산 행렬의 크기는 다음과 같이 설정하였다.

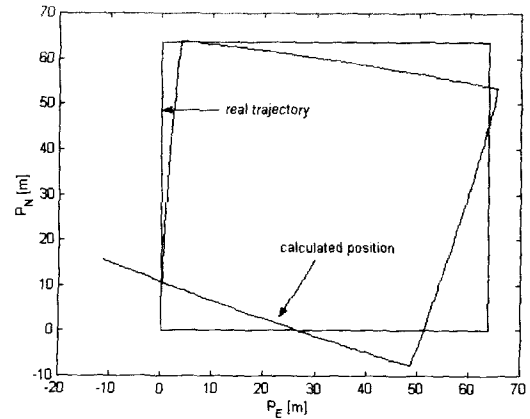
$$P(0) = \text{diag}\{ (10m)^2 \ (10m)^2 \ (1m/s)^2 \ (1m/s)^2 \ (5^\circ)^2 \ (1^\circ/s)^2 \ (0.1m)^2 \ (0.5Hz)^2 \}$$

$$Q = \text{diag}\{ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ (1^\circ)^2 \ (0.01^\circ/s)^2 \ (0.05m)^2 \ (0.3Hz)^2 \}$$

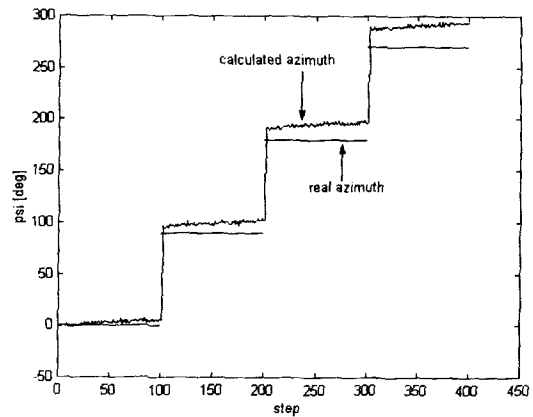
$$R = \text{diag}\{ (7m)^2 \ (7m)^2 \}$$

순수 WNS를 수행한 것과 WNS/GPS 결합 항법을 수행한 것을 각각 비교하였으며 그림 5, 6에서 나타내었다. 본 시뮬레이션에서 보폭은 앞에서 제시한 신경 회로망을 이용하여 결정하였고 방위각은 1[deg/s]의 바이어스가 포함된 자이로를 식 (2), (3)을 이용하여 계산하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 순수 WNS를 수행한 결과의 위치와 방위각을 나타낸 것이다. 시간에 따라 오차가 일정한 방향으로 계속 누적되어 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 이것은 자이로 바이어스에 의하여 나타난 것이다. 그림 6의 (a)와 (b)는 WNS/GPS 결합 항법을 수행한 것의 위치와 방위각 그리고 칼만 필터에 의해서 추정된 자이로 바이어스를 나타낸 것이다. GPS의 위치 정보를 이용하여 약결합 방식(loosely coupled)으로 WNS와 결합된 경우 자이로 바이어스의 상태변수는 관측 가능하므로 그림 6의 (b)에서 잘 추정되는 것을 확인할 수 있으며 이 때 추정된 자이로 바이어스는 0.1104[deg/s]이다. 그림 7은 201걸

음부터 GPS 신호가 단절된 경우의 위치와 추정된 자이로 바이어스를 나타낸 것으로 200걸음동안 추정된 자이로 바이어스를 보상함으로써 나머지 걸음에서도 오차가 크게 발산하지 않는 것을 볼 수 있다. 그러나 조금씩 오차가 누적되는 것은 보상되지 않고 남은 오차항에 의한 것으로 그 크기는 크지 않음을 알 수 있다.



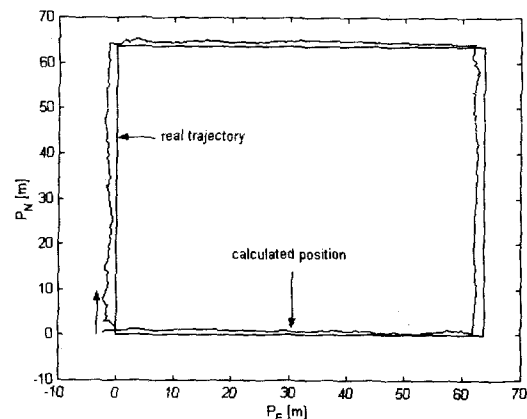
(a) 위치



(b) 방위각

그림 5 순수 WNS 오차

Fig. 5 Error of pure WNS



(a) 위치

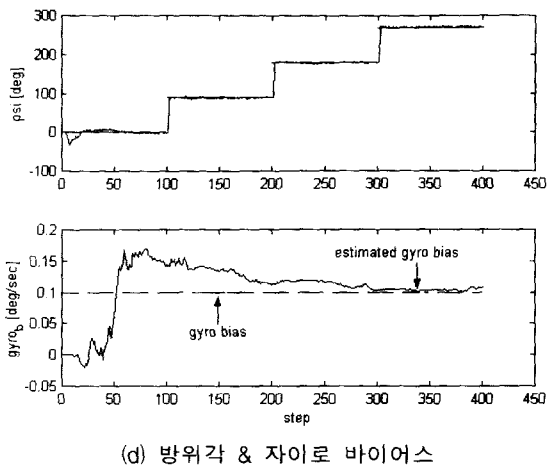


그림 6 WNS/GPS 오차
Fig. 6 Error of WNS/GPS

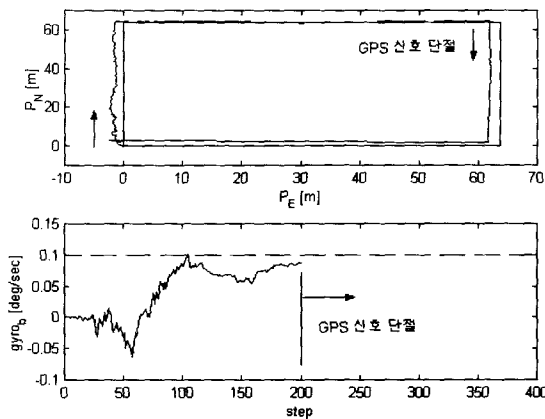


그림 7 WNS/GPS 결합에서 GPS 신호가 단절된 경우
Fig. 7 Result of WNS/GPS when GPS signal is blocked

5. 결 론

본 논문에서는 저급 관성 센서를 이용하여 개인항법장치를 구성할 때 필요한 오차 모델을 제시하였다. 관성 센서의 출력을 적분하지 않고 사람의 걸음을 검출함으로써 항법을 수행하는 보행항법장치를 구성하고 이때 중요한 변수인 보폭을 신경 회로망을 이용하여 결정하는 방법을 제시하였다. 그리고 걸음 검출 오차, 보폭 오차, 자이로 바이어스 등에 의해서 발산하게 되는 항법 정보의 오차를 보정하기 위하여 GPS와 결합하여 오차를 추정하는 칼만 필터를 구성하였다.

걸음 주파수에 의존하여 걸음에 따라 변하는 보폭은 제시한 신경 회로망에 의하여 0.03[m] 오차 이내로 계산되며, 이 신경 회로망을 통하여 불필요한 움직임 또한 필터링 되는 것을 알 수 있다. 그리고 제시한 칼만 필터에 의하여 GPS의 정보를 사용할 수 있는 곳에서 오차를 추정, 보상하여 GPS 정보가 단절된 경우에도 오차가 발산하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 저급 관성 센서를 이용하여 개인항법장치를 설계, 제작하는 경우에 필요한 기본 개념 및 알고리즘 그리고 오차 보정을 위한 방법을 제시함으로써 실제 개인항법장치 제작에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 광운대학교 교내연구비 및 국가지정연구실사업(2000-N-NL-01-C-122)의 지원에 의하여 이루어진 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Jay A. Farrell, Matthew Barth, The Global Positioning System & Inertial Navigation, McGraw-Hill, 1999.
- [2] Robert Grover Brown, Patrick Y.C. Hwang, Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, John Wiley & Sons, 1985.
- [3] 이준호, 조성윤, 진용, 박찬국, "개인 항법 시스템을 위한 가속도 측정장치의 배치에 따른 보행 특성 분석," 한국 자동제어학술회의 논문집, 2000.
- [4] H. Liu, G. Pang, "Accelerometer for Mobile Robot Positioning," Proceedings of IEEE Industry Applications Society Conference, October 1999.
- [5] K. Sagawa, M. Susumago, H. Inooka, "Unrestricted Measurement Method of Three-dimensional Walking Distance Utilizing Body Acceleration and Terrestrial Magnetism," Proceedings of the International Conference on Control, automation and Systems, pp. 707-710, October 2001.
- [6] Q. Ladetto, "On foot navigation : continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering," ION GPS 2000, pp. 1735-1740, September 2000.
- [7] M. Cao, A. Kawamura, "A Design Method of Neural Oscillatory Networks for Generation of Humanoid Biped Walking Patterns," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, May 1998.
- [8] K. Aminian, Ph. Robert, E. Jequier and Y. Schutz, "Level Downhill and Uphill Walking Identification using Neural Networks," Electronics Letters Vol. 29, pp. 1563-1565, August 1993.
- [9] K. Aminian, E. Jequier and Y. Schutz, "Estimation of Speed and Incline of Walking Using Neural Network," IEEE, IMTC pp. 160-162, May 1994.
- [10] L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley & Sons INC.

저 자 소 개



조 성 운 (趙 星 潤)

1974년 6월 11일생. 1998년 광운대학교 제어계측공학과 졸업. 2000년 동 대학원 석사. 2000년~현재 동 대학원 박사과정. 관심분야는 개인항법시스템, INS/GPS 결합기법, 칼만필터링.

Tel : (02) 942-7950,

Fax : (02) 942-7950

E-mail : Syuni@shinbiro.com



박 찬 국 (朴 贊 國)

1961년 9월 13일생. 1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1987년 동 대학원 석사. 1993년 동 대학원 박사. 1993년 서울대 제어계측신기술연구센터 박사후 연구원. 1994년~현재 광운대학교 제어계측공학과 조교수/부교수. 1998년 미국 UCLA 기계항공공학과 방문연구원. 연구관심분야는 관성항법시스템 개발, GPS/INS 결합기법, 저급 IMU 응용, 칼만필터 설계.

Tel : (02) 940-5157, Fax : (02) 942-7950

E-mail : cgpark@daisy.gwu.ac.kr