JKIICE

Short Paper

한국정보통신학회논문지 Vol. 27, No. 1: 139~142, Jan. 2023

산업현장에서의 실내외 연속측위를 위한 GNSS-UWB 하이브리드 측위 시스템

GNSS-UWB Hybrid Positioning System for Indoor and Outdoor Seamless Positioning

Yong Jun Chang[1*] · Joung Wook Lee[2]

[1*]Chief Technology Officer, Kyungwoo Systech, Inc., Seoul, 08512 Korea
[2]Research Director, Kyungwoo Systech, Inc., Seoul, 08512 Korea

ABSTRACT

In this paper, we propose a GNSS-UWB hybrid positioning system for indoor and outdoor seamless positioning. Fusion of GNSS and inertial sensors has been widely used as a method for estimating positions in places where GNSS reception sensitivity is low, and UWB technology, which started as a short-range wireless communication technology, is widely used indoors where GNSS is completely blocked. This paper proposes a method of mutual correction and fusion of the location information collected through GNSS and the location information collected from the UWB indoor positioning system when indoor and outdoor work occurs continuously and repeatedly, such as in an industrial site.

Keywords : Indoor Positioning, Hybrid Positioning, UWB, GNSS-UWB

Ⅰ. 서 론

산업현장의 디지털 전환이 빠르게 이루어지면서 산업현장에서 수집되는 다양한 데이터의 위치 정보 중요성은 계속 증가되고 있다. 산업현장은 실내외 환경이 복합적인 경우가 많고 예를 들어 자율 작업과 같은 분야에서 작업 차량의 위치를 실내외 연속하여 정밀하게 추적하여야 하는 필요성이 대두되고 있다. 일반적으로 실외에서의 위치 추적은 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou 등의 GNSS 시스템을 통해 구현하며, 정밀한 위치 추적을 위해 DGPS, RTK GPS 등의 정확도 향상을 위한 위치 오차 보정 기술을 사용하기도 한다[1-3]. GNSS 신호의 수신이 어려운 실내에서는 Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, RFID 및 UWB (Ultra-Wideband)기술을 활용하는 RF 기반 측위 기술이 일반화되어 있다[4,5].

Ⅱ. 관련 연구

실외에서 GPS 등과 같은 GNSS 시스템을 통해 움직이는 동적 물체의 위치 측정 정확도를 향상시키기 위한 방법은 매우 다양하게 연구되어 왔으며, 특히 관성센서(INS, Inertia Navigation System)와 GNSS 정보를 융합하는 칼만 필터를 활용하는 기법들은 GPS 수신 감도가 낮은 장소에서도 대상의 위치를 대략적으로 추정할 수 있는 DR-GPS 시스템 등에서 활용되어 왔다. GNSS 신호와 관성 센서의 융합은 약 결합 방식 (Loosely-coupled method)과 강 결합 방식 (Tightly -coupled method)으로 구분할 수 있다 [1, 2]. 약 결합 방식에서는 GNSS로부터 측정된 위치와 속도 등의 데이터가 관성 센서 데이터와 융합되는 것으로 일반적으로 상용화되어 있는 GNSS 수신기를 활용할 수 있다. 반면에 강 결합 방식에서는 GNSS가 각 위성으로부터 수신된 데이터를 기반으로 측정되는 거리 정보들을 관성 센서 데이터와 융합하는 것으로 위성의 개수가 부족하여 실제 위치 측위가 일어나지 않더라도 센서 융합을 수행할 수 있다는 장점이 있으나, 상용화되어 있는 GNSS 수신기를 사용할 수 없고 시스템의 복잡성이 늘어나는 단점을 갖고 있다. 이와 같은 관성 센서와의 융합은 움직이는 이동체에 대해 측위 성능을 향상시키거나 짧은 시간 이내의 실내 측위에 대응할 수 있으나 장시간의 실내 이동에서는 오차 누적으

Received 23 November 2022, **Revised** 29 November 2022, **Accepted** 7 December 2022

*** Corresponding Author** Yong Jun Chang (E-mail:yjchanbg@kyungwoo.com, Tel:+82-2-985-8085)
Chief Technology Officer, Kyungwoo Systech, Inc., Seoul, 08512 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2023.27.1.139 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

로 인한 오류가 발생한다.

관성센서이외의 센서 기술을 사용한 적극적인 측위를 통해 실내/실외 혼합 환경에서 측위 정확도를 향상시키기 위해 방법도 다양하게 연구되어 왔다. [3]에서는 모바일 사용자를 위한 하이브리드 실외/실내 측위 서비스를 GPS와 WiFi 간의 핸드오버 메커니즘을 중심으로 제안한다. [4]에서는 지자기 센서를 이용한 MPS (Magnetic Positioning System)과 GNSS의 Kalman Filter 융합을 통해서 IoT기기 등의 실내외 위치 측위 시스템을 제안한다. [5]에서는 이미 다양하게 활용되고 있는 RFID카드, WiFi, Bluetooth 등의 공통 인프라와 서비스를 활용하는 하이브리드 측위 시스템을 제안하였다. [6]은 차량의 실내 네비게이션을 위해 저비용 비콘을 활용하여 비콘의 RSSI (Received Signal Strength Index) 값을 기반으로 차량에 근접된 비콘 정보 및 차량의 이동 방향을 감지한다. [7]에서는 UWB를 활용한 실내 측위 정보와 관성센서 유닛의 칼만 필터링을 통한 센서 융합을 통해 실내외의 복잡한 환경에서 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하고 UWB의 위치정보와 IMU의 정보를 융합했을 때 단일 센서를 통해 측위 및 측정한 위치 정보보다 더 우수한 성능을 나타냄을 보여주었다. [8]에서는 GPS에서 측정된 위치 정보와 CSS (Chirp Spread Spectrum)를 활용한 TWR (Two-way Raning) 기법으로 측정된 노드 간의 거리 측정 정보를 융합하여 보다 향상된 위치 인식을 하는 알고리즘을 제안하고 있으나 이는 GPS가 수신되는 것을 전제로 하고 있으므로 실내에서는 사용이 제한될 수 있다.

UWB 기술을 통한 실내 위치 측위 시스템은 시간 영역에서 고해상도 기능으로 인해 매우 높은 측위 정밀도를 제공한다는 특징 때문에 특히 좁은 실내 환경에서 다중 경로 간섭에 대한 복잡한 추정 알고리즘 없이 정확한 위치 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 실내외 연속 위치 측위를 위해 GNSS와 UWB 기반의 측위 데이터를 융합하는 방법에 대해 제안한다.

Ⅲ. 제안하는 시스템

실내외 연속 측위를 위해 제안하는 시스템의 아키텍처는 그림 1과 같다 . 제안하는 시스템은 1) UWB 송수신 블록과, 2) GNSS 리시버 블록, 3) 관성 센서 블록, 그리고 4) 멀티플렉싱을 포함하는 하이브리드 측위 블록으로 구성된다.

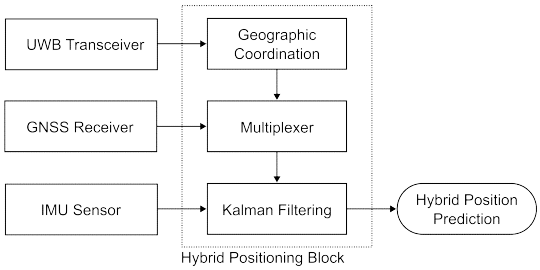

Fig. 1 Proposed System Architecture

3.1. 멀티플렉싱

UWB 송수신 블록에서 측정된 실내 위치는 실내에 설치된 앵커 디바이스의 위치 좌표계를 기준으로 하는 좌표계로, 제안하는 시스템에서는 이 좌표계를 GNSS가 사용하는 위경도 좌표로 변환하여 사용한다. 위경도로 변환된 UWB 송수신 블록에서의 실내 측위 좌표와 GNSS 리시버 블록으로부터 측정된 실외 측위 좌표는 멀티플렉서에 의해 선택적으로 사용된다. 그림 2는 각 좌표를 사용하는 멀티플렉서의 알고리즘을 설명한다.

1. **begin initialize** $P_{out} \leftarrow$ GNSS Position
2. $P_{in} \leftarrow$ UWB Position (Converted)
3. noS ← number of visible GNSS satellites
4. noA ← number of visible UWB anchors
5. AC ← Anchor coverage
5. $P_{mux} \leftarrow$ None
6. if noS >= 4
7. then $P_{mux} \leftarrow P_{out}$
8. else
9. if noA >= 4 and P_{in} in AC
10. then $P_{mux} \leftarrow P_{in}$
11. **end**

Fig. 2 Proposed Multiplexing Algorithm

만약 GNSS로부터 수신 가능한 위성이 4개 이상인 경우 이로부터 측정된 GNSS 좌표를 멀티플렉서의 출력으로 사용한다. GNSS 위성의 개수가 4개 이하면 실내 환경으로 판단하고 실내 좌표의 사용 가능성을 확인한다. 우선 UWB 송수신 시스템에 의해서 통신이 가능한 앵커의 개수가 4개 이상이고, 이를 통해 계산된 실내 좌

표가 앵커의 커버리지 영역 이내일 때 실내 측위 위치의 충실도가 높다고 판단하여 멀티플렉서의 출력으로 사용한다. 만약, 앵커의 개수가 4개 이하이거나, 계산된 실내 좌표가 앵커의 영역 밖에 위치하는 경우, 실내 위치의 충실도가 낮다고 판단하여 멀티플렉서는 아무런 측위 데이터도 칼만 필터 블록으로 전달하지 않는다. 이 경우 최종 위치는 관성 센서에만 의존하여 계산된다.

3.2. 확장 칼만 필터링

본 연구에서는 실내외에서의 위치 추정을 위해 [1, 7]에서 제안하는 것처럼 확장 칼만 필터 (Extended Kalman Filter)를 통해 관성 센서 데이터와 멀티플레서의 위치 및 속도 출력을 약 결합 방식으로 융합한다. EKF의 시스템 아키텍처는 직접 구성(Direct Configuration)으로 구현되며(d-EKF), 추적하고자하는 객체의 동적 모델과 센서 오류 모델을 기반으로 필터를 디자인한다. 제안하는 기법에서는 특정 시간 k에서의 d-EKF의 측정값 벡터 $\boldsymbol{z}[k]$와 측정값 공분산 $\boldsymbol{R}[k]$를 멀티플렉서의 출력에 따라 (1)과 같이 선택적으로 적용함으로써 실내외 전환에 따른 연속 측위를 수행한다.

$$(\boldsymbol{z}[k],\boldsymbol{R}[k]) = \begin{cases} (\boldsymbol{z}_{GNSS}[k], \boldsymbol{R}_{GNSS}) & , \text{if } P_{\mu x} = P_{out} \\ (\boldsymbol{z}_{UWB}[k], \boldsymbol{R}_{UWB}) & , otherwise \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 측정값 벡터 및 측정값 공분산 벡터 $(\boldsymbol{z}_{GNSS}[k], \boldsymbol{R}_{GNSS})$와 $(\boldsymbol{z}_{UWB}[k], \boldsymbol{R}_{UWB})$는 각각 GNSS와 UWB 시스템에서 위치 측정값 벡터 및 공분산으로, 실제의 구현에서 측정 오차는 평균이 0이고 표준편차가 각각 σ_{GNSS} 및 σ_{UWB} 인 정규분포를 따른다고 가정하면, $\boldsymbol{R}_{GNSS} = \sigma^2_{GNSS}$ 및 $\boldsymbol{R}_{UWB} = \sigma^2_{UWB}$ 로 간략화 할 수 있다. 또한, $\boldsymbol{R}_{GNSS}$ 및 $\boldsymbol{R}_{UWB}$은 시스템의 특성에 따라 사전에 측정 될 수 있음을 가정한다.

Ⅳ. 성능 평가

본 장에서는 표 1과 같은 시뮬레이션 환경에서 성능을 평가하였다. 시뮬레이션은 MATLAB을 사용하였으며 그림 3에서와 같이 10m의 직선 주행로와 2.5m 반경의 곡선 주행로를 포함하는 타원형 트랙을 설정하고 트랙의 좌반은 실외, 우반은 실내를 가정하였다. 실외 환경에서는 GNSS기반의 위치 정보 수신이 가능하며, 실내 환경에서는 8m×7m 간격으로 설치된 UWB 앵커를 통해 TDoA방식으로 측위 되도록 시뮬레이션 하였다. 측정된 위치는 객체의 관성센서 정보와 함께 제안하는 선택적 확장 칼만 필터링을 통해 융합된다.

Table. 1 Summary of simulation parameter

Parameter	Value
GNSS position error variation σ^2_{GNSS}	$0.16\,m^2$
UWB position error variation σ^2_{UWB}	$0.02\,m^2$
GNSS/UWB measurement frequency	$10\,Hz$
INS measurement frequency	$100\,Hz$
Object velocity	$2\,m/s$

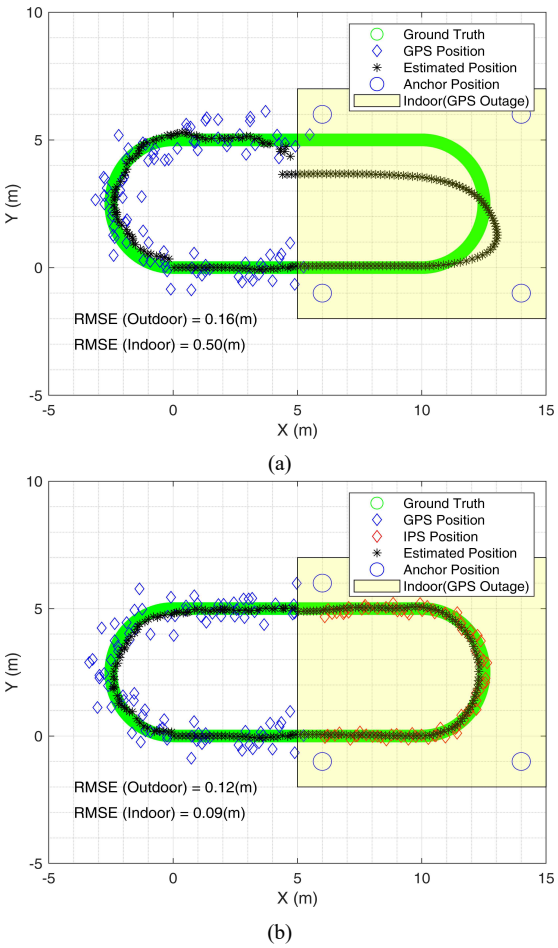

Fig. 3 Simulation results (a) Indoor positioning is not performed, (b) Iindoor positioning is performed

그림 3의 (a)는 GNSS 수신 불가 구역인 트랙의 우반에서 실내 위치 측위를 수행하지 않는 경우로 일반적인 DR-GPS가 관성센서에만 의지하여 실내 위치를 측위하는 상황과 유사하다. 시뮬레이션의 결과에서는 실외, 실내 환경에서 RMSE 측위 오차가 각각 0.16m, 0.50m로 실내 환경인 트랙의 우반에서 관성센서에만 의존하여 위치를 추정하므로 추적하고자 하는 객체의 방향 전환 시에 관성 센서의 오차 누적이 발생하고, 특히 트랙의 좌반으로 진입하는 시점에서는 추정된 위치의 불연속 지점이 발생한다.

그림 3의 (b)는 트랙의 우반인 실내 구역에서 UWB에 의한 TDoA 측위를 실시하고 제안된 선택적 확장 칼만 필터에 의해 실내에서도 연속적인 위치를 추정한다. 그림 3 (b)의 결과에서 실외, 실내 환경에서의 RMSE 측위 오차는 각각 0.12m, 0.09m로 실내에서도 오차 누적 없이 위치 측위가 가능하며, 실내와 실외의 측정값 및 공분산 요소가 전환되는 경계 지점에서도 연속적으로 위치가 추정됨을 확인하였다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 실내외 연속 측위를 위한 GNSS-UWB 하이브리드 측위 시스템을 제안하였다. 제안된 기법은 확장 칼만 필터의 측정 벡터와 공분산을 실내외에서 선택적으로 적용하여 객체의 위치를 추정하는 것으로 시뮬레이션을 통해 관성센서만을 사용하는 경우와 비교하여 연속적으로 위치 추정이 가능함을 확인하였다. 향후 연구에서는 실제구현을 통해 성능을 확인하고, 강 결합 방식을 통해 GNSS 측위가 완벽하지 않은 조건에서 위치를 추정하는 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by "Smart Construction Technology Development National R&D Project" supervised by Korea Expressway Corporation, which implemented by Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Agency for Intrastructure Technology Advancement. (Project No. 22SMIP-A 1578708-03)

REFERENCES

[1] R. Munguía, “A GPS-aided inertial navigation system in direct configuration,” *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 803 – 814, Aug. 2014. DOI: 10.1016/S1665-6423(14)70096-3.

[2] N. A. Anbu and D. Jayaprasanth, “Integration of Inertial Navigation System with Global Positioning System using Extended Kalman Filter,” in *Proceedings of International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, pp. 789-794, 2019. DOI: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987949.

[3] G. De Angelis, G. Baruffa, and S. Cacopardi, “GNSS/Cellular Hybrid Positioning System for Mobile Users in Urban Scenarios,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 313-321, Mar. 2013. DOI: 10.1109/TITS.2012.2215855.

[4] G. De Angelis, A. De Angelis, V. Pasku, A. Moschitta, and P. Carbone, “A hybrid outdoor/indoor Positioning System for IoT applications,” in *Proceedings of IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, Rome, Italy, pp. 1-6, 2015. DOI: 10.1109/SysEng.2015.7302503.

[5] P. J. Fernández, J. Santa, and A. F. Skarmeta, “Hybrid Positioning for Smart Spaces: Proposal and Evaluation,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 12, pp. 4083, Jun. 2020. DOI: 10.3390/app10124083.

[6] S. Kim and P. Park, “Multi-directional DRSS Technique for Indoor Vehicle Navigation,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 936 – 942, Jun. 2022. DOI: 10.6109/jkiice.2022.26.6.936.

[7] B. Li, Z. Hao, and X. Dang, “An indoor location algorithm based on Kalman filter fusion of ultra-wide band and Inertial Measurement Unit,” *AIP Advances*, vol. 9, no. 8, pp. 085210, Aug. 2019. DOI: 10.1063/1.5117341.

[8] O. H. Kwon, S. G. Byeon, S. H. Kim, and N. B. Lee, “Techniques for Fusing GPS Location and TWR Ranging Information for Sensor Network Localization,” *Journal of KISS : Information Networking*, vol. 39, no. 1, pp. 60-72, Feb. 2012.