

Correction-Dead Reckoning using Map Matching Information in an Underground Parking Lot

Myung Hwan Seo[†], Jeeseon Kim, Sojin Park, Dongkwon Suh



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.

Correction-Dead Reckoning using Map Matching Information in an Underground Parking Lot

Myung Hwan Seo[†], Jeeseon Kim, Sojin Park, Dongkwon Suh

Hyundai AutoEver, 12, Teheran-ro 113-gil, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea

ABSTRACT

In this paper, we propose a Correction Dead Reckoning (CDR) solution using correction information such as Map Matching FeedBack (MMFB) in an underground parking lot. In order to correct position errors in an underground parking lot, vehicle position and heading errors are corrected using MMFB information in road link properties. The proposed method was applied to an in-vehicle navigation system and tested. The experimental results show that the proposed robust dead reckoning solution corrects Dead Reckoning (DR) position errors that occur when driving for a long time in an underground parking lot.

Keywords: CDR, DR, MMFB, navigation system

1. 서론

현재 차량 Original Equipment Manufacturer (OEM) 순정 내비게이션의 경우 터널과 지하주차장 등과 같이 Global Navigation Satellite System (GNSS) 신호가 불능인 상태에서 차량의 위치와 방향을 지속적으로 추정하는 관성 센서 기반 추측 방법 (Dead Reckoning, DR) 모듈이 적용되어 있다. 해당 DR 모듈의 경우 GNSS 음영 구간인 지하주차장에서 장시간 주행 시 시간에 따라 증가되는 드리프트 오차로 인해 방향 및 위치 오차가 증가하게 된다.

최근 지하주차장 내비게이션 서비스 지점 확대 및 지하주차장 내 길안내 서비스 기능 반영을 위해 정확한 내차 위치 제공에 대한 측위 기술의 필요성이 대두되고 있다. 현재 지하주차장에서 GNSS를 대신하여 DR 오차를 보정할 수 있는 추가 보정 기술에 대해 활발히 연구가 진행중에 있다. 대표적으로 카메라 영상 정보 이용한 측위 보정 및 Wi-Fi/Ultra-Wide Band (UWB)와 같은 무선 신호 세기를 이용한 측위 보정 기술들이 개발 진행중에 있다.

카메라 영상 정보 이용한 보정 기술은 지하주차장 내 설치된

여안렌즈 카메라로 차량 진입 시 실시간 영상 및 객체 인식을 통해 차량의 실시간 위치 정보를 연산하는 기술이다 (Kim et al. 2021). 연산된 차량 위치 정보는 서버 및 스마트폰 내비게이션에 전송됨으로써 지하주차장 내 내차 위치에 대한 측위가 수행된다. 카메라 영상 정보 이용한 기술의 경우 머신 러닝 기반의 객체 인식으로 연산량 증가로 인한 H/W 고사양 요구 및 서버 송수신을 통한 지연이 발생하기 때문에 실시간 처리가 불가능하다는 단점을 가진다 (Kumar et al. 2016, Jia et al. 2019, Zhao et al. 2019).

이 외에도 Wi-Fi/UWB 등 무선 신호를 이용한 측위 보정 기술로는 무선 신호 세기에 기반해 fingerprinting 기법 등을 사용하여 기존 기술보다 개선된 측위 성능을 갖는다 (Dinh-Van et al. 2017, Lee et al. 2020, Shin et al. 2021). 하지만 Wi-Fi/UWB 안테나 수신 감도, 모듈 출력 파워 세기, RF 신호 간섭, 차량 속도에 따른 스캔되는 무선 신호 변화 등등 일정한 무선 세기 정보가 수신되지 못하는 주행 환경에 따른 왜곡으로 측위 정확도가 미터급으로 출력되며 DR 오차 보정 시 위치 오차가 증가될 수 있는 단점을 가진다. 이런 미터급 보정 위치 오차를 DR 오차 보정 시 사용하면 실제 주행 거리보다 보정 위치 오차만큼 차량 위치의 후행성 또는 선행성 오차가 발생한다. 이에, Almansoub et al. (2020)에서는 DR, Wi-Fi, Vision을 결합한 측위 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 다중 센서 데이터 융합을 통해 GNSS 음영 구간에서 개선된 측위 성능을 갖는다는 특징이 있지만 시스템의 복잡성이 높아진다는 한계를 갖는다.

이러한 기존 측위 보정 기술들은 시스템 제약 사항 및 실시간 처리 문제가 있어, 제안한 논문에서는 지연이 거의 없이 실시간 처리가 가능하며 주행 환경에 대한 신호 왜곡이 없는 지도 속성

Received Nov 13, 2023 Revised Nov 24, 2023 Accepted Dec 01, 2023

[†]Corresponding Author

E-mail: myunghwan.seo@hyundai-autoever.com
Tel: +82-10-9177-7616

Myung Hwan Seo <https://orcid.org/0000-0002-1604-4943>

Jeeseon Kim <https://orcid.org/0009-0007-7407-0254>

Sojin Park <https://orcid.org/0000-0002-1724-383X>

Dongkwon Suh <https://orcid.org/0009-0002-0343-5045>



Fig. 1. Underground parking lot map displayed in navigation system.

정보인 Map Matching FeedBack (MMFB) 정보를 이용한 DR 오차 보정 기술을 제안한다. 제안한 MMFB 기반 보정 DR 성능 비교를 위해 차량 OEM 순정 내비게이션인 표준형 5세대 와이드 단말 및 connected car Navigation Cockpit (ccNC) 단말 시스템에 제안한 Correction Dead Reckoning (CDR) 알고리즘 적용하여 지하주차장 내 DR 위치 오차 보정 성능을 평가한다.

2. 본론

2.1 Conventional DR Algorithm

차량의 항법 정보 추정을 위해 Global Navigation Satellite System/Dead Reckoning (GNSS/DR) 복합 항법 알고리즘이 사용된다. GNSS/DR 복합 항법 알고리즘은 차량에 탑재된 차속계 (odometer)와 자이로스코프 (gyroscope)를 통해 위치를 추정하는 추측 항법과 위성 신호의 송수신에 의한 항법 정보를 제공하는 위성 항법 시스템의 서로 상호 보완적인 특성을 이용해 구성되며, 각 항법 알고리즘을 단독적으로 사용하는 것 보다 안정적인 항법 정보 추정이 가능하다. 일반적으로 GNSS/DR 복합 항법 시스템은 칼만 필터를 기반으로 설계되며, GNSS 수신기에서 제공하는 항법해를 측정치로 사용하는 약결합 방식이 사용된다. GNSS/DR 알고리즘의 상태변수와 시스템 모델은 Eqs. (1-3)과 같다.

$$\delta \mathbf{x}_k = \mathbf{F}_k \delta \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_k, \quad \mathbf{w}_k \sim N(0, \mathbf{Q}_k) \quad (1)$$

$$\delta \mathbf{x}_k = [\delta P_N \quad \delta P_E \quad \delta P_D \quad : \delta s_{odo} \quad : \delta \Phi_N \quad \delta \Phi_E \quad \delta \Phi_D \quad : \varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{C}_b^n \begin{bmatrix} u_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \left(\mathbf{C}_b^n \begin{bmatrix} s_{odo} u_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \right) & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & -\frac{1}{\tau_1} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{F}_{31} & \mathbf{0}_{3 \times 1} & \mathbf{F}_{33} & -\mathbf{C}_b^n \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 1} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & -\frac{1}{\tau_2} \mathbf{I}_{3 \times 3} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{F}_{31} = \begin{bmatrix} \frac{1}{(R_m+h)} \left(\Omega_D - \frac{\rho_N R_{tz}}{R_t+h} \right) & 0 & -\frac{\rho_N}{R_t+h} \\ -\frac{\rho_E R_{mm}}{(R_m+h)^2} & 0 & -\frac{\rho_E}{R_t+h} \\ \frac{1}{(R_m+h)} (-\Omega_N - \rho_N \sec^2 L - \frac{\rho_D R_{tz}}{R_t+h}) & 0 & -\frac{\rho_D}{R_t+h} \end{bmatrix}, \mathbf{F}_{33} = \begin{bmatrix} 0 & \Omega_D + \rho_D & -\rho_E \\ -\Omega_D - \rho_D & 0 & \Omega_N + \rho_N \\ \rho_E & -\Omega_N - \rho_N & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

이때 $\delta \mathbf{x}$ 는 상태변수로 위치 오차($\delta P_N, \delta P_E, \delta P_D$), 차속계 환산

계수 오차(δs_{odo}), 자세 오차($\delta \Phi_N, \delta \Phi_E, \delta \Phi_D$), 자이로스코프 바이어스($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$)로 총 10개의 오차 상태변수로 구성되며, $\mathbf{F}_k$ 는 시스템 모델이다. 시스템 모델 $\mathbf{F}_k$ 는 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다 (Titterton & Weston 2004, Park et al. 2019). 여기서 차속계의 환산계수 오차와 자이로스코프 바이어스는 1차 Markov chain model로 정의되어 각각 τ_1, τ_2 로 표현되었으며, u_{odo} 는 차속계의 출력 값, $\mathbf{C}_b^n$ 은 동체 좌표계에서 항법 좌표계로의 회전 행렬을 의미한다. 또한 $\mathbf{w}_k$ 는 평균이 0이고 $\mathbf{Q}_k$ 의 분산을 갖는 공정 잡음이다. 측정 모델은 DR의 위치, 속력, heading 정보와 GNSS 수신기에서 제공하는 위치, 속력, heading 정보의 차이를 사용하며, Eqs. (4, 5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \delta \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \quad \mathbf{v}_k \sim N(0, \mathbf{R}_k) \\ = [\mathbf{P}_{DR}^T \quad v_{DR} \quad \psi_{DR}]^T - [\mathbf{P}_{GNSS}^T \quad v_{GNSS} \quad \psi_{GNSS}]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 1} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & u_{odo} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 0 & [\tan \theta \cos \psi \quad \tan \theta \sin \psi \quad -1] & \mathbf{0}_{1 \times 3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $\mathbf{z}_k, \mathbf{H}_k$ 는 각각 측정치와 관측행렬을, $\mathbf{v}_k$ 는 평균이 0이고 $\mathbf{R}_k$ 의 분산을 갖는 측정치 잡음을 의미하며 측정치 계산을 위해 사용되는 GNSS 위치해는 좌표계 변환을 통해 항법 좌표계에서 표현된 위치 값이다. 또한 θ, ψ 는 피치각, 요각을 의미한다. 이처럼 Eqs. (1-5)와 같이 정의된 시스템 모델과 측정 모델을 기반으로 칼만필터를 통해 오차 상태변수를 추정하고 이를 추측 항법의 항법 해를 보정하여 최종적인 항법 해를 계산한다.

이와 같은 GNSS/DR 복합 항법 알고리즘은 Eq. (4)과 같이 GNSS 항법 해를 사용하여 추측 항법 해를 보정하기에 정밀한 위치 해를 계산하기 위해서는 위성 신호의 송수신이 원활한 환경이어야 한다. 하지만 수많은 사람들이 즐겨 이용하는 백화점이나 대형 쇼핑몰, 공항 등의 규모가 큰 다층의 지하 주차장은 위성 신호가 차단되는 GNSS 음영 구간이다. 따라서, 이와 같은 GNSS 음영 구간에서는 순수 추측 항법만을 통해 위치를 추정해야 한다. 추측 항법을 간략하게 나타내면 Eqs. (6, 7)과 같다.

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} = v_{odo} \begin{bmatrix} \cos \theta \sin \psi \\ \cos \theta \cos \psi \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{P}_{DR} = \mathbf{P}_0 + \int_{t_0}^t \mathbf{V} dt \quad (7)$$

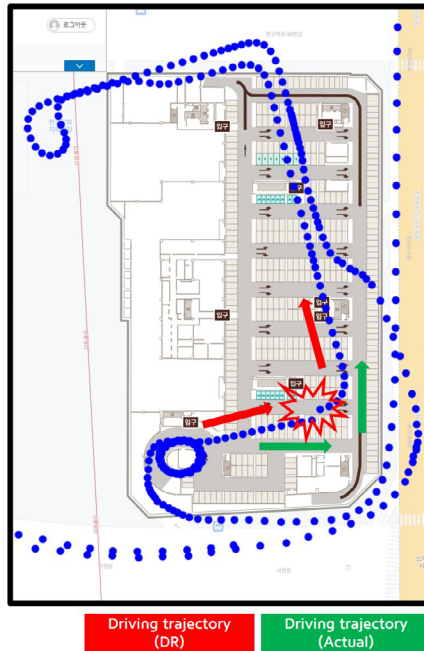


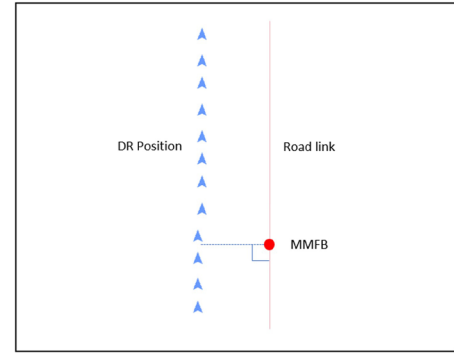
Fig. 2. Issue of DR position error in the underground parking lot.

Eqs. (6, 7)과 같이, 차량의 초기 위치 (P_0)와 속도(V)를 정확히 안다면 정밀한 위치를 추정할 수 있다. 하지만 차량에 탑재되는 DR 센서는 주로 저가 센서가 사용되며, 자이로스코프의 환산계수 오차, 바이어스 오차, 잡음 오차와 차속계의 환산계수 오차로 인해 적분과정에서 방향 및 위치 오차가 급격하게 증가하게 된다. 즉, 순수 추측 항법을 통해 차량 위치 추정 시 지하주차장에서 장시간 주행 시 시간에 따라 항법 해가 발산한다. 이러한 이유로 GNSS 음영구간인 지하주차장 내에서 DR 오차가 증가되며 차량의 정확한 위치 파악 및 경로 안내 서비스를 제공하기 어렵게 된다. 지하주차장 내 사용자에게 정확한 길안내 서비스 제공을 위해, GNSS를 대체하여 DR의 오차 보정하여 내차 위치 정확도를 높일 수 있는 기술에 대한 연구가 요구된다.

2.2 Proposed Correction-DR Algorithm

지하주차장 지도 구축 기술이 발전함에 따라 지하주차장 내비게이션 서비스 지점이 확대되고 있으며 Fig. 1과 같이 차량 OEM 순정 내비게이션의 경우 만공주차장 정보 및 지도 화면이 실시간으로 표출되고 있다. 해당 환경에서 Fig. 2를 보면 지하주차장 내 나선형 구간 및 장시간 운행 시 차량 내비게이션 내 기존 DR 모듈에서 출력되는 위치가 실제 주행 방향을 벗어나며 맵매칭 이탈 이슈가 발생되는 것을 확인할 수 있다. 이런 상황에서는 지하주차장 내 길안내 서비스를 제공하기 어렵게 된다.

지하주차장 내 길안내 서비스 기능을 반영하기 위해서는 내차 위치 제공에 대한 실시간 측위 오차를 보정하는 기술이 필요하게 된다. 본 논문에서는 실시간으로 측위 오차를 보정하기 위해 Fig. 3a와 같이 DR 위치에서 지하주차장 지도 내 도로 링크에 수선의 발을 내려 직교하는 위치 정보인 MMFB 정보를 이용하여 실시간으로 DR 위치 오차를 보정한다. 또한, MMFB 위치 정보를 이용한



(a)



(b)

Fig. 3. Overview of MMFB information generation, (a) MMFB information, (b) Road link information in Hyundai department store Pangyo (B6).

MMFB 헤딩 보정 값을 연산하고, 그 헤딩 보정 값으로 DR 헤딩 오차를 추가 보정한다. 참고로 Fig. 3b와 같이 현대백화점 판교점 지하 6층 지도 속성 내 적용된 도로 링크 정보가 주행 도로에 표시되고 있으며 해당 도로 링크와 DR 위치 기반으로 MMFB 정보를 생성한다.

본 논문에서 제안하는 MMFB 기반 보정 DR 솔루션의 전체 블록도는 Fig. 4와 같다. Fig. 4를 보면 차량 내비게이션 내 기존 DR 모듈에서 DR 데이터를 내비게이션 S/W로 전달하며 내비게이션 S/W에서 맵매칭 모듈 및 보정 DR 모듈로 해당 정보를 전달한다. 맵매칭 모듈에서는 전달받은 DR 위치에서 가장 가까운 도로 링크에 수선의 발을 내려 직교하는 위치를 MMFB 위치 정보로 결정한다. MMFB 생성 시 사용되는 도로 링크의 경우 차량 위치에 가장 가까우며 주행 방향에 맞는 도로 링크임을 확인하기 위해, Eqs. (8, 9)와 같이 평균 거리와 각도 차이를 계산한다.

$$D = \frac{1}{n-i+1} \sum_{i=1}^n d_i \quad (8)$$

$$G = \frac{1}{n-i+1} \sum_{i=1}^n g_i \quad (9)$$

여기서, d_i 와 D 는 i 번째 DR 위치에서 내린 도로 링크에 대한 거리와 평균 거리 값이며, g_i 와 G 는 i 번째 DR 헤딩과 링크 사이의 각도 차이와 평균 각도 차이 값을 의미한다. 또한 n 은 임의의 구간

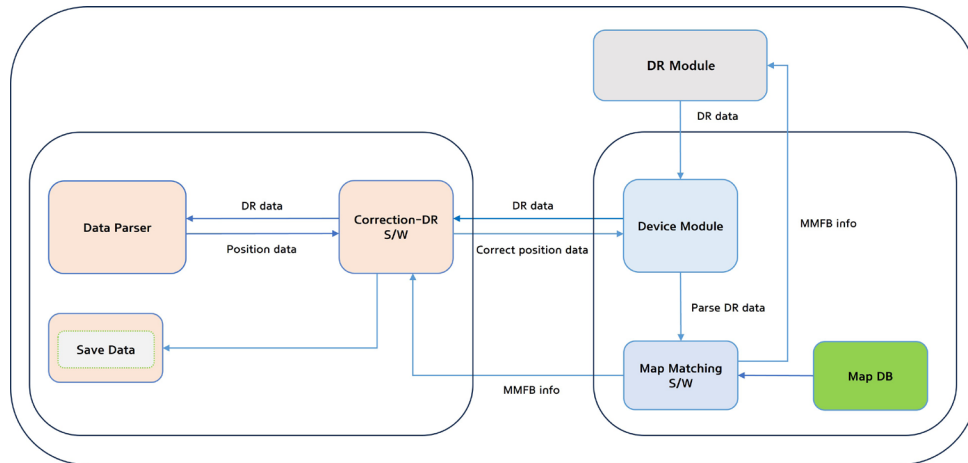


Fig. 4. Overview of the proposed CDR solution using map matching information.

길이를 의미한다. 실제 주행 시 DR 데이터의 불확실성과 도로 링크의 복잡성이 존재하기 때문에 단순히 거리 값으로 판단하는 것이 아닌, 주행 방향까지 고려해 현재 DR 위치에 대한 MMFB 정보를 결정한다 (Xi et al. 2007). 이와 같이 맵매칭 모듈에서는 DR 데이터에 매칭되는 지하주차장 지도 내 도로 링크에 직교하는 MMFB 정보를 보정 DR 모듈로 전달하여 오차 보정을 수행한다. 보정 DR 모듈에서는 DR 데이터와 MMFB 정보를 이용하여 Eqs. (10-12)와 같이 상보 필터로 DR 위치를 보정한다.

$$\alpha_{lat} = \alpha_0 \times \frac{\beta}{\beta + \epsilon_{lat}}, \quad \alpha_{lon} = \alpha_0 \times \frac{\beta}{\beta + \epsilon_{lon}} \quad (10)$$

$$\tilde{P}_{lat} = (1 - \alpha_{lat}) \cdot P_{lat} + \alpha_{lat} \cdot P_{lat_mmfb} \quad (11)$$

$$\tilde{P}_{lon} = (1 - \alpha_{lon}) \cdot P_{lon} + \alpha_{lon} \cdot P_{lon_mmfb} \quad (12)$$

Eq. (10)에서 ϵ_{lat} , ϵ_{lon} 은 각각 구축된 지하주차장 지도 면형 오차 성분을 의미하며 위경도에 대한 오차를 ϵ_{lat} , ϵ_{lon} 에 meter 단위 값으로 설정한다. 해당 지도 면형 오차는 지도 구축 업체에 따라 카메라/라이다/IMU 등을 이용한 구축 성능이 차이가 나기 때문에 각 업체에서 해당 오차 값을 설정하여야 한다. α_0 , β 는 각각 초기 상보필터 gain 값과 지도 면형 오차 임계값이다. 해당 파라미터를 이용하여 상보 필터의 gain 값(α_{lat} , α_{lon})을 설정하고, Eqs. (11, 12)와 같이 상보 필터로 MMFB 위치정보 이용하여 DR 위치 오차를 보정한 보정된 DR 위치 정보($\tilde{P}_{lat}$, $\tilde{P}_{lon}$)를 연산한다.

또한, DR 헤딩을 보정하기 위해 Eq. (13)과 같이 이전 MMFB 정보($\hat{\theta}_{lat_mmfb}$, $\hat{\theta}_{lon_mmfb}$)와 현재 MMFB 정보(θ_{lat_mmfb} , θ_{lon_mmfb})를 이용하여 MMFB 헤딩 정보(φ_{mmfb})를 연산한다.

$$\begin{aligned} y &= \sin(\theta_{lon_mmfb} - \hat{\theta}_{lon_mmfb}) \cdot \cos(\theta_{lat_mmfb}) \\ x &= \cos(\hat{\theta}_{lat_mmfb}) \cdot \sin(\theta_{lat_mmfb}) - \sin(\hat{\theta}_{lat_mmfb}) \cdot \cos(\theta_{lat_mmfb}) \cdot \cos(\theta_{lon_mmfb} - \hat{\theta}_{lon_mmfb}) \\ \varphi_{mmfb} &= \arctan(y, x) \end{aligned} \quad (13)$$

Eq. (13)에서 연산된 MMFB 헤딩 값을 이용하여 Eq. (14)와 같이 지도 정확도 헤딩 오차 성분($\epsilon_{heading}$)을 설정하고, Eq. (10)에서 설정한 α_0 , β 를 적용하여 상보 필터 헤딩 gain 값($\alpha_{heading}$)을 연산한다. 해당 $\alpha_{heading}$ 값을 Eq. (15)와 같이 상보 필터를 이용하여 DR 헤

Table 1. In-vehicle navigation specifications.

	STD5W AVN	ccNC AVN
DR algorithm	Trimble	Trimble
Receiver type	Single-band (L1)	Multi-band (L1&L5)
Number of concurrent GNSS	GPS+GAL+GLO	GPS+GAL+GLO+BDS
Sensitivity (dBm)	-163	-163
Positional accuracy (m)	< 2.0	< 1.5
Dynamic heading accuracy (deg)	< 2	< 2
Sensor accuracy (dps)	±1	±1
Static DR accuracy (cm/s)	< 10	< 10
Sensor rate (Hz)	Up to 20	Up to 20
DR fix rate (Hz)	Up to 20	Up to 20

딩 오차를 MMFB 헤딩(φ_{mmfb})으로 보정함으로써 보정된 DR 헤딩 정보($\tilde{\varphi}_{dr}$)를 연산한다.

$$\alpha_{heading} = \alpha_0 \times \frac{\beta}{\beta + \epsilon_{heading}} \quad (14)$$

$$\alpha_{heading} = \alpha_0 \times \frac{\beta}{\beta + \epsilon_{heading}} \quad (15)$$

Eqs. (11, 12)와 Eq. (15)에서 연산된 보정 위치 및 헤딩 정보를 이용하여 지하주차장 내에서 장시간 주행 시 발생하는 측위 오차를 보정할 수 있다.

3. PERFORMANCE EVALUATION

3.1 Test Configuration

제한한 MMFB 기반 보정 DR 솔루션을 차량 내비게이션 단말에 적용하여 실제 지하주차장 주행 평가를 통해 측위 보정 성능을 평가하였다. 평가 테스트에 사용한 차량 내비게이션 단말 사양은 Table 1과 같으며 STD5W와 ccNC AVN을 Fig. 5와 같이 각각 차량 내 설치하여 측위 성능 실차 평가를 진행하였다. 참고로 ccNC AVN의 경우 STD5W AVN과 비교 시 IMU 센서 및 DR 알고리즘이 변경되어서 STD5W AVN보다 정확한 DR 성능을 가지고 있다.

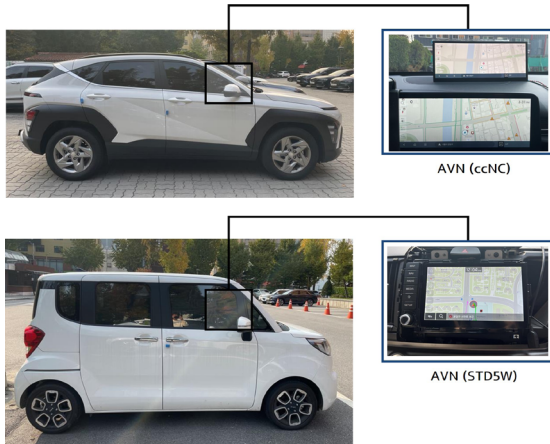


Fig. 5. In-vehicle navigation installation and actual vehicle testing environment.



Fig. 6. Test section for measuring positioning performance (Hyundai department store Pangyo).

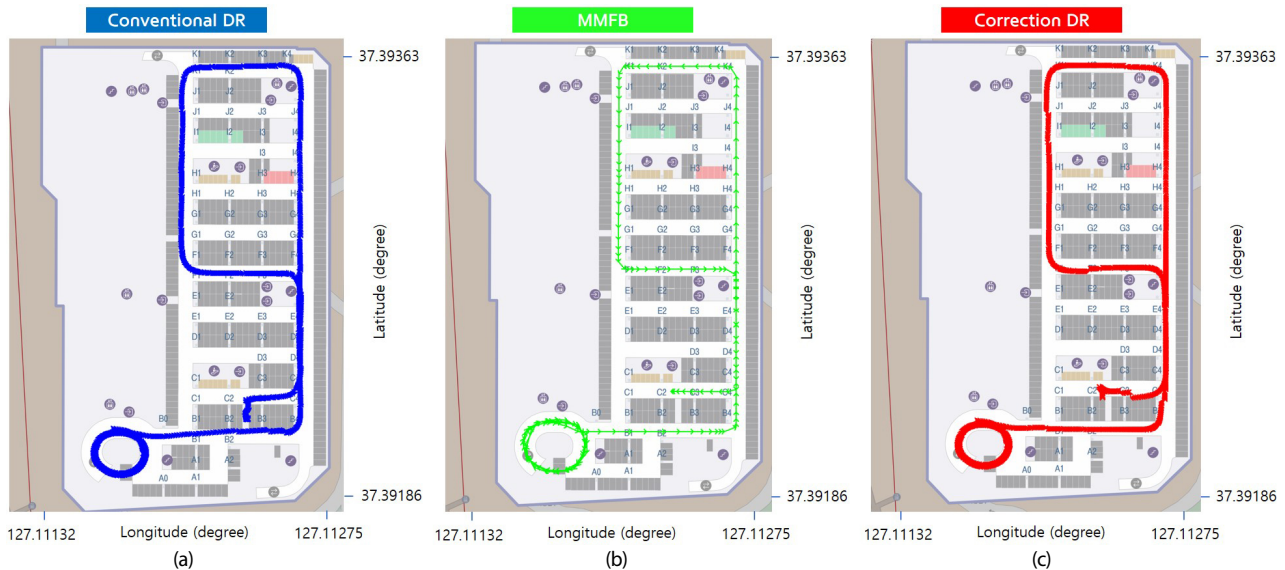


Fig. 7. Comparison of conventional DR and proposed CDR positioning performance in an underground parking lot (ccNC AVN), (a) Conventional DR result in scenario #1, (b) MMFB result in scenario #1, (c) Correction DR result in scenario #1).

3.2 Test Results

성능 평가는 Fig. 6과 같이 지하주차장 지도가 구축되어 있는 현대백화점 판교점 지하주차장 구간에서 진행하였다. 해당 구간은 지하 6층까지 지하주차장 지도가 구축되어 있으며, 주차장 진입과 진출 구간이 나선형으로 되어 있어 DR 위치 오차 및 맵매칭 이탈 이슈가 자주 발생하는 구간이다. 참고로 나선형 구간을 주행하면 DR 모듈 내 자이로 센서의 바이어스 및 스케일 팩터 오차가 누적되어 DR 위치 및 heading 오차가 발생하기 때문에 Fig. 2와 같이 실제 주행 경로에서 벗어나 DR 궤적 오차가 자주 발생한다.

제안한 MMFB 기반 보정 DR 솔루션 성능을 평가하기 위해 현대백화점 판교점에서 아래와 같은 2가지 실차 시나리오로 테스트를 진행하였다.

시나리오 #1: 진입 -> 나선형 주행 -> B6층 주행 -> B6층 주차

시나리오 #2: 진입 -> 나선형 주행 -> B6층 주행 -> 진출

지하 6층까지 나선형 주행 및 직진 주행 테스트 진행하였고, 기존 DR 모듈 출력과 제안한 CDR 출력 결과를 현대오토에버에서 제작한 루트맵에 표출하여 측위 성능 비교를 진행하였다. 참고로 층 판별은 맵매칭 모듈 내에서 수행되며 램프 및 회전 구간을 통해 층 이동 시 매칭되는 도로 링크 정보 확인 및 차량 위치가 층의 도로 링크에 매칭되는 것으로 진입층을 판단한다. Fig. 7은 ccNC AVN으로 시나리오 #1에 대해 성능 평가 진행한 결과이며, Fig. 7a는 기존 DR 위치 정보이고, Fig. 7b는 도로 링크에 매칭하여 직교하는 MMFB 위치 정보이며, Fig. 7c는 해당 MMFB 정보를 이용하여 보정된 CDR 위치 정보이다. ccNC AVN의 경우 기존 DR 측위 성능과 제안한 CDR 측위 성능이 거의 동일하지만 지하주차장 내 후진 주차 시 기존 DR의 경우는 저속 상황에서 차속 환산계수 오차로 인해 내차 위치가 주차 구간을 벗어나며 위치



Fig. 8. Comparison of Conventional DR and proposed CDR positioning performance in an underground parking lot (STD5W AVN, (a) Conventional DR result in scenario #1, (b) MMFB result in scenario #1, (c) Correction DR result in scenario #1).

Table 2. Comparison of distance errors according to driving distance in an underground parking lot (Hyundai department store Pangyo), total driving distance 1.2 km.

	ccNC AVN		STD5W AVN	
	Conventional DR	Proposed CDR	Conventional DR	Proposed CDR
Test #1	0.76%	0.29%	2.7%	0.32%
Test #2	0.79%	0.27%	3.4%	0.3%
Test #3	0.75%	0.32%	2.8%	0.28%
Test #4	0.8%	0.29%	3.1%	0.34%
Test #5	0.87%	0.31%	3.3%	0.33%
Average performance	0.82%	0.29%	3.1%	0.32%

오차가 발생한다. 이 때 제안한 CDR의 경우 MMFB 위치 정보로 인해 후진 주차 시 차속 환산계수 오차 보정 가능하며 기존 DR 대비 주차 구간을 벗어나지 않게 내차 위치가 보정되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 STD5W AVN으로 시나리오 #1에 대해 성능 평가 진행한 결과이며 Fig. 8a와 같이 기존 DR의 경우 나선형 주행을 하면서 자이로 환산계수 오차로 인해 헤딩 및 위치 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8c와 같이 제안한 CDR 솔루션의 경우 기존 DR 출력에 Fig. 8b에서 표출된 MMFB 보정정보를 적용하여 회전 및 직진 구간에서 내차 위치를 도로링크에 매칭되게끔 DR 위치 및 헤딩 오차를 보정한다. 그래서 기존 DR의 경우 실제 주행 도로링크가 아닌 타 링크로 주행하는 맵매칭 이탈이 발생하지만 제안한 CDR의 경우는 실제 주행 도로링크로 위치 보정되어 맵매칭 이탈이 발생하지 않는다. 다른 강점으로는 Fig. 8a를 보면 제안한 CDR 기반 MMFB 보정 정보가 기존 DR 모듈로 추가로 전달되어 기존 DR 모듈의 부정확한 위치 및 헤딩이 자체 보정되는 효과를 가질 수 있다. 참고로 CDR 알고리즘을 적용하지 않으면 기존 DR은 Fig. 2와 같이 DR 위치 및 헤딩 오차가 보정되지 않아 차량 위치가 주행 도로가 아닌 주차구역 위로 표출되는 맵매칭 이탈 이슈가 발생한다.

ccNC AVN과 STD5W AVN을 시나리오 #2로 실차 테스트 진행하였고, 평가한 CDR 성능 결과는 Table 2에 나타나 있다. DR

오차의 경우 시간과 주행 거리당 누적되는 특성을 가지고 있어 측위 오차 보정 성능은 Eq. (16)과 같이 총 주행 거리 당 거리 오차를 %로 나타내어 위치 정확도를 측정하였다. 참고로 위치 정확도 척도는 Error per Traveled Distance (ETD) 이다.

$$ETD(\%) = \frac{\text{Distance error}}{\text{Total driving distance}} \times 100 \quad (16)$$

Table 2에서는 ccNC AVN 단말과 STD5W AVN 단말로 현대 백화점 판교점 지하주차장 내 총 주행거리 1.2 km 주행 테스트 진행하였다. ccNC AVN의 경우 기존 DR은 평균 0.82% 오차 성능을 보이지만 제안한 CDR 솔루션의 경우 평균 0.29%의 오차 성능으로 위치 오차가 보정되는 것을 확인할 수 있다. STD5W AVN의 경우 기존 DR은 평균 3.1% 오차 성능을 보이지만 제안한 CDR 솔루션의 경우 평균 0.32%의 오차 성능으로 위치 오차가 보정되는 것을 확인할 수 있다. ccNC AVN의 경우 STD5W AVN 대비 위치 성능이 향상된 DR 모듈이 적용되어 있어 DR 성능 차이가 있으며 그로 인해 ccNC AVN 보다 STD5W AVN에서 CDR 솔루션 보정 효과가 큰 것을 확인할 수 있다.

결론적으로 기존 DR 위치 정보에 MMFB 보정 정보를 적용함으로써 나선형 주행 시 발생하는 DR 위치 및 헤딩 오차를 보정하여 내차 위치에 대한 위치 정확도가 개선되는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 지하주차장에서 장시간 운행 시 발생하는 위치 오차 및 맵매칭 이탈 오류를 보정할 수 있는 MMFB 기반 보정 DR 솔루션에 대해 제안하였고, 해당 솔루션이 기존 DR 솔루션과 비교 시 다음과 같은 세가지 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 첫번째로 지하주차장 내 나선형 구간 주행 후 발생하는 DR 헤딩 및 위치 오차를 MMFB 정보를 이용하여 DR 위치 오차 및 헤딩을 지속적으로 보정함으로써 맵매칭 이탈 오류를 개선하는 강점을 가진다. 두번째로 보정된 CDR 위치 기반 MMFB 정보가 기존 DR 모듈에도 전달되어 기존 DR에서 발생하는 헤딩 오차 및 위치를 자체 보정함으로써 지하주차장 출차 시 기존 DR 궤적으로 도로링크에 오매칭 되는 오류를 개선할 수 있다. 마지막으로 지하주차장 내 주차 시 기존 DR의 경우 저속 상황에서 차속 환산계수 오차가 발생하여 주차구역을 벗어나는 오류가 발생하지만 CDR의 경우 MMFB 기반으로 위치를 보정함으로써 주차구역을 벗어나는 오류를 보정할 수 있다.

해당 연구를 통해 지하주차장 내에서 MMFB 정보로 DR 오차가 보정되는 것을 확인하였지만 구축된 지도 면형 오차에 의해 부정확한 MMFB가 전달될 가능성이 있어 MMFB 오차 성분 검출 및 보정 예외처리에 대해 연구가 추가로 필요하며 현재 부정확한 MMFB에 대한 특성 파악 및 분석을 진행중에 있다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The Manuscript with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “conceptualization, M.H.S.; methodology, M.H.S.; software, J.S.K.; validation, M.H.S., J.S.K. and S.J.P.; formal analysis, M.H.S.; investigation, D.K.S.; resources, J.S.K.; data curation, S.J.P.; writing—original draft preparation, M.H.S.; writing—review and editing, M.H.S.; visualization, J.S.K. and S.J.P.; supervision, M.H.S.; project administration, M.H.S.; funding acquisition, D.K.S.”. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

Almansoub, Y. A. M., Zhong, M., Hu, Z., Huang, G., Alganess, M. A. A., et al. 2020, Multi-scale Vehicle Localization in Underground Parking Lots by Integration of Dead Reckoning, Wi-Fi and Vision, 6th

- International Conference on Big Data Computing and Communications (BIGCOM), Deqing, China, 24-25 July 2020, pp.41-49. <https://doi.org/10.1109/BigCom51056.2020.00012>
- Dinh-Van, N., Nashashibi, F., Thanh-Huong, N., & Castelli, E. 2017, Indoor Intelligent Vehicle localization using WiFi received signal strength indicator, 2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Nagoya, Japan, 19-21 March 2017, pp.33-36. <https://doi.org/10.1109/ICMIM.2017.7918849>
- Jia, Y., Jin, Z., Zhang, H., Li, Y., Wang, X., et al. 2019, Indoor Navigation for a Complex Parking Building Based on Computer Vision, 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Liverpool, UK, 14-17 July 2019, pp.183-190. <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2019.8883716>
- Kim, S.-T., Fan, M., Jung, S.-W., & Ko, S.-J. 2021, External Vehicle Positioning System Using Multiple Fish-Eye Surveillance Cameras for Indoor Parking Lots, IEEE Systems Journal, 15, 5107-5118. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3019296>
- Kumar, A. K. T. R., Schäufele, B., Becker, D., Sawade, O., & Radusch, I. 2016, Indoor localization of vehicles using Deep Learning, 2016 IEEE 17th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), Coimbra, Portugal, 21-24 June 2016, pp.1-6. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2016.7523569>
- Lee, D., Min, K., & Kim, J. 2020, Wireless LAN-based Vehicle Location Estimation in GPS Shading Environment, The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 19, 94-106. <https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.1.94>
- Park, W. J., Song, J. W., Kang, C. H., Lee, J. H., Seo, M. H., et al. 2019, MEMS 3D DR/GPS Integrated System for Land Vehicle Application Robust to GPS Outages, IEEE Access, 7, 73336-73348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2920095>
- Shin, B., Lee, J. H., Yu, C., Kim, C., & Lee, T. 2021, Underground Parking Lot Navigation System Using Long-Term Evolution Signal, Sensors, 21, 1725. <https://doi.org/10.3390/s21051725>
- Titterton, D. H. & Weston, J. L. 2004, Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd ed. (U.K.: IET)
- Xi, L., Liu, Q., Li, M., & Liu, Z. 2007, Map Matching Algorithm and Its Application, Proceedings of the 2007 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE 2007), Chengdu, China, 15-16 October 2007, pp.740-746. <https://doi.org/10.2991/iske.2007.127>

Zhao, J., Huang, Y., He, X., Zhang, S., Ye, C., et al. 2019, Visual Semantic Landmark-Based Robust Mapping and Localization for Autonomous Indoor Parking, *Sensors*, 19, 161. <https://doi.org/10.3390/s19010161>



Myung Hwan Seo received the B.S. and M.S. degrees in information and telecommunication engineering from Korea Aerospace University, South Korea, in 2008 and 2010, respectively. He is currently a Senior Research Engineer with Hyundai AutoEver, Seoul, South Korea. His current research interests include dead reckoning and visual-inertial odometry.



Jeeseon Kim received the B.S. and M.S. degrees in computer science & engineering from Ewha Womans University, South Korea, in 2018 and 2020, respectively. She is currently a research engineer at Hyundai AutoEver, Seoul, South Korea. Her current research interests include dead reckoning, indoor navigation system and robotics.



Sojin Park received the B.S. degree in Aerospace Engineering and the M.S. degree in the Department of intelligent Mechatronics Engineering and convergence Engineering for Intelligent Drone from Sejong University in 2021 and 2023 respectively. She is currently at Hyundai AutoEver as a research engineer. Her research interest includes sensor fusion, range-based positioning and GNSS/INS integrated system.



Dongkwon Suh received the B.S. and M.S. degrees in Electrical and Electronics engineering from Yonsei University, South Korea, in 1995 and 1997, respectively. He is currently a vice President of Navigation Division at Hyundai AutoEver.