

논문 2005-42SC-4-1

차량 항법을 위한 지도 정합법 개발

(Development of a Map Matching Method for Land Vehicles Navigation)

성 태 경*, 표 중 선**

(Tae-Kyung Sung and Jong-Sun Pyo)

요 약

본 논문에서는 다중 가설 기법을 이용한 차량 항법용 지도 정합법을 제안하였다. 다중가설기법을 지도 정합에 도입하기 위하여 GPS/DR 센서 출력 부근의 도로에 대하여 의사 측정치를 정의하였으며, 이를 이용하여 단일 표적문제로 다중 가설 기법을 유도하였다. 가설에 대한 확률식을 유도할 때 GPS/DR 센서 출력뿐만 아니라 디지털 지도의 위상정보가 포함되도록 하였다. 또한 지도 정합 성능의 향상을 위하여 디지털 지도의 바이어스 오차를 보정하기 위한 바이어스 칼만 필터를 제안하였다. 주행 실험결과 제안한 지도 정합법은 도로 밀집지역, 입체도로지역 등 지도 정합이 어려운 지역에서도 우수한 성능을 보였다.

Abstract

This paper presents a map matching method using multiple hypothesis technique(MHT) to identify the road that a land vehicle is located on. To realize a map matching method using MHT, pseudo-measurements are generated utilizing adjacent roads of GPS/DR position and the MHT is reformulated as a single target problem. Since pseudo-measurements are generated using digital map, topological properties such as road connection, direction, and road facility information are considered in calculating probabilities of hypotheses. In order to improve the map matching performance under when bias errors exist in digital road map data, a Kalman filter is employed to estimate the biases. Field experimental results show that the proposed map matching method provides the consistent performance even in complex downtown areas, overpass/underpass areas, and in the areas where roads are adjacent in parallel.

Keywords : Map matching, Multiple hypothesis technique, Car navigation system

I. 서 론

최근 각광을 받고 있는 첨단 교통 시스템(intelligent transportation systems)은 교통의 흐름을 원활하게 하고 운전자의 편리성 및 안전을 향상시키기 위한 시스템

이다.^[1] 첨단 교통 시스템의 여러 가지 서비스 중에서 여행자 정보 시스템(traveler information system)이나 차량군 제어 시스템(fleet management system)을 구성하기 위해서는 차량 항법 시스템(car navigation system)이 필요하다. 차량 항법 시스템의 가장 기본적인 기능은 차량의 위치를 구하는 것이며, 이 외에도 목적지까지의 최적경로를 제공하거나 계산된 최적경로와 매시간의 차량 위치정보를 이용하여 경로 안내(route guidance)를 수행하기도 한다. 차량 항법 시스템에서는 일반적으로 GPS(global positioning system), DR(dead

* 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부
(Faculty of Electrical & Computer Engineering,
Chungnam National University)

** 정회원, 삼성전자 정보통신연구소
(Institute of Telecommunication and Network R&D
Center, Samsung Electronics Co.)

접수일자: 2005년1월12일, 수정완료일: 2005년6월7일

reckoning), 혹은 GPS/DR 통합시스템(integrated system) 등을 이용하여 위치를 구한다.^[2] 그러나 이러한 측위 시스템(positioning system)을 이용하여 구한 위치는 오차를 포함하게 되며, 그 결과 도로가 밀집된 지역에서는 차량이 위치하고 있는 도로를 디지털 지도 상에서 정확하게 판별하기 어렵다. 뿐만 아니라 디지털 지도의 도로 형상을 표현하는 데이터에도 오차가 포함될 수 있으며, 이러한 오차 또한 차량이 위치하고 있는 도로를 오판하도록 만드는 요소로 작용한다.

차량 항법 시스템의 경로 안내 기능을 위해서는 차량이 위치하고 있는 도로를 알아내야 하며, 일반적으로 지도 정합법(map matching method)를 이용한다. 지도 정합법은 디지털 지도의 도로 데이터와 측위 시스템의 위치정보를 이용하여 차량이 위치하고 있는 도로를 결정하는 기법이다.^[2] 지금까지 여러 가지 종류의 지도 정합법이 제안되었으며, 최근에는 오 정합율(miss-matching ratio)이 낮은 확률적(probabilistic) 방법이나 퍼지(fuzzy) 기법을 이용하는 방법이 이용되고 있다.^[2-5] 그러나 기존의 방법은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 기존의 많은 확률적 방법이나 퍼지기법을 이용하는 방법들은 차량과 도로 간의 위치오차(혹은 도로 형상과 차량궤적 오차), 방향각 오차, GPS 가시위성 수 등을 이용하여 평가함수를 정의하고 이를 이용하여 측위 시스템으로부터 얻은 위치 측정치 부근의 도로들에 대하여 차량이 존재 가능성을 평가하였다. 그러나 이러한 경우에는 디지털 도로 데이터가 가지고 있는 위상정보(topological data)를 충분히 이용하지 못하기 때문에 지도 정합 성능이 우수하지 못하다. 또한 일부 방법에서 지도데이터의 연결성, 방향성 등의 위상정보를 각 도로에 대하여 평가할 때 이용한다고 하였으나 위상정보를 이용하는 평가함수를 수학적으로 제시하지 못하였다. 둘째, 앞에서 언급한 바와 같이 지도데이터의 도로 형상 데이터에는 오차가 있을 수 있다. 이러한 오차는 측위 시스템으로부터 얻은 위치데이터와 차분 시 바이어스 오차로 작용하기 때문에 지도 정합 성능을 저하시킨다. 그러나 기존의 방법에서는 이에 대처할 수 방법을 제시하지 못하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 다중 가설 기법(multiple hypothesis techniques)을 이용한 지도 정합법을 제안한다. 다중 가설 기법은 클러터(clutter) 환경에서 다중표적(multi-target)을 추적하기

위하여 제안된 방법으로서 각 가설에 대한 확률을 회귀적인(recursive) 형태로 유도하고 이를 이용하여 표적의 추적 및 폐기, 새로운 표적의 탐지 등을 수행하는 방법이다.^[6-7] 다중가설 기법에서 평가함수로 이용하는 확률은 회귀적인 형태이기 때문에 현재의 측정치뿐만 아니라 과거의 측정치들에 대한 영향이 평가함수에 반영되며, 그 결과 일련의 시간동안의 가설 궤적에 대하여 평가하는 효과를 가진다. 본 논문에서는 측위 시스템으로부터 얻은 측정치 부근의 유효화 영역(validation region) 내에 포함된 도로들에 대하여 의사 측정치를 정의하고 이를 이용하여 가설을 구성한 후 이에 대한 확률을 계산한다. 이때 차량과 도로 간의 위치오차, 방향각 오차, GPS 가시위성 수 등의 측정 정보뿐만 아니라 지도데이터의 위상정보도 확률 계산에 포함함으로써 지도데이터의 위상정보가 평가함수에 포함하도록 한다. 또한 지도데이터의 오차에 의한 지도정합 성능의 저하를 완화하기 위하여 칼만 필터를 도입하여 위치 및 방향각 바이어스를 추정하도록 한다. 이러한 경우, 지도데이터의 오차에 의한 영향을 줄일 수 있을 뿐 아니라 GPS 신호 음영지역에서 발생할 수 있는 측위 시스템의 측정치 바이어스 하에서도 강인하게 동작할 수 있는 지도 정합법을 구현할 수 있다. 즉, GPS/DR 통합 시스템을 측위 시스템으로 이용할 때 도시의 고층건물지역에서는 종종 GPS 신호가 수신되지 않으며, 이 동안에는 위치나 방향각 출력의 오차가 점차 증가한다. 이러한 오차도 바이어스 오차로서 작용되며, 제안한 바이어스 칼만 필터를 이용하면 그 영향을 줄일 수 있다.

II. 다중 가설 기법을 이용한 지도 정합법

본 논문에서는 다중 가설 기법을 이용한 지도 정합법을 제안한다. 앞에서 언급한 바와 같이 다중 가설 기법은 확률 계산이 회귀적인 형태이기 때문에 현재뿐만 아니라 과거의 측정치도 현재의 확률에 영향을 미친다. 다중 가설 기법을 지도 정합에 적용할 경우, 단지 현재의 측정 데이터와 지도데이터를 비교하는 것이 아니라 현재까지의 주행 궤적과 도로형상을 비교하여 지도 정합을 하는 효과를 얻을 수 있기 때문에 지도 정합 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 지도 정합법은 GPS/DR 센서를 측위 시스템으로 사용한다고 가정하였으며, 지도 데이

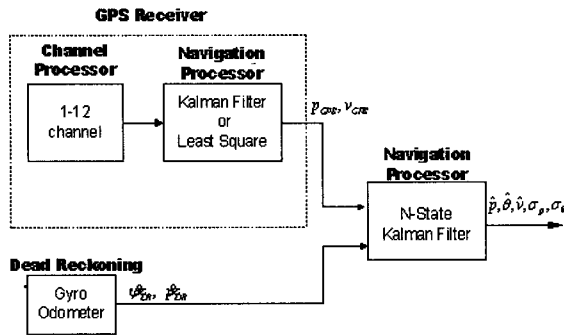


그림 1. GPS/DR센서 구조
Fig. 1. Structure of GPS/DR integrated systems.



그림 2. 지도 데이터의 구성
Fig. 2. Configuration of a digital map. 4.

터는 형상정보뿐만 아니라 위상정보도 가지고 있다고 가정한다. GPS/DR 센서는 절대적인 오차 범위 내의 측정치를 제공하는 GPS와 연속적인 정보를 제공하는 DR을 결합한 형태이며, 그 구성은 그림 1과 같다. GPS/DR 센서는 GPS 단독으로 위치를 구하는 경우에 비하여 위치 및 자세 오차가 작고 특히 GPS 신호가 차단되는 경우에도 연속적인 출력을 제공할 수 있다는 장점을 가진다.^[8-9] 그러나 GPS 신호가 차단되는 동안에는 위치나 자세의 오차가 점차 증가하는 양상을 보인다. GPS/DR 센서 출력은 위치(P_{GPS}), 속도(v_{GPS}), 자세각(Ψ), 위치 오차 편차(σ_p), 자세각 오차 편차(σ_θ^2), 그리고 GPS 가시위성 개수(n_{sv})로 가정한다. 위치 오차 공분산은 GPS 가시 위성의 기하학적인 구조, 즉 시선벡터(line-of-sight vector) 행렬에 의하여 영향을 받으며, 2차원일 경우 일반적으로 타원을 형성한다^[10,11]. 이러한 위치오차 공분산은 유효화 영역을 결정하는데 이용된다.

디지털 지도 데이터는 차량, 항공, 그리고 선박 등의

항법 시스템 출력을 주변환경과 함께 표시함으로써 사용자가 자기 위치를 쉽게 인식하는데 도움을 주기 위하여 널리 사용된다. 디지털 지도 데이터를 구성하는 요소는 여러 가지 종류가 있으며, 지도 정합을 위하여 사용되는 데이터는 크게 형상 데이터와 위상데이터로 구분할 수 있다. 형상 데이터는 그림 2에서 보는 바와 같이 노드(교차로)간을 연결하는 링크(도로)의 형상을 표현하기 위한 보간점 군 데이터와 차선수(도로 폭)를 나타내는 데이터 등을 포함하며, 위상 데이터는 도로간의 연결상태, 방향성(일방통행, 양방향 등), 교통규제(좌회전금지, 진입금지 등), 그리고 도로시설물(고가도로, 지하도로 등) 등의 정보를 포함한다. 차량 항법 시스템의 경우, 디지털 지도 데이터는 지도 정합뿐만 아니라 사용자의 위치 표시, 경로 계산 및 안내, 정보 제공 등에서 사용된다.^[1,2,12]

1. 가설의 형성 및 축소

지도 정합에서 표적(차량)은 오직 하나이기 때문에 본 논문에서는 단일표적(single target) 추적문제로 가설에 대한 확률을 유도하였다. 다중 가설 기법을 지도 정합에 적용하기 위해서는 유효화 영역 내의 모든 도로에 대하여 가설을 생성해야 한다. 이러한 가설 생성을 위하여 GPS/DR 센서 출력을 각 링크 상에 정사영(Projection)하여 얻은 위치 데이터를 의사측정치(Pseudo-measurement)로 가정하였다. GPS/DR 센서 출력을 다음과 같이 정의한다.

$$Z_{gps/dr}(t) = \{ \hat{p}(t), \hat{\theta}(t), \sigma_p(t), \sigma_\theta(t), n_{sv}(t) \} \quad (1)$$

일반적으로 GPS/DR 센서 출력은 일정시간(예를 들어 1초)마다 제공된다. 그러나 차량이 정지 상태이거나 저속으로 운행하는 경우 차량 궤적이나 각도의 변화가 거의 없음에도 불구하고 빈번하게 의사측정치를 형성하면 가설의 생성 및 평가의 반복으로 인하여 계산량이 많아지고 불필요한 가설 수의 증가를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 일정 간격이상의 GPS/DR 센서 출력에 대하여 의사 측정치를 생성하도록 하였다.

(1)의 GPS/DR 센서 출력을 i 번째 링크에 정사영하여 얻은 의사측정치는 다음과 같이 지도데이터의 위상정보를 포함하여 정의할 수 있다.

$$Z_i^j(t) = \{ p_i^j(t), \theta_i^j(t), \chi_i^j(t), \zeta_i^j(t), \eta_i^j(t) \} \quad (2)$$

식에서 $p_i^i(t), \theta_i^i(t), \chi_i^i(t), \zeta_i^i(t), \eta_i^i(t)$ 는 각각 i 번째 링크에 대하여 정사영 된 위치, 링크 방향각, 이전 의사측정치로부터의 연결성 코드, 도로 시설물 코드, 그리고 방향성 코드를 의미한다. 시간 t 에서 유효화 영역 내의 m 개의 링크에 대하여 생성된 의사측정치 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$Z_i(t) = \{Z_i^i(t), i = 1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

또한 시간 t 까지의 모든 GPS/DR 측정치 및 의사 측정치 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$Z(1, t) = \{Z_{GPS/DR}(k), Z_i(k), k = 1, \dots, t\} \quad (4)$$

(3)~(4)와 베이시안 법칙(Bayesian Rule)을 적용하여 [6]에서와 같이 의사측정치에 대한 조건부 가설 확률에 대한 식을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P^k(t) &\equiv P\{\Omega^k(t)|Z(1, t)\} \\ &= P\{\Omega(t-1), \phi|Z(1, t)\} \\ &= P\{Z_i(t), Z_{gps/dr}(t)|\Omega(t-1), \phi\} \\ &\quad \cdot P\{\phi|\Omega(t-1)\} \cdot P\{\Omega(t-1)|Z(1, t-1)\} \end{aligned} \quad (5)$$

식에서 $\Omega^k(t)$ 는 시간 t 에서의 가설 중 k 번째 가설, $\Omega(t-1)$ 는 이전시간 $t-1$ 에서의 가설 집합, ϕ 는 $\Omega(t-1)$ 과 시간 t 의 측정치 집합의 연관 가설 (association hypothesis)을 의미하며, $\Omega^k(t)$ 는 $\Omega(t-1)$ 와 ϕ 의 결합 가설(joint hypothesis)로 표현된다. (5)에서 모든 k 에 대하여 $P^k(t)$ 를 구하게 되면 $P\{\Omega(t)|Z(1, t)\}$ 을 구할 수 있으며, 그 결과 회귀적인 형태의 확률식을 얻을 수 있다. (1)~(2)를 이용하여 (5)의 우변 첫번째 항을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &P\{Z_i(t), Z_{gps/dr}(t)|\Omega(t-1), \phi\} \\ &= P\{\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t), \chi_i^i(t), \zeta_i^i(t), \eta_i^i(t), n_{vs}(t)|\Omega(t-1), \phi\} \end{aligned} \quad (6)$$

식에서 $\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t)$ 는 GPS/DR 센서 측정치와 i 번째 링크에 대한 의사측정치의 위치 차이와 방향각 차이를 의미한다. 또한 베이시안 법칙에 의하여 (6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &P\{Z_i(t), Z_{gps/dr}(t)|\Omega(t-1), \phi\} \\ &= P\{\zeta_i^i(t), n_{vs}(t)/\eta_i^i(t), \delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t), \chi_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \\ &\quad \cdot P\{\eta_i^i(t)/\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t), \chi_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \\ &\quad \cdot P\{\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t)/\chi_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \\ &\quad \cdot P\{\chi_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \end{aligned} \quad (7)$$

(7)의 우변 첫번째 항은 시설물코드와 GPS 가시위성 개수의 결합 확률로서 차량이 고가도로 밑에 있는 도로 나 지하도로를 지날 때에는 GPS 가시위성 개수가 현저히 저하된다는 사실을 이용하여 결합 확률(joint probability)을 정의할 수 있다. 즉, 표 1과 같이 시설물 지역, 시설물 인접지역, 그리고 일반도로로 구분하여 가시위성 개수에 따라 확률값을 부여한다. 표에서 각 경우의 확률값은 $\alpha \geq \beta \geq \gamma$ 의 관계를 만족한다.

표 1. 시설물 코드와 GPS 가시위성 개수의 결합 확률

Table 1. Joint Probability of facility code and the number of visible GPS satellites.

	가시위성개수 (n_{sv})	
	0개	1개이상
Underpass 등	α	γ
Underpass 등의 인접지역	β	β
일반 도로	γ	α

(7)의 두번째 항은 링크의 방향성에 대한 확률로서 GPS/DR 센서의 방향각에 의한 확률로 정의할 수 있다. 즉, 차량의 진행방향이 도로의 진입금지 방향이거나 통행금지일 경우에는 낮은 확률을 부여하고 진행방향일 경우에는 높은 확률을 부여한다. (7)의 세번째 항은 GPS/DR 센서 측정치와 i 번째 링크에 대한 의사측정치의 위치 차이와 방향각 차이에 대한 확률을 의미한다. 위치 차이와 방향각 차이가 서로 비상관(uncorrelated) 되어 있고 각각 영 평균의 가우시안 분포를 갖는다고 가정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P\{\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t)/\chi_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} = N(0, \sigma_p^2) \cdot N(0, \sigma_\theta^2) \quad (8)$$

식에서 $\sigma_p^2, \sigma_\theta^2$ 는 그림 1이나 (1)에서 보는 바와 같이 GPS/DR 센서에서 제공하는 값들이다. (7)의 네번째 항은 이전 가설 $\Omega(t-1)$ 의 의사측정치와 현재 가설의 의사측정치 사이의 연결성에 대한 확률을 나타낸다. 본 논문에서는 두개의 의사측정치를 연결시켜주는 링크의 개수에 반비례 하도록 다음과 같이 확률을 부여하였다.

$$P\{\chi_i^i(t)/\Omega(t-1), \phi\} = \frac{1}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0) \quad (9)$$

식에서 τ_0 는 평균 연결 링크 수를 나타내며, τ 는 이전 가설과 현재 가설의 의사측정치 사이를 연결시켜주는 최소의 링크 개수를 나타낸다.

(5)의 우변 두번째 항은 이전 가설 $\Omega(t-1)$ 이 주어졌을 때 연관가설의 확률이다. 지도 정합문제는 단일 표적 문제이며, 이전가설이 주어졌을 때 모든 의사측정치와 연관될 수 있으므로 연관가설의 확률은 시간 t 에서의 의사측정치 개수에 의해 결정되고 각 시간에 있어서는 다음과 같이 일정하다.

$$P\{\phi|\Omega(t-1)\} = \frac{1}{c} \quad (10)$$

식에서 c 는 상수이며, 정규화 상수(normalizing constant)로 간주한다. (5)에 (7)~(10)을 대입하면 최종적으로 다음과 같은 가설에 대한 확률 식을 회귀적인 형태로 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P^k(t) = & \frac{1}{c} \cdot P\{\zeta_i^i(t), n_{vs}(t)/\delta p_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \\ & \cdot P\{\eta_i^i(t)/\delta\theta_i^i(t), \Omega(t-1), \phi\} \\ & \cdot N(0, \sigma_p^2) \cdot N(0, \sigma_\theta^2) \cdot \exp(-\tau/\tau_0) \\ & \cdot P\{\Omega(t-1)|Z(1, t-1)\} \end{aligned} \quad (11)$$

지도 정합법은 차량이 측위 시스템의 측정치 부근의 도로상에 있다고 가정하고 최대의 조건부 확률을 갖는 링크를 찾는 방법이다. 그러나 때때로 차량이 디지털 도로에 표시되지 않은 도로 등을 주행하는 경우가 있다. 이러한 경우를 비도로(off-road) 주행이라 하며, 이러한 비도로 상황을 고려하기 위하여 본 논문에서는 새로운 의사측정치에 대하여 가설 집합을 만들 때마다 비도로에 대한 가설을 추가하였다. 비도로 가설에 대한

확률은 항상 일정하게 부여하였으며, 비도로 가설에 대한 확률을 포함하여 (11)의 확률을 다시 정규화 하였다.

가설의 개수는 새로운 의사측정치가 들어올 때마다 지수적으로 계속 증가한다. 그러나 이들 가설 중에서 많은 가설들의 확률은 매우 작은 값을 갖는다. 가설의 확률이 작다는 것은 해당 가설이 의미가 없거나 그럴듯하지(plausible) 않다는 것을 뜻한다. 따라서 계산시간이나 메모리 용량을 고려할 때 이와 같이 의미가 없는 가설들은 제거(pruning)해야 한다. 본 논문에서는 가설을 제거할 때 두 가지 기준을 사용하였다. 첫번째 기준은 가설의 확률이 최소 임계치 k_{min} 보다 작으면 해당 가설을 제거하는 것이며, 이는 절대적인 기준에 의한 제거라 할 수 있다. 한편, 매 시간마다 계산된 확률 중에서 최대값은 매시간 변화한다. 확률의 최대값이 작다는 것은 다른 가설들의 확률이 상대적으로 크다는 것을 의미하며, 이러한 경우에는 차량이 위치한 링크를 결정하기 어렵기 때문에 많은 가설을 유지하는 것이 안전하다. 그러나 반대로 최대값이 큰 경우에는 다른 가설의 확률이 상대적으로 작기 때문에 지도정합의 가능성이 높다. 따라서 두번째 가설 제거 기준은 적응적(adaptive)으로 가설을 제거하기 위하여 최대 확률과의 비에 의하여 가설을 제거한다. 즉, 가설의 확률과 최대 확률의 비가 임계치 k_A 보다 작으면 해당 가설을 제거한다.

지도 정합이 한번 잘못 결정되면 이는 다음 지도 정합에도 영향을 미친다. 따라서 가설들 중에서 어느 하나가 맞다고 확정(confirm)하여 지도 정합을 하는 것은 신중하게 해야 한다. 본 논문에서는 가설을 제거할 때와 마찬가지로 두 가지 기준을 이용하여 확정을 하였다. 첫번째 기준은 최대 확률의 값이 최대 임계치 k_{max} 보다 커야 한다는 것이며, 두번째 기준은 최대 확률값과 그 다음 최대 확률값의 비가 임계치 k_B 를 초과해야 한다는 것이다. 두번째 기준에 의하여 크기가 비슷한 확률을 갖는 가설들이 존재하는 경우 지도 정합은 이루어지지 못한다.

2. 바이어스 추정을 위한 칼만 필터

앞에서 기술한 바와 같이 지도데이터에는 오차가 있으며, 오차가 있는 지도데이터를 이용하여 의사측정치를 만들게 되면 (8)의 $\delta p_i^i(t)$ 에 바이어스 오차가 생길

수 있다. 또한 일반적으로 지도데이터는 도로의 중앙선을 기준으로 도로 형상을 얻기 때문에 차량이 중앙선에서 먼 차선을 주행하는 경우에도 $\delta p_i^i(t)$ 에 바이어스 오차가 생길 수 있다. 한편 GPS 신호가 차단되어 일정 시간이 경과하면 GPS/DR 센서 출력에 누적오차가 발생하며, 이러한 경우에도 $\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t)$ 에 바이어스 오차가 발생한다. 이러한 바이어스 오차는 (8)의 가정을 위배하며, 그 결과 지도 정합의 성능 저하를 야기한다.

본 논문에서는 지도정합의 성능 향상을 위하여 칼만 필터^[13]를 이용하여 $\delta p_i^i(t), \delta \theta_i^i(t)$ 의 바이어스 오차를 추정하도록 하였다. 이러한 경우 지도데이터의 오차나 GPS 신호 차단에 의한 누적오차에 강인한 지도 정합법을 구현할 수 있다. 지도 데이터는 2차원의 평면 데이터이므로 칼만 필터의 상태 방정식을 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} \delta x(t+1) &= \begin{bmatrix} \delta p_x(t+1) \\ \delta p_y(t+1) \\ \delta \theta(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p_x(t) \\ \delta p_y(t) \\ \delta \theta(t) \end{bmatrix} + w(t) \\ &= \Phi \cdot \delta x(t) + w(t) \end{aligned} \quad (12)$$

식에서 $\delta p_x, \delta p_y$ 는 x-축, y-축 위치 바이어스, $\delta \theta$ 는 방향각 바이어스이며, a_1, a_2 는 상수로서 $0 < a_1, a_2 < 1$ 을 만족한다. $w(t)$ 는 영 평균과 공분산 Q 를 갖는 백색 가우시안(Gaussian) 잡음으로 가정한다. 바이어스 칼만 필터의 추정치는 지도 정합이 성공적으로 이루어진 경우에만 얻을 수 있다. 따라서 측정 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_b(t) &= Z_{gps/dr}(t) - Z_{MM}^i(t) \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta p_x(t) & v_x(t) \\ 0 & 1 & 0 & \delta p_y(t) & v_y(t) \\ 0 & 0 & 1 & \delta \theta & v_\theta(t) \end{bmatrix} \quad (13) \\ &= \delta x(t) + v(t) \end{aligned}$$

식에서 $Z_{MM}^i(t)$ 는 시간 t 에서 지도 정합이 i 번째 링크로 이루어 졌을 때 얻은 i 번째 링크에 대한 의사측정치이다. 또한 $v(t)$ 는 영 평균과 공분산 R 을 갖는 백색 가우시안 잡음으로 가정한다.

칼만 필터로부터 구한 바이어스 추정치는 GPS/DR 센서 출력에 바이어스가 있다고 간주하고 다음과 같이

센서 출력을 보상한다.

$$Z_{gps/dr}^{comp}(t) = Z_{gps/dr}(t) - \delta \hat{x}(t) \quad (14)$$

식에서 $\delta \hat{x}(t)$ 는 바이어스 추정치이고 보상된 GPS/DR 센서 출력 $Z_{gps/dr}^{comp}(t)$ 는 (1)의 센서 출력으로 사용한다. 한편, 지도 정합이 발생하지 않는 경우에는 칼만 필터의 측정치 갱신(measurement update)은 이루어지지 않고 시간 전파(time propagation)만 수행하게 된다. 시간 전파시, (12)에서 $0 < \alpha, \beta < 1$ 이기 때문에 바이어스 추정치는 점차 감소하며, 공분산은 증가한다. 지도 정합이 잘못되어 바이어스를 틀리게 추정하는 최악의 경우가 발생하더라도 제안한 방법에서는 지도 정합을 잘못된 이후에는 지도 정합이 될 수 없기 때문에 바이어스 추정치가 0으로 감소하며, 그 결과 보상된 GPS/DR 센서 출력이 원래의 센서 출력으로 접근하여 초기화 되는 효과를 얻을 수 있다.

제안한 지도정합법의 구성도는 그림 3과 같다. 일정 거리 이상 이동된 GPS/DR 센서의 출력이 얻어지면 새로운 가설 집합이 형성되고 이들의 확률을 계산한다. 새로운 확률을 이용하여 각 가설에 대한 가설 제거 여부를 판별한다. 가설제거 기준을 통과한 가설 중에서 확정 기준을 만족하는 가설이 있으면 지도 정합이 이루어지고 그 결과를 이용하여 바이어스를 추정한다. 추정된 바이어스는 다음 GPS/DR 센서 출력을 보상하는데 사용한다.

III. 실험

제안한 지도 정합법의 성능을 평가하기 위하여 차량 실험을 수행하였다. 시험구간은 그림 4와 같은 지역을 선택하였으며, 지하도로 등의 시설물 지역을 포함하도록 정하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 지도데이터는 도로의 중앙선을 기준으로 도로 형상을 얻기 때문에 차량이 중앙선에서 먼 차선을 주행하는 경우에는 (8)의 $\delta p_i^i(t)$ 에 바이어스 오차가 생길 수 있다. 도로의 폭에 따른 지도 정합의 성능을 비교하기 위하여 도로를 4차선 이상 도로와 2차선 이하 도로로 구분하였으며, 시험구간의 도로에 대한 도로 폭에 따른 비율은 표 2와 같다.

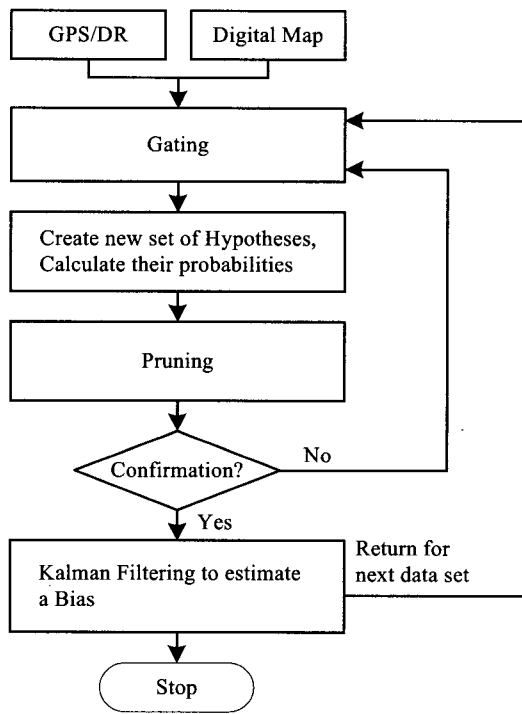


그림 3. 제안한 지도정합법의 구성도
Fig. 3. Configuration of the proposed map matching method.

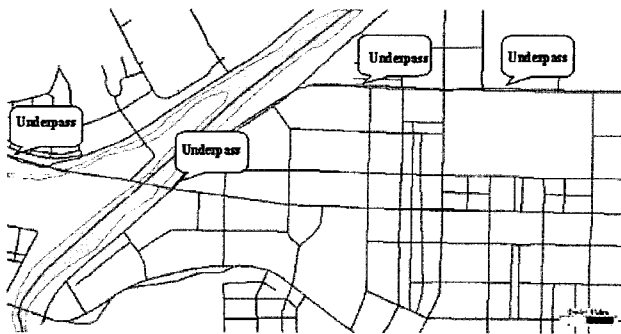


그림 4. 차량실험 지역
Fig. 4. Field experiment area.

표 2. 시험지역의 도로 폭별 비교
Table 2. Classification of roads in test area according to the width.

Category	Distance
Road \geq 4 Lanes	23km
Road \leq 2 Lanes	16km
Total	39km

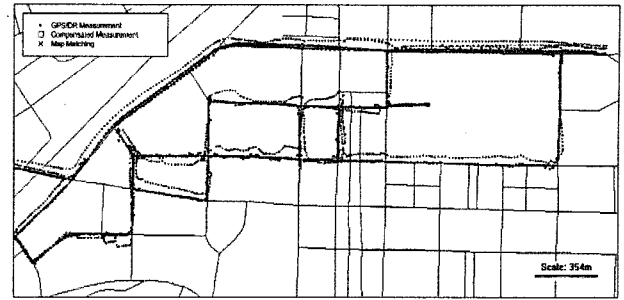


그림 5. GPS/DR 센서 출력과 지도 정합 궤적의 비교
Fig. 5. Comparison of trajectories (GPS/DR and map matching).

표 3. 주행실험 결과
Table 3. The results of field test.

Classification	Matching Probability	In-competition	Miss -matching Probability
High road density area	96%	4%	0%
Underpass	89%	11%	0%
Off-road	83%	17%	0%
4 Lane-road	87%	13%	0%
2 Lane-road	89%	11%	0%

그림 5은 주행실험 전체 궤적에 대하여 GPS/DR 센서 출력과 지도정합 결과를 비교한 것이며, 진한 점선이 지도 정합의 결과이다. 실험 결과를 상황별로 보다 자세히 분석한 결과는 표 3과 같다.

표에서 "matching"은 지도 정합이 성공적으로 된 경우이고 "in-competition"은 가설들 중에서 가설 확정 기준을 만족하는 가설이 없는 경우이며, "miss-matching"은 지도 정합이 잘못된 경우를 의미한다. 제안한 지도 정합법은 위치나 방향각 등의 기본적인 정보뿐만 아니라 지도 데이터의 위상정보도 이용하여 확률을 계산한다. 또한 바이어스 필터를 이용하여 위치오차나 방향각 오차의 바이어스를 제거하기 때문에 표에서 보는 바와 같이 도로밀도가 높은 지역에서도 지도 정합율이 높다. 지하도로나 비도로 등의 특별한 상황에서도 비교적 높은 지도 정합율을 보이며, 오정합의 경우는 발생하지 않았다. 한편, 표에서 보는 바와 같이 도로 폭이 넓은 도로일수록 지도 정합율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 칼만 필터를 이용하여 바이어스를 추정하더라도

우회전이나 좌회전 직후에는 새로운 방향의 바이어스가 발생하는 효과 때문이며, 이로 인하여 도로 폭이 넓을 수록 좌회전이나 우회전 직후에는 지도 정합율이 낮다.

그림 6은 차량이 지하도로(좌우방향) 위의 도로지역을 주행할 때의 지도 정합 결과이다. 그림에서 보상된 측정치는 (14)와 같이 바이어스 추정치로 보상한 GPS/DR 센서 출력을 의미하며, 지도 정합 출력은 지도 정합이 이루어진 경우에만 도시하였다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 디지털 지도에는 좌우방향으로 지하도로와 지상도로가 근접하여 평행하게 입력되어 있으며, 3개의 평행한 도로 중에서 가운데 도로가 지하도로로서 도로시설물 코드를 가진다. 이를 제외한 두개의 도로는 일방통행으로 방향성 코드를 갖는 지상도로이다. 이와 같이 입체도로의 경우에도 제안한 지도 정합법은 도로 시설물 코드와 방향성 코드를 이용하여 지도 정합을 성공적으로 수행하였다.

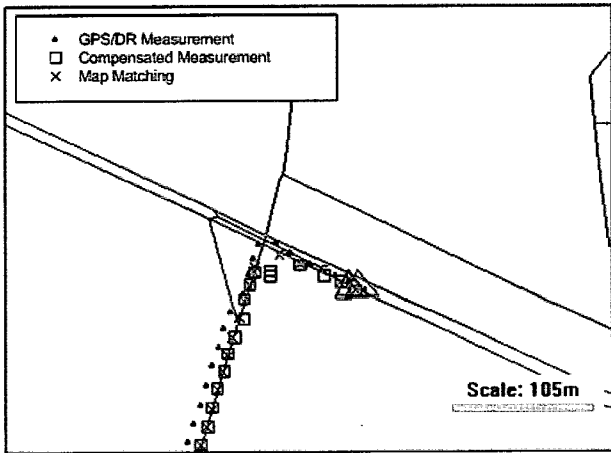


그림 6. 지하도로 부근의 지도 정합 결과
Fig. 6. Map matching result around at underpass.

그림 7은 차량이 비도로를 주행할 경우의 지도 정합 결과를 보인 것으로서 비도로 상황을 만들기 위하여 고의적으로 디지털 지도에 입력되지 않은 도로를 주행하였다. 차량이 도로를 주행할 때는 성공적으로 지도 정합을 수행하다가 비도로 주행을 시작하면 더 이상 지도 정합은 이루어지지 않는다. 차량이 충분히 비도로로 빠져 나가게 되면 비도로 가설에 의하여 차량이 비도로 주행을 하고 있음을 탐지한다. 그림에서 비도로에서 지도 정합이 이루어졌다고 표시된 부분은 비도로 주행을 탐지한 경우이며, 보상된 GPS/DR 센서 출력은 지도 정합이 이루어지지 않음에 따라 점차 원래의 GPS/DR 센서 출력으로 접근함을 알 수 있다.

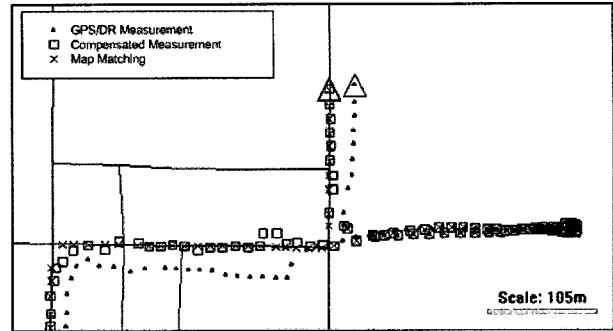


그림 7. 비도로 주행시의 지도 정합 결과
Fig. 7. Map matching result when off-road driving.

그림 8은 도로가 평행하게 인접한 경우의 지도정합 결과를 보인 것으로서 타원으로 표시된 부분은 두개의 도로가 약 50m 떨어져 평행으로 배치되어 있다. 이들 도로는 연결성 코드나 방향성코드가 동일하고 도로 시설물도 없으며, 두개의 링크에 대한 방향각도 유사하다. 이러한 경우 지도정합은 위치 오차에 의존하게 되며, 가장 지도 정합이 어려운 상황중의 하나이다. 본 논문에서 제안한 지도 정합법은 바이어스 필터를 이용하기 때문에 이러한 상황에서도 지도 정합율이 높다. 즉, 그림에서 보는 바와 같이 보상된 측정치는 원래의 측정치보다 바이어스가 적으며, 그 결과 두개의 링크에 대한 위치 오차의 차이가 크기 때문에 지도 정합의 성공율이 높다.

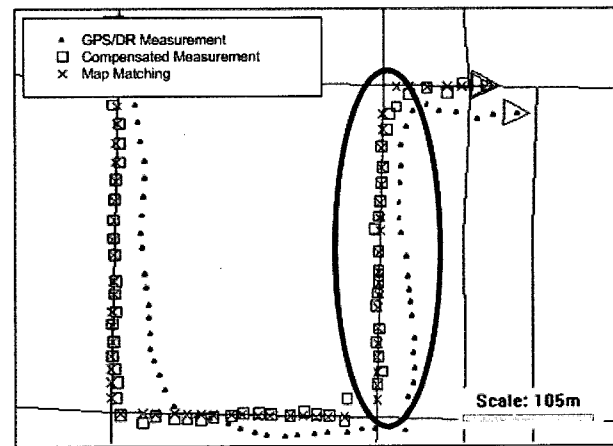


그림 8. 도로밀집 지역에서의 지도 정합 결과
Fig. 8. Map matching result in high road-density area.

그림 9은 GPS 신호가 일정시간동안 차단된 경우의 지도 정합 결과로서 그림에서 보인 구간동안 고의적으로 GPS 신호를 차단하였다. 도시환경에서는 고층빌딩에 의하여 이와 같은 상황이 흔히 발생할 수 있으며, 이

러한 경우 GPS/DR 센서는 DR만으로 동작되고 그림에서 보는 바와 같이 GPS/DR 센서 출력은 누적오차로 인하여 오차가 점차 증가한다. 그러나 제안한 지도 정합법에서는 바이어스 칼만 필터에 의하여 보상된 측정치를 이용하기 때문에 이러한 상황에서도 지속적으로 지도 정합을 수행할 수 있다. 한편 GPS 신호가 차단되어 DR만으로 동작되는 상황에서 일정시간동안 두개 이상의 가설이 경합하여 지도 정합이 이루어지지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 앞에서 언급한 바와 같이 바이어스 추정치는 0으로 접근하고 그 공분산은 증가하여 유효화 영역이 확대된다. 이러한 상황에서는 확대된 유효화 영역과 GPS/DR 센서 출력의 부정확성 때문에 다시 GPS 신호가 획득되어 유효화 영역이 축소될 때까지 지도 정합이 이루어지기 어렵다. 그러나 GPS 신호가 획득되면 다시 지도 정합을 수행해 나갈 수 있다.

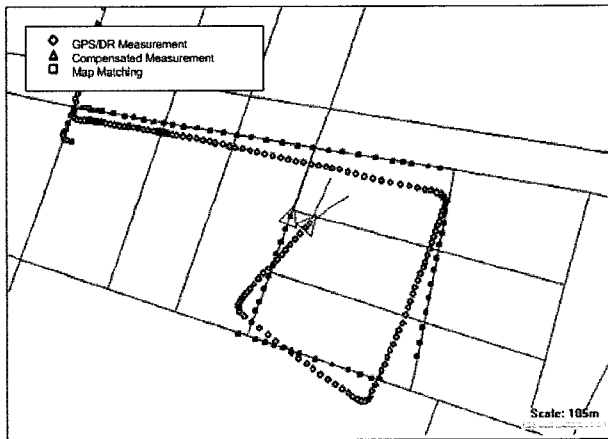


그림 9. GPS 신호가 차단된 경우(DR only)의 지도 정합 결과

Fig. 9. Map matching result for DR only case.

IV. 결 론

본 논문에서는 다중 가설 기법을 이용한 지도 정합법을 제안하였다. 가설 생성을 위하여 각 링크에 대한 의사 측정치를 정의하였으며, 지도 데이터의 위상정보를 포함하도록 가설에 대한 확률식을 유도하였다. 지도 데이터의 오차나 GPS 신호가 차단되는 경우에 대처할 수 있도록 제안한 지도 정합법에서는 바이어스 칼만 필터를 도입하였다. 주행실험 결과 제안한 지도 정합법은 도로 밀집지역, 입체도로 지역, 비도로 지역 등 특수한

상황에서도 일관성 있게 우수한 지도 정합 성능을 보였다. 또한 도시환경에서 흔히 발생할 수 있는 GPS 신호 차단 상황에서도 우수한 지도 정합 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Chris Drane, and Chris Rizos, Positioning Systems in ITS, Artech House, 1998.
- [2] Yilin Zhao, Vehicle Location and Navigation Systems, Artech House, 1997.
- [3] W.-W Kao, and L.-J. Huang, "System and Method for Locating a Travelling Vehicle", U.S. Patent No. 5283575, Feb. 1994.
- [4] Yoshikazu Sato, and Kan Shishido, "Vehicle Navigation with Vehicle Position Correction Feature", U.S. Patent No.5852791, Dec. 1998.
- [5] Donald A. Streit, and Brain J. Gilmore., "Map-matching Navigation System", U.S. Patent No.5774824, Jun. 1998.
- [6] S.S. Blackman, Multiple-Target Tracking with Radar Application, Artech House, 1986.
- [7] D.B. Reid, "An algorithm for tracking multiple targets," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-24, pp.843-854, Dec, 1979.
- [8] 서홍석, 성태경, 이상정, "반송파 정보를 이용한 GPS/DR 통합 방법," 전기학회 논문지 48권 10호, 1999. 10., pp.1279-1285
- [9] 서홍석, 성태경, 이상정, "분리형 GPS/DR 통합 칼만 필터 구현," 제어자동화시스템공학 논문지 6권 10호, 2000. 10., pp. 929-937
- [10] D. H. Shin, S. B. Son, T. K. Sung, "DOP Relationship between the TOA and the TDOA positioning," Proc. 2000 IAIN World Congress/ION Annual Meeting, San Diego, U.S.A., Jun/2000.
- [11] Elliott D. Kaplan, Understanding GPS : Pinciple and applications, Artech House, 1996.
- [12] Hirofumi Ohinishi, "Map Database Generation System for In-Vehicle Navigation System", Proc. IEEE VNIS conference, Yokohama, Japan, Aug/1994.
- [13] Mohinder S. Grewal, and Angus P. Andrews, Kalman Filtering Theory and Practice, Prentice Hall, 1993.

— 저 자 소 개 —



성 태 경(정회원)

1984년 2월 서울대학교 제어계측
공학과 학사 취득.

1986년 2월 서울대학교 대학원
제어계측공학과 석사 취득.

1987년 3월~1988년 2월
포항공대 연구원

1992년 8월 서울대학교 제어계측공학과
박사 취득.

1993년 4월~1996년 2월 고등기술연구원
선임연구원

1996년 4월~1997년 8월 삼성전자 수석연구원

1997년 9월~현재 충남대학교 전기정보통신
공학부 부교수

<주관심분야 : GPS&GNSS, 무선측위, 신호처리>



표 종 선(정회원)

1998년 충남대학교 전기공학
교육학과 학사 졸업.

2000년 충남대학교 전기공학과
석사 졸업.

2000년~2003년 1월 네비콤부설
기술연구소 연구원

2003년 2월~현재 삼성전자 통신연구소
선임연구원

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>