

論文

착륙 실험에 의한 이중차분 위치영역 Hatch 필터의 성능 분석

김희성*, 주정민**, 이형근***

Performance Evaluation of Double-Differencing Position-Domain Hatch Filter By a Landing Experiment

Hee-Sung Kim*, Jung-Min Joo**, and Hyung-Keun Lee***

ABSTRACT

To expand the application area of global navigation satellite systems, precision landing is one of the most critical area to be solved. For the development and validation of the precision landing system, many aspects need to be analyzed including the system architecture, signal characteristics, atmospheric delay, communication delay, accuracy, integrity, and availability. Among them, the signal characteristics analysis requires the processing of measurements collected by real-flight experiments. This paper presents the processing results of the real measurements collected by a flight and landing experiment. To process and analyze the data, double differencing position-domain hatch filter is utilized. Accuracy of the proposed filter is evaluated utilizing reference trajectory generated by commercial software. Finally, by comparing with conventional range domain characteristics of position domain filter is analyzed.

Key Words : GNSS(전역위성항법시스템), filter(필터), precision landing(정밀착륙), position-domain(위치영역)

1. 서 론

위성항법 기반 정밀 착륙 기술은 위성항법 기술의 응용분야 저변 확대를 위하여 선행되어야 할 요소 기술에 해당된다. 정밀 착륙 기술의 개발 및 검증을 위해서는 시스템 구조, 신호특성, 대기 환경, 통신 지연, 정확도, 안정성, 그리고 가용성 등 다양한 관점에서의 연구 개발이 수반되

어야 한다. 이러한 연구를 위해서는 실제 상황을 가정한 시뮬레이션 또는 실제 비행실험이 수행되어야 한다. 특히 실제 비행 실험을 통하여 수집된 측정치를 활용한 신호특성분석 작업은 정밀 착륙 기술의 실제 환경에서의 평가, 검증 그리고 문제점 도출을 위하여 반복적으로 수행되어야 할 것이다.

위성항법 수신기가 항공기와 같이 다양한 동적 환경에서 운용될 경우 의사거리와 누적위상측정치를 활용한 위상평활화코드 기법은 정확도 향상에 특히 효과가 있음이 널리 알려져 있다. 반면, 기존에 활용되어 오던 대표적인 위상평활화코드 필터인 거리영역 Hatch 필터는 위성의 출몰에 의하여 정확도의 빈번한 손실이 수반됨이 기존 연구에 의하여 밝혀졌다[1]. 이에 덧붙여,

2009년 12월 15일 접수 ~ 2010년 3월 19일 심사완료

* 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과

** 한국항공우주연구원

*** 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

연락처, E-mail : hskim07@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

기존의 거리영역 필터에 기반한 무결성 검증 시스템은 몇 가지 관점에서 한계를 내포하는 것으로 분석된다.

무결성 성능을 향상시키는 한 가지 방안으로서 기존의 연구 및 개발에 활용된 가정 및 제한 사항들을 최대한 해제하여 실제 측정된 데이터를 기반으로 각 단계 무결성에 관련된 식별자들을 새로이 설계 및 구현하고 이를 해석적인 방법과 실험적인 방법에 의하여 평가하는 작업이 향후 필요할 것이라 판단된다.

무결성 성능 향상을 위해서는 시스템의 무결성을 저해하는 요인들에 대한 검출기의 활용이 필수적이며 이를 위하여 검출기는 개별 신호와 조합된 신호를 활용하여 다양한 형태로 설계될 수 있다. 효율적인 검출기는 정상적인 상황과 비정상적인 상황에 따라 신호의 확률적 분포가 대별되도록 설계되어야 하며 또한 각 상황별 확률적 분포를 특정 짓는 평균 및 공분산 정보가 정확하게 산출되고 활용되어야 한다.

검출 대상 신호의 확률적 분포를 산출하기 위해서는 일반적으로 추정기가 제공하는 추정치, 측정치 잉여값, 그리고 이와 관련된 오차 공분산 정보가 활용된다. 따라서, 설정된 상태변수에 대한 추정기의 정확한 추정 성능과 이와 더불어 산출되는 공분산 정보의 일관성은 무결성 향상에 직·간접적으로 영향을 주게 된다. Fig. 1은 검출기와 추정기가 결합된 개형을 나타낸다.

본 연구에서는 항공 응용 분야 위성항법시스템 활용의 무결성 향상을 위하여 기존의 단일차분 기반 위치영역 위상평활화코드 필터[5]를 이중차분 기반 위치영역 위상평활화코드 필터로 새로이 확장 및 설계한다. 그리고 실제 비행 데이터를 활용하여 착륙환경에서의 측정치 경향을 살펴본다. 마지막으로 기존에 잘 알려진 상용 후처리 소프트웨어(Grafnav)를 활용하여 기준 항적을 생성한 뒤 설계된 필터의 정확도를 평가하였다.

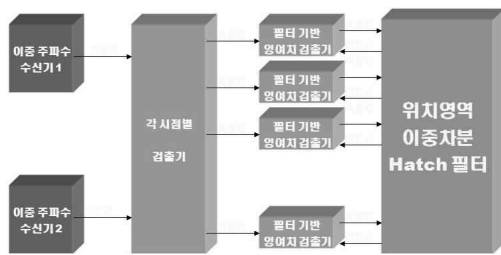


Fig. 1 검출기와 이중차분 위치영역 Hatch 필터의 결합 개형[7]

2. 본 론

2.1 거리영역 Hatch 필터

거리영역 Hatch 필터는 의사거리를 누적위상 측정치로 평활화 하여 위치 추정치의 정확도에 미치는 오차의 영향을 완화 시켜주며, 현재 CAT-I을 만족시키기 위한 GBAS PDM(Ground Based Augmentation System Position Domain monitor)에도 적극 활용되고 있다.

알려진 바와 같이 거리영역 Hatch 필터는 과거의 1-번째 시점에서부터 현재의 시점으로 시전 달된 k 개의 투영 의사거리에 대하여 균등 가중치 $1/k$ 을 다음과 같이 적용한다.

$$\hat{\rho}_k^j = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k [\tilde{\rho}_l^j + (\tilde{\phi}_k^j - \tilde{\phi}_l^j)] \quad (1)$$

여기서

$\tilde{\rho}_k^j$: 단일 차분 의사거리 측정치

$\tilde{\phi}_k^j$: 단일 차분 누적위상 측정치

일반적으로 거리영역 Hatch 필터는 식 (1)에 의해 얻어진 다수의 채널별 압축 의사거리를 사용하여 최소자승법으로 위치 추정치를 얻게 된다. 거리영역 Hatch 필터는 수신기 측정치의 다양성을 충분히 활용하여 부정확한 운동모델에 의한 위치 정확도의 악화를 방지하여준다[2]. 또한, 측지 및 항공 분야의 다양한 응용을 위하여 무전리층(ionospheric-free), 발산방지(divergence-free), 광로(widelane) 등 이중 주파수 측정치의 다양한 조합으로 유용하게 활용되어 오고 있다[8]-[10].

2.2 이중차분 위치영역 Hatch 필터

효율적인 항법필터는 추정된 위치정보의 정확성과 이에 대한 지표들을 충분히 제공하여 주어야 한다. 이와 같은 필요성에 의하여 대부분의 항법 필터는 위치 추정치와 더불어 추정오차의 통계적 특성을 나타내는 오차 공분산 행렬을 계산하게 된다. 실제 발생한 항법오차에 대하여 필터가 계산한 오차 공분산 행렬이 가지는 유효성은 항법 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

거리영역 Hatch 필터의 경우 가시 위성의 조합이 달라질 경우 위치정확도 및 오차공분산 정보의 손실이 클 위험성을 내포하고 있으며[1], 이

러한 필터성능의 열화를 극복하기 위해 상호보완(complementary) 필터[3] 와 위상연결(phase-connected) 필터[4] 등 위치영역에서의 위상평활화코드 필터가 추가적으로 발표되었다.

기존에 널리 활용되어온 거리영역 위상평활화코드 필터는 무결성 성능 향상을 위한 관점에서 그 한계점에 다다른 것으로 판단된다. 현재 널리 활용되고 있는 기존의 위상평활화코드 필터 방식은 대다수 Hatch가 제안한 거리영역 방식에 의존하며 정확도 향상을 위한 위상평활화 필터의 구현에 일정한 시정수(일반적으로 100초)값을 사용하고 있다. 또한, 무결성 검증과 고장검출에 활용되는 오차 공분산 값은 신호 대비 잡음비와 신호추적과 관련된 연구를 통해 알려진 함수관계를 활용하여 근사화 하고 있다.

일관성 있고 현실적인 오차 공분산 정보 생성의 관점에서 기존의 위치영역 위상평활화코드 기법들을 살펴보면 이들 대부분이 오차 공분산 정보의 생성에 누적위상 측정 오차의 영향을 무시하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 L1 주파수만을 활용하는 일반적인 단일 주파수 수신기에서의 의사거리 측정 오차에 비하여 그 위상 측정 오차의 크기가 크게 작음에 기인한다. 그러나, 이러한 근사화에 근거하여 필터를 장기간 운용할 경우 실제에 비하여 낙관적인 오차 공분산 정보를 생성할 위험성을 내포하며, 이는 현실적인 오차 공분산 정보 및 추정치의 생성을 저해하는 요인이 될 수 있다. 이중 주파수 수신기에 의한 무 전리층, 발산방지 또는 광로와 같은 위상 측정치 조합을 활용할 경우 L1 단일 주파수에 의한 위상 측정치에 비하여 그 측정오차 각각 5.7배, 2.9배, 2.6배 만큼 증폭되며, 현실적인 오차 공분산 정보의 생성을 위해서는 위상 측정 오차의 크기를 반드시 고려해주어야 한다.

일관성 있고 현실적인 오차 공분산 정보의 생성을 위하여 기존의 위상평활화 기법을 연장한 일부 연구 결과들이 이후 발표 되었다[1][5]. 이들은 단일차분 측정치를 활용하여 기준 및 이동 수신기가 근거리에서 위치하거나 또는 이중 주파수 수신기를 활용한 경우 공분산 해석 (covariance analysis)을 가능하게 하여 준다.

본 연구에서는 위치영역 필터의 성능을 더욱 개선하기 위하여 위치영역 필터의 설계를 기존의 단일차분 방식에서 이중차분 방식으로 개선하였다. Fig. 2는 이중차분 GPS의 개형을 보여주고 있다. 차분기법은 위성간 차분과 수신기간 차분으로 나뉜다. 이중차분 기법은 두 개의 차분 기법을 동시에 수행하게 된다. 수신기간 단일차분

에 의해 전리층/대류층 지연오차, 위성시계오차의 효과적인 제거가 가능하며, 위성간 단일차분을 통해 수신기 시계오차를 제거할 수 있다. 또한, 단일차분 기법에 비하여 시계 특성에 기인하는 오차를 효과적으로 제거하고 전리층/대류권 지연에 따른 오차를 간접적으로 감소시키는 장점을 가진다. 이와 같은 장점으로 인해 정밀 후처리 위치결정 분야 및 네트워크 기반 RTK (Real-Time Kinematic Positioning) 분야에 현재 가장 널리 사용되고 있다.

본 논문에서 제안된 바와 같이 위치영역 필터를 기존의 단일차분 방식에서 이중차분 방식으로 변환할 경우 항체의 빠른 변화를 세밀하게 추정하는 것이 가능하고 위성의 출몰에 강건한 필터의 구현이 가능하게 된다. 또한, 기준국과 이동 수신기의 기선장(geodesic baseline)에 의하여 발생하는 전리층 및 대류권 오차의 영향을 감소시키는 장점을 가지게 되리라 예상된다.

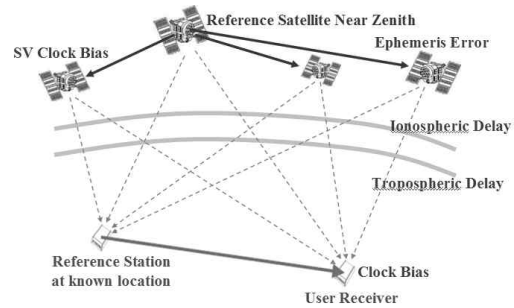


Fig. 2 이중차분 GPS의 개형

2.3 이중차분 위치영역 Hatch 필터의 유도

이중차분 위치영역 Hatch 필터의 유도를 위해 이중차분 의사거리 및 누적위상 측정치를 다음식 (2)와 같이 모델링 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \tilde{\rho}_k^{jo} &= \tilde{\rho}_k^j - \tilde{\rho}_k^o \\
 &= (e_k^j - e_k^o)^T X_k + (\nu_k^j - \nu_k^o) \\
 &= (e_k^{jo})^T X_k + \nu_k^{jo} \\
 \tilde{\phi}_k^{jo} &= \tilde{\phi}_k^j - \tilde{\phi}_k^o \\
 &= (e_k^j - e_k^o)^T X_k + (n_k^j - n_k^o) + \lambda(N^j - N^o) \\
 &= (e_k^{jo})^T X_k + n_k^{jo} + \lambda N^{jo}
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서

- $\tilde{\rho}_k^{jo}$: 이중차분 의사거리 측정치
- $\tilde{\phi}_k^{jo}$: 이중차분 누적위상 측정치
- ν_k^{jo} : 이중차분 의사거리 측정오차
- n_k^{jo} : 이중차분 누적위상 측정오차
- $(e_k^{jo})^T$: 단일차분 시선각 벡터
- X_k : 기저선 벡터
- N^{jo} : 미지정수

식 (2)를 통해 알 수 있듯이, 이중차분 측정치는 공통오차 성분이 제거되어 이동국과 기준국 사이의 기저선 벡터, 시선각 벡터 그리고 측정오차 성분만이 남게된다.

위치영역 Hatch 필터는 크게 초기화, 시전달 그리고 측정갱신으로 나뉜다. 초기화는 일반적으로 최소자승법을 사용하며, 초기 위치 추정치 \hat{X}_{k0} 와 오차 공분산 행렬 \hat{P}_{k0} 은 다음 식 (3)과 같다. 식 (3)에서 R_ρ 는 이중차분 의사거리 측정치의 오차 공분산 행렬을 H_{k0} 는 단일차분 시선각 벡터고 구성되는 관측행렬을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_{k0} &= E[X_{k0} | \tilde{\rho}_{k0}^{jo}] \\ \hat{P}_{k0} &= [(H_{k0})^T R_\rho^{-1} H_{k0}]^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

시전달 단계에서는 누적위상 측정치의 증분을 사용하여 전 단계에서 추정된 후 추정치 \hat{X}_k 를 전 추정치 \bar{X}_{k+1} 로 시전달 하게 된다. 이를 위해 간접 측정치 Ω_{k+1} 이 사용되며, k+1시점에서의 전 추정치 \bar{X}_{k+1} 와 전 추정 오차 공분산 행렬 \bar{P}_{k+1} 은 식 (5)와 같다.

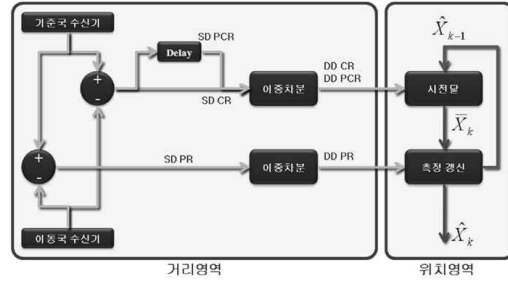
$$\begin{aligned} \Omega_{k+1} &= (H_k - H_{k+1})\hat{X}_k + (\tilde{\phi}_{k+1} - \tilde{\phi}_k) \\ U_{k+1} &= [(H_{k+1})^T Q_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1} (H_{k+1})^T Q_{k+1}^{-1} \\ \bar{X}_{k+1} &= \hat{X}_k + U_{k+1} \Omega_{k+1} \\ \bar{P}_{k+1} &= U_{k+1} \begin{bmatrix} H_k \hat{P}_k (H_k)^T + 2R_\phi \\ -H_k (I_3 - K_k H_k) U_k R_\phi \\ -(U_k R_\phi)^T (I_3 - K_k H_k)^T (H_k)^T \end{bmatrix} (U_{k+1})^T \end{aligned} \quad (4)$$

측정 갱신 단계에서는 시전달 된 전 추정치 \bar{X}_k 를 후 추정치 \hat{X}_k 로 갱신한다. 이를 위해 간접 측정치 Z_k 가 사용되며, 이때 후 추정치와 오차 공분산 행렬 \hat{X}_k, \hat{P}_k 는 식 (5)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_k &= H_k \bar{X}_k - Y_k \\ K_k &= \{ \bar{P}_k - U_k R_\phi (U_k)^T \} (H_k)^T [H_k \bar{P}_k (H_k)^T + R_\rho]^{-1} \\ \hat{X}_k &= \bar{X}_k - K_k Z_k \\ \hat{P}_k &= (I_3 - K_k H_k) \bar{P}_k (I_3 - K_k H_k)^T \\ &\quad + K_k R_\rho (K_k)^T \end{aligned} \quad (5)$$

식 (4)에서 R_ϕ 는 누적위상 측정치의 측정 오차 공분산 행렬을, 식 (5)에서 Y_k 와 K_k 는 각각 이중차분 의사거리 측정치 벡터와 이득행렬을 나타낸다.

이중차분 위치영역 Hatch 필터의 수행 절차는 식 (2)-(5)에 의해 Fig. 3과 같이 도시될 수 있으며, 크게는 거리영역 처리 부분과 위치영역 처리 부분으로 나뉜다.



SD: 단일차분 DD: 이중차분
 PCR: 전 시점의 누적위상 측정치
 PR/CR: 현 시점의 의사거리/누적위상 측정치

Fig. 3 위치영역 이중차분 Hatch 필터의 개략 구성도

위치영역 처리 부분으로부터 생성된 추정치와 오차 공분산 정보는 거리영역에서의 측정치와 결합되어 잉여값을 생성하게 되며, 최종적으로 Fig. 1과 같이 검출기와 통합되는 형태를 가지게 된다.

2.4 실험

설계된 위치영역 이중차분 Hatch 필터의 특성과 성능을 분석하기 위하여 비행 실험에 의하여 실제 착륙 데이터를 수집한 후 설계된 필터에 적용하였다. 이를 위하여 한국항공우주연구원에서 한반도 공역 위성항법 신호 분석을 위하여 수집한 다수의 비행 데이터들 중에서 완도 부근 상공부터 제주공항까지의 구간에 해당되는 일부 데이터가 활용되었다. 참고로, 비행 항적 및 이와 관련된 좌표값들은 보안이 요구되는 관계로 지금부

터 제시되는 분석 결과에 있어서 절대 위치와 연관된 수치들은 모두 제거되었다. Fig. 4는 실험에 사용된 데이터의 전체 항적을 보여준다. 기준국은 제주공항에 위치하고 있으며, 실험에 사용된 데이터 중 기준국과의 최대 기선 거리는 약 100 km 이며, 제주공항 활주로의 시작점은 기준국으로부터 약 1 km 정도 떨어져 있다.

데이터 수집을 위하여 소형 비행체와 공항에는 각각 이중 주파수 노바텔 수신기가 설치되었다. 두 수신기가 모두 이중 주파수 측정치 제공이 가능하지만, 비행체에 단일 주파수 수신기가 설치된 상황을 모사하기 위하여 데이터 처리에는 단일 주파수 L1 측정치만이 활용되었다. 설계된 필터는 성능 분석을 위하여 의사거리와 누적위상 측정치의 표준편차를 각각 1.0m와 0.01m로 설정하여 활용하였다. 정밀한 정수해(integer solution)의 산출을 위해 이중차분 위치영역 Hatch 필터로부터의 실수해(float solution)와 LAMBDA 기법[11]이 사용되었다.

Fig. 5는 실험기간 동안 각 시점(epoch)에 대해 사용된 위성의 개수를 도시하며 여기에서 각 시점 사이의 간격은 1초에 해당된다. 실수해를 산출하기 위해 사용된 위성의 개수는 평균 9개 정도로 위성 수신 상태가 매우 양호하다는 것을 알 수 있다. 정밀 위치결정을 위한 미지정수는 데이터 처리를 시작한 뒤 약 220 초 지점에서 최초 결정되었으며, 이는 Fig. 4에서 (a)지점에 해당한다. Fig. 5를 통하여 단일 주파수를 활용하고 기선거리가 수십 km 임에도 불구하고 매우 안정적인 미지정수가 산출되고 있음을 확인할 수 있다.

지금부터는 위치해의 정확성과 안전성이 특히 크게 요구되는 착륙구간 전후의 데이터에 대한 처리 결과를 살펴본다. 이와 관련하여 Fig. 6은 실험 지역인 제주공항에서의 착륙 항적과 지상이동 항적을 보여준다.

이동국 수신기가 비행체에 탑재되어 빠르게 이동하는 항공 응용 분야는 이동국 수신기가 고정 설치되어 있는 느리게 이동하는 측량/측지 응용 분야에 비하여 오차 특성 분석을 위한 기준 좌표를 산출하기가 매우 어렵다. 이를 위하여 본 실험에서는 현재 가장 성능이 우수하다고 알려진 상용 후처리 소프트웨어(Grafnav)를 사용하여 기준 항적을 생성하였다.

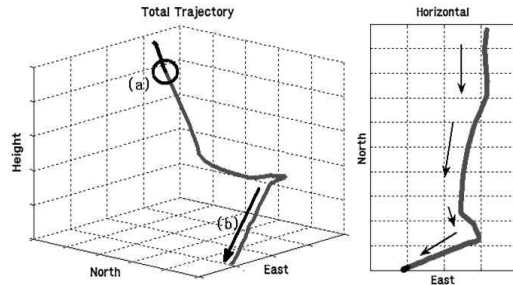


Fig. 4 비행 데이터의 항적

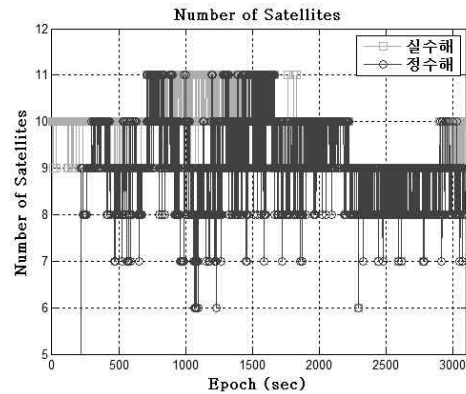


Fig. 5 가시위성(유효위성)의 개수

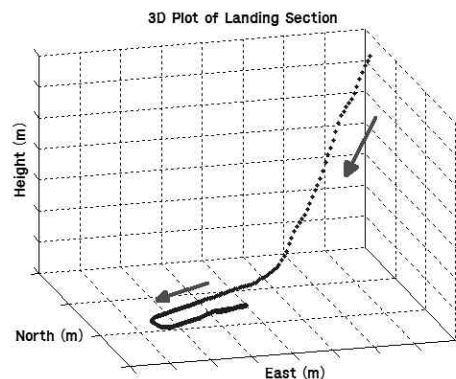


Fig. 6 착륙 데이터의 기준 항적

Fig. 7-8은 착륙 전후 지점에서의 수직 및 수평 기준 항적을 보여준다. Fig. 7-8에서 (a)구간은 착륙구간을 보여주며, (b)구간은 지상이동 구간 그리고 (c)구간은 정지구간을 보여준다. 지금부터는 착륙 직전과 착륙 완료 후에 각각 해당되는 (a)구간과 (c)구간을 중점적으로 살펴볼 것이다.

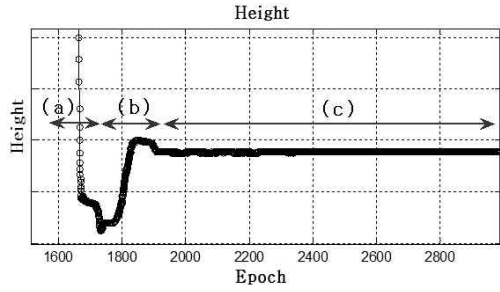


Fig. 7 비행 데이터의 착륙 및 지상이동 궤적 (수직)

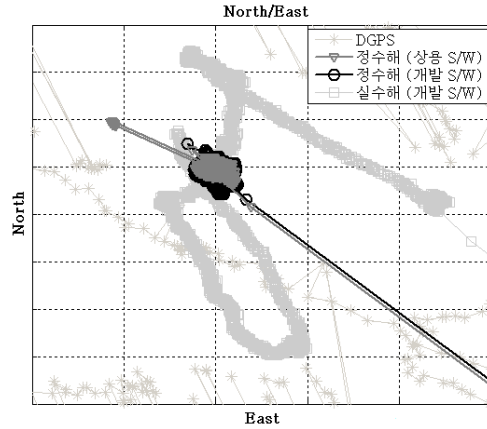


Fig. 10 정지구간 항적 (수평)

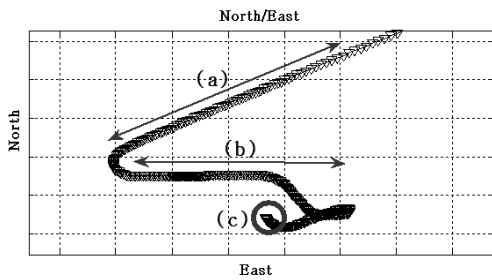


Fig. 8 비행 데이터의 착륙 및 지상이동 항적 (수평)

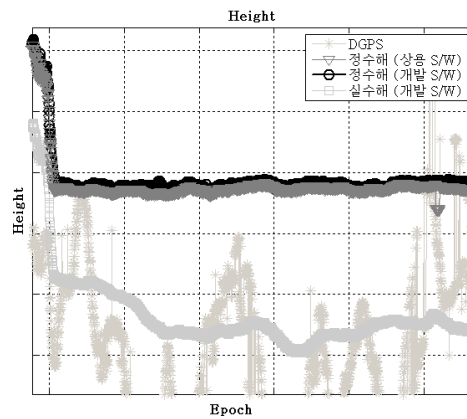


Fig. 11 정지구간 항적 (수직)

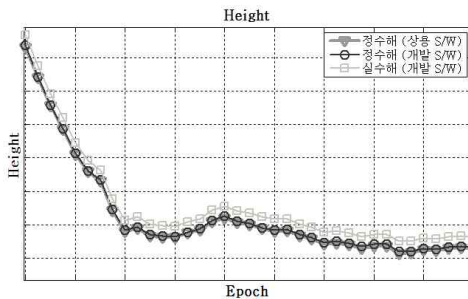


Fig. 9 착륙구간 항적

Fig. 9는 구간 (a)의 수직영역 확대도이며, 상용 소프트웨어의 정수해, 자체개발 알고리즘의 정수해/실수해를 도시한다. x축은 시점을 나타내며, y축은 고도를 나타낸다. 그리고 y축 보조선의 간격은 20 cm에 해당한다. Fig. 9의 상단부터 각각 제안된 알고리즘의 실수해, 정수해 그리고 상용 소프트웨어의 정수해를 나타낸다. 상용 소프트웨어와 제안된 알고리즘의 정수해는 6mm 정도의 편차를 보이는 것을 확인하였으며, 실수

해는 기준 항적인 상용 소프트웨어의 정수해와 약 5cm 정도의 편차를 보이고 있음이 확인되었다.

Fig. 10-11은 Fig. 8의 (c)구간을 확대하여 도시한다. Fig. 10의 x, y축 보조선의 간격은 5cm에 해당하며, Fig. 11의 y축 보조선의 간격은 20cm에 해당한다. Fig. 10으로부터 제안된 알고리즘의 정수해는 상용 소프트웨어의 정수해와 일치하는 것을 확인 할 수 있으며, 제안된 알고리즘의 실수해는 정수해에 대하여 약 20cm 정도의 반경 이내에 존재함을 확인 할 수 있었다.

수직 영역에서의 결과인 Fig. 11의 경우, 제안된 알고리즘의 실수해가 기준항적과 약 50cm 정도의 편차를 보이는 것을 확인할 수 있다.

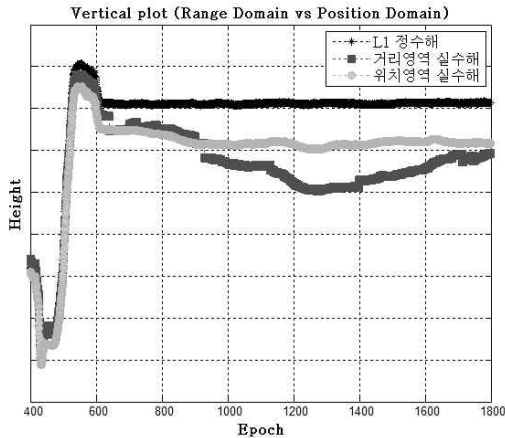


Fig. 12 착륙 전후 위치영역 필터와 거리영역 필터의 결과 비교

마지막으로, 제안된 위치영역 필터와 기존의 거리영역 필터의 차이점을 비교 분석한다. 이를 위해 착륙 구간을 전후한 일부 데이터 구간만을 다시 처리하였다.

Fig. 12 는 착륙 전후의 위치영역 필터와 거리영역 필터의 결과를 도시한다. Fig. 12에서 위치영역 필터의 실수해와 L1 정수해는 거의 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 거리영역 필터의 실수해는 L1 정수해와 최대 1m 정도 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 거리영역 필터의 경우 일정 시점에서 필터의 불연속성이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 13-14 를 통해 유추해 볼 수 있다.

Fig. 13은 착륙 구간에서 유효위성의 개수를 보여 주며, Fig. 14는 고도 방향의 추정 오차 공분산을 표준편차로 변환하여 도시한다. Fig. 13에서 유효위성의 개수는 검출기의 검출결과에 따라 또는 위성의 유무에 따라 연속해서 변화한다. 이러한 유효위성의 개수 변화에 따라 일부 채널에서 필터가 추정한 오차 공분산 정보의 소실 또는 초기화가 발생하게 되고, 이렇게 발생한 각 채널의 영향이 위치영역에서의 오차 공분산 정보에 투영되게 된다. 필터의 위치 추정 결과는 오차 공분산 정보에 기반하며, 이러한 오차 공분산 정보의 소실은 Fig. 12에서와 같이 위치정보의 불연속성을 야기하게 된다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 항공 응용 분야 무결성 향상을 위하여 기존의 단일차분 위치영역 필터를 이중차

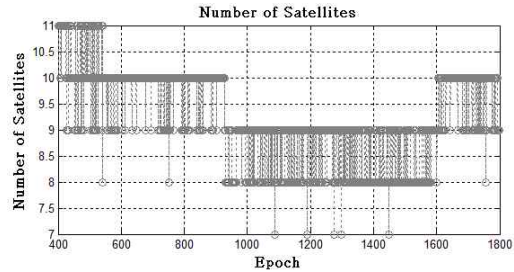


Fig. 13 착륙 전후 가시위성(유효위성)의 개수

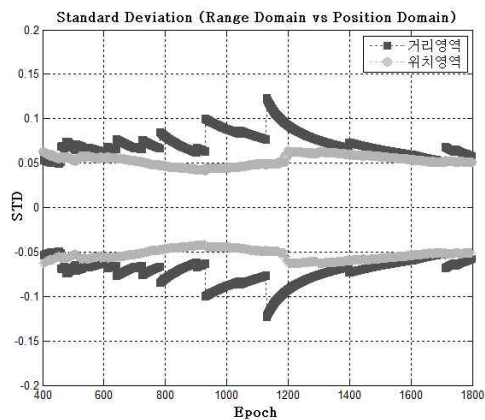


Fig. 14 착륙 전후 위치영역 필터와 거리영역 필터의 고도축 추정 오차 공분산

분 위치영역 필터로 새로이 확장 설계한 후 실제 비행 데이터를 활용하여 착륙환경에서의 위성 가시성과 수평 및 수직 위치해의 분포를 살펴 보았으며, 제안된 필터의 성능을 비교 분석 하였다.

단일 주파수 측정치만을 활용한 실제 착륙 데이터에 대하여 제안된 이중차분 위치영역 필터를 기반으로 산출한 정수해는 현재 가장 우수하다고 알려진 상용 소프트웨어(Grafnav)와 유사한 정확도에 해당됨을 확인하였다. 정확한 미지정수의 결정은 필터의 추정치 및 오차 공분산 정보에 기반한다. 초기 미지정수 결정이후 착륙시까지 안정적으로 미지정수가 결정되었으며, 이를 통해 필터의 추정 성능이 안정적이라는 것을 유추해볼 수 있다.

제안된 이중차분 위치영역 필터의 실수해 출력의 경우, 착륙 직전까지 기준 항적에 대비하여 고도 오차 5 cm 이내의 우수한 성능을 보여주고 있음을 확인할 수 있었다. 착륙 이후 비행체가 지상에 정지한 구간에서는 수평 20 cm, 수직 50

cm 이내의 정확도를 보여주며 정확도가 감화되었음을 확인할 수 있다. 이와 관련해서는 추후 추가 분석과 보강 연구가 필요하리라 예상된다. 반면, 거리영역 필터에 비하여 위치영역 필터는 매 시점 검출기의 선별 혹은 실질적인 가시위성의 출몰에 수반되는 가용 측정치 개수의 변화에 강건함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 기초기술연구회협동연구과제인 '위성항법시스템 활용을 위한 무결성 감시기법 기초연구' 과제의 일환으로 수행되었으며 지원해주신 기초기술연구회에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Lee H. K., Rizos C., and Jee G. I. , "Design of Kinematic DGPS Filters with Consistent Error Covariance Information", *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation(SCI)*, vol. 151, no. 6, pp. 382-388, 2004
- [2] HATCH, R. R., "The Synergism of GPS Code and Carrier Measurements", *Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning*, Vol. II, February 1982, New Mexico, pp. 1213-1232.
- [3] Hwang P. Y. C. and Brown R. G., "GPS navigation: combining pseudorange with continuous carrier phase using a Kalman filter", *Navigation: Journal of The Institute of Navigation*, vol. 37, no. 2,, 1990, pp. 181~196.
- [4] Bisnath S. B. and Langley R. B., "Precise, efficient GPS-based geometric tracking of low earth orbiters", *Proceedings of the Institute of Navigation Annual Meeting*, Cambridge, Massachusetts, 1999, pp. 751-760.
- [5] Lee H. K. and Rizos C., "Position-Domain Hatch Filter for Kinematic Differential GPS/GNSS", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 44, no. 1, 2008, pp. 30-40.
- [6] Kim H. S., Lee H. K., "Position-Domain DD Hatch Filter to Maintain Float Solution Accuracy in RTK", *Proceedings of International Symposium on GPS/GNSS 2008*, 11-14 Nov., Tokyo, 2008
- [7] 김희성, 이영준, 이제영, 주정민, 허문범, 이형근, "위치영역 이중차분 Hatch 필터를 활용한 비행 착륙 실험 데이터 분석", *제16차 GNSS 워크샵 논문집*, Nov. 4-6, 제주, 2009
- [8] Parkinson B. and Axelad P., "Global Positioning System: Theory and Applications", *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1996
- [9] Farrell J. A. and Bath M., "The Global Positioning System And Inertial Navigation". McGraw-Hill, 1998
- [10] Hwang P. Y. C., McGraw G. A., and Bader J. R., "Enhanced differential GPS carrier-smoothed-code processing using dual-frequency measurements", *Journal of The Institute of Navigation*, vol. 46, no. 2, pp. 127-137, 1999
- [11] Teunissen P. J. G., "The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: A method for fast GPS integer ambiguity estimation", *Journal of Geodesy*, vol. 70, no. 1-2, pp. 65-82, 1993