

고정밀지도를 활용한 위치참조 방안 연구

김덕호

한국자동차연구원 자율주행기술연구소 지능형교통제어기술부분

A Study on the Location Reference Method Using High-precision Map

Duck Ho Kim

Division Automatic Driving Technology Research / ITS R&D department,
Korea Automotive Technology Institute

요약 자율주행 자동차는 다양한 멀티센서를 탑재하여 자차 및 주변의 객체 인지를 통해 주행이 가능하다, 하지만 센서의 탑재만으로 자율주행을 구현하는 것은 한계가 있다. 이를 보완하기 위하여 고정밀 지도의 개발이 필수적이다. 현재 다양한 기업 및 기관에서 자율주행 지원을 위한 고정밀 지도를 개발하고 있으며, 각각의 데이터모델 형태와 구성에 차이가 있다. 원활한 자율주행 지원을 위해서는 서로 다른 데이터 모델의 고정밀지도 데이터베이스를 가진 시스템간의 위치 정보 교환이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 여러 고정밀지도 데이터 모델에 적용 가능한 차로 수준 위치참조 방법을 설계하였다. 고정밀지도의 공통시설물에 대한 상대적인 거리로 위치를 표현하였으며, 위치참조 방법의 성능을 확인하기 위해 실제 같은 구간에 제작된 서로 다른 데이터 모델의 고정밀지도를 이용해 위치정보를 교환하는 실험을 수행하였다. Postgresql 데이터베이스에 설계한 위치참조 방법을 구현하여 두 개의 서로 다른 고정밀지도 데이터베이스를 가진 두 시스템이 위치 정보를 교환하는 경우를 가정해 위치정보를 교환한 후 그 정확도를 확인한 결과 총 200개 중 188개는 0.5m 미만의 오차를 보였으며, 12개는 0.5m 이상의 큰 오차를 보여 94% 정도의 성공률을 보였다.

Abstract Autonomous vehicles can be driven using self-vehicle and surrounding-object recognition by mounting various multi-sensors, but there is a limit to implementing autonomous driving only with sensors. To compensate for this, it is essential to develop a high-precision map. Currently, various companies and institutions are developing high-precision maps to support autonomous driving, but there are differences in the form and composition of each data model. In order to support smooth autonomous driving, it is necessary to exchange location information between systems with high-precision databases of different data models. Therefore, in this paper, we design a lane-level position reference method applicable to several high-precision map data models. Location is expressed as the relative distance to a common facility on the high-precision map. An experiment was conducted to exchange location information using the high precision of different data models manufactured for the same sections to verify the performance of this location reference method designed from the PostgreSQL database. Assuming that two systems with two different high-precision databases exchange location information, 188 out of 200 showed errors of less than 0.5m, and 12 showed a 94% success rate.

Keywords : HD Map, Location Referencing, Shareable Point, Tolerance, Database

본 논문은 2022년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021C28S02000, 협력적 교통제어전략 도입을 위한 교통정보 음영구간 정보 생성 및 운영관리 기술개발)

*Corresponding Author : Duck-Ho Kim(Korea Automotive Technology Institute)

email: dhkim2@katech.re.kr

Received November 3, 2022

Revised December 5, 2022

Accepted December 7, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

자율주행 차량은 카메라, 라이다, GPS 등 다양한 멀티센서를 이용해 위치를 판단하고 주행한다. 하지만 이 센서는 기상상황 등 다양한 주변 환경에 의해 인지 판단 오류가 발생할 수 있으며 이러한 오류가 대부분의 자율주행 차량 사고를 발생하는 주요한 원인이다. 이를 보완하기 위해 최근 다양한 기관 및 기업에서 고정밀 지도의 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있다.

고정밀지도는 자율주행 차량의 주행을 지원하기 위해 만들어진 지도로 기존의 지도보다 높은 위치 정확도로 차로 수준의 위치정보를 표현하고 다양한 도로 시설물에 대한 정보 또한 표현한다. 그러나 고정밀지도를 연구 개발하는 기관이 매우 다양한 만큼 각 기관별로 정의하고 있는 고정밀지도 데이터 모델의 형태에 차이가 있다. 예를 들면 국제표준 ISO 22726-1[1]에서는 차로를 2개의 Side Line과 Terminal Line으로 구성된 일종의 면 형상으로 정의하지만 국토지리정보원 데이터 모델에서는 차로중심선만을 선 형상으로 정의한다. 또한 각각의 데이터 모델 별로 정의하고 있는 도로 시설물의 종류와 형상이 다르다. 원활한 자율주행 지원을 위해서는 차량 통신 등을 이용한 위치정보 교환이 필요하지만 서로 다른 데이터 모델의 고정밀지도 데이터베이스를 가지고 있는 경우 위치정보 교환의 어려움이 있을 수 있다.

기존의 위치참조 방법은 일반적으로 도로수준의 정확도를 가지기 때문에 자율주행 환경에서 요구되는 차로 수준의 정확도를 달성하기 어렵다. 또한 실시간으로 위치정보를 교환해야 하기 때문에 간단한 형태로 빠른 처리가 요구되는 환경에는 적합하지 않은 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 도로 수준이 아닌 차로 수준의 정확도를 가지며 다양한 고정밀지도 데이터 모델에 적용 가능한 위치참조 방법을 설계 및 구현하고 그 성능을 확인해본다. 위치참조의 기준점으로 사용할 정밀 도로지도의 공통 시설물을 참조점으로 이용하는 위치참조 방법을 설계하였다. 또한 설계한 위치참조 방법을 데이터베이스 상에 구현해 실제 동일 구간에 제작된 두 개의 고정밀지도를 이용해 설계한 방법의 성능을 평가하였다.

본 논문의 1장에서는 연구의 배경과 목적을 기술하였고, 2장에서는 위치 참조의 개념 및 표준, 선행 연구 등 동향 분석을 기술하였다. 3장에서는 위치 참조 방안 설계 방안에 대해 기술하였다. 4장에서는 서로 다른 데이터모델의 고정밀 지도를 이용해 위치 정보를 교환하는 실험을 수행하고 분석 결과를 기술 하였다. 5장에서는

연구수행 결과 요약과 향후 연구 수행 방향에 대해 기술 하였다.

2. 위치참조 관련 연구 동향

위치참조 방법이란 서로 다른 지도를 가진 시스템 간의 위치 정보를 교환하는 방법이다. 위치참조 방법에는 정적 위치참조, 동적 위치참조 크게 두 가지 방법이 있다. 정적 위치참조는 Master 데이터베이스를 사용하는 방법으로 매개 데이터베이스를 가지고 위치정보를 해석한다. 동적 위치참조는 위치 정보를 정해진 스키마에 의해 인코딩하여 정보를 전송해 수신측에서 다시 디코딩해 정보를 해석하는 방법이다.

일반적으로 많이 사용되는 위치참조 방법으로는 OpenLR, AGORA-C[2,3] 등이 있으며, 이러한 방법들은 보통 도로수준의 위치정보 정확도를 가진다. 또한 경우에 따라 다소 복잡한 연산 과정이 요구됨으로 실시간 처리가 불가하여 차로 수준의 정확도와 실시간에 가까운 빠른 정보교환이 요구되는 자율주행 상황에는 적용하기 어렵다.

국내에서 선행된 위치참조 방법 관련 연구로는 객체지향 개념을 도입하여 지능형 교통체계 서비스를 위한 ITS 공간데이터베이스의 위치참조 기법 제시 연구[4], 차로 수준의 위치정보 교환 프레임워크를 개발 연구[5], 차로 수준의 동적위치참조 방법을 개발한 연구[6], 도로에 대한 모델링과 주변 객체의 기준점으로 절대위치와 상대위치를 참조하는 연구[7] 등이 수행 되었다. 유럽에서는 교통관련 정보를 제공할 수 있는 Traffic Message Channel을 개발하였으나 데이터 크기의 한계로 인해 서비스 영역이 제한적이었고 이를 해결하기 위해 Intersection Location 이라는 동적위치참조 방법을 개발하였다[8]. 미국에서는 도로 또는 하천과 같이 선형을 갖는 객체에 대한 선형 참조 모델 연구[9], ITS 시스템에서 위치 참조를 위한 객체 추상화 연구[10] 등이 수행 되었다. 이처럼 선행 연구의 대부분은 동일한 버전의 참조점을 가진 지도를 사용했기 때문에 동일한 참조점을 가지지 않은 완전히 다른 데이터 모델간의 위치정보 교환에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 두 개의 완전히 다른 데이터 모델을 적용한 고정밀지도 간의 위치참조 방법을 설계한다.

2.1 ISO 17572-4

ISO 17572-4[11]에서는 지리 공간 데이터베이스에서 정확한 상대 위치를 설명하고 디코더와 인코더 시스

템에서 전송 관련 객체를 찾는데 사용되는 Precise Relative Location Referencing Method에 대해 기술하고 있다. 위치 참조 방법에 대한 개념적 데이터 모델, 정확한 상대 정보를 얻을 수 있도록 하는 위치 참조에 대한 명세, 참조요소와 그 유스 케이스를 명시하고 있다.

정밀 상대 위치 참조의 목적은 특정 차선 내의 물체를 찾을 수 있게 하는 것으로 정밀 상대 위치 참조에서 위치는 point location, linear location, area location, body location으로 분류된다. point location은 단일 위치를 설명할 수 있으며, linear location은 두 개의 point location으로 묶인 선형 객체이다. area location은 차로, 분기점과 같은 경계선을 표현할 때 사용되며 body location은 객체의 위치를 표현하는데 사용된다. 아래 Fig. 1은 도로 네트워크의 개념적 모델을 나타낸다.

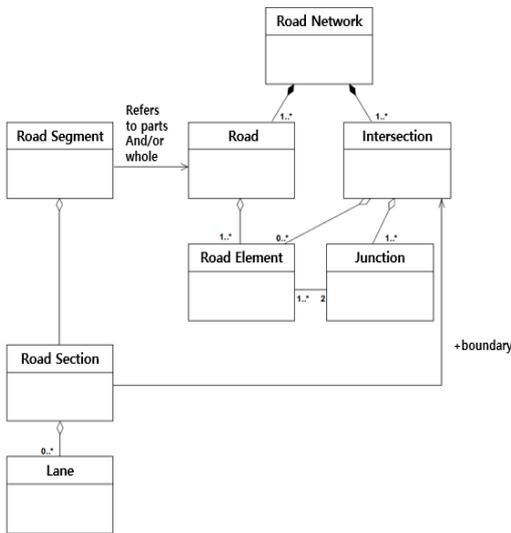


Fig. 1. Conceptual model of road network

위치를 참조할 수 있는 수준인 정밀한 상대적 위치참조를 위해 사용되며 이 방법을 사용하는 위치참조 Method에는 두 가지가 있다. 도로 구간 유형 또는 용도에 따라 두 Method 중 하나가 선택되어 사용된다.

- ① Method1 : 차로 번호 계산
- ② Method2 : 기준점(reference point)으로부터의 거리(Delta)

일반적으로 방법 1은 차로의 이벤트를 나타내기 위해 사용되며, 방법 2는 교차로 영역의 이벤트를 나타내기

위해 사용되며, 차로의 이벤트를 나타내는데도 사용할 수 있다. 아래 Fig. 2는 정밀한 상대 위치참조에 사용되는 Method1, 2를 나타낸다.

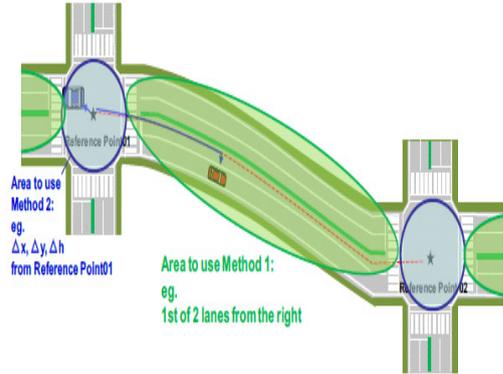


Fig. 2. Method used for precise relative position reference

2.2 ISO 20524-2

ISO 20524-2[12]에서 공유 가능한 피처란 자율주행 시스템, C-ITS에 사용되는 지리 데이터 파일(GDF)을 정의하는 표준인 ISO 20524-2에서 서로 다른 지도에 존재하는 피처간의 공유를 위해 설계된 개념이다.

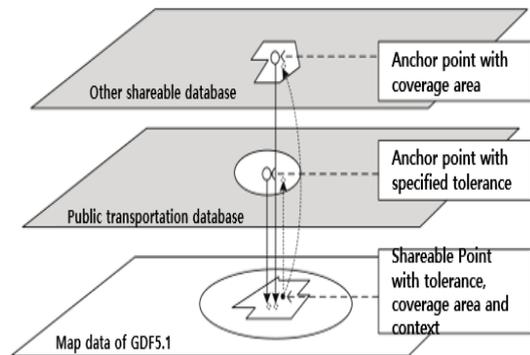


Fig. 3. Concept of ISO 20424-2 Shareable Feature

공유 가능한 피처는 Fig. 3과 같이 서로 다른 지도에서 두 피처간의 위치가 정확하게 일치하지 않더라도 일정 허용오차범위(Tolerance)와 피처가 존재할 수 있는 영역을 정의하는 공유 가능한 영역(Shareable Coverage Area)을 부여해 동일 피처를 판별한다. 허용오차범위 또는 공유 가능한 영역 이내에 존재하게 되면 동일 시설물

로 판단하게 된다.

공유 가능한 영역은 지도 구축 단계에서 각각의 피처에 개별적으로 미리 정의해야 하는 개념이기 때문에 이미 구축된 고정밀지도에 적용에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 허용오차범위를 이용하는 방법을 활용하였다.

3. 위치참조 방안 설계

위치참조 방안은 고정밀지도의 참조 기준점을 이용하여 Sander와 Receiver의 상대적 거리로서 차량과 보행자의 위치, 시설물의 위치 등의 이벤트 위치정보를 교환한다. 이러한 이벤트 위치는 단순 절대좌표로 표현하는 것이 아닌 특정 시설물로부터 (x, y, z) 만큼 이격된 위치에 다른 객체가 존재하고 있음을 알 수 있도록 상대적 거리로 표현하는 방식이다.

위치정보에 대하여 Sander 쪽에서 보유한 지도를 S-Map이라 정하고 Receiver 쪽에서 보유한 지도를 R-Map이라고 정하였다. Fig. 4는 위치참조 방법을 나타내며 ①~③까지의 과정에 의해 수행된다.

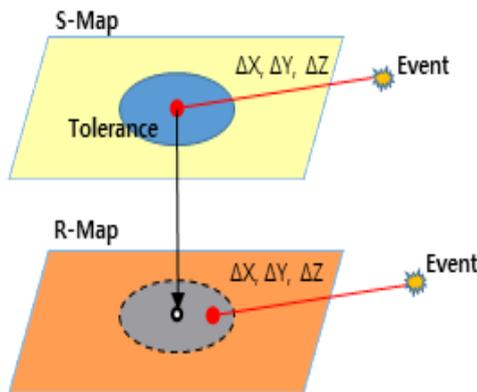


Fig. 4. Overview of Location Referencing Method

- ① S Map의 이벤트 위치에서 가장 가까운 참조기준점을 찾는다.
- ② R Map에서 동일한 참조기준점을 찾는다.
- ③ S Map의 참조기준점에서 이벤트까지의 상대적인 거리(Δx , Δy , Δz)를 이용해 R Map에서 이벤트 위치를 표현한다.

Fig. 5는 실제 이벤트 위치의 참조 예시로 S Map의

참조기준점의 위치가 (35.810, 128.530, 15.8), 이벤트까지의 상대적 거리가 (0.040, 0.070, 3.70)인 경우의 위치정보 교환을 나타낸다. R Map의 참조기준점의 위치와 이벤트 위치까지의 상대적 거리를 이용해 R Map에서의 이벤트 위치 (35.840, 12.620, 12.00)를 획득할 수 있게 된다. (S.P : Shareable Point)

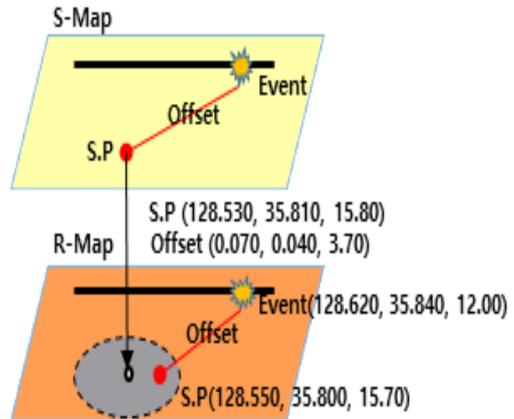


Fig. 5. Example of Location Referencing Method

4. 실험 결과

앞서 설계된 방안을 토대로 위치참조 방법의 성능을 검증하는 실험을 설계하였다. PostgreSQL 데이터베이스에 설계한 위치참조 방법을 구현하여 두 개의 서로 다른 고정밀지도 데이터베이스를 가진 두 시스템이 위치 정보를 교환하는 경우를 가정해 위치정보를 교환한 후 그 정확도를 확인하였다.

S-Map에서 R-Map으로 이벤트 위치 전송을 가정하고 도로 구간에 임의로 200개의 위치를 선정하였다. 허용오차범위는 고정밀지도의 정확도를 고려해 0.5m로 설정하였다. 실험에 사용한 S Map은 국내 업체의 고정밀지도, R Map은 국토지리정보원의 고정밀지도이다. 실험 지역은 대구 테크노폴리스 부근으로 직선 구간과 교차로 등 다양한 주행상황이 존재하는 지역이다.

이 실험에서 이벤트 위치의 참값보다는 고정밀지도 내에서의 상대적인 위치가 중요하다. 따라서 오차 평가 방법으로 위치정보 교환 전과 후 이벤트가 차로중심선으로부터 떨어진 거리(차량 진행방향 기준 수직 거리)를 비교해 오차를 판단하였다. Fig. 6은 오차평가 방법을 나타낸다.

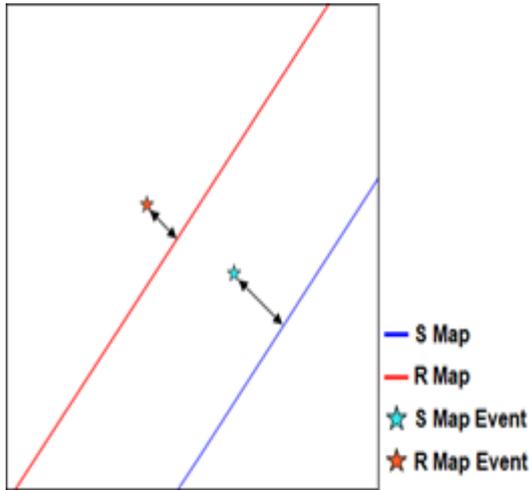


Fig. 6. Error estimate method

일반적인 고정밀지도의 정확도와 실험에서 설정한 허용오차범위를 고려해 오차가 0.5m 미만일 경우 성공, 이상일 경우 실패로 판정하였다. 실험 결과는 Table 1과 같으며 총 200개 중 188개는 0.5m 미만의 오차를 보였으며, 12개는 0.5m 이상의 큰 오차를 보여 94% 정도의 성공률을 나타냈다.

Table 1. Experiment result

Case	200
Success	188
Failure	12
Rate	94%
95% confidence interval	$94 \pm 3.29\%$

실험의 오차에 대한 자세한 통계는 Fig. 7과 Table 2와 같다. Fig. 7과 같이 대부분의 경우 0.4m 이하의 오차를 보였으며 일부 큰 오차를 보이는 경우도 있는 것으로 확인됐다.

Table 2. Error statistics

Statistic	Value
Average	0.171m
Median	0.088m
Minimum	0.001m
Maximum	1.807m

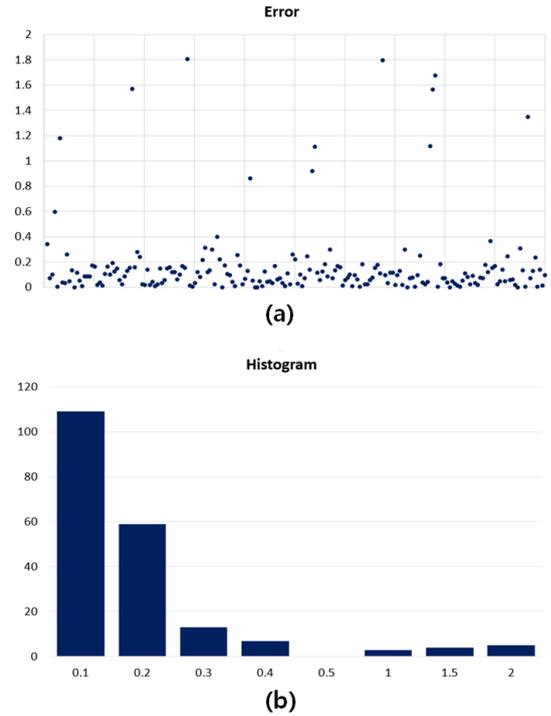


Fig. 7. Error statistics: (a)Error distribution (b) Histogram

이 실험 결과가 통계적으로 유의성을 갖는지 확인하기 위해 검증을 위한 또 다른 표본 100개를 샘플링 하였다. 검증을 위한 표본에서 성공은 93개, 실패는 7개로 나타났다. 모비율의 가설검정 방법을 이용해 성공할 확률을 검정하였다. 귀무가설과 대립가설은 Eq. (1)과 Eq. (2)와 같이 ‘성공할 확률은 0.94이다.’, ‘성공할 확률은 0.94가 아니다.’로 설정하였다.

$$H_0 : p = 0.94 \quad (1)$$

$$H_1 : p \neq 0.94 \quad (2)$$

where, H_0 denotes null hypothesis, H_1 denotes alternative hypothesis, p denotes population ratio

검정을 위한 표본의 검정 통계량 Z 는 Eq. (3) 같다.

$$Z = \frac{0.93 - 0.94}{\sqrt{0.94(1 - 0.94)/100}} = -0.4211 \quad (3)$$

where, Z denotes Z statistic

양측 검정 유의수준 0.95에서 Z값은 1.96이므로 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉 귀무가설을 채택하게 되어 성공률이 94%라는 결과는 통계적으로 타당하다고 볼 수 있다.

실험의 결과를 상황 별로 조금 더 자세히 확인해 보았다. Fig. 8(a)는 직선 구간에서, Fig. 8(b)는 교차로 구간에서 위치정보 교환이 성공적으로 이루어진 사례이다. 위치정보 교환 후에도 실제 차로 위치에 맞게 나타난 것을 확인할 수 있다.

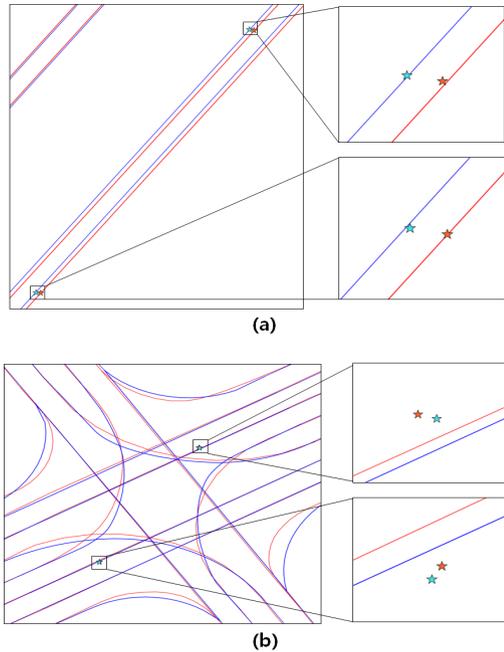


Fig. 8. Location data exchange success case: (a) Straight road (b) Intersection

Fig. 9는 위치정보 교환이 실패한 사례를 나타낸다. S Map에서 이벤트는 2차로에 가깝게 위치하고 있지만 R Map에서는 1차로에 가깝게 나타났다. 이 구간은 원본 지도 S Map과 R Map의 동일 차로간의 위치 차이가 1.4m 이상인 구간으로 일반적인 고정밀지도의 오차에 비해 매우 큰 지역이다. 또한 Fig. 9의 경우뿐만 아니라 실패한 12 개의 경우 모두 원본 고정밀지도 간의 차이가 1m 이상으로 매우 큰 지역으로 확인됐다. 또한 각각의 데이터모델을 적용된 고정밀지도 내에서의 상대적인 정확도는 뛰어나지만 절대적인 정확도는 다소 떨어질 수도 있는 것으로 보인다. 이렇게 원본 지도간의 차이가 매우 큰 경우 허용오차범위 내에 동일 시설물을 찾지 못해 적

절한 참조기준점을 탐색하지 못하게 된다. 이러한 오류는 위치참조 방법의 문제라기보다는 원본 데이터 구축 단계의 문제라고 판단된다.

결국 본 연구에서 수행한 위치참조 방법은 고정밀지도 데이터 자체의 오차에 크게 영향을 받는다는 결론을 도출할 수 있었으며, 이러한 오류는 고정밀 지도 자체의 정확도 향상에 의해 해결될 수 있다. 따라서 위치참조 방법의 정확도를 향상시키기 위해서는 원본 데이터의 시설물 위치 정확도를 더욱 높여야 한다.

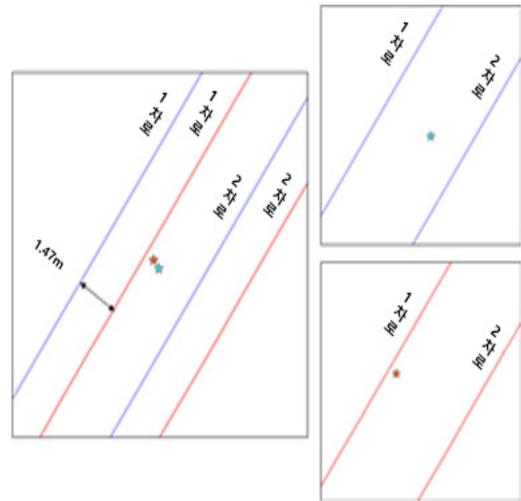


Fig. 9. Location data exchange failure case

5. 결론

본 논문에서는 자율주행에 사용되는 고정밀지도에서의 차로수준 위치참조 방법을 제안하였다. 다양한 정밀도로지도 데이터 모델을 분석해 위치 참조의 기준점이 되는 고정밀지도의 공통 시설물인 참조기준점을 선정하였다. 선정된 참조기준점을 이용해 간단한 형태의 차로수준 위치참조 방법을 제안하였다.

제안한 위치참조 방법의 성능을 확인하기 위해 동일구간 구축된 두 고정밀지도 데이터베이스를 이용하여 위치정보를 공유하는 실험을 진행하였으며 성공률은 94% 수준으로 나타났다. 실패한 경우도 위치참조 방법의 문제라기보다는 고정밀지도 데이터 자체의 문제라고 생각된다. 본 연구는 지금까지 수행되지 않았던 각각 다른 데이터모델이 적용된 실제 고정밀 맵을 대상으로 실험을 수행하여 위치참조 방안을 제안한 것에 큰 의미가 있다. 제

안된 위치참조 방법을 활용하면 서로 다른 지도를 가진 두 시스템간의 위치정보 교환이 가능할 것이며 이를 통해 협력 자율주행의 안정성이 높아질 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안한 위치참조 방법은 실제 차량 환경에서 데이터 전송 실험을 한 것은 아니다. 향후 연구에서는 자율협력주행과 C-ITS 기술을 탑재한 실차 기반 실험을 진행하여 빠르고 정확도 높은 차로 수준의 위치참조 설계 연구가 필요하다. 또한 위치참조 방법에 있어서 가장 중요한 것은 참조 알고리즘뿐만 아니라 인코딩/디코딩 형식과 방법 또한 정의되어야 하기 때문에 다양한 접근법을 고려한 최적의 인코딩/디코딩 알고리즘 개발의 추가적인 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] ISO, 22726-1 Intelligent transport systems -- Dynamic data and map database specification for connected and automated driving system applications -- Part 1: Architecture and logical data model for harmonization of static map data, <https://www.iso.org/standard/73747.html>, 2019.
- [2] ISO, 17572-3 Intelligent transport systems — Location referencing for geographic databases — Part 3: Dynamic location references (dynamic profile), <https://www.iso.org/standard/63402.html>, 2015.
- [3] ISO, 21219-22 Intelligent transport systems — traffic and travel information (TTI) via transport protocol experts group, generation 2 (TPEG2) — Part 22: OpenLR location referencing (TPEG2-OLR), <https://www.iso.org/standard/63122.html>, 2017.
- [4] S. H. Kim, K. C. Choi, J. J. Jang, "Location reference technique of ITS space database supporting interoperability", *Journal of the Korea Society for geospatial information system*, Vol.12, No.1, pp.45-53, 2004. <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO200410912325397>
- [5] I. C. Yang, and W. H. Jeon, "Development of lane-level location data exchange framework based on high-precision digital map", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.19, No.8, pp.1617-1623, 2018. DOI: <https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.8.1617>
- [6] I. C. Yang, and W. H. Jeon, "Development of lane-level dynamic location referencing method", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 17, No. 5, pp. 188-199, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.5.188>
- [7] J. U. Lee, S. J. Kim, Y. H. Sa, S. H. Jo, "A Study on the Location Reference of Lane Level Based on HD-Map for Autonomous Driving", *2020 Autumn Conference Proceedings of the KSAE*, Vol.2, pp.710-712, 2020.
- [8] R. Duckeck, V. Hiestermann, H. Milton, M. Sena, "Rules for Defining and Referencing an Intersection Location (ILOC): Detailed Location Referencing (DLR) for ITS Based on ILOCs", 1998, *European Road-Transport Telematics Implementation and Coordination Organisation Committee on Location Referencing*, Brussels, Belgium, April, 1998.
- [9] P. Scarponcini, "Generalized Model for Linear Referencing in Transportation", *Journal of the Geoinformatica*, Vol.6, No.1, pp.35-55, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013716130838>
- [10] C. Schneeberger, M. Wartenberg, "On-The-Fly Location Referencing Methods for Establishing Traffic Information Services", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vo22, No.2, pp.14-21, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1109/MAES.2007.323294>
- [11] ISO, 17572-4 Intelligent transport systems — Location referencing for geographic databases — Part 4: Precise relative location references(precise relative profile), <https://www.iso.org/standard/72984.html>, 2020.
- [12] ISO, 20524-2 Intelligent transport systems — Geographic Data Files (GDF) GDF5.1 — Part 2: Map data used in automated driving systems, Cooperative ITS, and multi-modal transport, <https://www.iso.org/standard/72494.html>, 2020.

김 덕 호(Duck-Ho Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 청주대학교 대학원 지적학과 (지적학석사)
- 2015년 8월 : 인하대학교 대학원 공간정보공학과 (공간정보공학박사수료)
- 2020년 10월 ~ 현재 : 한국자동차연구원 선임연구원

<관심분야>

자율주행항법, 고정밀 지도, 공간정보 및 측위