

# Neural Network를 이용한 WNS(Walking Navigation System) 모델링 및 오차 보정

조성윤\*, 박찬국\*, 지규인\*\*, 이영재\*\*\*

\*광운대학교 정보제어공학과, \*\*건국대학교 전자정보통신공학과, \*\*\*건국대학교 항공우주공학과

## Modeling and Error Compensation of WNS with Neural Network

Seong Yun Cho, Chan Gook Park, Gyu In Jee and Young Jea Lee  
Kwangwoon Univ. Information & Control Eng. Kunkuk Univ.

**Abstract** - 본 논문에서는 저급 관성 센서를 이용한 개인 항법 장치의 모델 및 오차 보정 기법을 제시하고 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

걸음 검출에 의한 보행 항법에서 중요한 변수인 보폭은 신경 회로망(Neural Network)을 이용하여 결정하였고, 자이로 바이어스 등에 의하여 누적되는 오차는 GPS와의 결합에 의하여 추정, 보상하였다. 이때 GPS와의 결합은 칼만필터를 이용하였으며 칼만필터를 구성하는데 필요한 오차 모델 및 결합 방법을 제시하였다.

WNS/GPS 결합에 의하여 오차의 발산을 막을 수 있으며 GPS신호가 중간에 단절되는 경우에도 오차가 발산하지 않고 좋은 결과를 유지함을 보인다.

치를 제작하고 사람의 보행 특성을 항법 알고리즘에 반영하여 걸음 검출 및 회전 검출, 보폭 결정을 통한 새로운 항법 알고리즘을 이용하여 항법 정보를 제공하는 개인 항법 장치를 설계 제작하는 연구를 많이 수행하고 있다. 본 논문에서는 개인 항법 장치의 개념 및 기본 모델을 제시하고 이때 필요한 보폭 정보를 Neural Network를 이용하여 제공하는 방법을 제시한다.

기존의 관성 항법 장치에서 오차는 가속도계와 자이로의 바이어스에 의해서 발산하게 된다. 따라서 항법 정보의 정확성을 유지하기 위하여 관성 센서 오차 추정 및 위치, 속도, 자세를 보정하는 필터를 이용하였다. 걸음 검출에 의한 개인 항법 장치 또한 보폭 오차 및 회전을 측정하는 자이로의 바이어스에 의하여 오차가 커지게 된다. 본 논문에서는 개인 항법 장치의 오차 모델을 구하고, GPS와의 결합에 의한 오차 추정 칼만필터를 구성하여 오차를 보정하는 방법을 제시한다. 제시한 오차 보정 기법에 의하여 항법 정보는 좋은 정확도를 유지하면서 항법을 수행할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있다. 개인 항법 장치를 사용하는 장소에서는 GPS신호의 단절을 고려하여야 한다. 본 논문에서 제시한 WNS/GPS 결합 시스템에서 GPS신호가 단절된 경우에도 오차가 빠르게 발산하지 않는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있다.

### 1. 서 론

개인 항법 장치(PNS : Personal Navigation System)는 기존의 군사용, 항해용으로 사용되던 항법 장치가 민간용으로 사용 범위가 확대되면서 자리잡게된 응용 분야로 E911 및 인력관리, 가상현실 등으로 이용될 수 있다. 개인 항법 장치는 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 SA가 2000년 5월에 제거됨으로써 사용 범위와 가용성이 커진 반면 판매되는 저가형 수신기에서는 GPS의 순수 정보(raw data)를 제공하지 않게 됨으로써 사용 목적에 따른 용용성이 떨어지게 되었다. 또한 GPS는 가시위성의 수가 4개 이상이어야 사용할 수 있으므로 개인 항법 장치가 많이 사용될 도심지, 숲속, 건물내부와 같이 위성 전파의 수신에 제한되는 곳에서는 사용할 수 없다.

관성 항법 장치(INS : Inertial Navigation System)는 관성 센서를 사용하여 운동체의 관성을 측정함으로써 움직임을 계산하는 장치로 사용 장소에 관계없이 항법 정보를 연속적으로 제공하는 독립적인 항법 장치이다. 그러나 관성 센서가 고가이며 구입이 제한됨으로써 주로 군사용으로만 사용되었다. 또한 센서 데이터의 적분연산을 통하여 항법 정보를 계산하므로 시간에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다. 최근 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)의 발달로 저가의 반도체형 관성 센서가 개발됨으로써 민간용 개인 항법 장치의 응용이 쉬워지고 있다. 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 개인 항법 장치에 사용하는 경우 GPS 정보를 사용할 수 없는 경우 오차가 짧은 시간 내에 발산하게 되므로 사용할 수 없다. 따라서 저가의 반도체형 관성 센서를 사용하여 개인 항법 장치를 구성하는 경우에 사용될 새로운 항법 알고리즘의 연구가 필요하게 되었다.

본 연구실에서는 저급 관성 센서를 사용하여 항법 장

### 2. 본 론

#### 2.1 WNS(Walking Navigation System) 구성

기존의 스트랩다운 관성 항법 장치는 관성 측정 장치(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 개인 항법 장치에서는 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 및 장착 오차는 적분 연산에 의하여 시간에 따라 누적되며 그 결과 항법 정보는 짧은 시간 내에 발산하게 된다. 따라서 저급 관성 센서를 사용하는 개인 항법 장치에서는 새로운 항법 알고리즘이 사용되어야 한다. 본 논문에서 제시하는 개인 항법 장치는 보행 항법 장치(WNS : Walking Navigation System)로 사용되는 알고리즘의 기본은 사람의 걸음을 검출하고 추정된 걸음의 보폭을 걸음 수에 곱하여 이동 거리를 계산하고, 방위각을 계산하여 이동 방향을 설정하는 것이다. 알고리즘의 구성도는 그림 1과 같다.

저역 필터링된 IMU의 출력을 이용하여 먼저 걸음을 검출한다. 사람이 걸음을 걸 때 몸의 움직임은 걸음마다 비슷하며 몸에 장착된 IMU의 출력 또한 유사한 패턴으로 나타나게 된다. 이 패턴의 유사성을 이용하여 걸음을 검출할 수 있다[2]. 이렇게 검출된 걸음 수는 보폭 추정과 항법 계산을 위하여 걸음 주파수로 계산된다.

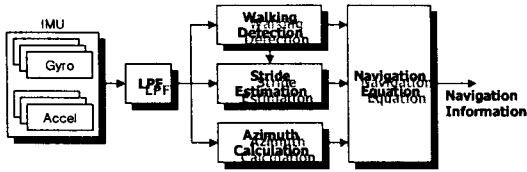


그림 1. WNS 알고리즘 기본 구성도

걸음에 따라 보폭은 다르게 나타난다. 항법 계산에서 보폭은 걸음 주파수와 곱해져서 식 (1)과 같이 걸음의 속력이 구해지며 잘못된 보폭 추정에 의한 오차는 기존의 관성 항법 계산에서의 가속도계 바이어스 오차와 같이 항법 정보에 영향을 미친다. 따라서 걸음에 따라 보폭은 바르게 추정되어야 한다. 본 논문에서는 3장에서 신경 회로망을 이용하여 정확한 보폭을 추정하는 방법을 제시한다.

$$s_w = l_w f_w \quad (1)$$

항법 계산에서 중요한 변수중의 하나가 방위각이다. 방위각은 자이로의 출력을 이용하여 계산할 수 있다. IMU의 자세는 초기 자세값과 자이로의 출력으로 구성된 쿼터니언 미분방정식을 이용하여 식 (2)와 같이 연속으로 계산하며 방위각은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{1}{2} Q * \omega_{nb}^b \quad (2)$$

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

여기서,  $Q$ 는 자세를 쿼터니언으로 나타낸 것이며,  $\psi_w$ 는 방위각을 표기한 것이다. 그리고 저급 자이로는 지구 자전 각속도를 측정할 수 없으므로  $\omega_{nb}^b$ 는 자이로 출력을 대신할 수 있다.

걸음에 의한 사람의 속도 및 이동 거리는 앞에서 계산된 걸음의 속력과 자이로의 출력을 통하여 계산된 방위각을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

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

$$P_w = P_0 + V_w / f_w \quad (5)$$

여기서,  $V_w$ 는 항법좌표계에서의 걸음의 속도,  $P_w$ 는 이동한 위치,  $f_w$ 는 걸음 주파수,  $l_w$ 는 보폭을 나타낸 것이다.

## 2.2 Neural Network를 이용한 보폭 결정

보행 항법 장치에서 보폭은 걸음 주파수와 곱해져서 식 (1)과 같이 걸음 속력이 구해지므로 기존의 관성 항법 장치에서의 가속도계 출력을 한 번 적분한 것과 같은 역할을 한다. 그러므로 보폭 오차는 가속도계 바이어스 오차와 같이 작용하여 시간에 따라 누적되어 위치 오차를 증가시키게 된다. 따라서 걸음에 따른 정확한 보폭을 적용하는 것이 필수적이다. 일반적으로 보폭은 걸음 주파수에 따라 달라진다[2]. 따라서 이런 관계를 보폭 계산에 적용하기 위하여 본 논문에서는 신경 회로망(Neural Network)를 이용하여 보폭을 결정하는 방법을 사용하였다. 구성한 보폭 결정 신경 회로망은 그림 2와 같다.

본 논문에서 구성한 보폭 결정 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 neuron의 개수는 시행착오를 통하여 4개로 선정하였다. 출력층의 활성화 함수(activation function)는 식 (6)과 같이 설정하였다.

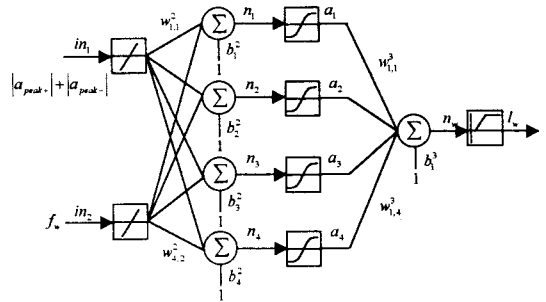


그림 2. 보폭 결정을 위한 Neural Network의 구성도

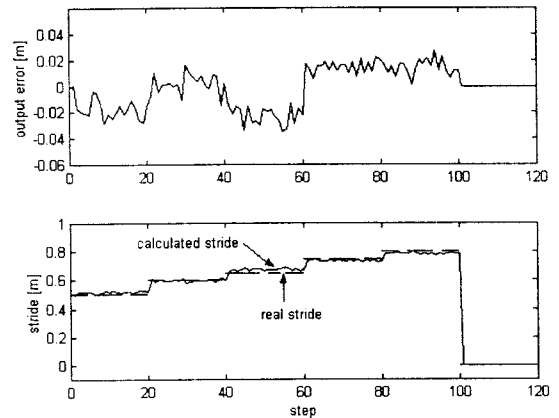


그림 3. Neural Network를 이용하여 추정된 보폭

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

출력층 활성화 함수는 보폭의 한계를 포함하며, 불필요한 움직임과 걸음에 따른 보폭을 구분하는 역할을 한다. 이렇게 구성된 Neural Network는 먼저 정해진 계측을 보행함으로써 가중치(weight)와 바이어스 값을 학습시킨다. 여기서 학습 방법은 역전파(Back Propagation) 알고리즘을 사용하였다.

그림 3은 학습된 후 입력에 의한 Network의 출력값 오차와 보폭으로 나타난 것이다. 처음 100걸음은 20걸음씩 걸음 속도를 다르게 하였을 때의 결과로 학습이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 마지막 20걸음은 제자리걸음을 걸었을 때의 결과로 출력층의 활성화 함수의 임계치 적용에 의하여 보폭을 0으로 출력함으로써 불필요한 움직임에 따른 오차를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

## 2.3 WNS/GPS 결합 기법

걸음 검출에 의하여 수행되는 항법은 2장에서 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 자이로에 의하여 계산되며 장착 비정렬과 자이로 바이어스에 의하여 오차가 발생하며 이 오차는 방위각 계산에서 계속 누적되어 발산하게 된다. 이 오차들에 의하여 항법 정보는 시간에 따라 발산하며 오차 보정 기법이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 GPS의 위치 정보를 보행 항법 장치의 항법 정보와 결합하여 오차를 추정, 보상하는 WNS/GPS 약결합(loosely coupled) 칼만필터를 구성하였다.

칼만필터의 상태변수는 위치오차, 속도오차, 방위각 오차, 자이로 바이어스, 보폭 오차 그리고 걸음 주파수 오차로 하였으며 오차 미분 방정식은 선형 섭동법(linear perturbation)을 이용하여 유도하였다. 칼만필터의 구성은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x(t+1) &= F(t)x(t) + w(t), \quad w(t) \sim N(0, Q) \\ z(t) &= Hx(t) + v(t), \quad v(t) \sim N(0, R) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $x(t) = [\delta P_w \quad \delta V_w \quad \delta \psi_w \quad \varepsilon_z \quad \delta l_w \quad \delta f_w]^T$

$$F(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -(\delta l_w \sin \psi_w + s_w \psi_w \cos \psi_w) & -s_w \sin \psi_w & f_w \cos \psi_w & f_w \cos \psi_w \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \delta l_w \cos \psi_w & s_w \cos \psi_w & -f_w \psi_w \sin \psi_w & -l_w \psi_w \sin \psi_w \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -s_w \psi_w \sin \psi_w & s_w \cos \psi_w & f_w \sin \psi_w & f_w \sin \psi_w \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = [I_{2 \times 2} \quad 0_{2 \times 6}]$$

그리고 측정식은 다음과 같다.

$$z(t) = \begin{bmatrix} P_{WNS}^N(t) \\ P_{WNS}^E(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (P_{GPS}^d(t) - P_{GPS}^d(0))R_m \\ (P_{GPS}^d(t) - P_{GPS}^d(0))R_l \cos \phi \end{bmatrix} \quad (8)$$

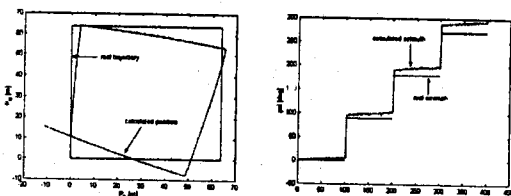
저급 관성 센서를 사용하여 개인 항법 장치를 구성하므로 시뮬레이션에서 사용된 자이로는 1[deg/s]의 바이어스를 가지고 있다고 가정하였다. 그리고 초기 오차 공분산 및 공정 잡음, 측정 잡음 공분산 행렬의 크기는 다음과 같이 설정하였다.

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

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

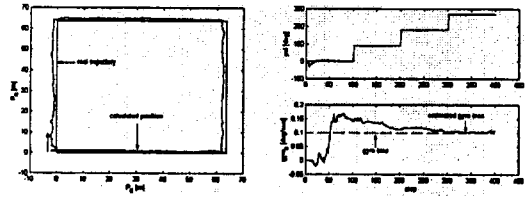
$$R = \text{diag}\{(7m)^2 \quad (7m)^2\}$$

보행 항법 장치의 시뮬레이션은 총 400걸음을 보행한 것으로 순수 WNS를 수행한 것과 WNS/GPS 결합 항법을 수행한 것을 각각 비교하였으며 그림 5에서 나타내었다. 보폭은 앞에서 제시한 Neural Network를 이용하여 결정하였고 방위각은 1[deg/s]의 바이어스가 포함된 자이로로 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 5의 (c)와 (d)는 WNS/GPS 결합 항법을 수행한 것의 위치와 방위각 그리고 추정된 자이로 바이어스를 각각 나타낸 것이다. GPS의 위치 정보를 이용하여 약결합 방식으로 WNS와 결합된 경우 자이로 바이어스 상태변수는 가관측 하므로 그림 5 (d)에서 잘 추정되는 것을 확인할 수 있으며 이 때 추정된 자이로 바이어스는 0.1104[deg/s]이다. 그림 6은 201걸음부터 GPS 신호가 단절된 경우의 위치와 추정된 자이로 바이어스를 나타낸 것으로 200걸음동안 추정된 자이로 바이어스를 보상으로 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) WNS 위치

(b) WNS 방위각



(a) WNS/GPS 위치

(b) WNS/GPS 방위각 & 자이로 바이어스

그림 5. WNS 및 WNS/GPS 시뮬레이션

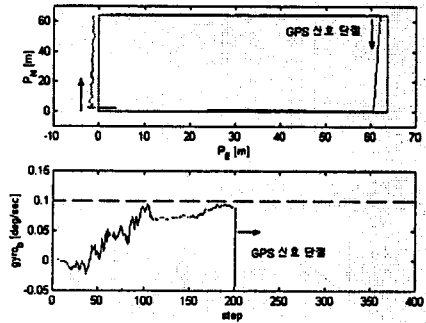


그림 6. WNS/GPS 결합에서 GPS신호가 단절된 경우

### 3. 결 론

본 논문에서는 저급 관성 센서를 이용하여 개인 항법 장치를 구성할 때 필요한 모델링을 제시하였고 이때 중요한 변수인 보폭을 신경 회로망을 구성하여 결정하는 방법을 제시하였다. 그리고 오차 보정을 위하여 GPS와 결합하여 오차를 추정하는 칼만필터를 구성하였다.

걸음 주파수에 의존하는 보폭은 제시한 신경 회로망에 의하여 잘 추정되며 또한 불필요한 움직임 또한 필터링 되는 것을 알 수 있다. 그리고 제시한 칼만필터에 의하여 오차가 추정되어 발산하지 않는 것을 볼 수 있다.

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

### 후 기

본 연구는 1999년도 국가지정연구실 사업 "GPS/INS/CDMA 통신망 통합 복합항법시스템 개발"에 의해 수행되었습니다

### [참 고 문 헌]

- [1] 김상섭, 진용, 조성운, "저급 IMU의 오차 보정," 항공우주 공학회 춘계학술발표회 논문집, 2000. 5
- [2] 이준호, 조성운, 진용, 박찬국, "개인 항법 시스템을 위한 가속도 측정장치의 배치에 따른 보행 특성 분석," KACC, 2000.
- [3] K. Aminian, E. Jequier and Y. Schutz, "Estimation of Speed and Incline of Walking Using Neural Network", IEEE, IMTC 1994
- [4] L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig, "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering," John Wiley & Sons INC.