

# PC, 타이머 카드와 USRP 보드를 이용한 GNSS/INS 시뮬레이터의 시각 동기 시스템 설계

손재훈<sup>1</sup>, 서흥석<sup>2</sup>, 이상윤<sup>2</sup>, 황동환<sup>1†</sup>

## Design of Time Synchronization System of GNSS/INS Simulator using PC, Timer Card and USRP Board

Jae Hoon Son<sup>1</sup>, Hung Seok Seo<sup>2</sup>, Sang Yoon Lee<sup>2</sup>, Dong-Hwan Hwang<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Microinfinity Co., Ltd., Daejeon 34012, Korea

### ABSTRACT

The purpose of the Global Navigation Satellite System/Inertial Navigation System (GNSS/INS) simulator is to provide GNSS signals and Inertial Measurement Unit (IMU) data in a real environment. If the GNSS/INS simulator provides unsynchronized GNSS signals and IMU data, the performance of the GNSS/INS integrated navigation system cannot be accurately evaluated. In this paper, a design method of a time synchronization system for the GNSS/INS simulator is proposed using a PC, timer card, and Universal Software Radio Peripheral (USRP) board. The USRP board up-converts the GNSS IF data into an RF signal and provides the Pulse Per Second (PPS) signal. The timer card generates an interrupt request signal to the PC at the same rate as the IMU data from the PPS signal of the USRP board. The PC provides the GNSS IF signal and IMU data and synchronizes the time of the IMU data to the GNSS IF data based on the interrupt request signal. In order to show demonstrate the usefulness of the proposed method, the time synchronization results of IMU data are checked along the GNSS signal in the GNSS/INS simulator, and the effect of the time synchronization of the GNSS/INS simulator on the navigation system is checked and evaluated. The experimental results show that the proposed time synchronization method generates the GNSS IF signals and IMU data very similar to that closely correspond with the real environment.

**Keywords:** time synchronization, GNSS, IMU, simulator

**주요어:** 시각 동기, GNSS, IMU, 시뮬레이터

### 1. 서론

Global Navigation Satellite System/Inertial Navigation System (GNSS/INS) 통합항법 시스템을 개발하기 위하여 (Titterton & Weston 2004, Farrell 2008, Groves 2013), GNSS 신호와 Inertial Measurement Unit (IMU) 데이터를 모사하는 GNSS/INS 시뮬레이터를 이용하면 GNSS/INS 통합항법 시스템을 효율적으로 개발할 수 있다 (Peteovello & Curran 2017). GNSS/INS 시뮬레이터는 1990년대 초에 미국 국방부의 Global positioning system Inertial

Navigation Assembly (GINA) 프로그램에서 Global Positioning System (GPS) 신호와 IMU 데이터를 제공하는 기능을 요청하면서 개발이 시작되었으며 (May 2022), 최근까지 여러가지 연구 결과와 제품이 소개되고 있다 (Karaim et al. 2018, Spirent 2018, CAST NAVIGATION 2021).

GNSS/INS 시뮬레이터의 목적은 항법 시스템이 동작하는 실제 환경에 가능한 가까운 GNSS 신호와 IMU 데이터를 제공하는 것이다. 이때, GNSS 신호와 동기되지 않은 IMU 데이터를 GNSS/INS 통합항법 시스템에 제공하면 개발한 항법 시스템의 성능을

Received Aug 26, 2024 Revised Oct 14, 2024 Accepted Nov 11, 2024

<sup>†</sup>Corresponding Author E-mail: dhhwang@cnu.ac.kr



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

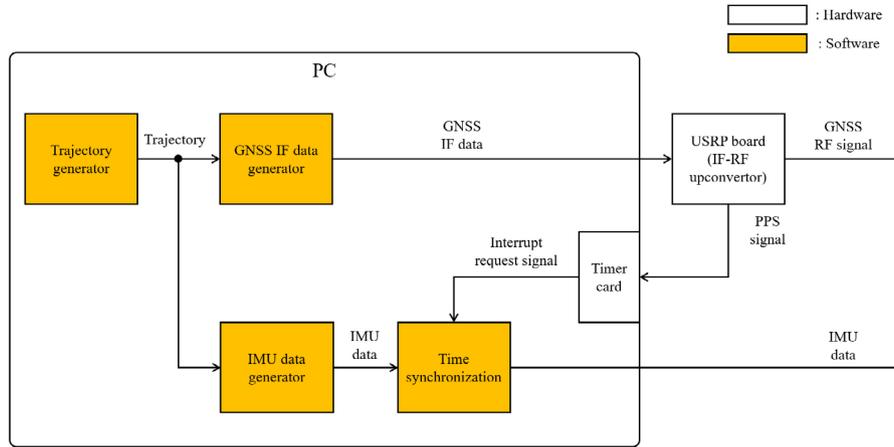


Fig. 1. Configuration of GNSS/INS simulator.

정확하게 평가할 수 없다. 따라서, GNSS 신호와 IMU 데이터의 시각 동기 시스템이 필요하며, 이를 이용하여 기준 시각을 정하는 것이 중요하다. 시뮬레이터의 시각 동기 시스템은 GNSS 신호와 IMU 데이터 생성이 끝나면, RF 신호를 생성하면서 출력된 PPS 신호를 기준으로 IMU 데이터를 GNSS 신호에 동기시킨다. 반면에 항법 시스템의 시각 동기 시스템은 GNSS 신호와 IMU 데이터를 입력받고, GNSS 수신기에서 출력된 PPS 신호를 기준으로 IMU 데이터를 GNSS 신호에 동기시킨다는 것이 다르다. 즉, 시뮬레이터와 항법 시스템의 시각 동기는 목적이 다르다.

시각 동기과 관련한 연구 결과를 보면, 항법 시스템을 대상으로 설계한 경우가 대부분이며 (Skog & Handel 2008, Looney 2024), 시뮬레이터 출력 신호의 시각 동기과 관련한 연구 결과는 많지 않다 (Kim & Seo 2023). 그리고, 상용의 GNSS/INS 시뮬레이터에서는 시각 동기 기능을 포함하고 있으며, 별도의 시각 동기 시스템을 소개하고 있기도 하다 (Spirent 2018, CAST NAVIGATION 2021, 2022, Novus Power 2022, National Instruments 2024).

Skog & Handel (2008)은 통합 칼만필터의 상태변수로 시각 동기 오차(time synchronization error) 변수를 추가한 GNSS/INS 통합항법 시스템을 소개하고, 이를 이용한 항법 결과를 제시하였다. Looney (2024)는 자율 주행 차량에서 GNSS 수신기의 10 Hz 기준 신호(reference signal)가 INS에 입력될 때, 기준 신호에 동기된 400 Hz의 IMU 데이터를 생성하는 방법을 소개하고 있다.

Kim & Seo (2023)는 GNSS 신호를 수신할 수 없는 지하, 터널에서 모의된 GNSS 신호 전송을 위해 배치한 실내 GPS 시뮬레이터를 대상으로 시각 동기 방법을 제안하고, 시각 동기가 위치 추정에 미치는 영향을 보였다. Novus Power사는 6 채널 Pulse Per Second (PPS) 신호를 제공하는 NR3612 (Novus Power 2022), National Instruments (NI)사는 8채널 PPS 신호를 제공하는 시각 동기 시스템을 소개하고 있다 (National Instruments 2024). CAST NAVIGATION사는 시각 동기 시스템을 포함한 GNSS/INS 시뮬레이터를 소개하고 (CAST NAVIGATION 2021), 이를 이용하여 GNSS 신호에 동기시킨 IMU 참 데이터에 대한 항법 결과를 항체의 궤적과 비교한 결과를 보였다 (CAST NAVIGATION

2022). Spirent사는 항체의 궤적을 생성하는 SimGen, IMU 데이터를 제공하는 SimInertial, GNSS Radio Frequency (RF) 신호를 제공하는 GSS9000를 결합한 GNSS/INS 시뮬레이터를 소개하고, GSS9000에서 출력된 1 PPS 신호를 기준으로 IMU 데이터를 동기시키는 방법을 제시하였다 (Spirent 2018).

한편, PC의 소프트웨어는 새로운 기능을 추가하거나 수정이 쉽고, 관련 Application Programming Interface (API)가 많이 소개되고 있으므로, GNSS Intermediate Frequency (IF) 데이터와 IMU 데이터를 생성하는 기능을 소프트웨어로 설계하고, PC에 기능 확장을 위한 인터페이스 카드, PPS 신호 출력 및 IF-RF 상호 변환 기능을 제공하는 Universal Software Radio Peripheral (USRP) 보드를 추가하면 GNSS/INS 시뮬레이터를 비교적 손쉽게 구현할 수 있을 것이다. 특히, 타이머 카드를 추가하면 USRP 보드에서 출력한 PPS 신호를 기준으로 IMU 데이터를 GNSS 신호에 동기시킬 수 있을 것이므로, 기존 제품의 시각 동기 알고리즘에 비하여 간단하며, 저렴한 가격으로 구성할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 PC, 타이머 카드와 USRP 보드를 이용한 GNSS/INS 시뮬레이터의 시각 동기 시스템 설계법을 제안하고, 이에 대한 유효성을 보인 실험 결과를 제시하고자 한다. 먼저, GNSS/INS 시뮬레이터에서 동기되지 않은 GNSS IF 데이터와 IMU 데이터에 대하여 제안한 방법으로 시각동기를 수행한 결과를 제시한다. 그리고, GNSS/INS 시뮬레이터의 시각 동기가 GNSS/INS 통합항법 시스템의 항법 결과에 미치는 영향을 확인한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GNSS/INS 시뮬레이터에 대해 서술하고, 3장에서는 제안한 GNSS/INS 시뮬레이터의 시각 동기 시스템에 대하여 서술한다. 4장에서는 제안한 방법으로 설계한 시각 동기 시스템의 성능평가 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 추후 계획을 서술한다.

## 2. GNSS/INS 시뮬레이터

본 논문에서 대상으로 하는 GNSS/INS 시뮬레이터는 Fig. 1에 나타내었는데, PC를 기반으로 구현되며, 타이머 카드와 USRP 보

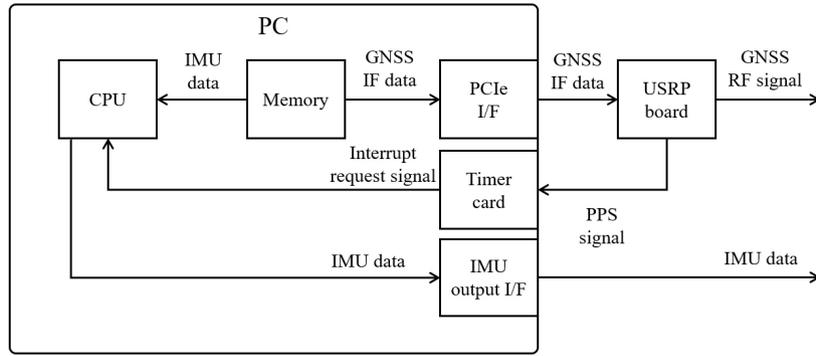


Fig. 2. Hardware of GNSS/INS simulator using PC, timer card and USRP board.

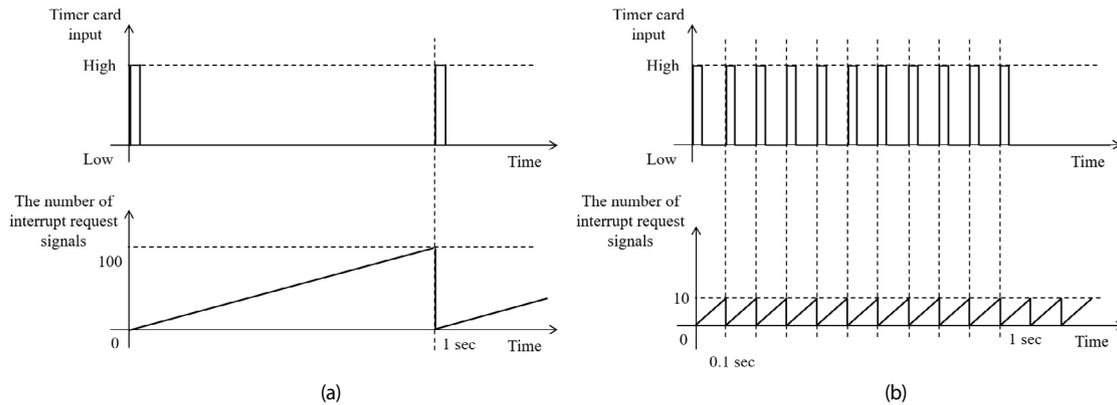


Fig. 3. Number of interrupt request signals according to the PPS signal output rate of the USRP board. (a) 1 PPS, (b) 10 PPS.

드가 추가되어 있다. 소프트웨어는 크게 궤적 생성기, GNSS IF 데이터 생성기, IMU 데이터 생성기, 시각 동기 블록으로 이루어진다 (Spirent 2018).

먼저, 궤적 생성기에서 항체의 위치, 속도, 자세 참값을 생성한다. GNSS IF 데이터 생성기는 생성된 항체의 궤적으로부터 GNSS IF 데이터를 생성한다. IMU 데이터 생성기는 생성된 궤적으로부터 각속도 참값, 가속도 참값을 생성하고, 사용하는 IMU에 적절한 오차를 더하여 사용할 IMU 데이터를 생성한다. USRP 보드는 GNSS IF 데이터를 GNSS RF 신호로 상향변환하고, PPS 신호를 출력한다. 타이머 카드는 USRP 보드의 PPS 신호로부터 IMU 데이터와 동일한 출력율을 갖는 인터럽트 요청 신호를 생성한다. 즉, 타이머 카드는 PPS 신호의 출력 간격을 IMU 데이터의 출력 간격과 같도록 나누고, IMU 데이터의 출력 시각이 될 때마다 인터럽트 요청 신호를 생성하는 기능을 한다. 마지막으로 시각 동기 블록에서는 IMU 데이터 생성기 출력인 IMU 데이터를 인터럽트 요청 신호가 입력될 때마다 출력한다.

### 3. GNSS/INS 시뮬레이터의 GNSS 신호와 IMU 데이터의 시각동기

2장에서 서술한 GNSS/INS 시뮬레이터의 하드웨어는 Fig. 2에 나타내었다. PC의 Peripheral Component Interconnect Express

(PCIe) I/F 카드는 PC와 USRP 보드와의 연결을 위한 것이며, IMU 출력 I/F 카드는 상용 IMU 출력 형식으로 IMU 데이터를 변환하기 위한 것이다.

먼저, USRP 보드는 GNSS IF 데이터를 GNSS RF 신호로 상향 변환하면서 GNSS IF 데이터의 개수를 센다. USRP 보드는 상향 변환할 첫 번째 IF 데이터일 때, PPS 신호를 출력하고, 이후에는 입력된 GNSS IF 데이터가 일정 개수가 될 때마다, PPS 신호를 출력한다. 타이머 카드는 PPS 신호를 받으면 IMU 데이터의 출력율과 같은 간격으로 인터럽트를 PC CPU에 요청한다. PC CPU는 인터럽트 신호를 받으면, 저장된 IMU 데이터를 IMU 출력 I/F 카드로 전송한다. IMU 출력 I/F 카드는 IMU 데이터를 상용 IMU 형식으로 변환하여 출력한다.

예를 들어, IMU 데이터의 출력율이 100 Hz인 경우, PPS 신호의 출력율에 따른 타이머 카드의 인터럽트 요청 횟수를 생각해 보자. Fig. 3a에 USRP 보드가 1 PPS 신호를 출력할 때, PPS 신호 사이의 타이머 카드의 인터럽트 요청 횟수, Fig. 3b에 USRP 보드가 10 PPS 신호를 출력할 때, PPS 신호 사이의 타이머 카드의 인터럽트 요청 횟수를 나타내었다. USRP 보드가 1 PPS 신호를 출력하면, 타이머 카드는 1초를 100 등분하여 인터럽트 요청 신호를 출력한다. 그리고, USRP 보드가 10 PPS 신호를 출력하면 타이머 카드는 0.1초를 10 등분하여 인터럽트 요청 신호를 출력한다. PPS 신호 사이의 시간은 타이머 카드가 내부의 클럭을 이용하여 일정한 간격으로 나눈다.

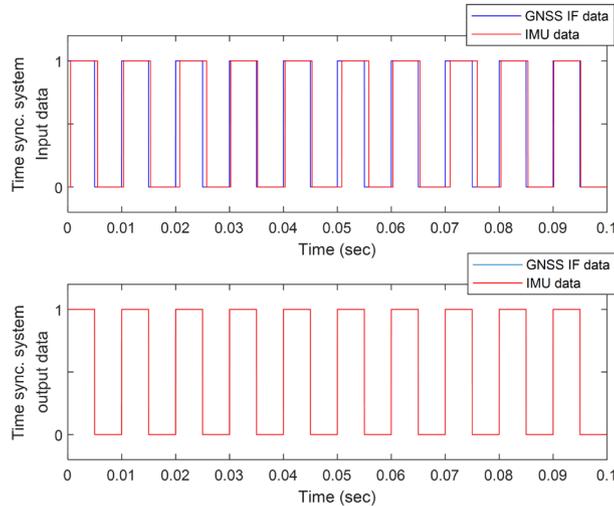


Fig. 4. Time synchronization result of GPS IF data and IMU data.

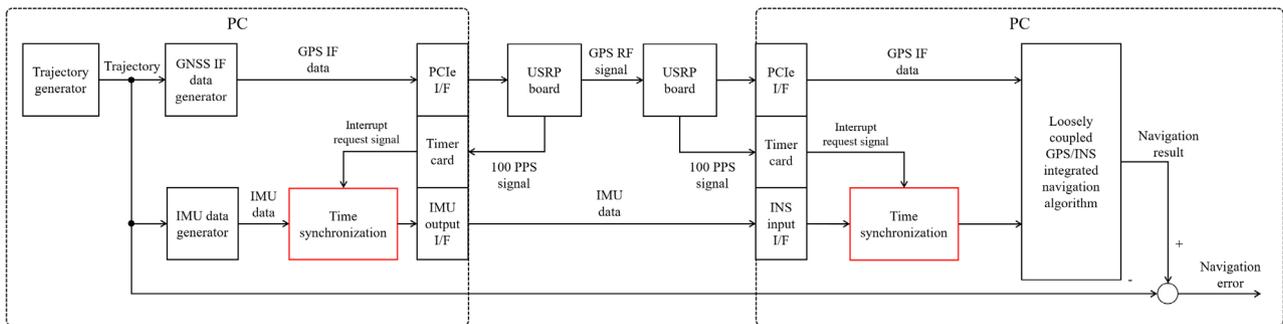


Fig. 5. Performance evaluation system for proposed time synchronization method for simulator.

### 4. 성능평가

제안한 GNSS/INS시뮬레이터의 시각 동기 시스템의 성능을 평가하기 위하여 IMU 출력 I/F는 Fastcomm사의 FSCC/4-PCIe, USRP 보드는 NI사의 USRP-2952R, 타이머 카드는 Advantech사의 PCI-1780U를 이용하여 Fig. 2에 나타난 시각 동기 시스템을 구성하였다. 먼저, 시뮬레이터에서 25 MHz로 샘플링한 GPS IF 데이터를 생성하고, USRP보드에서 IMU 데이터의 출력율과 같은 간격으로 0.01초마다 PPS 신호를 출력한다. 그리고, 100 Hz 출력율의 IMU 데이터를 생성하고, 0초부터 0.0099초까지 균등 분포 (uniform distribution)를 갖는 시각 오차, 즉, 시각 동기가 가능한 최대 범위까지의 시각 오차를 출력 시각에 추가하였다. USRP 보드에서 100 PPS 신호를 제공할 때 이에 동기 시킨 IMU 데이터의 출력 시각을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 위쪽 그래프는 시각 동기 시스템에 입력한 GPS IF 데이터와 IMU 데이터의 출력 시간을 나타낸 것이며, Fig. 4의 아래쪽 그래프는 Fig. 4의 위쪽 그래프의 데이터에 대하여 제안한 시각 동기 방법을 적용하였을 때의 GPS IF 데이터와 IMU 데이터의 출력 시간을 나타낸 것이다. Fig. 4를 보면 제안한 시각 동기 시스템을 사용할 경우 GPS IF 신호에 IMU 데이터가 동기되었음을 알 수 있으며, 동기된 IMU 데이터의 출력 시각이 100 PPS 신호의 출력 시각과 일치함을 알 수 있다.

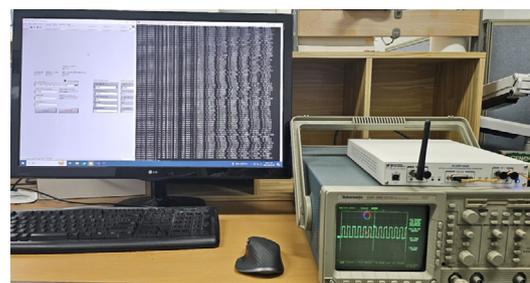


Fig. 6. Performance evaluation system photograph.

다음으로 시뮬레이터의 시각 동기가 항법 시스템에 미치는 영향을 확인하기 위하여 성능평가 시스템을 Fig. 5와 같이 구성하였다. Fig. 6에는 PC와 USRP 보드, USRP 보드에서 출력되는 PPS 신호를 확인하는 오실로스코프를 연결하여 시뮬레이터 세트를 구성한 것이다. 성능평가 시스템은 PC 2대와 USRP 2대로 구성하였다. GPS IF 신호와 IMU 데이터를 수신하는 PC와 USRP 보드에서 INS 입력 I/F 카드, 타이머 카드, USRP 보드는 시뮬레이터와 같은 제품을 사용하였다.

먼저, 궤적 생성기로 원 운동을 하는 항체의 궤적을 생성하고, 25 MHz로 샘플링한 GPS IF 데이터와 100 Hz 출력율의 IMU 데이터를 생성하였다. IMU 데이터의 출력 시각에 0부터 0.0099까지

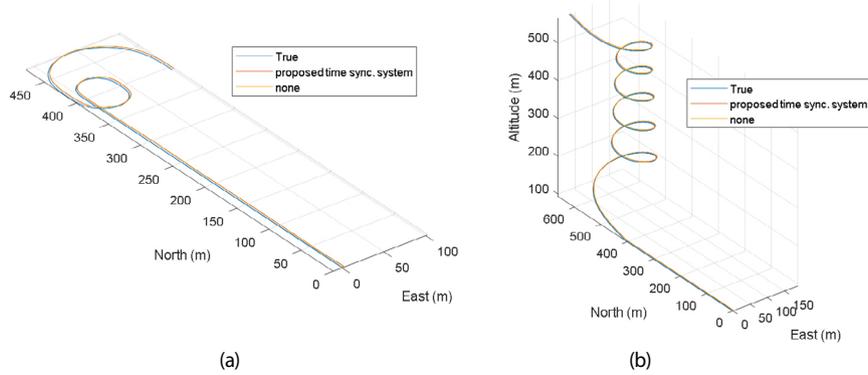


Fig. 7. GPS/INS integrated navigation results (a) first trajectory, (b) second trajectory.

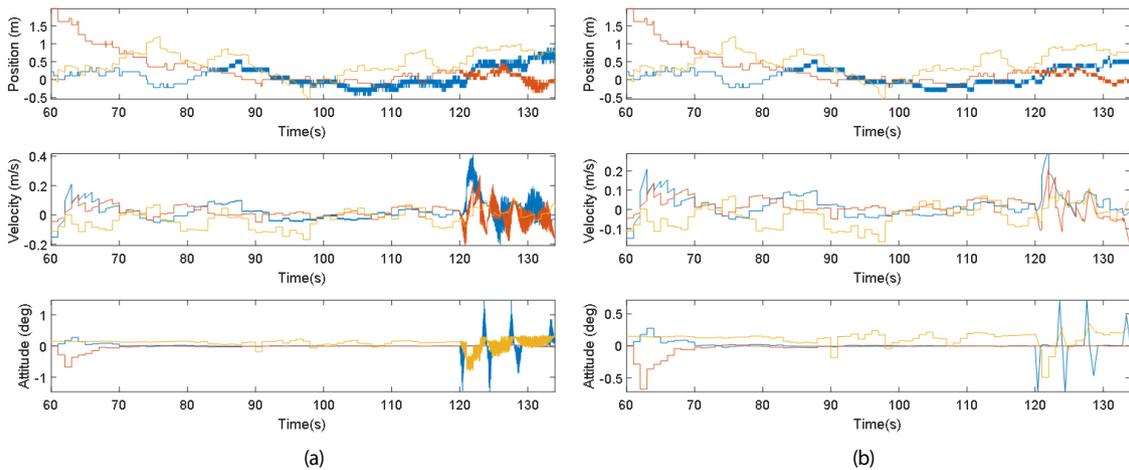


Fig. 8. GPS/INS integrated navigation results for the Fig. 7a, (a) unsynchronized data, (b) synchronized data.

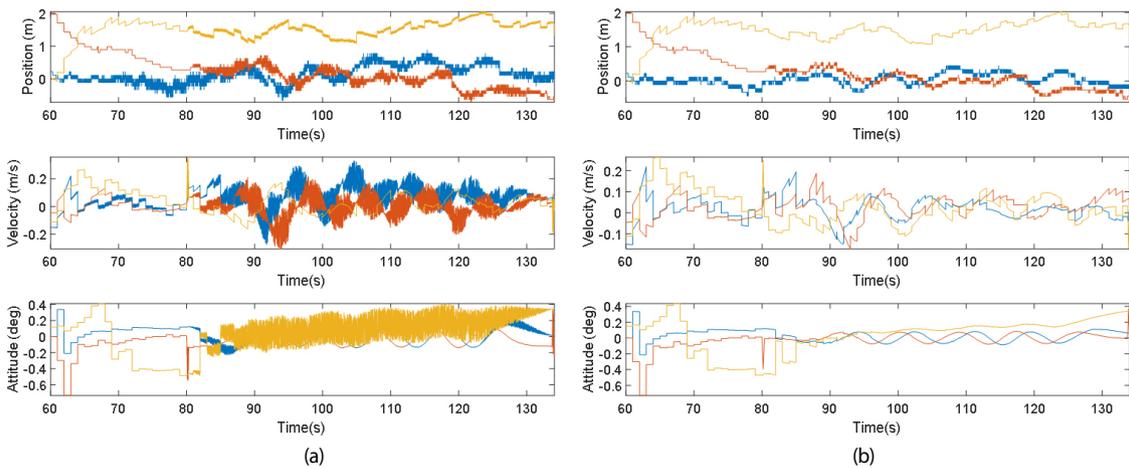


Fig. 9. GPS/INS integrated navigation results for the Fig. 7b, (a) unsynchronized data, (b) synchronized data.

균등 분포를 갖는 오차를 추가하고, USRP 보드에서 100 PPS 신호가 출력될 때의 항법 성능을 확인하였다.

성능평가를 위한 궤적을 Figs. 7a와 7b에 나타내었다. 첫번째 궤적에서 동기되지 않은 데이터에 대한 항법 결과를 Fig. 8a, 제안한 시각동기 시스템을 사용하여 동기된 데이터에 대한 항법 결과

를 Fig. 8b에 나타내었다. 두번째 궤적에서 동기되지 않은 데이터에 대한 항법 결과를 Fig. 9a, 제안한 시각동기 시스템을 사용하여 동기된 데이터에 대한 항법 결과를 Fig. 9b에 나타내었다. Table 1에는 Figs. 8과 9에 나타낸 항법 결과의 Root Mean Square Error (RMSE)의 평균, 그리고, 동기되지 않은 데이터에 대한 항법 오차

**Table 1.** RMSE of the GPS/INS integrated navigation results.

	Axis	First trajectory			Second trajectory		
		Unsynchronized data	Synchronized data	Percent	Unsynchronized data	Synchronized data	Percent
Position (m)	North	0.2775	0.2445	97.7144	0.3064	0.1759	92.3684
	East	0.5486	0.5477		0.5732	0.5522	
	Down	0.5703	0.5723		1.5365	1.5037	
Velocity (m/s)	North	0.0706	0.0642	95.6370	0.1034	0.0571	76.8202
	East	0.0498	0.0479		0.0694	0.0618	
	Down	0.0675	0.0676		0.0870	0.0807	
Attitude (deg)	Roll	0.1327	0.1094	94.1836	0.1085	0.0804	86.3452
	Pitch	0.1085	0.1070		0.1343	0.1132	
	Yaw	0.1570	0.1586		0.2448	0.2275	

감소율을 백분율로 나타내었다. Fig. 8을 보면 제안한 시각동기 시스템을 사용한 결과가 참 궤적에 더 가까운 것을 알 수 있으며, Figs. 8과 9를 보면 항체가 회전 운동을 할 때, 시각동기에 대한 영향이 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 약결합 GPS/INS 통합항법 알고리즘의 통합 칼만필터는 GPS 수신기와 INS의 위치, 속도 차이로부터 INS 항법 오차를 추정하며, 동기되지 않은 데이터를 이용하면 통합 칼만필터가 INS 항법 오차를 정확하게 추정하지 못할 것이라고 예상할 수 있다. 이때, 추정된 INS 항법 오차를 이용하여 INS의 항법 결과를 보정하는데, INS 특성상 자세, 속도, 위치 순으로 계산하므로, 자세 오차가 클수록 속도, 위치 오차도 커진다. 따라서, 자세가 크게 변화하는 회전 운동에서 시각 동기화에 대한 영향이 더욱 크게 보이는 것을 알 수 있다. 그리고, Table 1을 보면 제안한 시각동기 시스템을 사용하면 위치 오차는 각각 97%, 92%로 감소한 것을 알 수 있으며, 속도 오차는 각각 95%, 76%, 자세 오차는 각각 94%, 86%로 감소한 것을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 추후 계획

본 논문에서는 PC, 타이머 카드와 USRP 보드를 이용한 GNSS/INS 시뮬레이터의 시각동기 시스템 설계법을 제안하고, 제안한 설계법의 유용함을 보이기 위하여 실험을 수행한 결과를 제시하였다. GNSS 수신기의 입력, INS의 입력과 GNSS/INS 시뮬레이터의 소프트웨어의 관계를 정리하고, 실제 환경에서 GNSS 신호와 IMU 데이터를 모사하려면 시각 동기가 필요함을 보였다. 그리고, GNSS/INS 시뮬레이터에서 GPS IF 데이터와 IMU 데이터를 생성하고, 제안한 방법으로 동기 시킨 IMU 데이터를 동기 시키지 않은 IMU 데이터와 비교하였다. 그리고, GNSS/INS 시뮬레이터의 시각 동기가 항법 시스템에 미치는 영향을 확인하기 위하여 GPS/INS 통합항법 결과를 확인하였다. 결과로부터 제안한 방법을 이용할 경우 GNSS/INS 시뮬레이터의 출력을 실제 상황에 실제 상황에 가깝게 제공할 수 있음을 알 수 있다.

추후에는 GNSS/INS 시뮬레이터에 상용 GNSS/INS 통합항법 시스템을 연결하고, 시각 동기가 통합항법 결과에 미치는 영향을 확인할 것이다. 그리고, 시뮬레이터의 IMU 데이터 생성기에서 IMU사양을 변경하고, PPS 신호의 출력율을 조절하여 1 PPS 신호인 경우의 시각 오차, 10 PPS 신호인 경우의 시각 오차를 확인할 것이다. 마지막으로 상용 시뮬레이터를 이용한 결과를 제안한 시뮬레이터의 시각 동기 결과와 비교할 것이다.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, J. H. Son and D.-H. Hwang; software, J. H. Son; supervision, H. S. Seo, S. Y. Lee, and D.-H. Hwang; writing - original draft, J. H. Son; writing - review & editing, D.-H. Hwang.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- CAST NAVIGATION, IMU Modeling and Simulation - Dynamic GNSS/INS Simulation Systems [Internet], cited 2021 Jul 9, available from: <https://castnav.com/wp-content/uploads/2021/07/CAST-INERTIAL.pdf>
- CAST NAVIGATION 2022, A True Reference: Theory Meets Reality in Synchronized Simulation Environments, Inside GNSS, 27 Feb 2022.
- Farrell, J. A. 2008, Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors (New York: McGraw Hill).
- Groves, P. D. 2013, Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, 2nd Ed. (Boston, London: Artech House).
- Karaim, M. O., Youssef, M., & Noureldin, A. 2018, Performance Verification of Ultra-tight GPS/INS System Using a Comprehensive GPS/INS Data Simulation Tool, In 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018), Miami, Florida, 24-28 September 2018, pp.3199-3208. <https://doi.org/10.33012/2018.15988>
- Kim, W. & Seo, J. 2023, Low-Cost GNSS Simulators With Wireless Clock Synchronization for Indoor Positioning, IEEE Access, 11, 55861-55874. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3282786>
- Looney, M. 2024, Synchronizing MEMS IMUs with GPS in

Autonomous Vehicles, Inside GNSS, May 29 2024.

May, M. B. 2022, Navigation Heaven, ION Newsletter, 32, 16-17. <https://www.ion.org/newsletter/upload/ION-Fall22.pdf>

National Instruments, CDA-2990 [Internet], cited 2024 Apr. 2, available from: <https://www.ni.com/docs/ko-KR/bundle/cda-2990-specs/page/specs.html>

Novus Power, NR3612-O/G [Internet], cited 2022 Nov. 18, available from: <https://novuspower.com/wp-content/uploads/2023/03/NR3612-OG-11-15-8-22.pdf>

Peteovello, M. G. & Curran, J. T. 2017, Simulators and Test Equipment, Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, P. J. G. Teunissen & O. Montenbruck, eds. (Gewerbstrasse, Switzerland: Springer). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_18)

Skog, I. & Handel, P. 2008, Effects of time synchronization errors in GNSS-aided INS, in 2008 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, 05-08 May 2008, Monterey, CA, USA, pp.82-88. <https://doi.org/10.1109/PLANS.2008.4570010>

Spirent, Spirent SimINERTIAL – Integrated GPS/Inertial Test [Internet], cited 2018 May 19, available from: <https://www.spirent.kr/assets/u/brochure-siminertial>

Titterton, D. H. & Weston, J. L. 2004, Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd Ed. (Stevenage: The Institute of Electrical Engineers)

researcher for Microinfinity Co., Ltd in 2024.



**Dong-Hwan Hwang** is a professor in the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea. He received his B.S. degree from Seoul National University, Korea in 1985, and his M.S. and Ph.D. degrees from Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea in 1987 and 1991, respectively. His research interests include GNSS/INS integrated navigation system design and GNSS applications.



**Jae Hoon Son** is received a B.S. degree in the Department of IT Electronics Engineering, Daejeon University, in 2018. He is currently a Ph.D. candidate at the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University. His research interests are inertial navigation system, Integration navigation system and embedded system.



**Hung Seok Seo** is received the Doctor of Engineering's degree in Electronics from Chungnam National University in 2003. He joined Navicom Co., Ltd. in 2002 and has 21 years of experience in navigation. He works as a senior researcher for Microinfinity Co., Ltd in 2024.



**Sang Yoon Lee** is received the Master of Engineering's degree in Electronics from Chungnam National University in 2004. He joined Navicom Co., Ltd. in 2005 and has 20 years of experience in GNSS/INS Integrated navigation System. He works as a senior

