

능동형 DR 기반의 위치 추적용 RF 모듈의 설계 및 제작

論 文
9-2-3

The Design and Fabrication of an Active DR-Based RF Module for Location Tracking

김 동 옥*
Dong-Ok Kim

Abstract

This paper proposes a realtime tracking algorithm of mobile object in indoor or outdoor environment. For this purpose the proposed system selects location data closer to mobile objects in real time using Triangulation method and DCM (Database Correlation Method). Also, this system utilizes the adjusted location data selected by using Kalman filter to improve the location accuracy of transfer object. Be studied in existing the Kalman filter have unstable location data until its settlement because of it extracts current values by using the past the information. However, proposed location tracking system don't apply existent Kalman filter to this system and it permits precisional tracking location by using more effective methods.

Keywords : GPS, MDT, BTS, SPS, PPS

I. 서 론

A-GPS 방식은 GPS위성이 잘 보이는 Outdoor에서는 GPS 수신신호를 가지고 위치를 계산하고, GPS 수신신호가 약한 Indoor(건물내부, 지하 등)에서는 GPS신호와 이동통신망의 기지국(BTS)신호를 결합하여 위치계산을 하게 되는데, 이 경우에는 BTS의 신호가 중계기를 경유하여 단말기에 도달한 경우에는 중계기에 의한 전파 도달시간의 지연으로 인하여 위치 정확도에 문제를 야기하는 경우가 있다. 그럼에도 불구하고 한국의 무선통신망은 세계적으로 유래를 찾아보기 어려울 정도로 과다하게 중계기(Repeater)가 설치되어 있는 기형적인 구조를 가지고 있어서 중계기에 대한 기술적인 대안이 절실하게 필요한 실정이다. 중계기에 대한 기술적 대안으로는 중계기에 별도의 MDT

(Mobile Data Terminal) 설치, 의사GPS 설치 등 많은 제안들이 있으나, 현실적으로 설비투자비용, 관리의 문제 등으로 현실성과 사업성이 전혀 결여된 기술적인 제안 수준이다. 또한, 개발을 위한 환경(단말기, 무선통신망과의 연동, BTS Almanac, R-GPS설치 등) 구축에 많은 비용이 들어가기 때문에 처음부터의 개발도 쉽지 않은 상황이다.

한국의 중계기망에서도 위치 정확도를 획기적으로 개선할 수 있는 관성센서를 결합하여 개인이 휴대하면서 건물내부, 도심지역, 특정한 위치에서 GPS가 수신되지 않는 환경에서도 사용할 수 있도록 슬라이드스테이드 항법 알고리즘을 제안한다.

접수일자 : 2010년 04월 01일
최종완료 : 2010년 06월 15일
*김동옥 : ICPC.ac.kr
교신저자, E-mail : dokim@icpc.ac.kr

II. GPS와 추측항법

1. GPS를 이용한 항법

GPS에 의해 제공되는 측량과 항법의 정밀도는 사용하는 신호와 자료 처리 방법에 따라 영향을 받지만, 부호신호를 이용할 경우 대역폭이 1MHz인 Pseudo Random Noise(PRN)를 반복하는 L1 반송파에 담겨지는 데이터인 C/A(Coarse Acquisition) 코드와 L1과 L2에 모두 변조되는 주기가 매우 긴(7일) 10MHz PRN 코드인 P (Precise) 코드 중 어느 것을 사용하느냐에 따라 SPS(Standard Positioning System)와 PPS(Precise Positioning System) 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

대부분의 수신기는 SPS신호를 받을 수 있도록 되어있으며 SPS의 정밀도는 미국 국방성의 정책에 의해 고의적으로 제한된다. SPS의 정밀도는 수평 100m, 수직 156m, 시간 167nsec이며 95% 정밀도내의 오차를 가진다. 암호해독장치를 갖춘 허가된 사용자만이 특별히 고안된 수신기를 이용하여 PPS를 수신할 수 있다.

미군과 연합군, 일부 미국 미국정부로부터 선택된 민간 사용자들이 대상이 되며 PPS를 사용할 경우 수평 33m, 수직 27m, 시간 100나노초의 정밀도를 가진다.

GPS의 오차는 구조적인 요인에 의한 거리오차, 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 오차 증가 그리고 미국 국방성이 실시하는 선택적 이용성에 의한 오차 등이 있다. 구조적인 요인에 의한 거리 오차는 위성과 수신기간의 측정된 거리의 오차를 의미하는데, 위성시계, 위성궤도, 대기권의 전파 지연 및 수신기 오차 등으로 발생하며, 약 5~10m 정도이다. 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 오차로는 GPS 수신기가 관측한 데이터를 이용하여 PDOP(Position Dilution of Precision)를 계산하고, 이를 거리오차에 곱하면 측위 오차가 된다. 따라서 대부분의 수신기는 PDOP가 작은 위성의 조합을 선택하여 측위 계산을 하고 이를 표시하도록 설계 되어 있다. 최근 수신기의 성능이 좋아서 PDOP가 3인 범위에서 평면으로 약 10m정도이다. 선택적 이용성에 의한 오차(SA: Selective Availability)는 증가시킨 것으로, 미국 국방성이 인가한 사람만이 선택적으로 사용할 수 있다는 의미로 선택적 이용성인 것이다. 일반적으로 민간에게 허용된 GPS의

위치 정확도는 SA가 제거된 이후 2DRMS(Twice Distance Root Mean Square)로 약 20m 미만이다.

항법에 주로 이용되는 추측항법(Dead-Reckoning)은 관성항법장치 원리를 이용한 것으로 단말기에 설치된 자이로센서, 휠센서, 스피드센서, 가속도센서 등을 이용하여 물체의 이동거리와 방위각을 검출하여 상대위치를 측정해내는 시스템이다. 이는 단말기에 설치된 센서의 정확도에 따라 측위의 정확도가 영향을 받으며, 이러한 센서의 오차에 의한 정확도의 보정을 위하여 지도상에서 현재 위치를 보정하는 기술(Map Matching)을 사용한다.

DR 시스템은 미사일 추적 등과 같이 군사목적으로 개발된 것이지만 GPS보다 훨씬 이전부터 항공기나 선박 등과 같은 일반 항법분야에 활발히 이용된 기술이다. 앞서의 GPS와 DR 시스템을 비교할 때 어느 것이 더 좋은 위치추정시스템인지 단언하기란 매우 어렵다. 이들 시스템은 각각 절대측위 시스템과 상대측위 시스템으로 근본 성격이 다르기 때문이다. 최근 GPS의 한계를 극복하기 위한 오차보정 위치추정 시스템(DGPS)이 활발히 연구되고 있으며 GPS와 DR의 단점을 상호 보완할 수 있는 솔리드스테이트형 위치확인시스템도 활발히 연구 적용되고 있다.

2. 솔리드스테이트 항법

솔리드스테이트 항법의 위치 취득에는 차속센서와 방위 센서 및 GPS를 복합적으로 활용하는 방식이다. 이는 전파가 도달하지 않는 곳에서 위치추정이 곤란한 GPS 방식의 단점과 오차가 누적되는 추측항법의 단점을 보완한 솔리드스테이트 방식이다.

솔리드스테이트 방식은 GPS를 사용할 수 없는 곳에서는 추측항법을 이용하여 정확도가 높은 측위를 할 수 있으며, GPS 측위가 가능한 경우에는 그 오차를 보완하기 위해 추측항법과 결합, 필터 기술 등에 의해 단독으로는 불가능했던 고정밀도의 측위를 할 수 있다. 관성항법장치에서 얻어지는 연속적인 속도, 위치 정보는 단기간에는 정확하지만 시간이 지날수록 정확도가 떨어지고 GPS에서 제공되는 위치 정보의 정확도는 시간에 따라 변하지는 않지만, 공간적인 제약이나 위성신호의 인위적인 교란 및 차단에 의하여 때때로 사용할 수 없거나 제한적으로 사용이 가능하다. 따라

서 두 기술을 사용하는 복합 항법장치는 어느 한 쪽만을 사용하는 것보다 성능과 안정성 면에서 더 뛰어나다. 이러한 이유로 항법장치는 관성항법과 GPS를 결합한 형태로 개발한다.

III. 설계 및 제작

1. 하드웨어 구성

복합항법 시스템은 센서부, MCU부, GPS수신기로 구성된다. 시스템 구성도는 그림 1과 같으며, DR 시스템은 가속도센서와 자이로센서를 사용하는 비접촉 방식과 차속센서와 자이로센서를 사용하는 접촉 방식을 모두 사용 가능하도록 일체형으로 설계 하였다. 그리고 GPS와 DR 시스템의 통합은 약 결합 방식의 칼만 필터(Kalman filter)를 적용하였고, 관성센서는 가속도센서 myAccel3LV02과 자이로센서 myGyro300SPI 모듈을 적용하였다.

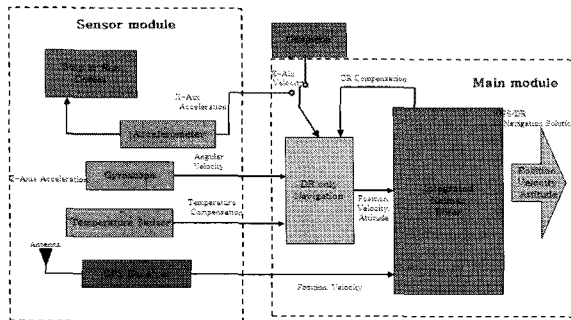


그림 1. 솔리드스테이트항법시스템 구성도

통합시스템의 알고리즘 개발을 위해 먼저 개발 프로그램을 PC상에서 시뮬레이션 할 수 있도록 후처리용 솔리드스테이트항법시스템을 그림 2와 같이 개발하였다. 각 센서들은 각속도와 가속도 정보를 아날로그 신호로 출력하며, MCU로는 12bit AD converter와 USART를 가지고 있는 PIC16C773을 사용하여 MCU내의 AD converter가 센서로부터 받은 아날로그 신호를 디지털 변환한다. GPS 수신기로부터는 NMEA format으로 data가 출력이 되며 이 data를 MCU의 USART를 통하여 받은 후 MCU내부에서 필요한 정보를 수집한 후 디지털 변환된 센서 정보와 같이 항법연산에 필요한 정보를 PC에 보낸다.

그림 3은 솔리드스테이트 항법 시스템의 내부 구조도를 나타내었다. 경로 궤적 단말기로서 GPS

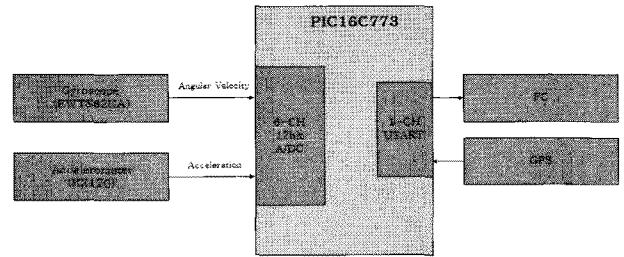


그림 2. 후 처리용 솔리드스테이트항법시스템 개략도

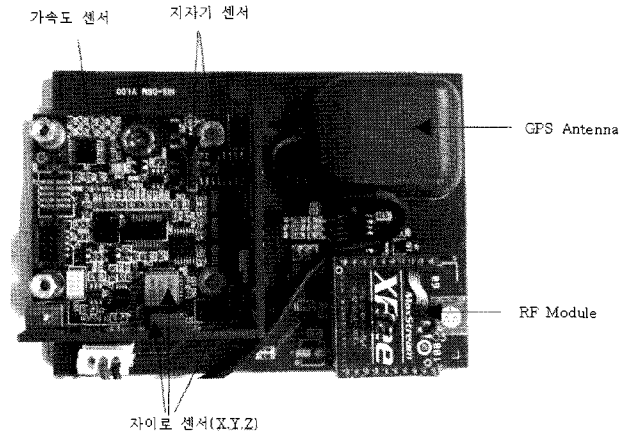


그림 3. 솔리드스테이트 항법 시스템

와 각종 센서로부터 데이터를 수신하여 프로세서에서 처리 하도록 하였고, 지자기, 자이로, 가속도 센서를 이용하여 복합 센서 모듈로서 측정 데이터를 수집할 수 있도록 설계하였다.

2. 솔리드스테이트 항법 알고리즘

솔리드스테이트 항법시스템 통합을 위한 칼만 필터를 유도하기 위해서 솔리드스테이트형 필터를 구현하고 먼저 상태 방정식과 측정방정식을 구하여야 한다. Body frame에서의 가속도에 대한 상태 방정식은 상태방정식과 측정방정식으로부터 항법해를 구하기 위해서 UD Factorization 알고리즘을 사용하였고 그 유도식은 다음과 같다.

$P=UDUT$ (단, P는 공분산, U는 upper triangular matrix, D는 diagonal matrix) 다음의 P matrix를 U와 D로 분리해 보자.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{12} & P_{22} & P_{23} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

라 가정하자

그러면,

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & u_{13} \\ 0 & 1 & u_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{12} & P_{22} & P_{23} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & u_{13} \\ 0 & 1 & u_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & u_{13} \\ 0 & 1 & u_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} d_{11} + d_{22}u_{12}^2 + d_{33}u_{13}^2 & d_{22}u_{12} + d_{33}u_{13}u_{23} & d_{33}u_{13} \\ d_{22}u_{12} + d_{33}u_{13}u_{23} & d_{22} + d_{33}u_{23}^2 & d_{33}u_{23} \\ d_{33}u_{13} & d_{33}u_{23} & d_{33} \end{bmatrix} \\
 d_{33} &= P_{33}, u_{23} = \frac{P_{23}}{d_{33}} \text{ or } \frac{P_{23}}{P_{33}}, \dots \quad (2)
 \end{aligned}$$

가 된다. Measurement update는 다음과 같이 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_k^+ &= P_k^- - P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} H P_k^- \\
 &= U_k^- D_k^- U_k^{-T} - U_k^- D_k^- U_k^{-T} H^T \\
 &\quad (H U_k^- D_k^- U_k^{-T} H^T + R)^{-1} H U_k^- D_k^- U_k^{-T} \\
 &= U_k^- [D_k^- - D_k^- V (R + V^T D_k^- V)^{-1} V^T D_k^-] U_k^{-T} \\
 &\quad (\text{where } V = U_k^{-T} H^T)
 \end{aligned}$$

(3)

Time update는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_{k+1}^- &= \Phi P_k^+ \Phi^T + G Q G^T \quad (4) \\
 &= (\Phi U_k^+) D_k^+ (\Phi^T U_k^+)^T + G U_Q D_Q U_Q^T G^T \\
 &= Y_k \tilde{D}_k^+ Y_k^T \\
 \tilde{D}_k^+ &\equiv \begin{bmatrix} D_k^+ & 0 \\ 0 & D_Q \end{bmatrix} \\
 Y &\equiv [\Phi U_k^+ M G U_Q]
 \end{aligned}$$

실제로 구현 할 때 위와 같은 형태의 matrix 계산을 하게 되면 계산량이 오히려 많아지게 되므로, measurement update를 할 때에는 각각의 measurement 값이 서로 independent하므로 Scalar Measurement Update방법을 사용하며, time update할 때에는 Weighted Modified Gram-Schmidt Algorithm 방법을 사용하게 된다. Scalar Measurement Update는 다음과 같이 된다.

$a_0 = R$ 라 놓고,

$$f = U_h^- H_k^T \quad (5)$$

$$v_j = D_{h,jj}^- f_j \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ (state 개수)}$$

$$k = 1, \dots, n$$

$$a_k = a_{k-1} + f_{h,k} v_{h,k} \quad (6)$$

$$D_{h,kk}^+ = D_{h,kk}^- a_{k-1} / a_k$$

$$b_k \leftarrow v_k$$

$$P_k = -f_{h,k} / a_{k-1}$$

$$U_{h,jk}^+ = U_{h,jk}^- + b_j P_k$$

$$b_j \leftarrow b_j + U_{h,jk}^- v_k \quad i = 1, \dots, k-1$$

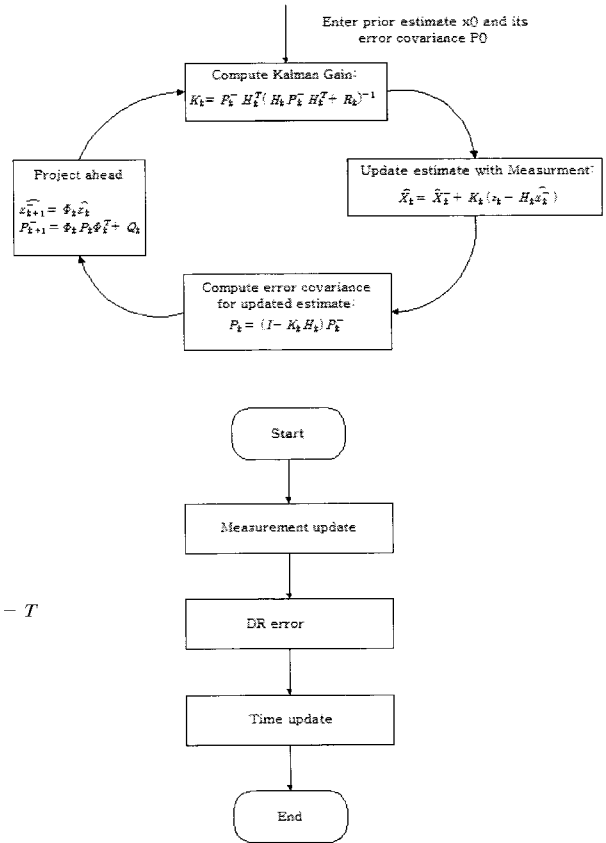


그림 4. 칼만필터 루프

여기서 Kalman gain은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_h = b / a_n$$

따라서 Measurement update는 다음과 같이 하 면 된다.

$$\hat{x}_h^+ = \hat{x}_h^- + K_h [z_h - \hat{z}_h] \quad (7)$$

물론 이러한 scalar measurement update를 각각의 measurement 개수만큼 해주어야 한다. Time Propagation는 Weighted Modified Gram-Schmidt 방법을 사용하고 우선 Modeling error covariance matrix Q를 다음과 같이 factorization한다.

$$Q = Q_u Q_d Q_u \quad (8)$$

그리고 식 (6)을 식 (8)에 적용 하면 식 (9)와 같이 matrix를 구하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Y_{h+1}^- \equiv [\Phi(h+1, h) U_h^+ | Q_u]$$

$$\tilde{D}_{h+1}^- \equiv \left[\begin{array}{c|c} D_h^+ & 0 \\ \hline 0 & Q_d \end{array} \right] \quad (9)$$

State에 대한 time update는 다음과 같이 한다.

$$x_{h+1}^- = \Phi(h+1, h) x_h^+ \quad (10)$$

칼만 필터 튜닝은 다음과 같이 할 수 있다. 시스템의 상태 방정식과 측정 방정식이 다음과 같

2) 실험결과

실외 GPS의 오차는 건물이 많거나 기타 간섭 요인으로 GPS 위성의 수신 개수가 5개 이하로 적을 때 상대적으로 오차가 커서 10m내외의 위치 오차를 나타내고 수신가능 위성의 개수가 많을 때는 5m이내의 위치 오차를 나타내며 무선 통신은 전반적으로 양호하였다.

GPS 위성 상태는 3개의 위성이 탐색 되었을 경우 솔리드스테이트 시스템에 의한 위치 항법결과는 그림 5와 같이 약간의 불연속적인 상태를 확인 할 수 있었다.

그림 6의 실험 결과 솔리드스테이트 복합항법은 간헐적으로 불연속적인 부분이 존재하는 GPS만에 의한 항법결과에 비해 연속적인 항법이 되고 있음을 보여주고 있어 그 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 GPS신호가 수신되는 경우에는 GPS/DR통합 시스템의 위치 항법 결과가 GPS 위치 궤적을 필터링 되는 효과가 잘 나타나지만, DR단독 항법 수행 시 가속도센서 오차로 인해 발산의 크기가 상당히 큼을 알 수 있고, 주행 중에 GPS/DR이 위치 값이 튕는 경우가 발생했는데 이는 GPS의 잘못된 위치 정보, 즉 GPS수신기의 노이즈문제로 인해 데이터 송신 시 데이터가 깨지는 경우에 발생하는 현상인 것으로 확인되었다. 따라서 잘못된 위치 정보를 사용하지 않았을 경우는 그림 6과 같이 나타났다.

그림 7은 솔리드스테이트와 GPS에 대한 방위각 결과 값을 나타내고 있다. GPS만의 결과를 보면 차량이 정지하거나 저속일 경우 적절한 방위각을 나타내지 못하고 있으나, 솔리드스테이트의 결과는 이러한 경우에도 정확하고 연속적인 값을 나타내고 있어 그 효과가 뚜렷한 것을 알 수 있다.

정지 판단을 위한 임계치는 정지 상태와 이동 상태를 구분하기 위한 것이므로 정지 상태에서의 값과 이동 상태에서의 값의 중간 값을 설정하여야 한다. 정지 상태의 값을 구하기 위해서 GPS 속도 정보를 기준으로 속도가 0일 때의 구간을 정하였다. 그러나 GPS data와 솔리드스테이트 data 간에 정확하게 일치하지 않는 값이 출력될 수도 있고 GPS data가 정확하지 않을 수도 있으므로 정확한 정지 구간이라고 판단되는 구간을 선정하여 임계치를 정하였다.

그림 8, 9는 각각 선정된 정지 구간에 대한 가속도계, gyroscope data 값을 보여주고 있다. 이

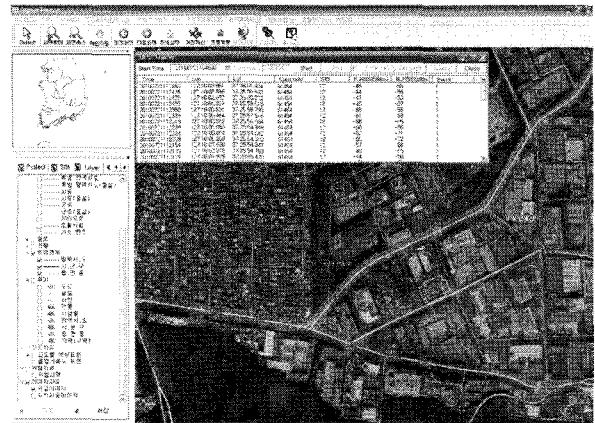


그림 5. 솔리드스테이트 GPS 위치 항법 결과 비교

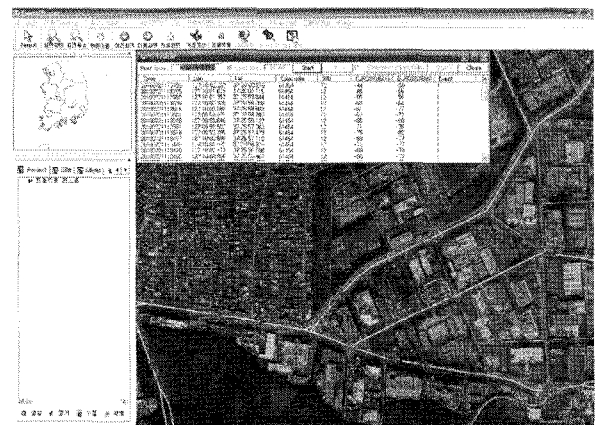


그림 6. 잘못된 위성 측정치를 사용하지 않을 때의 결과

그림 7. 솔리드스테이트와 GPS의 방위각 비교

값들의 표준편차는 다음과 같고 이 표준편차를 임계치로 설정하였다.

표 2. 센서값들의 임계치

	Accel x	Accel z	gyroscope
Threshold	0.32885 (mg)	0.49539 (mg)	0.04173 (deg/s)

임계치를 기준으로 솔리드스테이트 data의 정지 판단을 한 후 이를 GPS data와 비교하여 보았다. 비교 data는 HDOP를 기준으로 신뢰성 있는 GPS

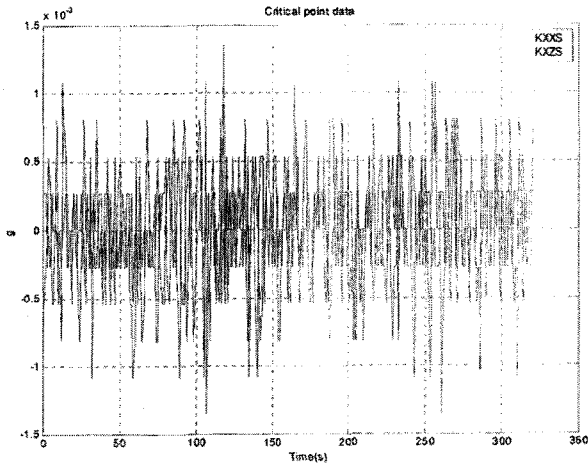


그림 8. 가속도센서 임계치

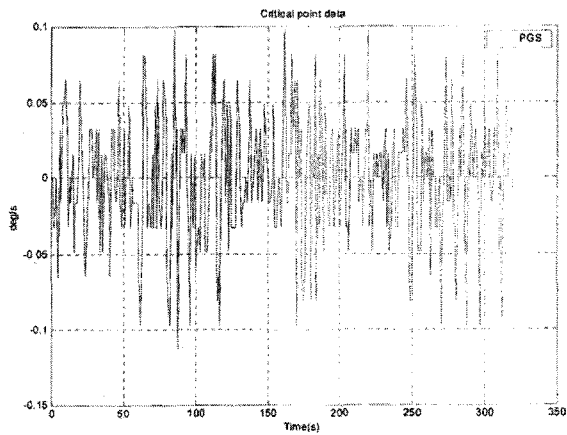


그림 9. 자이로센서 임계치

data를 추출하여 사용하였으며 GPS의 경우는 속도가 0일 경우 정지 상태이고 솔리드스테이트 data의 경우는 가속도계 x, z gyroscope 모두 임계치 이하일 경우 정지 상태로 판단하였다.

GPS data를 기준으로 GPS가 0일 때 솔리드스테이트 이동 상태이면 error로 판별하였다. Data의 신뢰도를 높이기 위해 GPS data가 5sec 연속으로 0이 나올 때만 정지로 판단하고 솔리드스테이트 정지 상태에서 5sec 연속으로 이동할 때 이동으로 판단하였다. 정지 판단결과 임계치의 설정한 값의 1배일 경우 많은 오차가 포함되었으며 2배인 경우부터 오차가 많이 줄어들고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 관성센서를 결합하여 개인이 휴대하면서 건물내부, 도심지역, 특정한 위치에서

GPS가 수신되지 않는 환경에서도 사용할 수 있도록 항법 알고리즘을 이용한 RF System을 개발하였다. 현재 개발된 시스템은 중앙 집중형 필터 구조에 비하여 최적성 면에서는 성능이 뒤지지만 GPS의 수신신호가 차단된 공간에서는 중앙 집중형 보다 현저하게 향상된 특성을 구할 수 있었다. 또한 비교적 큰 오차 누적이 없이 동작하여 관성항법 및 기타 항법 시스템과 적절히 결합한다면 군·경 긴급 작전 지역, 소방대원의 화재진압 지역, 토목현장, 건설 현장 등 공사 지역에도 유용하게 적용 가능하며, 개인휴대형 항법 시스템에 사용화할 수 있을 거로 기대된다.

향후 GPS의 동기 시간을 단축하기 위해 AGPS를 적용하는 방안을 검토하고 GPS위치 정확도를 개선하기 위해 고정위성(MSAS)을 이용한 위치보정 DGPS 모듈을 적용하여 위치 정확도를 2~3m까지 정밀도를 위한 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] V. Jacobson and M. J. Karels, "Congestion avoidance and control", in *Proceedings of SIGCOMM*, 1988.
- [2] W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated Vol. 1*, Addison Wesley, Nov.1994.
- [3] H. Balakrishnam, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A comparison of mechanism for improving TCP performance over wireless links," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 756-769, 1997.
- [4] C. Dhawan, *Mobile Computing*, McGraw-Hill, 1997.
- [5] 이상연, 임행빈, 정충교, "핸드오프로 인한 유무선 혼잡 TCP 연결의 성능 저하 방지 방안", 한국통신학회 논문집, vol. 18, no. 1, 1998.
- [6] 김효선, 유 혁, "무선망에서의 개선된 TCP 프로토콜에 대한 고찰", 한국정보과학회 논문집, vol. 25, no. 2, 1998.

Biography



김 동 옥

1986년 서울산업대학교 전자통신공학 졸업
(공학사)

1988년 광운대학교 전자통신공학과 졸업
(공학석사)

2000년 한국항공대학교 정보통신과 졸업
(공학박사)

2003년~ 현재 한국정보통신기술대학 이동통신과 교수

<관심분야> 유무선통합망(FMC), Digital Communication
System, OFDM, MIMO

<e-mail> dokim@icpc.ac.kr