

차량항법장치에서의 지도매칭 알고리즘에 관한 연구

(A Study on the Map-Matching Algorithm for Car Navigation System)

任永煥*, 朴光哲*, 尹基邦**, 金基斗*

(Young Hwan Im, Gwang Chul Park, Kee Bang Yun, and Ki-Doo Kim)

요 약

본 논문에서는 GPS에 의해 측정된 차량의 주행 궤적을 지도상의 도로와 매칭시키기 위한 새로운 지도매칭 알고리즘을 제안한다. 이는 차량항법장치에서 중요한 기능인 차량의 위치 정밀도를 간접적으로 향상시켜 준다. 제안한 알고리즘은 주행중인 차량을 Singer 모델의 상태방정식으로 모델링한 후 칼만 필터를 적용하여 차량의 위치를 정확히 도로 위로 위치시키고 동시에 위치정확도를 개선시켜 준다. 그리고 교차로에서는 실제 주행경로를 정확히 판단하기 어렵기 때문에 칼만 필터링에 의해 추정된 위치값을 선형회귀(linear regression) 시킴으로써 차량의 진행 방향각을 결정한 다음 각 도로의 방향각과 비교하여 차량의 주행경로를 판단하도록 한다.

Abstract

This paper suggests a new map-matching algorithm for matching traveling trace of vehicle, which is measured by GPS receiver, to the road of a digital map. This eventually brings the improvement of positioning accuracy of the vehicle with GPS receiver. After representing the travelling vehicle's motion by state equations using Singer's model, the proposed map-matching algorithm places the position of a vehicle right on the road and also improves the positioning accuracy of the vehicle using a Kalman filter. In the crossroad, since it is difficult to determine precisely a current travelling road, we take linear regression to the estimated values from Kalman filtering. This gives the direction angle of turning vehicle, then we can determine the correct route direction after comparing with each route-direction angle at the intersection.

I. 서론

도시에서의 도로는 서로 얽혀 있는 매우 복잡한 그물망 구조를 가지기 때문에 GPS 수신기나 DR (Dead Reckoning) 센서에서 얻은 위치, 속도 정보가 여러 가지 오차요인에 의해 정밀도가 저하되며 따라서 지도상의 도로를 벗어나는 궤적을 그리게 되어 차량의 위치를 도로상에 정확히 표시하는데 어려움이 따른다^[1-3]. 이러한 이유로 지도매칭법에 대한 연구가 필요하다. 또한 센서에 의해 얻어진 위치를 운전자에게 유용한 정보로 알려 주기 위해서는, 그 위치를 포함한 지역의 도

* 正會員, 國民大學校 電子工學部
(Dept. of Electronics Engineering Kook-Min University)

** 正會員, 仁川專門大學校 電子科
(Dept. of Electronics Engineering, Junior College of Incheon)

※ 본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비(971-0919-117-1)지원으로 수행되었음.

接受日字: 1999年4月20日, 수정완료일: 2000年1月13日

표 1. GPS 수신기와 DR 센서의 문제점과 해결방안

Table 1. Problems and solutions of GPS Receiver and DR sensor.

항법기술	GPS(위성항법)	DR(추측항법)
오차요인	<ul style="list-style-type: none"> - 위성들간의 시계오차 - 위성 자신의 궤도정보오차 - 대기층 지연 - 다중경로 	<ul style="list-style-type: none"> - 타이어 실반경의 변화, 미끄럼 - 지자기 센서는 주변 대형구조물의 자계나 차량의 자화상태의 영향 - 온도변화 등에 의한 편류 오차
문 제 점	<ul style="list-style-type: none"> - 터널, 고층 빌딩 등에 따라 전파가 차폐되면 위치 측량이 불가능하다. - 위성의 발신전파의 수신상황에 따라 정밀도가 영향을 받는다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 시간이 지남에 따라 오차가 누적되어 커지게 된다. - 위치 수정의 빈도가 크다.
해결방안	<ul style="list-style-type: none"> - 지상 기준국을 이용한 DGPS 서비스가 시작되면 측위정확도를 높일 수 있다. - 수신이 불가능할 때는 DR을 사용하여 위치를 측정할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS 수신기나 지도매칭법 등의 다른 항법기술을 이용하여 DR에서 계산된 위치, 방향각 및 센서모델계수의 오차를 보정할 수 있다.

로지도와 결합할 필요가 있기 때문에, 그 동안 지도매칭법에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 왔다^{4, 5)}.

본 논문에서는 기존의 지도매칭법이 가지고 있는 문제점, 즉 현재 측정된 GPS 위치 정보를 지도상의 최단 거리인 도로를 찾아 매칭시키는 방법 등이 판단의 오류를 일으킬 경우 운전자에게 잘못된 주행 정보를 제공하게 되므로 이를 보완하기 위해 칼만 필터를 이용하여 GPS에서 수신된 위치정보의 오차를 개선하며, 교차로에서는 선형회귀 방법을 이용하여 차량의 진행 방향각을 결정하도록 한다. 또한 지도매칭의 판단 시점을 교차로로 제한하여 교차로가 아닌 도로를 주행시에도 다른 도로로 매칭되는 오류를 방지하도록 한다.

II. 항법기술

1. 항법기술과 문제점

차량항법장치(CNS: Car Navigation System)의 성능은 차량의 주행궤적을 얼마나 정확하게 표시하는가에 좌우되며, 이를 위해 가장 기본적으로 요구되는 것이 차량의 현재 위치를 정확하게 결정하는 항법기술이다⁶⁾. 차량항법장치에서 가장 많이 사용하고 있는 항법기술로는 GPS 위성을 이용하여 차량의 위치 정보(위도, 경도 등)를 제공하는 위성항법기술과 DR 센서를 이용하여 얻은 거리와 방향 정보를 통해 상대적인 위치를 구하는 추측항법기술이 있다⁷⁾. 위성항법과 추측항법의 오차요인 및 그에 따른 문제점과 해결방안을 표 1에

나타내었다.

2. 항법용 디지털 도로지도 데이터 구조

차량항법장치는 디지털 도로지도(digital road map), 항법 S/W, 차량 단말기 및 GPS 수신기로 구성된다. 이 세가지 요소들은 모두 필수적으로 요구되지만, 그 중에서도 디지털 도로지도 데이터베이스의 구축 및 그 구조와 성능은 차량항법 시스템을 좌우하는 우선적인 요인으로 작용한다. 또한 지도매칭 알고리즘을 수행하는데 있어서 기준으로 하는 것이 도로지도 데이터이기 때문에 효율적으로 데이터베이스를 구성하여야 한다⁸⁾.

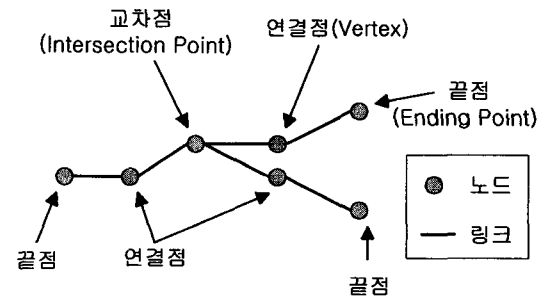


그림 1. Polyline의 구조

Fig. 1. Polyline's structure.

디지털 도로지도 데이터는 실질적인 차량 항법용 데이터베이스로 노드와 링크, 노드의 속성(좌회전 금지, 직진 금지, U-Turn 등), 링크의 길이 등으로 구성된다. 여기서 노드는 끝점, 교차점, 연결점이 되고, 링크는 인

접한 노드 두 개를 연결하는 선을 나타내며 형상에 관계없이 도로간의 연결을 표현할 수 있는 구조를 가진다. 항법용 데이터베이스는 링크가 사용자에게 가시적으로 제공될 수 있도록 polyline의 구조를 가지는 X, Y 좌표값의 연속으로 구성된다. 그림 1은 polyline의 구조를 보여주며, polyline은 끝점과 끝점, 교차점과 교차점, 교차점과 끝점을 연결하는 링크들의 집합을 나타낸다. 또한 이외에 링크의 길이, 도로의 속성(도로상태, 제한 속도, ...) 등의 기타 부가정보를 나타내도록 데이터베이스를 구성할 수 있다.

Ⅲ. 기본적인 지도매칭 알고리즘

지도매칭법은 '차량은 주로 도로위에서 움직인다'라는 기본 개념에서 출발한다. 지도상의 도로의 모양과 GPS 수신기나 DR 센서에 의해 구해진 주행경로를 비교하여 차량이 어느 도로를 따라 이동하고 있는지를 판단함으로써 지도상에 차량의 보다 정확한 현재 위치 및 주행경로를 결정할 수 있게 하는 방법이다. 이때 도로망을 하나의 탐색공간으로 보고 측정 위치에 가장 가까운 길 또는 차량이 지금 그 위에서 주행하고 있을 것이라고 여겨지는 도로를 선택하기 위해, 각 도로까지의 거리를 계산하여 탐색영역 내에 있는 도로들 중에서 차량의 방향각과 도로의 방향각이 가장 유사한 도로를 결정하면 된다.

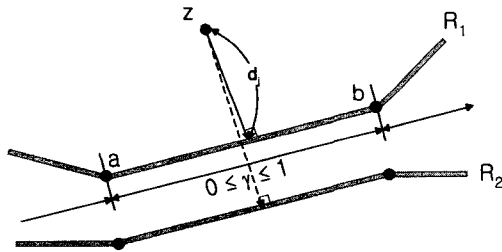


그림 2. 최단거리를 이용한 지도매칭법
Fig. 2. Map-matching method using shortest distance.

그림 2에서와 같이 최단거리를 이용한 지도매칭법은 GPS 수신기나 DR 센서의 측정위치 z 에서 도로 R_i ($i = 1, 2, \dots$)까지의 최단거리를 구하여 실제 주행 중인 경로를 결정하는 것이다. 이것을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i = \min_{0 \leq \gamma \leq 1} d(z, x_i(\gamma)) \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

그리고

$$R_i = \{x_i(\gamma) \mid x_i(\gamma) = a + \gamma(b - a), 0 \leq \gamma \leq 1\}$$

여기서,

$$a = [x_i \ y_i]^T, \quad b = [x_{i+1} \ y_{i+1}]^T$$

여기서 d_i 는 측정위치 z 에서 각 도로까지의 최단거리이며, $x_i(\gamma)$ 는 도로 R_i 의 양 끝 노드, 즉 시작점 노드 a 와 끝점 노드 b 를 포함하는 선분을 나타낸다. γ 는 시작점 노드 a 와 끝점 노드 b 의 거리, 즉 링크의 길이를 1로 보았을 때 시작 노드 a 로부터의 위치를 결정하는 요소이다. 이때 차량의 방향각 정보를 이용하여 각 도로의 방향각과 비교한다면 보다 정확하고 신뢰성 있는 경로를 결정할 수 있을 것이다. 그러므로 앞에서 구한 위치 정보만을 고려한 최단거리 d_i 에 차량의 방향각 정보까지 고려한 최단거리 D_i 를 구하는 수학적 공식은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$D_i = \sqrt{(q_1 \cdot d_i)^2 + (q_2 \cdot \Delta\phi_i)^2} \quad i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

여기서

$$\Delta\phi_i = \phi_u - \phi_i$$

차량의 방향각(ϕ_u)과 도로의 방향각(ϕ_i)의 차

q_1, q_2 : d_i 와 $\Delta\phi_i$ 의 가중치

본 논문에서는 위치 정보만을 고려한 최단거리 d_i 가 같을 경우에 방향각 정보까지 고려한 최단거리 D_i 를 구하여 경로를 결정하였으며, q_1 과 q_2 를 이용하여 가중치를 다르게 설정할 수 있도록 하였다. 이와 같이 최단거리와 방향각 정보를 이용한 지도매칭 알고리즘은 도로탐색을 수행하여 최단거리를 갖는 경로를 찾고, 그 경로 위로 현재의 측정치를 정사영시키는 방법을 반복적으로 수행하는 것이다. 이때 중요한 것은 도로탐색에 소요되는 연산시간인데, 이 경우 연산시간의 대부분은 최단거리를 갖는 도로탐색을 수행하는 데 소요되므로, 이를 최소화하기 위하여 가능한 한 항법 루틴의 처음

에만 도로탐색을 수행하고, 차량의 주행 경로와 위치가 정해지면 이전에 계산된 도로와 지도매칭된 위치를 이용하여 도로탐색을 간단히 수행한다. 즉 polyline의 구조로 되어있는 디지털 도로지도 데이터의 연결성(connectivity)을 고려하여 도로를 탐색하므로 그 소요 시간이 현저히 줄어들게 된다.

한편, GPS 수신기나 DR 센서에서 측정된 데이터를 최단거리와 방향각 정보를 이용한 지도매칭 알고리즘에 직접 적용하는데는 다음과 같은 두가지 문제점이 있다. 첫째, 수신된 데이터가 주행중인 도로에서 많이 벗어나게 되는 경우에 차량의 정확한 위치를 결정하기 힘들다. 둘째, 연속적으로 오차가 심하게 나타나는 경우에 경로와 위치의 결정이 잘못될 수 있으며, 또한 도로의 연결성에 의한 도로탐색을 수행할 수 없다. 일반적으로 연속된 두 샘플링 시각 사이에서 상태변수가 시간상수가 아닌 상태잡음에 의해 유도되는 동적 프로세서이고, 상태잡음과 측정잡음이 정규분포를 가진다면, 칼만 필터를 이용하여 최적의 추정을 수행할 수 있음은 널리 알려진 사실이다^{7, 9}. 그러므로 본 논문에서는 알고있는 도로 위를 주행하는 차량의 운동을 모델링한 후 칼만 필터를 적용하여 위치, 속도, 방향각을 추정함으로써 위와 같은 문제점을 해결하였다.

IV. 제안한 지도매칭 알고리즘

1. 차량의 운동 모델링에 대한 칼만 필터 적용

일반적으로 주행중인 차량은 주어진 도로위에서 움직이므로 선형 운동을 한다고 가정할 수 있다. 그러므로 시간 t_k 에서 차량이 지나는 도로의 방향각 ϕ_i 에 대한 차량의 위치, 속도, 방향각 정보를 추정함으로써 현재 주행중인 경로에 대한 차량의 위치를 결정할 수 있다. 이와 같은 차량의 운동 모델로서 표적추적 필터의 경우 많이 사용되고 있는 Singer 모델을 이용하였고, 이에 대한 상태방정식을 식 (3)과 식 (4)로 나타내었다¹⁰.

$$\dot{\mathbf{x}}(t_k) = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x}(t_k) + \mathbf{G} \cdot u(t_k) \quad (3)$$

여기서

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \sin \phi_i & 0 \\ 0 & 0 & \cos \phi_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ k \end{pmatrix} \quad (4)$$

그리고

$\mathbf{x}(t_k)$: x 축의 위치, y 축의 위치, 차량의 속도, 차량의 방향각을 나타내는 상태벡터, $[x(t_k) \ y(t_k) \ v(t_k) \ \phi_u(t_k)]^T$

$u(t_k)$: 차량에 가해지는 단위 백색잡음 입력 (unity white noise input)

ϕ_i : 현재 주행중인 도로의 방향각

k : 속도의 변화량

위의 모델링은 현재 주행 중인 도로에 대한 방향각 결정이 선행되어야 한다. 그러므로 지도매칭 알고리즘의 처음에는 앞에서 언급한 기본적인 지도매칭 알고리즘을 이용하여 초기 도로를 탐색함으로써 도로의 방향각을 알 수 있다. 그 이후는 도로의 연결성에 의해 다음 주행 경로의 방향각을 이용하게 된다.

식 (3)의 상태방정식을 이산 시간에서의 상태방정식으로 변환시키면 식 (5)과 같다.

$$\mathbf{x}_{k+1} = \Phi_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k, \quad \mathbf{w}_k \sim N(0, \mathbf{Q}_k) \quad (5)$$

여기서 \mathbf{x}_k 는 시각 t_k 에서의 상태벡터 $\mathbf{x}(t_k)$ 이고, Φ_k 는 시각 t_k 에서 t_{k+1} 로의 상태천이행렬을 나타내며, \mathbf{w}_k 는 상태잡음으로 평균이 0이고 공분산 행렬이 \mathbf{Q}_k 인 가우시안 확률 분포를 의미한다. 이때 상태천이행렬 Φ_k 와 공분산 행렬 \mathbf{Q}_k 는 각각 식 (6), (7)와 같이 구할 수 있다.

$$\Phi_k = \mathcal{L}^{-1} \{ [s\mathbf{I} - \mathbf{F}]^{-1} \}_{t=\Delta t} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta t \sin \phi_i & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t \cos \phi_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{Q}_k = E[\mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^T]_{t=\Delta t} = [(\Phi_k \mathbf{G}) \cdot (\Phi_k \mathbf{G})^T]_{t=\Delta t} = \begin{pmatrix} \Delta t^2 k^2 \sin^2 \phi_i & \Delta t^2 k^2 \sin \phi_i \cos \phi_i & \Delta t k^2 \sin \phi_i & 0 \\ \Delta t^2 k^2 \sin \phi_i \cos \phi_i & \Delta t^2 k^2 \cos^2 \phi_i & \Delta t k^2 \cos \phi_i & 0 \\ \Delta t k^2 \sin \phi_i & \Delta t k^2 \cos \phi_i & k^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

여기서 GPS 수신기는 1초 간격으로 데이터를 수신하므로 샘플링 시간 Δt_k 는 1이다. 그리고 GPS 수신기나 DR 센서로부터 수신된 위치와 속도 등의 측정값을 나타내는 측정방정식은 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$z_k = Hx_k + v_k, \quad v_k \sim N(0, R_k) \quad (8)$$

여기서 z_k 는 시각 t_k 에서 차량의 x, y 축의 위치, 속도, 방향각의 측정값이고, H 는 측정값과 상태벡터와의 관계를 나타내는 측정방정식을 나타내며, v_k 는 평균이 0이고 공분산 행렬이 R_k 인 가우시안 확률분포를 갖는 측정잡음을 의미한다. 여기서 각 측정값이 서로 상관성이 없다고 가정을 한다면 R_k 는 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_k = \begin{pmatrix} \sigma_{xx}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yy}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{vv}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\theta\theta}^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 $\sigma_{xx}^2, \sigma_{yy}^2, \sigma_{vv}^2, \sigma_{\theta\theta}^2$ 는 각각 x, y 축의 위치, 속도, 방향각의 측정값에 대한 공분산값을 나타낸다.

이와 같은 차량의 운동 모델링을 이용하여 상태방정식과 측정방정식을 세울 수 있다. 따라서 차량의 운동 모델링에 대하여 주행중인 차량의 위치, 속도, 방향각 정보의 추정값 \hat{x}_k 은 식 (5)의 상태방정식과 식 (8)의 측정방정식을 기반으로 칼만 필터링을 수행하여 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 칼만 필터링에 의해 추정된 위치는 도로 위의 한점으로 위치하게 된다. 일반적인 직선 도로에서는 연결점을 이용하여 차량의 주행 경로를 결정하는데 어려움이 없다. 그러나 교차로에서의 경우 알고 있는 도로의 방향각이 여러개이므로 차량의 진행 경로를 미리 판단해야만 하는 문제가 있다. 즉 본 논문에서는 결정된 도로 위에 있는 차량에 대해서 모델링하였기 때문에 경로가 결정되지 않은 상태에서는 잘못된 위치를 추정할 수 있다. 그러므로 교차로에서 차량의 주행 경로를 결정하는 새로운 알고리즘이 필요하다.

2. 선형회귀를 이용한 교차로에서의 경로 결정

교차로가 있는 경우, 앞에서 설명한 기본적인 지도매칭 알고리즘이나 칼만 필터를 이용한 지도매칭 알고리즘을 직접 적용하기가 힘들다. 따라서 그림 3과 같이

칼만 필터링에 의해 추정된 차량의 추정 진행 방향각 $\hat{\phi}_u$ 와 디지털 도로지도 데이터에 의한 각 도로 R_i ($i = 1, 2, \dots$)와의 방향각 ϕ_i ($i = 1, 2, \dots, M, M$ 은 경로의 수)를 비교하여 교차로에서 현재 주행중인 도로를 결정한다.

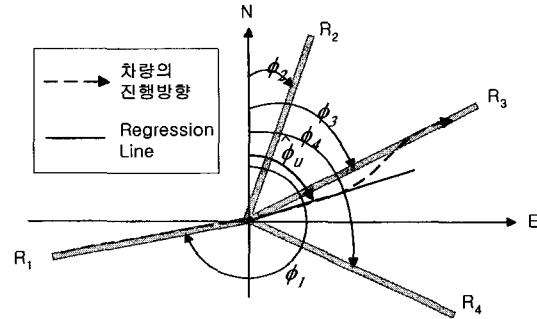


그림 3. 진행방향과 도로의 방향각을 비교하는 방법
Fig. 3. Comparison of progress-direction angle and road-direction angle.

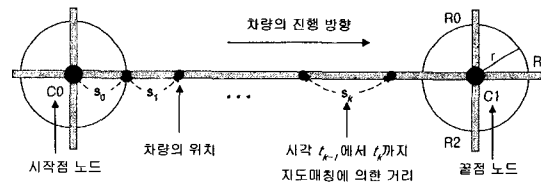


그림 4. 교차로 판단의 원리
Fig. 4. Principle of crossroad detection.

이때 먼저 선행되어야 하는 것이 교차로의 여부를 판단하는 것이며, 이 과제가 교차로에서의 지도매칭 알고리즘의 성능을 좌우한다고 할 수 있겠다. 본 논문에서는 그림 4와 같이 차량이 현재 주행중인 링크의 시작점 노드 C0과 끝점 노드 C1과의 거리를 미리 계산한다. 그리고 현재 주행중인 도로의 시작점 노드 C0로부터 차량의 주행거리를 누적한 값 $\sum_{j=0}^k s_j$ 를 이용하여 끝점 노드를 중심으로 한 반경 r 안으로의 진입 여부에 따라 교차로 여부를 판단하고자 한다. 여기서 s_j ($j = 0, 1, \dots, k$)는 시각 t_{j-1} 에서 t_j 까지 지도매칭에 의한 거리를 나타낸다. 한편, 교차로 판단의 임계값이라고 할 수 있는 반경 r 은 도로지도 데이터 자체의 오차, 차량의 주행 속도 등을 고려하여 설정해야만 효과적이고 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 이때 표준안에

구정된 축척별 최대허용오차는 1:5,000과 1:25,000 축척의 경우 각각 7m와 35m이다^[8].

이와 같이 교차로가 감지되면, 차량이 교차로에 도달했다는 가정을 하고 현재 위치를 교차로의 중심에 위치시킨다. 이때부터 교차로에서의 지도매칭 알고리즘이 시작된다. 이 알고리즘을 수행하기 위해서는 먼저 디지털 도로지도에서 진행 가능한 각 도로에 대하여 시작점 노드를 중심으로 북쪽에서 시계방향으로의 방향각 ϕ_i 를 미리 계산해 둔다. 다음으로 칼만 필터링에 의한 추정값 \hat{x}_k 에서 x 축의 위치, y 축의 위치, 즉 \hat{x}_k 와 \hat{y}_k 를 선형회귀방법으로써 선형화시키고, 각 선분의 정북을 기준으로 한 방향각을 계산한다. 이것이 차량의 추정 진행 방향각 $\hat{\phi}_u$ 가 된다.

선형회귀를 거친 값 \hat{y}_k 는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있고, \hat{y}_k 와 칼만 필터링에 의한 추정값 \hat{y}_k 사이의 오차 ϵ_k 는 식 (11)와 같이 표현된다^[11].

$$\hat{y}_k = m \hat{x}_k + n \tag{10}$$

$$\epsilon_k = \hat{y}_k - \hat{y}_k \tag{11}$$

ϵ_k 에 대한 MSE (Mean Square Error)는 식 (12)으로 표시되며, 이를 최소로 하는 상수 m , n 이 식 (10)를 최적의 관계식으로 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{MSE} &= E[\epsilon^2] = E\left[\sum_{i=1}^k \epsilon_i^2\right] = E\left[\sum_{i=1}^k (\hat{y}_i - \hat{y}_i)^2\right] \\ &= E\left[\sum_{i=1}^k \{\hat{y}_i - (m \hat{x}_i + n)\}^2\right] \end{aligned} \tag{12}$$

식 (12)을 m , n 에 대해 각각 미분하여 0이 되게 하는 \hat{m} , \hat{n} 은 각각 식 (13), (14)로 구해진다.

$$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^k (\hat{x}_i \hat{y}_i - E[\hat{x}]E[\hat{y}])}{\sum_{i=1}^k (\hat{x}_i^2 - E[\hat{x}]^2)} \tag{13}$$

$$\hat{n} = E[\hat{y}] - mE[\hat{x}] \tag{14}$$

여기서,

$$E[\hat{x}] = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{x}_i, \quad E[\hat{y}] = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{y}_i$$

즉, 식 (13)와 (14)에 의한 \hat{m} 과 \hat{n} 을 적용하면 식 (10)을 최적으로 선형화시킬 수 있다. 그런데 여기서 요구되는 것은 칼만 필터링에 의한 추정값을 이용하여 차량의 추정 진행 방향각을 알기 위한 것이므로, 회귀선(regression line)의 기울기만 알면 차량의 추정 진행 방향각을 구할 수 있다. 그러므로 칼만 필터와 선형회귀에 의한 차량의 추정 진행 방향각은 식 (15)와 같이 구해진다.

$$\hat{\phi}_u = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \hat{m}, & \hat{m} \geq 0 \\ \frac{3\pi}{2} + \tan^{-1} \hat{m}, & \hat{m} < 0 \end{cases} \tag{15}$$

이와 같이 구한 차량의 진행 방향각 $\hat{\phi}_u$ 와 각 도로의 방향각 ϕ_i 와의 차이가 선택 임계치 μ_l 이하가 되면 그때의 방향각에 해당하는 경로 M을 선택하고, 한편 폐기 임계치 μ_h 이상으로 올라가면 그때의 방향각에 해당하는 경로 M을 폐기한다. 그리고 두 개의 임계치 사이값에 해당된다면 계속해서 위의 과정을 반복하여 수행함으로써 가장 적절한 경로를 선택할 수 있다.

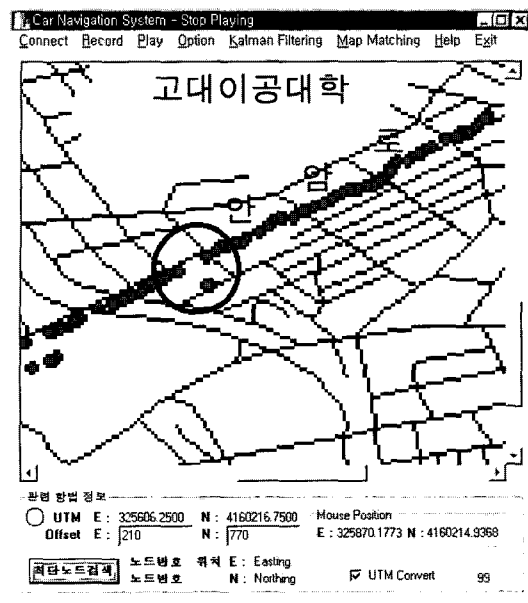
$$\begin{aligned} &|\hat{\phi}_u - \phi_i| \leq \mu_l : \\ &\hat{\phi}_u \text{에 해당하는 경로 M을 선택} \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} &|\hat{\phi}_u - \phi_i| > \mu_h : \\ &\hat{\phi}_u \text{에 해당하는 경로 M을 폐기} \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} &\mu_l < |\hat{\phi}_u - \phi_i| \leq \mu_h : \\ &\text{알고리즘을 계속 수행} \end{aligned} \tag{18}$$

이때 선택 임계치 μ_l 을 너무 작게 하면 경로 결정의 정확도는 증가하지만, 판단시간이 오래 걸릴 것이고, 반면에 폐기 임계치 μ_h 를 너무 작게 하면 판단시간은 줄어들지만, 오판 확률이 높아지게 된다. 그러므로 임계치를 적절하게 설정하기 위해 여러 번의 실험을 통해 설정해야만 한다.

앞서 언급한 바와 같이 차량은 교차로에서 서서히 움직인다고 볼 수 있으므로 한 순간의 방향각을 가지고 경로를 판단한다는 것은 오판을 일으킬 확률이 높아진다. 그러므로 위의 알고리즘을 시작할 때 연결선에 의해 결정된 경로들을 메모리에 저장시킨 후, 다음 진



(a)



(b)



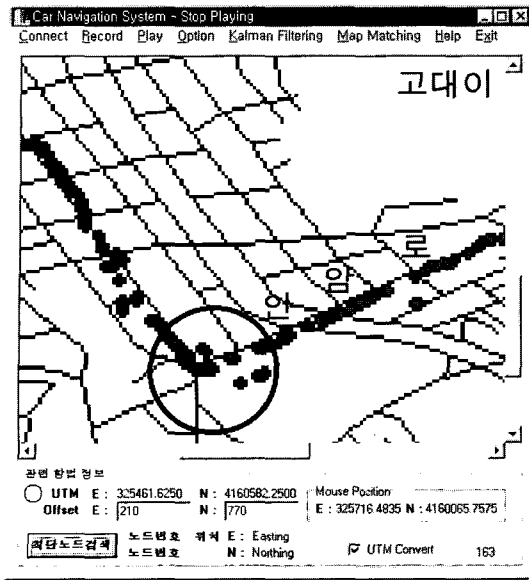
(c)

그림 5. 직진 주행 실험 결과

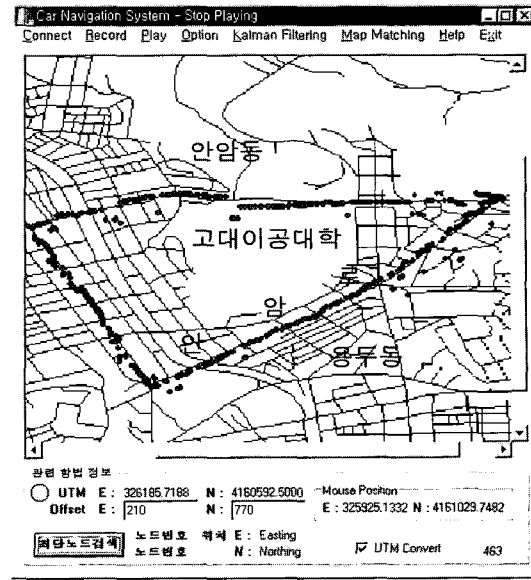
- (a) GPS 수신기만에 의한 차량의 주행궤적
- (b) 지도매칭 알고리즘(최단거리와 방향각 적용)에 의한 차량의 주행궤적
- (c) 지도매칭 알고리즘(칼만 필터 적용)에 의한 차량의 주행궤적

Fig. 5. Simulation results of straight road travelling.

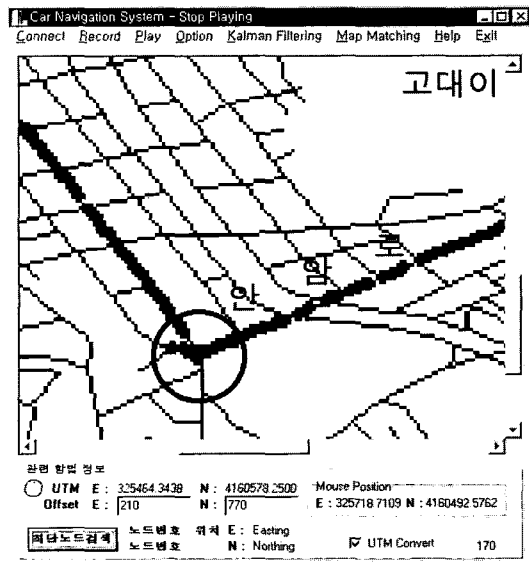
- (a) Travelling trace of vehicle by GPS receiver.
- (b) Travelling trace of vehicle by map-matching algorithm(using shortest distance and heading)
- (c) Travelling trace of vehicle by map-matching algorithm(with Kalman filter)



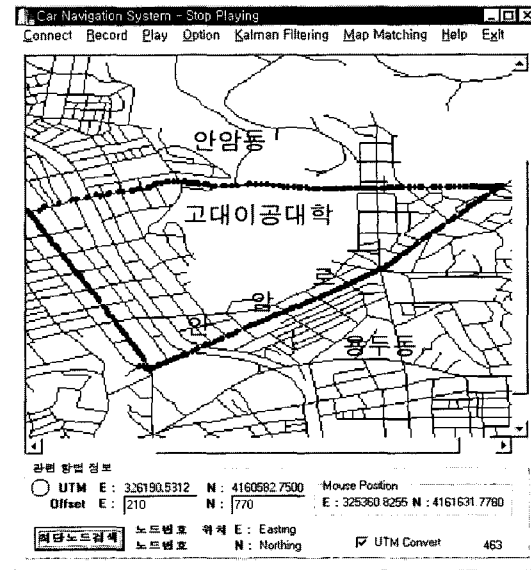
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7. 교차로 주행 실험 결과 2

- (a) GPS 수신기에 의한 차량의 주행궤적
- (b) 제안한 지도매칭 알고리즘에 의한 차량의 주행궤적

Fig. 7. Simulation result (2st case) of crossroad travelling.

- (a) Travelling trace of vehicle by GPS receiver.
- (b) Travelling trace of vehicle by map-matching algorithm.

그림 8. 전체도로주행에 대한 실험결과

- (a) GPS 수신기에 의한 차량의 주행궤적
- (b) 제안한 지도매칭 알고리즘에 의한 차량의 주행궤적

Fig. 8. Simulation result of whole road travelling.

- (a) Travelling trace of vehicle by GPS receiver.
- (b) Travelling trace of vehicle by map-matching algorithm.

그림 8은 실험한 도로의 전체 주행궤적을 나타내고 있다. 그림 8(a)는 GPS 수신기에서 얻은 위치를 그대로 지도상에 나타낸 것으로, 일반 직진 주행에서도 도로를 벗어나는 주행궤적을 자주 보여준다. 특히 교차로에서는 주행도로를 벗어났다가 다시 돌아오는 주행궤적을 보이고 있다. 그림 8(b)는 본 논문에서 제안한 지도매칭 알고리즘을 적용한 결과를 보이고 있다. 즉, 초기 시작점에서는 기본적인 지도매칭 알고리즘을 이용하여 현재 차량의 위치와 경로를 결정하였고, 그 이후에는 결정된 경로의 방향각과 차량의 위치를 이용하여 차량의 위치를 표시하였다. 따라서 교차로가 인지되기 전까지는 칼만필터를 이용하여 차량의 위치를 결정하고, 교차로가 인지되면 교차로에서의 경로를 차량의 위치와 경로의 방향각을 이용하여 판단한 후 다시 칼만필터를 이용한 알고리즘을 적용하여 그림 8(b)와 같이 올바른 경로를 판단함을 확인 할 수 있다.

이와같은 방법으로 같은 주행도로를 50회에 걸쳐 테스트한 결과 총 교차로 49개에서 잘못된 경로를 결정 한 경우를 표 2에 나타내었다.

표 2. 교차로에서 잘못된 경로를 결정한 횟수
Table 2. Number of mismatching in the crossload.

잘못된 경로로 판단된 교차로 수(개)	0	1	2	총계
잘못된 경로를 판단한 횟 수(회)	42	5	3	50

IV. 결 론

본 논문에서는 차량항법장치에서 반드시 필요한 기능인 지도매칭법을 위하여 차량의 위치 결정 기능의 정확도를 향상시키고, 사용자에게 필요한 주행 정보를 제공할 수 있는 새로운 지도매칭 알고리즘을 제안하였다.

제안한 지도매칭 알고리즘은 GPS에서 수신된 불규칙적인 데이터에 칼만필터를 적용하여 도로 위를 주행 중인 차량의 위치, 속도, 방향각을 추정함으로써 효과적으로 지도매칭 알고리즘을 수행할 수 있었고, 또한 거의 모든 경로에서 올바른 위치를 결정함을 보였다.

그리고 노드가 많은 복잡한 도심의 주행시에는 교차로에서 실제의 주행경로를 결정하기가 어려우므로 칼만필터링에 의해 추정된 위치값을 선형회귀 시킨 후

차량의 추정 진행 방향각을 결정하여 교차로에 연결된 각 도로와의 방향각을 비교함으로써 올바른 경로를 결정하였다. 그 결과 경로 결정에 많은 시간이 소요되지 않았고, 거의 모든 교차로에서 올바른 경로를 결정함을 보였다.

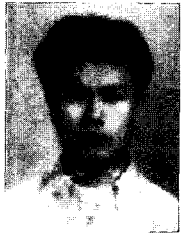
본 논문에서 제안한 알고리즘은 단일 경로를 주행중일 경우 칼만 필터링과 교차로 접근 여부만을 계산하며, 단일 경로가 아닌 교차로에서는 매우 간단한 알고리즘인 선형회귀를 이용하여 계산하기 때문에 연산량과 연산시간이 많이 소요되지 않아 실시간이 매우 중요하게 요구되는 차량항법장치에서 손쉽게 구현할 수 있다. 따라서 본 연구는 앞으로 최적경로 알고리즘과 함께 실용적이고 신뢰할 수 있는 차량항법장치의 구현에 기여할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Leich, *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [2] E. D. Kaplan, *Understanding GPS Principles and Application*, Artech House, Inc., 1996.
- [3] R. Conley, "An Overview of the GPS Standard Positioning Service Signal Specification," Proceedings of the 7th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 179-188, Sep. 20-23, 1994.
- [4] R. L. French, "Automobile Navigation: Where is it going?," Navigation, IEEE Press, pp. 101-107, 1990.
- [5] K. Ishikawa and M. Ogawa, "Map Navigation Software of the Electro Multivision of the '91 Tokyo Soarer," Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, IEEE Vehicular Technology Society, pp. 463-473, Oct. 1991.
- [6] C. Vlcek, "GPS/Dead Reckoning for Vehicle Tracking in the 'Urban Canyon' Environment," Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, IEEE Vehicular Technology Society, pp. A34-A41, Oct. 1991.
- [7] R. G. Brown, and P. Y. C. Hwang,

- Introduction to Random Signals and Applied Kalman filtering*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [8] 이수영, "항법용 수치지도지도의 개발," 제1회 교통안전 신기술 개발 활용을 위한 국제 심포지움, pp. 61~72, 1996
- [9] Richard A. Haddad and Thomas W. Parsons, *Digital Signal Processing Theory, Applications, and Hardware*, Computer Science Press, 1991.
- [10] 민병윤, 권오규, "FIR필터를 이용한 기동표적의 추적," 제4차 유도무기 학술대회 논문집, pp. 144~149, 1994
- [11] K. S. Shanmugan, and A. M. Breipohl, *Random Signals Detection, Estimation and Data Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., 1988.

 저자 소개



任永煥(正會員)

1972年 1月 10日生. 1996年 2月 국민대학교 공과대학 전자공학과(공학사). 1998年 2月 국민대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 주관심분야는 디지털 위성방송, 디지털 영상 신호처리 등임.



朴光哲(正會員)

1969年 11月 14日生. 1995年 2月 국민대학교 공과대학 전자공학과(공학사). 1997年 2月 국민대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1997年 3月~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 디지털 신호처리 등임



尹基邦(正會員)

1976年 2月 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1981年 2月 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999年 2月 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1981年 3月~현재 인천전문대학 전자과 교수. 주관심분야는 전자파측정 및 디지털 신호처리 등임



金基斗(正會員)

1957年 12月 17日生. 1980年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업(학사). 1988年 8月 The Pennsylvania State University 전자공학과 석사 학위 취득. 1990年 12월 The Pennsylvania State University 전자공학과 박사학위 취득. 1980年 3月~1985년 12월 국방과학 연구소 연구원. 1998年 2月~1999년 2월 UC, San Diego 연구교수. 1991年 3月~현재 전자공학부 부교수. 주관심분야는 디지털신호처리, CDMA통신방식 이론 및 응용 등임