

論文96-33B-5-13

칼만 필터를 이용한 DGPS의 위치측정 정확도 향상에 관한 연구

(A Study on the Improvement of DGPS Positioning Accuracy Using a Kalman Filtering Method)

朱世哲*, 吳政憲*, 李昌福**, 金榮旭*, 金基斗*

(Se-Chul Chu, Jung-Hun Oh, Chang-Bok Lee, Young-Wook Kim and Ki-Doo Kim)

요 약

제안한 DGPS 위치측정 시스템은 기준국과 이용자 각각 GPS 모듈 1 대와 모뎀만으로 구성하고, 기준국은 매 주기마다 수신계획을 세우고 한 주기에 여러 종류의 위성 세트에 대한 보정정보를 제공한다. 그리고 RLSLF (Recursive Least Squares Lattice Filter)를 통하여 가능한 많은 이용자가 계속적으로 보정정보를 이용할 수 있도록 효율적인 운용기술을 제시한다. 더욱이 DGPS 기술 운용시 제거할 수 없는 이용자와 기준국 사이의 비공통적인 오차 요인들을 백색 가우시안 잡음으로 모델링을 하고, 칼만 필터링 기법을 적용하여 위치 측정 정확도를 향상시키므로써 이용자가 거의 실시간으로 약 5미터 이내의 오차로 위치를 측정할 수 있도록 한다.

Abstract

For each reference station and user, the proposed DGPS system is implemented by a GPS module and a modem. The reference station makes plans of the receiving schedule from the satellite sets at each period and then provides the correction data for various satellite sets in a period. Users can utilize the correction data continuously and efficiently through the recursive least squares lattice filters. Furthermore, after taking DGPS techniques, we can improve the positioning accuracy using a Kalman filter by decreasing anti-common errors between a reference station and a user. Experimental results show the positioning accuracy of better than 5 meters in almost real time.

1. 서 론

GPS (Global Positioning System)^[1,2]란 위성으로부터 위치 및 시각 정보 등을 받아 이용자의 위치를 알려주는 위성 항법 시스템을 말한다. 미국에서 개발된 GPS는 개발초기에 10~20 미터 정도의 정확도를 갖고

있었다. 그러나 현재 운용 중인 24 개의 GPS 위성들은 시스템 제어국이 군사적인 목적으로 선택적 이용성 (S/A: Selective Availability)을 사용하여 위치측정 정확도를 고의로 저하시키기 때문에 약 100 미터 정도의 정확도로 위치측정이 가능하다. 이러한 S/A에 의한 위치측정오차는 위성궤도정보의 조작 및 위성탑재시계의 주파수 흔들림 등에 기인한다. S/A에 의한 오차, 전리층이나 대류권에서의 전파지연 등은 모든 이용자들에게 공통적인 오차요소로 이미 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 위성신호를 분석하여 이용자들에게 보정정보를 제공하므로써 제거될 수 있는데 이를 DGPS (Differential GPS) 기술이라 한다^[3,4]. 이때 이

* 正會員, 國民大學校 電子工學科

(Department of Electronics Engineering, Kook-Min University)

** 正會員, 韓國標準科學研究院 電磁氣研究部

(Korea Research Institute of Standards and Science, Division of Electromagnetic Metrology)

接受日字:1996年1月22日, 수정완료일:1996年4月24日

용자는 기준국에서 전송한 의사거리 오차 (pseudo-range error) 또는 위치측정오차를 이용하여 측정값을 보정함으로써 보다 정확한 항법해를 계산할 수 있다. 그러나 DGPS 기술을 이용한 위치측정 정확도는 기준국과 이용자 사이의 거리가 멀어짐에 따라 저하되고^[3,5] 백색 가우시안 잡음 (white Gaussian noise)으로 모델링될 수 있는 다중경로 페이딩 (multipath fading), 수신기 내부의 열 잡음 (thermal noise), 양자화 잡음 (quantization noise) 등과 같은 기준국과 이용자 사이의 비공통적인 요소들로 인하여 저하된다.

본 논문에서는 DGPS 기술을 이용하여 공통 오차를 제거하고, 또한 보다 많은 이용자들에게 DGPS 서비스를 제공하기 위해 RLSLF를 이용한 시스템 운용기술을 적용한다. 그리고 비공통 오차를 효과적으로 줄이기 위해 칼만 필터 (Kalman filter)를 이용하여 5 미터 이내로 위치측정 정확도를 향상시킬 수 있는 방법을 제시한다.

II. DGPS 기술을 이용한 위치측정 원리 및 오차요인

DGPS 기술을 이용한 위치측정 방법은 정확한 위치를 알고 있는 기준국에 GPS 수신기를 설치하고 GPS 위성신호의 오차를 측정하여 이를 이용자에게 전송함으로써 이용자가 수신된 보정정보로 측정값을 보정하여 보다 정확한 항법해를 구할 수 있도록 하는 기술이다.

DGPS 기술을 이용한 위치측정 방법은 다음과 같이 세가지로 구분할 수 있다. 첫번째 방법은 정확한 위치를 알고 있는 기준국에 수신기를 설치하고, 직각좌표계로 측정된 위치와 기준국의 실제위치와의 위치측정오차 ΔX , ΔY , ΔZ 데이터를 이용자에게 전송하는 방법이고, 두번째 방법은 기준국에서 수신 가능한 모든 GPS 위성들에 대한 의사거리를 측정하여 이들의 의사거리 보정값을 이용자에게 제공하는 방법이다. 세번째 방법은 기준국에서 모든 위성들의 의사거리 보정값을 GPS 위성과 동일한 주파수와 데이터 포맷으로 전송하는 방법이다.

식 (1)로 정의된 DGPS 위치측정오차는 그림 1에 나타난 바와 같이 이용자가 기준국으로부터 거리가 멀어짐에 따라 커지고 위치측정오차의 최대값은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다^[3,5].

$$\delta R_{error} = \delta R_s - \delta R_u \quad (1)$$

$$\max(\delta R_{error}) \approx \frac{d}{D_u} \delta R \quad (2)$$

여기서 δR 은 위성위치 추산력 오차 (ephemeris error)이고, d 는 이용자와 기준국 사이의 거리이며, D_u 는 이용자와 GPS 위성간의 거리이다. 기준국과 이용자가 멀리 떨어져 있을 때, 신호가 전리층이나 대류권을 통과하는 지연 시간이 서로 다르므로 이로 인한 오차가 발생된다.

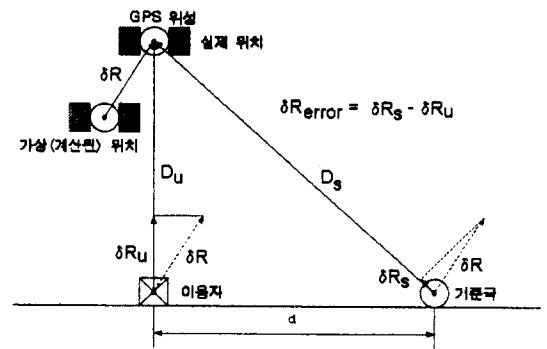


그림 1. 거리에 따른 DGPS 정확도의 저하
Fig. 1. Degradation of DGPS accuracy with distance.

위치측정 정확도를 저하시키는 요인으로 다중경로 페이딩, 수신기 내부의 열 잡음이나 양자화 잡음 등과 같은 기준국과 이용자 사이의 비공통적인 요소들이 있고 이들은 백색 가우시안 잡음으로 모델링될 수 있다.

III. DGPS 위치측정 시스템의 구성

본 논문에서는 일반 GPS 모듈과 모델을 이용하여 DGPS 시스템을 구성하였다^[6]. 그림 2는 칼만 필터를 사용한 DGPS 위치측정 시스템 구성도이다. 기준국에서는 GPS 모듈로부터 위성들의 궤도정보를 얻어 4개의 위성을 1개의 세트로 하는 여러 위성 세트들의 수신계획과 각 위성 세트에 대한 위치측정 보정값을 이용자에게 제공한다. 이용자는 관측 가능한 임의의 위성 세트로 위치측정을 하고 기준국으로부터 제공받은 보정정보로 위치측정값을 보정한다.

본 논문에서 구성한 DGPS 위치측정 시스템은 II장에서 언급한 DGPS 방법들 중 첫번째 방법을 사용하였으며, 이용자는 식 (3)과 같이 위치를 측정할 수 있다.

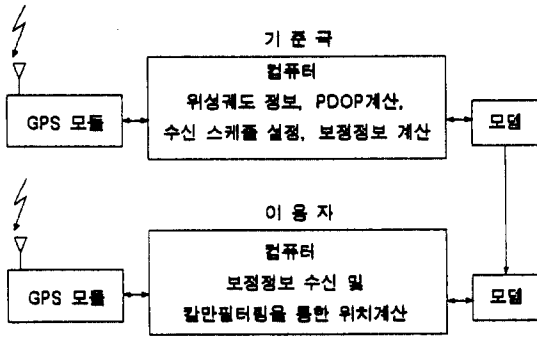


그림 2. 칼만 필터를 사용한 DGPS 위치측정 시스템의 구성도

Fig. 2. The block diagram of a DGPS system with a Kalman filter.

$$d_k = u_k - c_k \tag{3}$$

여기서 u_k 는 이용자가 GPS 모듈 자체를 이용하여 계산한 위치측정값 $[x_u \ y_u \ z_u]^T$ 를 나타내고, c_k 는 기준국으로부터 전송된 보정정보 $[\Delta x \ \Delta y \ \Delta z]^T$ 이며, d_k 는 DGPS 기술을 이용하여 보정된 위치측정값 $[x_c \ y_c \ z_c]^T$ 를 나타낸다. 또한 k 는 보정시각을 나타낸다.

이 방법은 기준국과 이용자가 동일한 위성 세트를 이용하여 위치측정을 해야 하므로 가능한 많은 이용자에게 서비스를 제공하기 위해서는 기준국에서 최대한 많은 종류의 위성 세트에 대한 보정정보를 제공하여야 한다. 만약 기준국이 한가지의 위성 세트에 대한 보정정보만을 제공한다면, 고층 건물이나 산악 지형 등으로 인하여 일부 이용자들은 기준국에서 수신하고 있는 위성 세트와 다른 위성 세트를 이용하여 측정할 수도 있기 때문에 이러한 이용자들의 경우에는 기준국에서 제공하는 보정정보가 유효하지 않으므로 DGPS 서비스를 이용할 수 없게 된다. 따라서 기준국은 이용자가 수신할 수 있는 총 위성 세트들 갯수 만큼의 GPS 모듈들을 갖추고, 각기 다른 위성 세트에 대한 보정정보를 해당 GPS 모듈을 통해 제공해야 되므로 기준국 설치 비용이 증가하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 기준국과 이용자가 각각 GPS 모듈 1 대만을 이용하여 DGPS 위치측정 시스템을 운용할 수 있는 효율적인 방법을 이용한다^[7].

먼저 기준국은 산이나 고층 건물로 인하여 GPS 위성신호 수신에 방해받지 않는 곳에 설치하여 이용자들이 수신 가능한 모든 GPS 위성신호를 수신할 수 있도록 한다.

또한 GPS 위성들의 궤도정보를 분석하여 현재 이용자들이 수신할 수 있는 모든 위성 세트를 계산하고 위성 세트에 대한 수신계획을 세운다. 수신계획은 일정한 시간을 주기로 세워지며, 한 주기에는 여러 개의 시간 프레임 (frame)을 두어 각 프레임마다 서로 다른 위성 세트에 대한 보정정보를 제공하므로써 기준국이 GPS 모듈 1 대만을 이용하여 대부분의 이용자에게 DGPS 서비스를 제공할 수 있도록 하였다.

이용자는 위치측정시 모델을 통해 기준국에 접속하여 해당하는 위성 세트에 대한 보정정보를 수신하므로써 DGPS 기술에 의해 보다 정확한 위치측정을 할 수 있다. 이때 이용자는 한 주기에 한 프레임에 해당하는 시간동안만 자신이 수신하고 있는 위성 세트와 동일한 위성 세트에 대한 보정정보를 제공받을 수 있게 되어 다소 비효율적일 수 있지만, 이용자가 원하는 위성 세트에 대한 보정정보를 모델링하여 사용하므로써 계속해서 보정정보를 받을 수 있도록 하였다. 그림 3은 이용자가 보정정보 모델링을 통하여 위치측정하는 방법을 보여준다. 가는 점선은 이용자와 기준국이 같은 위성 세트를 이용하여 위치측정하는 경우의 데이터 흐름을 나타내고, 기준국으로부터 모델을 통해 전송된 데이터는 위치계산시 보정정보로 사용되며 동시에 보정정보 모델을 결정한다. 굵은 점선은 이용자와 기준국이 다른 위성 세트를 이용하여 위치측정하고 있는 경우의 데이터 흐름을 나타내며, 보정정보 모델과 이용자의 수신기에서 측정된 값을 이용하여 계산된 보정정보를 위치측정에 사용하게 된다. 한편, 실선은 앞의 두 가지 경우 모두에 해당하는 데이터 흐름을 나타낸다.

위와같은 보정정보 모델링을 사용한 DGPS 기술로부터 이용자와 기준국 사이의 공통적인 오차를 제거하고, 비공통적인 오차들은 칼만필터를 적용해 줄임으로써 위치측정 정확도를 향상시킨다.

IV. RLSLF를 통한 보정정보 모델링과 칼만 필터의 구현

본 논문에서는 그림 3과 같이 운용되는 DGPS 시스템에서 이용자가 계속적으로 보정정보를 이용할 수 있도록 하기 위하여 AR (Auto Regressive) 모델로 보정정보를 모델링하여 사용하였다.

AR 모델은 MA (Moving Average) 모델이나 ARMA (Auto Regressive Moving Average) 모델

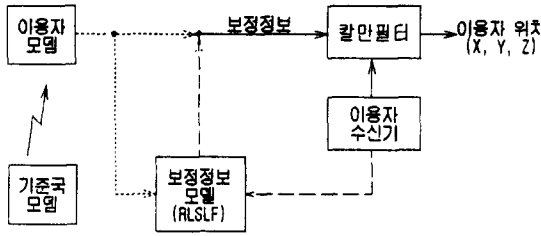


그림 3. 보정정보 모델링과 칼만 필터를 이용한 DGPS 위치측정 방법의 구성도

Fig. 3. The block diagram of DGPS techniques using a data correction modeling with a Kalman filter.

에 비하여 계산이 간단하고 선형 예측론 (linear prediction)에 쉽게 적용이 가능하다. 또한 AR 모델의 계수를 구할때 계산이 효율적이고, 안정성을 보장할 수 있는 격자 (lattice) 필터링 방법을 이용하였다^[8,9]. 특히 격자 필터링 방법 중에서도 반올림 (round-off) 오차에 민감하지 않고, 계수를 찾는 속도가 빠른 RLSLF (Recursive Least Squares Lattice Filter)를 이용하였다^[10,11]. 앞으로 벡터는 굵은체의 소문자 기호로 표시하기로 한다. (k+1) 번째 시각에서 보정정보를 계산하기 위한 RLSLF의 입력 y_k 는 다음과 같이 정의된다.

$$y_k = \begin{cases} \Delta c_k = c_k - c_{k-1} \\ \Delta u_k = u_k - u_{k-1} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 Δc_k 는 이용자가 기준국과 동일한 위성 세트로부터 보정정보를 제공받을 경우에 해당하는 RLSLF의 입력이고, Δu_k 는 이용자가 기준국이 수신하고 있는 위성 세트와 다른 위성 세트로부터 이용하여 보정정보를 제공받을 경우에 해당하는 RLSLF의 입력이다. 편의상 RLSLF에 사용되는 기호를 먼저 다음과 같이 정의한다. 여기서 p는 격자 필터의 단수 (stage number)를 나타낸다.

$\epsilon_{p,k}$: 순방향 예측오차, $\gamma_{p,k-1}$: 역방향 예측오차

$R_{p,k}^e$: 순방향 오차에 대한 공분산

$R_{p,k-1}^r$: 역방향 오차에 대한 공분산

$\gamma_{p,k}^c$: likelihood variable, $\Delta_{p,k}$: 부분상관계수

$K_{p,k}^e$: 순방향 반사계수, $K_{p,k}^r$: 역방향 반사계수

식 (5) ~ 식 (7)은 k 번째 시각에서의 RLSLF의 초기화 과정을 나타낸다.

$$\epsilon_{0,k} = \gamma_{0,k} = y_k \quad (5)$$

$$R_{0,k}^e = R_{0,k}^r = R_{0,k-1}^e + y_k y_k^T \quad (6)$$

$$\gamma_{-1,k}^c = 1 \quad (7)$$

위와 같이 초기화된 RLSLF는 식 (9) ~ 식 (16)에 나타난 계산과정을 식 (8)에서 결정된 횟수 동안 반복 수행하여 보정정보를 계산한다.

$$\begin{cases} 0 \leq p \leq k-1, & k \leq N_{\max} \\ 0 \leq p \leq N_{\max}-1, & k > N_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 N_{\max} 는 필터의 최대 차수를 나타낸다.

$$\Delta_{p+1,k} = \Delta_{p+1,k-1} + \epsilon_{p,k} \gamma_{p,k-1}^T / \gamma_{p-1,k-1}^c \quad (9)$$

$$\gamma_{p,k}^c = \gamma_{p-1,k}^c - \gamma_{p,k}^T [R_{p,k}^r]^{-1} \gamma_{p,k} \quad (10)$$

$$K_{p+1,k}^r = \Delta_{p+1,k} [R_{p,k-1}^r]^{-1} \quad (11)$$

$$\epsilon_{p+1,k} = \epsilon_{p,k} - K_{p+1,k}^r \gamma_{p,k-1} \quad (12)$$

$$R_{p+1,k}^e = R_{p,k}^e - K_{p+1,k}^r \Delta_{p+1,k}^T \quad (13)$$

$$K_{p+1,k}^e = [R_{p,k}^e]^{-1} \Delta_{p-1,k} \quad (14)$$

$$\gamma_{p+1,k} = \gamma_{p,k-1} - [K_{p+1,k}^e]^T \epsilon_{p,k} \quad (15)$$

$$R_{p+1,k}^r = R_{p,k-1}^r - \Delta_{p+1,k}^T K_{p+1,k}^e \quad (16)$$

위와 같이 구성된 필터에서 모델의 차수 N_{model} 은 식 (17)을 만족시키는 p의 값으로 결정할 수 있다^[12].

$$\min_{p \leq N_{\max}} \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{\|\epsilon_{p,i}\|_2}{\gamma_{p-1,i-1}^c} \right)^2 \quad (17)$$

식 (17)로부터 모델의 차수가 결정되면 보정정보는 다음과 같이 구할 수 있다^[13].

$$c_{k+1} = \sum_{p=1}^{N_{model}} K_{p,k}^r \gamma_{p-1,k} + c_k \quad (18)$$

필터의 최대 차수 N_{\max} 를 결정하기 위하여 필터의 차수를 변화시키면서 실제 보정정보와 모델링을 통해 얻

은 보정정보의 거리오차 ($\|c_{k+1} - \hat{c}_{k+1}\|_2$)를 계산하였다. 차수가 증가하면서 오차가 감소하지만 5 차 이상에서는 오차가 감소하는 폭이 매우 적어지므로 필터의 최대 차수를 5로 결정하였다^[7].

앞에서 언급했듯이 본 논문에서 사용한 DGPS 위치 측정 시스템은 식 (3)을 통하여 위치측정할 수 있다. 식 (3)을 이용하여 항법해를 구하면 일반적으로 GPS 모듈 자체만으로 측정한 항법해보다는 정확하지만, 측정치들이 오차를 발생시키는 잡음 성분을 포함하고 있기 때문에 약 10 미터 정도의 오차가 발생한다. 이러한 오차요인을 제거하므로써 보다 정확한 항법해를 구하기 위하여 이용자의 위치를 그림 4와 같이 적분형 랜덤 워크 프로세스로 모델링하였고, 이 모델을 칼만 필터링 기법에 적용하였다.

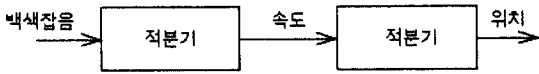


그림 4. 동적 관찰자를 위한 적분형 랜덤 워크 모델
Fig. 4. Integrated random walk model for a dynamic observer.

일반적으로 칼만 필터의 상태 방정식 (state equation)과 측정 방정식 (measurement equation)은 각각 식 (19)와 식 (20)으로 쓸 수 있다^[14].

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k, \quad w_k \sim (0, Q_k) \quad (19)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k, \quad v_k \sim (0, R_k) \quad (20)$$

여기서 $(0, Q_k)$ 는 평균이 0이고 분산이 Q_k 인 가우시안 확률 분포를 나타내고, $(0, R_k)$ 도 마찬가지로 정의할 수 있다. 또한 식 (19)와 식 (20)에 사용된 기호를 정의하면 다음과 같다.

- x_k : 시간 t_k 에서의 $(n \times 1)$ 상태 벡터
- Φ_k : $(n \times n)$ 상태전이행렬
- z_k : 시간 t_k 에서의 $(m \times 1)$ 측정 벡터
- H_k : $(m \times n)$ 관측 (observation) 행렬
- w_k : $(n \times 1)$ 백색 시퀀스 (white sequence) 벡터
- v_k : $(m \times 1)$ 백색 시퀀스 벡터 (v_k 와 w_k 의 상호상관관계는 0임)

시간 t_k 에서 이전 추정값을 \hat{x}_k 로 가정한다. 여기서 “^” (hat)은 추정값을 나타내고, 뿔첨자 “-”는 t_k 에서의 측정값과 융합하기 이전의 최상의 추정값이다. 식 (21)과 식 (22)로 각각 정의된 추정 오차 및 오차의 공분산 행렬을 알고 있다고 가정한다.

$$e_k^- = x_k - \hat{x}_k \quad (21)$$

$$P_k^- = E [e_k^- e_k^{-T}] = E [(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T] \quad (22)$$

초기 추정값이 없을 경우에 프로세스 평균이 0이고, 초기 추정값이 0이면 관련된 오차 공분산 행렬은 x 자체의 공분산 행렬이다. 이와 같이 초기입력으로 \hat{x}_k 와 P_k^- 를 사용할 때 칼만 필터의 알고리즘은 그림 5로 요약하여 나타낼 수 있다.

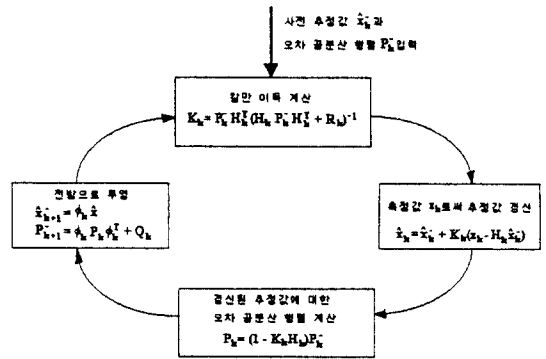


그림 5. 칼만 필터 루프
Fig. 5. Kalman filter loop.

본 논문에서는 식 (19)의 상태 벡터 x 를 다음과 같이 정의한다.

$$x = [x_u \ u_u \ \Delta x \ \Delta u \ y_u \ v_u \ \Delta y \ \Delta v \ z_u \ w_u \ \Delta z \ \Delta w]^T \quad (23)$$

여기서 u_u, v_u, w_u 는 각 축에 대한 이용자의 속도이고, $\Delta u, \Delta v, \Delta w$ 는 각 축에 대한 보정정보의 변화율을 나타낸다. 또한 식 (19)의 상태전이행렬 Φ_k 와 프로세스 잡음 (process noise) 공분산 행렬 Q_k 를 각각 식 (24)와 식 (25)로 나타낼 수 있다. 이때 ΔT_k 는 추정값 갱신 시간 간격을 나타내며, 1초로 설정하였다.

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} \Phi_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Phi_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_{\Delta T_k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Phi_{\Delta T_k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Phi_{\Delta T_k} \end{bmatrix}$$

$$\Phi_{\Delta T_k} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta T_k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$Q_k = \begin{pmatrix} q_u W_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_v W_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_w W_{\Delta T_k} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{\Delta u} W_{\Delta T_k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{\Delta v} W_{\Delta T_k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{\Delta w} W_{\Delta T_k} \end{pmatrix} \quad (25)$$

여기서 q_u, q_v, q_w 는 각 축에 대한 사용자 가속도의 스펙트럼 밀도 (spectral density)를 나타내고, $q_{\Delta u}, q_{\Delta v}, q_{\Delta w}$ 는 각 축에 대한 보정정보 가속도의 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 또한 $W_{\Delta T_k}$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$W_{\Delta T_k} = \begin{pmatrix} \Delta T_k^3 / 3 & \Delta T_k^2 / 2 \\ \Delta T_k^2 / 2 & \Delta T_k \end{pmatrix} \quad (26)$$

식 (20)에서의 z_k 는 측정값으로서 식 (27)로 정의되고, 상태벡터와 측정값의 관계를 나타내는 관측행렬 (observation matrix) H_k 는 식 (28)로 표현된다.

$$z_k = [x_u \ \Delta x \ y_u \ \Delta y \ z_u \ \Delta z]^T \quad (27)$$

$$H_k = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (28)$$

V. 위치측정 실험

본 논문은 이미 정확한 위치를 알고 있는 두 지점을 기준국과 이용자로 설정하여 실험하므로써 정확한 위치측정오차를 구할 수 있었다. 두 지점은 한국표준과학연구원 천문대의 GPS 측지 기준점을 기준으로 측량용 GPS 수신기를 이용하여 고정밀정확하게 측정된 지점이다. 기준국 및 이용자의 GPS 수신기는 Trimble사의 6 채널 C/A 코드 모듈을 사용하였고, WGS-84 좌표계를 기준 좌표계로하여 1 초마다 보정정보를 계산하였다.

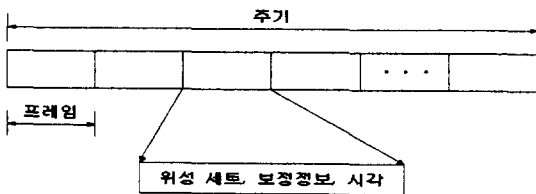


그림 6. 기준국에서 전송하는 보정정보의 데이터 포맷
Fig. 6. The format of correction data sent from the reference station.

위성 세트 수신계획의 주기와 프레임의 시간을 결정

하기 위하여 하루동안 이용자가 수신가능하면서 PDOP가 6 이하인 위성 세트의 수를 계산하면 대략 25개 이하이다. 따라서 본 논문에서는 한 프레임의 시간을 기준국의 수신기를 제어하는 등의 시간을 고려하여 5초로 하고, 25 종류의 위성 세트에 대한 보정정보를 제공하고자 주기를 125 초로 하였다. 그림 6은 기준국에서 전송하는 보정정보의 데이터 포맷을 보여준다.

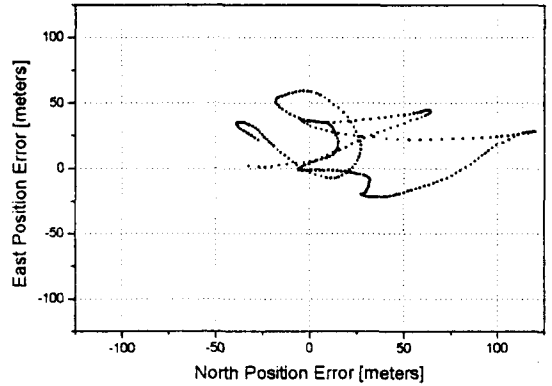


그림 7. GPS 모듈을 이용한 30 분간의 위치측정오차
Fig. 7. Position error using a GPS module for 30 minutes when only a GPS module is used.

그림 7은 GPS 모듈을 이용하여 30 분간 측정된 위치측정오차이다. 위성으로부터 전송되는 궤도정보의 상태 및 위성시계의 오차 등으로 인하여 약 100 미터 정도의 오차를 보여준다. 그림 8은 기준국이 주기적으로 위성 세트를 변화시키면서 보정정보를 제공하고 이용하는 자신에게 해당되지 않는 보정정보가 제공되는 경우에는 RLSLF를 이용하여 보정정보를 계산한 후 칼만 필터를 통과하지 않고 식 (3)을 이용하여 측정된 경우의 위치측정오차이다. 기준국과 이용자에게 공통적인 위치측정 오차요소를 DGPS 기술을 이용하여 제거하여 GPS 모듈만을 이용하여 측정된 오차의 약 1/10 이하로 감소한 것을 볼 수 있다. 그림 9는 제안된 DGPS 위치측정 시스템을 이용하여 30 분간 측정된 위치측정 오차이다. 기준국과 이용자에게 공통적인 위치측정 오차요소를 DGPS 기술을 이용하여 제거하고 비공통적인 오차요소를 칼만 필터를 이용하여 감소시키므로써 GPS 모듈만을 이용하여 측정된 오차의 약 1/20 이하로 감소한 것을 볼 수 있다.

그림 10은 WGS-84 좌표계의 x축에 해당하는 오차

를 일반적인 DGPS 기술을 이용한 경우 (A)와 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 경우 (B)를 각각 30 분 동안 매초 위치측정한 결과의 오차를 비교한 것이다.

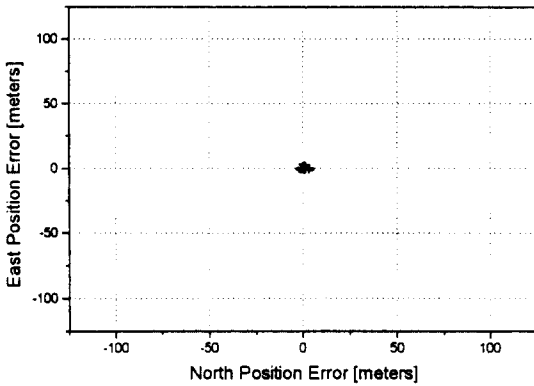


그림 8. RLSLF 보정정보 모델이 사용된 (칼만 필터 배제) DGPS에서 측정한 30 분간의 위치 측정 오차

Fig. 8. Position error from a DGPS for 30 minutes when RLSLF data correction model is used (excluding Kalman filter).

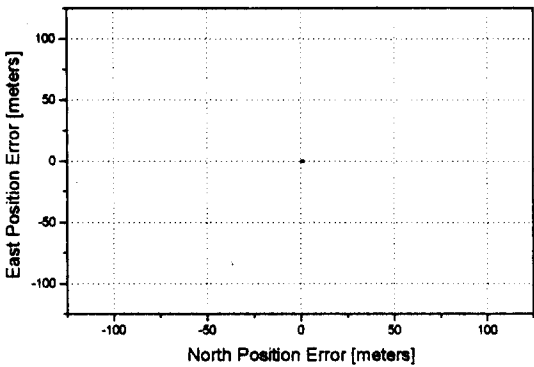


그림 9. RLSLF 보정정보 모델과 칼만 필터가 사용된 DGPS에서 측정한 30 분간의 위치 측정 오차

Fig. 9. Position error from a DGPS for 30 minutes when RLSLF data correction model and the Kalman filter are used.

즉 (A)의 경우는 기준국이 이용자와 동일한 위성 세트에 대한 보정정보를 계속하여 제공하는 일반적인 DGPS 기술을 이용하여 구한 위치 오차를 나타낸다. (B)의 경우는 기준국이 주기적으로 위성 세트를 변화시키면서 보정정보를 제공하고 이용자는 자신에게 해당되지 않는 보정정보가 제공되면 RLSLF를 이용하여 보정정보를 계산한 후 칼만 필터링을 거쳐 위치측정한

오차를 나타낸다. y축 및 z축에 대해서도 비슷한 결과를 보여주므로 생략하였다. 본 논문에서 제안한 방법의 경우 5 미터 이내의 오차로 매우 정확한 위치측정이 가능함을 확인할 수 있다.

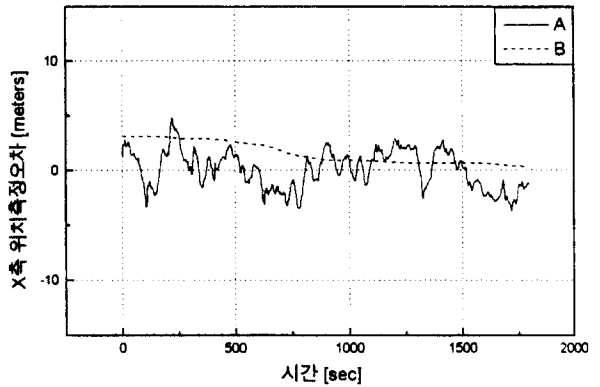


그림 10. x축에 대한 위치측정오차 비교
(a) 일반적인 DGPS 기술 (b) 제안된 방법
Fig. 10. Comparison of position error in x direction.
(a) general DGPS technique (b) proposed technique

VI. 결론

본 논문에서는 DGPS 기술 운용시 제거할 수 없는 이용자와 기준국 사이의 비공통적인 오차요인들을 백색 가우시안 잡음으로 모델링을 하고, 칼만 필터링 기법을 적용하여 위치측정 정확도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 DGPS 위치측정 시스템은 기준국과 이용자 모두 상용 C/A 코드 GPS 모듈 1 대와 모델만으로 구성할 수 있어 매우 저렴한 가격으로 용이하게 구성할 수 있다.

그림 7에 나타난 바와 같이 공통 오차 요소를 포함한 GPS 위치측정 오차는 약 100 미터 정도이다. 이러한 오차를 갖는 GPS 모듈에 RLSLF 방식으로 보정정보 모델링을 한 DGPS 기술을 사용하면 그림 8과 같이 약 10 미터 이내의 정확도를 갖게 된다. 이것은 DGPS 기술에 의해 공통적인 오차요소가 제거되었기 때문이다. 더욱이 DGPS 기술로써 제거할 수 없는 비공통 오차요인들 (다중경로 페이딩, 수신기 내부의 열잡음, 양자화 잡음 등)에 의한 오차를 효과적으로 줄이기 위하여 칼만 필터를 도입하였다. 그림 10에 나타난 바와 같이 시간의 흐름에 따라 일반적인 DGPS 방식은

±5 미터의 편차를 가지며 흔들리는데 반하여 본 논문에서 제안된 방법을 적용했을때에는 위치측정오차가 steady하게 최대 5 미터 이내로 감소함을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. J. Milliken, C. J. Zoller, "Principle of operation of NAVSTAR and system characteristics," NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, vol. 25, no. 2, pp. 96-106, 1978.
- [2] B. W. Parkinson, "History and operation of NAVSTAR, the Global Positioning System," IEEE Trans. Aerospace and Electronic systems, vol. 30, no. 4, pp. 1145-1161, 1994.
- [3] J. Beser, B. W. Parkinson, "The application of NAVSTAR differential GPS in the civilian community," NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, vol. 29, no. 2, pp. 107-133, 1982.
- [4] P. T. Stewart, W. M. Hoover, and C.R. Johnson, "Differential GPS navigation," IEEE Position Location and Navigation Symp., pp. 9-16, 1980.
- [5] C. Kee, B. W. Parkinson, P. Axelrad, "Wide area differential GPS," NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, vol. 38, no. 2, pp. 123-145, 1991.
- [6] 이창복, 안준석, 주세철, 김기두, "저가의 GPS 모듈에 DGPS 기술을 이용한 위치측정 정확도 개선에 관한 연구," 한국측지학회지, vol. 12, no. 2, pp. 155-161, 1994
- [7] 이창복, 주세철, 김기두, 김영범, "RLSLF 방식을 적용하여 저가의 GPS 모듈로 구성된 DGPS 시스템의 효율적인 구현," 전자공학회논문지, vol. 32, no. 10, pp. 92-100, 1995
- [8] J. Makhoul, "Linear prediction: A tutorial review," Proceedings of the IEEE, vol. 63, no. 4, pp. 561-580, 1975.
- [9] J. Makhoul, "Stable and efficient lattice methods for linear prediction," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-25, no. 5, pp. 423-428, 1977.
- [10] B. Friedlander, "Lattice filters for adaptive processing," Proceedings of the IEEE, vol. 70, no. 8, pp. 829-867, 1982.
- [11] D. T. L. Lee, M. Morf, B. Friedlander, "Recursive least squares ladder estimation algorithms," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-29, no. 3, pp. 627-641, 1981.
- [12] M. Wax, "Order selection for AR models by predictive least squares," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-36, no. 4, pp. 581-588, 1988.
- [13] G. C. Goodwin, K. S. Sin, *Adaptive Filtering, Prediction and Control*, Prentice-Hall, 1983.
- [14] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, John Wiley & Sons, Inc., 1992.

저 자 소 개

朱世哲(正會員) 第32卷 B編 第10號 參照
현재 LG정밀(주) 응용연구실



吳政憲(正會員)
1966년 6월 25일생. 1992년 2월 국민대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1994년 2월 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1994년 3월 ~ 현재 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 대역 확산통신, PCS, 디지털 신호처리 등임.

李昌福(正會員) 第32卷 B編 第10號 參照
현재 한국표준과학연구원(KRISS).
電磁氣研究部 책임 연구원



金榮旭(正會員)
1972년 7월 5일생. 1995년 2월 국민대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1995년 3월 ~ 현재 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 디지털 신호처리, 음성합성, 음향제어 등임

金基斗(正會員) 第32卷 B編 第10號 參照
현재 국민대학교 전자공학과 부교수