의사위성 시각동기 기법 설계

이주현* · 황소영** · 유동희** · 이상정***

Design of Clock Synchronization Scheme for Pseudolite

Ju hyun Lee* · Soyoung Hwang** · Dong-Hui Yu** · Sang jeong Lee***

본 논문은 국토해양부 소관 “광역보정시스템 (WA-DGNSS) 구축기술개발”
사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

요 약

의사위성은 GPS의 보조적인 역할을 하는 위성으로 우주 상공의 GPS 위성과는 달리 지상의 고정된 장소에 설치되어 GPS 신호의 수신이 좋지 않은 지역이나 실내, 특정 지역에서 인공위성을 대체하는 항법 시스템이다. 의사위성을 이용해 측위 기능을 수행하기 위해서는 의사위성과 GPS 위성간의 시각동기가 요구된다. 일반적으로 1usec의 시각동기 오차가 발생한 경우 300m의 의사거리 오차가 발생하며 미터단위의 측위를 위해서는 나노세크급의 시각동기가 요구된다. 이러한 동기 성능은 측위 성능에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 일반적인 시각동기 방안 및 동기 오차요소에 대해 언급하고 의사위성의 클럭을 GPS 위성 클럭에 동기 시키기 위한 의사위성 스테이션 구축 기법, 한국표준과학연구원의 시각정보원 활용 기법, PRN 코드 위상차 활용 기법의 3가지 방안 제시하였다. 또한 방안에 따른 동기 성능 분석을 위해 시뮬레이션 플랫폼을 제안하였다.

ABSTRACT

Pseudolite is a contraction of the term “pseudo-satellite,” used to refer to something that is not a satellite which performs a function commonly in the domain of satellites. Pseudolite are most often small transceivers that are used to create a local, ground-based GPS alternative. Pseudo-range measurement of pseudolite has around 300m range error, when time synchronization error of 1usec occurs. Therefore the time synchronization methods play an important part in navigation augmentation using pseudolite. This paper proposes three clock synchronization methods that are installation method of pseudolite station, method using KRISS-UTC and method using PRN code phase difference for pseudolite. The simulation platform structure is presented for evaluating proposed clock synchronization performance.

키워드

시각 동기, GPS, 의사위성

Key word

Time Synchronization, GPS, Pseudolite

* 정회원 : 충남대학교(juhyun8878@cnu.ac.kr)

** 정회원 : 부산가톨릭대학교

*** 정회원 : 충남대학교(교신저자)

접수일자 : 2013. 05. 01

심사완료일자 : 2013. 05. 24

I. 서 론

GPS의 위치결정 정확도 및 정밀도 향상을 위해 다양한 오차 보정 시스템이 연구 및 운용되고 있다. 이러한 오차 보정 시스템은 보정정보의 송신 매개체에 따라 SBAS(Space-Based Augmentation Systems), GBAS (Ground-Based Augmentation Systems), ABAS(Airplane-Based Augmentation Systems), GRASs(Ground-Based Regional Augmentation Systems)으로 분류 된다. 이 중 SBAS는 정지궤도 위성을 이용하여 오작동시 GPS 이용자들에게 고장 여부를 경고 및 오차 정보 전달을 수행하여 무결성, 정확성 및 가용성 등을 향상시킬 수 있으며 각 국가별 대표적 시스템으로 미국의 WAAS(Wide Area Augmentation System), 유럽의 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service), 일본의 MSAS (MTSAT Satellite base Augmentation System)등이 있다. GBAS 또한 GPS 고장 여부와 각종 오차 정보를 전달하며 이를 의사위성을 통해 방송하는 형태로 주로 항공기 이착륙 시 측위 정확도 향상을 위해 서비스를 제공한다. 현재 미국의 FFA, 유럽의 EUROCONTROL, 일본의 JCAB, 호주의 AsA등의 기관에서 서비스 제공 및 지속적인 개발이 이루어지고 있다.

이러한 GBAS 시스템의 경우 GPS 위성신호의 주파수인 L1 대역을 활용할 수 있으며 기존의 주파수 대역을 활용할 경우 민간 사용자가 추가적인 안테나 없이 서비스를 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 최근 오차 보정 정보 전달만을 수행하는 것이 아니라 의사위성(Pseudolite)을 활용하여 의사거리(Pseudorange) 측정치를 추가하려는 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 ESA(European Space Agency)에서 유럽의 EGNOS를 보완하기 위한 EGNOS 의사위성 시스템이 개발되고 있고 SBAS 메시지 뿐만 아니라 의사거리 측정치 도출을 위한 신호를 방송하며, 구조는 그림 1과 같다.

의사위성은 Pseudo-satellite의 줄임말로 우주의 일정 궤도를 가지는 GPS 위성과는 달리 지상의 고정된 장소에 설치되어 GPS 신호의 수신이 좋지 않은 지역이나 실내, 특정 지역에서 GPS 위성을 대체하는 항법 시스템이다. 의사위성은 우주의 GPS 위성과 같이 의사거리 측정치 도출을 위한 코드, 방송파 주파수 및 항법 데이터가 GPS 위성 신호와 유사한 구조를 가진다.

그림 1. EGNOS 의사위성 시스템
Fig. 1 the EGNOS Pseudolite System

그러나 GPS 위성과의 간섭을 피하기 위하여 GPS 위성용 코드와 다른 코드를 사용함으로써 GPS 위성을 대체 또는 보완하는 데 활용할 수 있으며 GPS 위성과 비교하여 매우 저렴한 비용으로 정확성, 무결성, 가용성 등을 향상시킬 수 있는 시스템 상의 이점이 있다. 의사위성의 의사거리 측정치 정확도는 의사위성과 GPS 위성간의 시각동기 성능에 의해 결정된다. 일반적으로 1usec의 시각동기 오차가 발생한 경우 300m의 의사거리 오차가 발생하기 때문에, 미터단위의 측위를 위해서는 나노세크급의 시각동기가 요구된다. 의사위성과 GPS간 시각동기는 측위성능에 매우 중요한 역할을 수행하며, 이에 따라 시각 동기 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 GPS와 의사위성 간의 시각동기 알고리즘으로 의사위성 시각동기 스테이션을 이용한 기법, 한국표준과학연구원 시각정보원을 활용한 기법, PRN 코드 위상차를 활용한 기법을 제안한다. 또한, 제안한 시각동기 알고리즘의 성능평가를 위한 시뮬레이션 플랫폼 구조를 설계하고, 이에 따른 모델링 기반의 클럭 생성을 제시한다.

II. 시각동기 방안 및 오차요소

2.1. 시각동기 관련 연구

기존 시각동기 연구 사례를 살펴보면 다음과 같다.

먼저 시각 동기 기법으로 GPS의 1PPS를 활용하는 기법과 IGS Product를 활용하는 기법이다.

- GPS의 1PPS 활용기법: GPS 수신기의 1PPS (Pulse Per Second) 신호를 기준으로 동기 시스템의 클럭을 동기 시키는 기법으로 DP-PLL (Digital Processing Phase Locked Loop) 구조를 갖는다. 1PPS 신호는 GPS 수신기의 성능에 따라 수십~수백 ns의 정확도를 유지한다.
- IGS Product 활용 기법: IGS (International GNSS Service)의 정밀 궤도력, 정밀 시계오차, 반송파 위상 측정치를 이용하여 후처리 시각 동기를 수행하는 기법이다. 일반적으로 GPS 1PPS 활용 방안보다 우수한 동기 정확도를 가진다.

다음으로 시각 비교 기법으로 TWSTT와 GPS Common-view가 있다.

- TWSTT: TWSTT (Two-Way Satellite Time Transfer)는 위성파 수신기간 양방향 통신으로 시각 비교를 수행하는 기법으로 ns 급의 시각비교 수행이 가능하다.
- GPS Common-view: TWSTT 기법의 보조 방안으로 지상 2개의 수신기로 단일 위성 신호를 수신 받아 시각 비교를 수행하는 기법이다. ns 급의 정확도로 시각비교 수행이 가능하다.

2.2. 시각 동기 오차 요소

의사위성의 클럭을 GPS 위성 클럭에 동기 시키기 위해서는 GPS 클럭 정보를 직접 획득할 수 없기 때문에 GPS 수신기 등을 이용한 간접 획득 방식을 활용할 수밖에 없다. 이 과정에서 발생할 수 있는 다양한 오류 요소는 다음과 같다.

- 위성 클럭 및 궤도 오차: GPS 위성 탑재된 원자 시계 자체의 오차 및 위성 궤도 오차가 있다.
- 이온층, 대류층 지연 오차: 우주 상공으로부터 오는 GPS 위성 신호가 지상에 도달하는 과정동안 이온층, 대류층 등을 지나면서 발생하는 지연 오차이다.
- GPS 수신기 시계 오차: GPS 위성 신호를 수신하는 GPS 수신기 자체의 클럭 오차이다.
- 의사위성 및 의사위성 수신기의 시계오차: 의사위성 및 의사위성 수신기의 자체 클럭오차이다.

III. 의사위성 시각 동기 방안

3.1. 의사위성 시각 동기 스테이션 구축 방안

본 절에서는 의사위성 시각 동기 스테이션을 구축하여 시각 동기를 수행하는 방안을 제시한다. 제안하는 시각 동기 알고리즘의 구조를 그림 2에 나타내었다.

제안하는 기법은 GPS 위성과 의사위성 간의 시각 오차를 산출하기 위해 CGGTTS를 한국표준과학연구원(KRISST)의 GPS 수신기와 의사위성 수신기로부터 생성 및 비교하여 계산하는 구조이다. CGGTTS는 시각 비교를 위한 국제 표준 양식으로 시각용 GPS 수신기에서 제공되거나 수신기의 RINEX 데이터 결과를 활용하여 생성할 수 있으며 나노세크급의 시각 오차 정보를 포함한다[1].

이 과정에서 앞서 언급한 GPS 위성의 클럭 오차, 궤도 오차, 이온층 및 대류층 오차와 의사위성 및 의사위성 수신기 자체의 시계 오차 등을 고려하여 보상을 수행한다. 그리고 보상 결과를 이용하여 GPS 위성과 의사위성 간의 시각 오차를 산출하고 보정 정보를 의사위성에 반영함으로써 시각 동기를 수행한다.

그림 2. 의사위성 시각 동기 스테이션 구축 방안
Fig. 2 Architecture of pseudolite clock synchronization station method

3.2. 한국표준과학연구원 시각정보원 활용 기법

한국표준과학연구원(이하 **KRISS**)의 시각정보원을 활용한 기법은 국내에 운영되고 있는 **KRISS** 세계협정시(UTC)의 1PPS 및 클럭정보를 활용하여 의사위성의 시각을 직접 동기 시키는 기법이다. **KRISS-UTC** 경우 세슘 원자시계를 사용하여 시각정보를 생성하며 이를 매월 국제도량형국(BIPM)에 보고한다. BIPM 기관에서는 국제원자시(TAI)와 세계협정시(UTC)를 생성하여 UTC-(KRISS-UTC)에 해당하는 Circular-T를 생성한 후, 이를 **KRISS**에 매월 보급하여 시각오차를 보정을 수행하도록 한다. GPS-UTC의 경우 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 관리하는 시각 체계를 사용하며 **KRISS**와 동일한 과정을 거쳐 시각을 관리하고 있다. 따라서 GPS-UTC와 **KRISS-UTC**의 BIPM기관에 의해 동기되어 있다고 가정할 수 있으며, 일반적으로 10nsec의 불확도를 가지고 있다. 결과적으로 그림 3과 같이 **KRISS-UTC**에 의사위성의 시각을 DP-PLL 필터와 FIR 필터들을 이용하여 동기 시키므로 GPS와 의사위성 간의 시각동기를 달성할 수 있다[2].

그림 3. 한국표준과학연구원의 시각정보원 활용 기법
Fig. 3 Clock synchronization method by using KRISS UTC

3.3. PRN 코드 위상차를 이용한 기법

QZSS 위성의 경우 GPS 위성과 달리 원자시계를 탑재하고 있지 않으며 이에 따라 GPS 위성에 비해 시각원의

안정도가 미비하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 QZSS는 원자시계를 지상에 두고 제어신호를 송신하여 시각동기를 수행하는 RESOXX(Remote Synchronization System for the onboard Crystal Oscillator) 구조를 가지며, QZSS 위성과의 일본의 NMIJ(National Metrology Institute of Japan) UTC와 10nsec의 동기 정확도로 시각동기를 수행한다.

그림 4. QZSS 위성 시각 동기 구조
Fig. 4 Overview of QZSS satellite time synchronization

그림 5. PRN 코드 위상차 활용 기법
Fig. 5 Clock synchronization method by using PRN code phase

PRN 코드 위상차를 이용한 기법은 이러한 QZSS 위성의 시각 동기 구조에서 착안하였다. QZSS 시각관리 구조를 지상의 의사위성에 적용하면 그림 5와 같이 구성할

수 있다. PRN 코드 위상차를 통한 시각동기 기법은 원자 시계 기반의 UTC 생성결과를 통해 PRN 코드를 생성하고 이를 방송하여 의사위성이 수신한 후 위상차를 비교하여 시각동기를 수행하는 방안으로 의사위성의 설치 위치 제약이 감소하나, 방송된 신호를 활용하므로 이에 따른 시간 지연 오차가 발생하게 된다[3].

IV. 의사위성 시각동기 성능평가 플랫폼

본 논문은 다양한 의사위성 시각동기 방안의 성능평가를 위해 소프트웨어 기반의 시각동기 성능평가 플랫폼을 제안하였으며 그림 6과 같다.

플랫폼은 클럭 모델링 기반의 클럭을 생성하는 클럭 생성부, 각 방안에 따른 시각동기를 수행하는 시각동기 알고리즘부 및 시각동기 알고리즘 성능평가 및 분석부로 구성되어 있다.

그림 6. 의사위성 시각동기 성능평가를 위한 시뮬레이션 플랫폼

Fig. 6 The Simulation platform of clock synchronization performance evaluation

클럭 생성부는 클럭원에 따른 잡음을 모델링하여, TCXO, Cs, Rb 클럭의 오차를 생성하며 클럭 오차 생성 구조는 다음 그림 7과 같다. 생성된 클럭을 활용하여 UTC를 생성한 후, 제안한 3가지 알고리즘을 수행하고 생성된 동기 클럭을 이용하여 평가 및 분석부에서 시각 동기 성능 분석을 수행한다.

그림 7. 클럭 오차 생성 구조
Fig. 7 The clock error generator

현재 이를 위한 클럭 오차 모델링 및 클럭 오차 생성을 수행하였으며, TCXO, Cs, Rb의 시간에 따른 오차는 그림 8과 같다.

그림 8. 클럭원에 따른 클럭 오차 생성 결과
(a) TCXO 클럭 오차 (b) Cs 클럭 오차 (c) Rb 클럭 오차
Fig. 8 The result of clock error generation
(a) TCXO Clock Error (b) Cs Clock Error (c) Rb Clock Error

V. 결 론

본 논문에서는 의사위성의 클럭과 GPS 클럭을 동기시키기 위한 CGGTTS 국제 표준 양식을 활용한 의사위성 시각동기 스테이션 구축 방안, 한국표준과학연구원의 시각정보원 활용방안, PRN 코드 위상차를 이용한 시각동기 기법의 세가지 방안을 제시하였다. 또한 GPS와 의사위성간의 시각동기 알고리즘 성능평가를 위한 소프트웨어 기반의 시뮬레이션 플랫폼을 제안하였으며 클럭 오차 모델에 따른 시뮬레이션 플랫폼을 구성하였고, 이에 따른 오차 생성 결과를 확인하였다. 추후 소프트웨어 기반의 클럭 생성 결과를 활용하여, 제안한 시각동기 알고리즘에 따른 성능평가 및 분석을 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] CGGTTS guidelines for manufacturers of GNSS receivers used for timing, June 2001, <http://tycho.usno.navy.mil>.
- [2] Luis Arceo-Miquel, Yuriy S. Shmaliy, Oscar Ibarra-Manzano, "Optimal Synchronization of Local Clocks by GPS 1PPS Signals Using Predictive FIR Filters," IEEE, Vol. 58, No. 6, June, 2009.
- [3] Toshiaki Iwata, Takashi Matsuzawa, "RESSOX Control of QZSS During Communication Interruption," 41st PTTI Meeting, pp. 433-448, Nov, 2009.

저자소개

이주현(Ju hyun Lee)

2011년 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
2011년 3월 ~ 현재 충남대학교 전자공학과 석박통합과정

※ 관심분야 : GNSS, 실내항법, Anti-Jamming

황소영(Soyoung Hwang)

1999년 부산대학교 전자계산학과 (이학사)
2001년 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)

2006년 부산대학교 전자계산학과(이학박사)
2006년~2010년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
2010년 3월~현재 부산가톨릭대학교 멀티미디어공학과 조교수

※ 관심분야 : 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 시각동기, e-Navigation

유동희(Dong-Hui Yu)

1992년 부산대학교 전자계산학과 (이학사)
1994년 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)

2001년 부산대학교 전자계산학과(이학박사)
1994년~1997년 7월 한국전자통신연구원 연구원
2001년 3월~2002년 2월 (주)김부설연구소 소장
2002년 3월~현재 부산가톨릭대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : GPS, 시각동기, 통신시스템, e-Navigation

이상정(Sang jeong Lee)

1979년 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1981년 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)

1987년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)
1987년 3월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

※ 관심분야 : 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어