

자동차 센서와 자동차 간 통신의 융합 측위 알고리즘

아디타 바위유가*, 응엔 호아 흥*, 정 한 유°

A Fusion of Vehicle Sensors and Inter-Vehicle Communications for Vehicular Localizations

Adhitya Bhawiyuga*, Hoa-Hung Nguyen*, Han-You Jeong°

요 약

자동차 측위 기술은 충돌 경고, 적응형 주행 제어 등의 다양한 지능형 자동차 서비스들을 제공하는데 있어 필수적인 기술이다. 본 논문에서는 자동차에 장착된 레이더 등의 센서로부터 수신하는 주변 자동차들의 상대적 위치 정보와 자동차 간 통신을 통해 수신하는 주변 자동차들의 GPS 측위값을 융합하여 자기 자동차의 측위 정확도를 향상하는 융합 측위 알고리즘을 제시한다. 제안하는 알고리즘은 탐욕적 측위 데이터 매핑 알고리즘과 융합 측위 보정 알고리즘으로 구성된다. 전자는 거리를 기반으로 GPS 측위값과 센싱 측위값을 대응시키고, 후자는 대수 법칙에 기반하여 자기 자동차의 GPS 측위값을 보정한다. 시뮬레이션을 통해 융합 측위 알고리즘의 RMS 측위 정확도가 기존의 GPS 기반 RMS 측위 정확도에 비해 종방향으로 30 % 이상, 횡방향으로 60 % 이상 향상할 수 있음을 보였다.

Key Words : 자동차 측위, GPS, 자동차 센서, 자동차 간 통신, 융합 측위 알고리즘

ABSTRACT

A vehicle localization technology is an essential component to support many smart-vehicle applications, e.g. collision warning, adaptive cruise control, and so on. In this paper, we present a new vehicle localization algorithm based on the fusion of the sensing estimates from the local sensors and the GPS estimates from the inter-vehicle communications. The proposed algorithm consists of the greedy location data mapping algorithm and the position refinement algorithm. The former maps a sensing estimate with a GPS estimate based on the distance between themselves, and then the latter refines the GPS estimate of the subject vehicle based on the law of large numbers. From the numerical results, we demonstrate that the accuracy of the proposed algorithm outperforms that of the existing GPS estimates by at least 30 % in the longitudinal direction and by at least 60 % in the lateral direction.

I. 서 론

최근 들어 ICT (Information and Communication Technology) 기술이 비약적으로 발전함에 따라 자동

차의 안전성과 주행성을 향상하기 위한 다양한 지능형 자동차 (Smart Vehicle) 기술들이 자동차에 적용되고 있다. 이러한 기술들은 카메라, 레이더 등의 자동차 센서를 통해 도로 환경을 인지하고, CAN/FlexRay

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

♦ 주저자 : 부산대학교 물류IT학과, adhitya.bhawiyuga@gmail.com, 학생회원

° 교신저자 : 부산대학교 차세대물류IT기술연구사업단, hyjeong@pusan.ac.kr, 중신회원

* 부산대학교 물류IT학과, nguyenhoahungit@gmail.com, 학생회원

논문번호 : KICS2012-05-238, 접수일자 : 2012년 5월 3일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 25일

등의 자동차 내부 통신망을 통해 정보를 신속하고 안전하게 전달하며, 최종적으로 이를 분석하여 자동차를 제어함으로써, 도로 주행의 안전성과 편의성을 향상시키는데 그 목적이 있다^{1,2}. 예를 들어, 적응형 주행제어 (Adaptive Cruise Control; ACC), 주차 보조, 차선 이탈 경고 등의 기술들이 이미 상용화되어 널리 사용 중이다.

한편, 1999년 미국 연방통신위원회는 5.9 GHz 의 75 MHz 대역폭을 도로 교통의 안전성을 향상하기 위한 자동차 통신에 사용하도록 결의함으로써 자동차 통신 기술에 대한 연구가 활발히 진행되었다^{2,3}. 자동차 통신에서는 도로 상의 예외적인 상황을 다중 홉 중계를 통해 전파하는 안전 메시지(Safety Message)와 주변 자동차의 위치 및 주행 정보를 주기적으로 방송하는 비컨 메시지(Beacon Message)의 효율적인 전달을 목표로 한다. 이를 위해, IEEE 802.11 표준화 워킹 그룹에서는 IEEE 802.11의 MAC 프로토콜에서 초기 접속 절차를 단순화하고 Outside the Context of BSS (OCB) 기능을 지원하는 IEEE 802.11p 표준을 확정하였다⁴. 뿐만 아니라 네트워크 계층 및 서비스의 원활한 제공을 위해 IEEE 1609.x 표준들도 함께 정의되었다.

위에서 언급한 다양한 지능형 자동차 서비스를 성공적으로 제공하기 위해서 필수적인 기술이 자기 자동차와 주변에 위치한 자동차들의 위치를 정확하게 측정하는 자동차 측위 기술이다. 논문 [5]에서는 몬테 카를로 수치해석을 통해 자동차 충돌 방지 서비스를 위한 종방향 (Longitudinal) Root-Mean-Square (RMS) 측위오차와 횡방향(Lateral) RMS 측위오차에 관한 조건을 도출하였다. 그런데, 위성들의 위치, 전리층과 대류권에서의 오차, 다중경로 전파 등으로 인해 RMS 측위오차가 매우 크게 나타난다⁶⁻⁸. 이러한 문제를 해결하기 위하여 일반적으로 고정밀 Differential GPS (DGPS) 수신기를 널리 사용한다^{3,9-11}. DGPS 수신기는 위성에서 송출하는 GPS 신호와 지상 관측소에서 방송하는 GPS 오차보정 정보를 함께 수신하여 측위 정확도를 향상시킨다. 논문 [9]에서는 자동차 측위오차를 줄이기 위해 자동차 센서와 DGPS 수신 정보를 기반으로 칼만 필터를 설계하는 방법을 제시하였다. 논문 [10]에서는 주변 자동차들의 위치를 추적하기 위한 다양한 비컨 메시지의 방송 알고리즘을 제안하였다. 논문 [11]에서는 자동차간 통신의 비컨 메시지들을 기반으로 주변 자동차들의 차선 정보를 결정하는 마코프 측위 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 자동차 센싱 데이터와 자동차 간 통

신 (Inter-Vehicle Communications; IVC) 데이터를 기반으로 자동차의 측위 성능을 향상시키는 융합 측위 알고리즘을 개발한다. 우선, 자동차에 장착된 센서에서 측정된 주변 자동차들의 상대적 거리와 자기 자동차의 GPS 수신 정보를 결합하여 주변 자동차들의 센싱 측위값들을 수집한다. 또한, 자동차 간 통신에서 방송하는 비컨 메시지 속에 포함된 주변 자동차들의 GPS 측위값들을 수집한다. 특정 자동차의 센싱 측위값과 GPS 측위값을 서로 대응하기 위해 본 논문에서는 탐욕적 (Greedy) 측위 데이터 매핑 알고리즘을 제시한다. 이를 기반으로 자기 자동차의 GPS 측위값을 주변 자동차들의 GPS 측위오차의 평균값으로 보정하는 융합 측위 보정 알고리즘을 제안한다. 대수 법칙 (Law of Large Numbers)에 의하면, 주변 자동차들 대수가 N 일 경우 자동차의 RMS 측위오차가 $1/\sqrt{N}$ 배만큼 감소하게 된다. 시뮬레이션 결과를 통해 융합 측위 보정 알고리즘이 기존의 GPS 기반 측위방식에 비해 자동차 측위 정확도를 횡방향으로 60 % 이상, 종방향으로 30 % 이상 향상함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GPS 수신기의 측위오차를 측정된 측위 실험 결과를 소개하고, 자동차 융합 측위 시스템 모형을 제시한다. 3장에서는 본 논문에서 해결하고자 하는 자동차 융합 측위 문제를 설명하고, 4장에서는 이를 해결하기 위한 자동차 융합 측위 알고리즘을 제시한다. 5장에서는 제시하는 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증한다. 마지막으로 본 논문의 결론을 6장에서 제시한다.

II. 자동차 융합 측위 시스템 모형

GPS 수신기는 자동차 네비게이션 등의 서비스를 지원하기 위해 많은 자동차들에 장착되고 있다. 뿐만 아니라, 무선 네트워크를 통하여 초기 측위 성능을 향상하는 Assisted-GPS (A-GPS) 수신기를 장착한 스마트폰도 네비게이션 서비스를 제공한다⁸. 그러나, 자동차에서 널리 쓰이는 GPS 수신기들의 RMS 측위오차는 대략 10 m에 이른다⁷. 본 장에서는 A-GPS 수신기 측위오차의 확률밀도함수(Probability Density Function; PDF)를 구하기 위한 간단한 실험을 통해 GPS 수신기의 측위오차를 측정한다. 이를 기반으로 자동차 측위 시스템 모형을 간단히 소개한다.

2.1 A-GPS 수신기의 측위오차

그림 1 (a)에서는 A-GPS 측위 실험을 수행한 부산대학교 과학기술연구동 옥상의 고정위치와 자체 개발

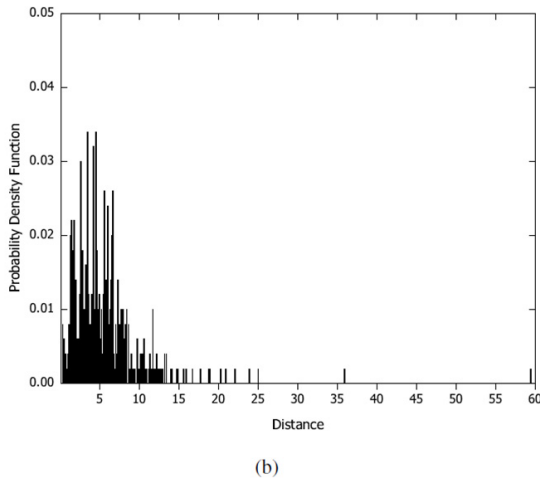


그림 1. A-GPS 수신기의 측위오차 실험: (a) 측위 장소 및 스마트폰 앱, (b) 측위오차의 확률밀도함수
 Fig. 1. The position error of an A-GPS receiver: (a) Experimental setup, and (b) PDF of the position error.

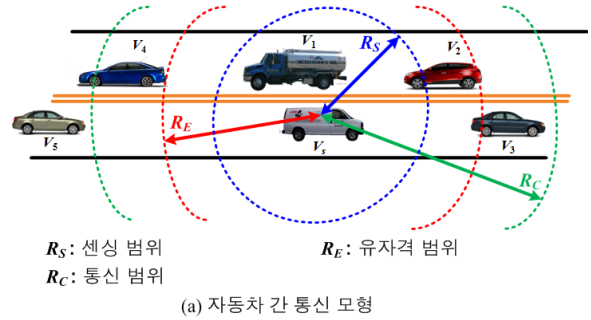
한 안드로이드 2.3 플랫폼 스마트폰 앱의 사진을 도시하였다. 그림에서 A-GPS 수신기의 위도와 경도 좌표는 다음과 같이 주어진다.

$$P_s = (x_s, y_s) = (35.238656N, 129.084520E)$$

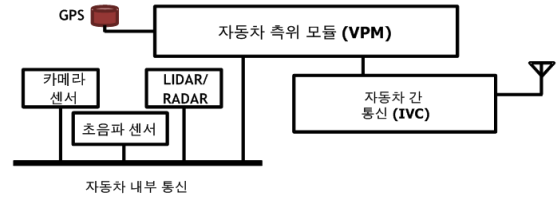
실험에서 스마트폰을 고정위치에 두고 반복적으로 500 개의 A-GPS 측위 샘플을 저장하는 실험을 수행하였다. 각각의 측위 샘플 \hat{P}_s 는 실제 위치 P_s 에 측위 오차를 모형화한 확률변수 $\tilde{P}_s = (X_s, Y_s)$ 를 더한 것과 같다.

$$\hat{P}_s = (\hat{x}_s, \hat{y}_s) = P_s + \tilde{P}_s = (x_s + X_s, y_s + Y_s) \quad (1)$$

수집한 A-GPS 측위 샘플을 기반으로 그림 1 (b)에서는 A-GPS 측위오차 $|\tilde{P}_s| = |\hat{P}_s - P_s|$ 의 확률밀도함수를 0.1 m 간격으로 그룹화하여 도시하였다. 그림에서 A-GPS 수신기의 측위오차 \tilde{P}_s 를 계산하기 위해 Haversine 공식을 사용하였다.



(a) 자동차 간 통신 모형



(b) 자동차 측위 시스템 내부 모형

그림 2. 자동차 측위 시스템 모형
 Fig. 2 Model for vehicular localizations

$$\sin\left(\frac{|\tilde{P}_s|}{2r}\right)^2 = \sin\left(\frac{\hat{x}_s - x_s}{2}\right)^2 + \cos x_s \cos \hat{x}_s \sin\left(\frac{\hat{y}_s - y_s}{2}\right)^2 \quad (2)$$

여기에서 r 은 지구의 반지름이다. 그림에서 측위오차가 20 m 이상으로 크게 나타나는 경우도 있지만, 95 퍼센트의 확률로 측위 샘플들의 오차가 12.5 m 이내로 수렴하는 것을 알 수 있다. 5 장의 시뮬레이션에서는 그림 1 (b)의 확률밀도함수를 기반으로 GPS 수신기의 측위오차에 대한 난수를 발생하여 융합 측위 알고리즘의 성능을 검증한다.

2.2 자동차 측위 시스템 모형

그림 2에서는 자동차 간 통신과 자동차 측위 시스템에 관한 모형을 도시하였다. 그림 2 (a)에서는 자동차 간 통신의 예를 도시하였다. 그림에서 도로 중앙에서 오른쪽 방향으로 진행하는 자기 자동차(Subject Vehicle)를 V_s 로 표기하고, 그 주변에서 주행하는 자동차들을 $V_i (1 \leq i \leq 5)$ 로 나타내었다. 최근, 자동차의 주행 안전성을 향상하기 위해 자동차 레이더 등의 다양한 자동차용 센서들이 자동차에 장착되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 자기 자동차 V_s 에 레이더 센서를 장착하여 주변에 위치한 자동차들의 상대 위치를 주기적으로 측정함을 가정한다. 센싱 범위 R_s 내에서 감지되는 자동차의 집합을 $N = \{V_1\}$ 으로 나타낸다. 또한, 5.9 GHz의 DSRC 채널에서 정의된 자동차 간 통신 기술을 통해, 자기 자동차 V_s 는 주변 자동차들

이 주기적으로 방송하는 비컨 메시지를 수신한다. 본 논문에서는 계산의 편의를 위해 DSRC 채널에서 데이터 손실이나 오류는 없다고 가정한다. 통신 범위 R_C 내의 비컨 메시지의 집합을 $\mathbf{K} = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ 로 나타낸다. 자동차 $V_k (1 \leq k \leq |\mathbf{K}|)$ 가 방송하는 비컨 메시지는 자동차 식별자 VID_k 와 GPS 측위값 $\hat{P}_k = (\hat{x}_k, \hat{y}_k)$ 를 포함한다. 자동차 환경에서 통신 범위 (~ 1 Km)가 센싱 범위(< 200 m)보다 크기 때문에, 본 논문에서 $|\mathbf{N}| < |\mathbf{K}|$ 임을 가정한다^[13,14].

그림 2 (b)에서는 자동차 내부의 측위 시스템 모형을 도시하였다. 자동차 측위 모듈(Vehicular Positioning Module; VPM)은 GPS 수신기로부터 자기 자동차의 측위값 $\hat{P}_s = (\hat{x}_s, \hat{y}_s)$ 를 주기적으로 수신한다. 또한, 자동차 센서로부터 감지된 주변 자동차 V_n 의 상대적 측위값 $P_{r,n} = (x_{r,n}, y_{r,n}) (1 \leq n \leq |\mathbf{N}|)$ 을 CAN/FlexRay 등의 자동차 내부 통신을 통해 수집한다. 자동차 측위 모듈은 자기 자동차 측위값 \hat{P}_s 과 상대 측위값 $P_{r,n}$ 을 결합하여 자동차 V_n 에 대한 센싱 측위값 $\hat{P}_{s,n} = (\hat{x}_{s,n}, \hat{y}_{s,n})$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$\hat{P}_{s,n} = \hat{P}_s + P_{r,n} = (\hat{x}_s + x_{r,n}, \hat{y}_s + y_{r,n}) \quad (3)$$

이와 더불어, 자동차 측위 모듈은 자동차 간 통신 모듈로부터 비컨 메시지에 포함된 주변의 자동차 V_k 의 측위값 $\hat{P}_{g,k}$ 를 수집한다. 수식 (1)에서 자동차 V_k 의 GPS 측위값 $\hat{P}_{g,k}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{P}_{g,k} = P_k + \tilde{P}_k = (x_k + X_k, y_k + Y_k) \quad (4)$$

계산의 편의를 위해 본 논문에서는 다음의 가정들을 추가적으로 설정한다.

- 1) 자동차 센서는 센싱 범위 내에 위치한 모든 자동차들을 감지할 수 있다. 또한, GPS 측위오차에 비해 자동차 레이더 센서가 감지하는 상대적 측위오차 (< 1 m)가 충분히 작기 때문에 본 논문에서 고려하지 않는다^[14].
- 2) 자동차 측위 모듈이 수집하는 GPS 측위 \hat{P}_s 와 센싱 정보 $P_{r,n}$, 그리고 비컨 메시지 측위 정보 $\hat{P}_{g,k}$ 는 GPS 기준시각으로 동기화된다. 2.1 절에서 A-GPS 수신기의 측위 주기는 $T_G = 1$ sec로 측정되었고, 논문 [13][14]과 IEEE 802.11p 표준

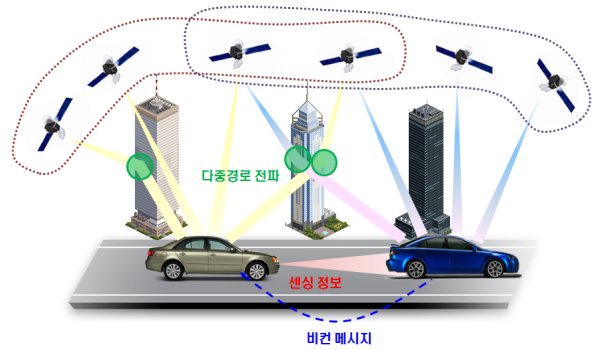


그림 3. 자동차 융합 측위 문제의 예
Fig. 3. Example of vehicular localization problem

[4]에서 자동차 레이더 및 비컨 메시지의 주기는 $T_s = T_C = 0.1$ 초로 동일하다. 따라서, 위의 세 가지 시점이 동기화되면 동일 시점의 측위 데이터를 활용하여 자동차 융합 측위를 수행할 수 있다.

III. 자동차 융합 측위 문제 정의

그림 3에서는 본 논문에서 정의하는 자동차 융합 측위 문제의 예를 도시하였다. 그림에서 자동차에 장착된 GPS 수신기는 최소 4개 이상의 위성들이 송출하는 GPS 신호를 수신하여 지연 시간을 측정함으로써 자신의 위치를 계산한다. 일반적으로 전리층과 대기권에서의 오차, 천체력과 위성 시계의 오차, 수신 위성들의 위치 등으로 인해 발생하는 GPS 측위오차는 특정 지역에 위치한 모든 자동차들에게 동일하게 발생하는 특징을 가진다^[6]. 그러나, 다중경로 전파로 인한 오차, GPS 수신기 노이즈 및 클럭 오차, 그리고 GPS 수신기가 선택한 위성들의 조합에 따라 발생하는 GPS 측위오차는 자동차마다 서로 다르게 나타난다. 이 때, 각각의 자동차는 임의의 GPS 측위오차를 가지게 되므로 이를 보정하는 것은 매우 어렵다.

본 논문에서는 후자의 GPS 측위 오차에 초점을 맞춘다. 다시 말해, 서로 다른 GPS 수신기의 측위 오차는 서로 독립이고, 동일한 확률분포를 따른다고 가정한다. 자동차 융합 측위 문제에서는 자동차의 측위 정확도를 향상하기 위해 자동차 센서와 자동차 간 통신 데이터를 융합하는 효율적인 방안을 구하고자 한다. 구체적으로 자동차 V_s 는 자동차 융합 측위 문제를 해결하기 위해 수식 (3)의 센싱 측위값과 수식 (4)의 GPS 측위값을 결합하여 GPS 측위오차 $|\tilde{P}_s| = |\hat{P}_s - P_s|$ 를 크게 줄이는 새로운 측위값 \hat{P}_s^* 를 구하는 것을 목표로 한다.

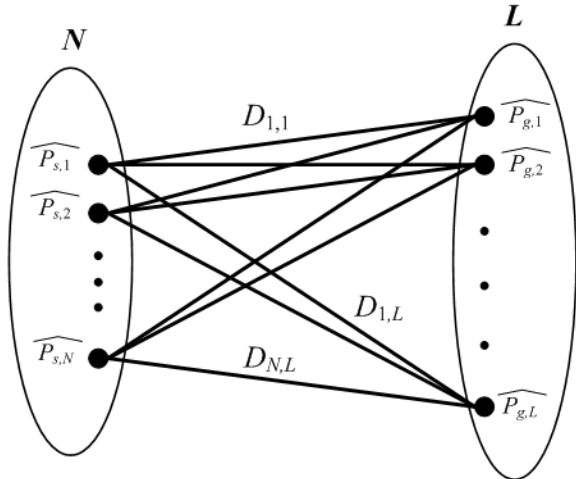


그림 4. 측위 데이터 매핑을 위한 이분할 그래프
Fig. 4. Bipartite graph for mapping of localization data

IV. 자동차 융합 측위 알고리즘

본 장에서는 자동차 측위 오차를 최소화하기 위한 자동차 센싱 데이터와 자동차 간 통신 데이터의 융합 알고리즘을 제시한다. 본 장에서 제시하는 자동차 융합 측위 알고리즘은 특정 자동차의 센싱 측위값과 GPS 측위값을 서로 대응시키는 측위 데이터 매핑 알고리즘과, 이를 기반으로 자기 자동차의 GPS 측위값 \hat{P}_s 를 보정하는 융합 측위 보정 알고리즘으로 구분된다. 각 알고리즘의 설계에 대한 자세한 설명은 아래에서 제시한다.

4.1 측위 데이터 매핑 알고리즘

2.2 절에서 자기 자동차 V_s 의 자동차 측위 모듈은 $|N|$ 개의 센싱 측위값과 $|K|$ 개의 GPS 측위값을 수신한다. 본 절에서는 각각의 센싱 측위값과 GPS 측위값을 일대일로 대응하고자 한다. 그런데, 그림 2 (a)에서 보인 것처럼 $|N| \ll |K|$ 이므로 모든 GPS 측위값을 고려하여 센싱 측위값과 대응시키는 것은 불필요한 연산을 초래하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 GPS 측위값 $\hat{P}_{g,k}$ 중에서 자기 자동차의 GPS 측위값 \hat{P}_s 와의 거리 $D_{s,k}$ 가 유자격 (Eligible) 범위 R_E 보다 작은 경우만 고려한다. 즉, 수식 (5)를 만족시키는 GPS 측위값만을 본 절에서 고려한다.

$$D_{s,k} = \sqrt{(\hat{x}_s - \hat{x}_k)^2 + (\hat{y}_s - \hat{y}_k)^2} \leq R_E \quad (5)$$

여기에서 유자격 범위 R_E 는 센싱 범위 R_S 에 GPS 측위오차를 고려한 마진 M 을 더한 값이다.

탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘

1. 이분할 그래프에서 최소의 가중치를 가지는 간선 $(\hat{P}_{s,n}^*, \hat{P}_{g,l}^*)$ 을 매칭에 포함시킨다.
2. 이분할 그래프에서 매칭에 포함된 $\hat{P}_{s,n}^*$ 와 $\hat{P}_{g,l}^*$ 에 연결된 모든 간선을 제거한다.
3. 집합 N 의 모든 원소들이 매칭에 포함될 때까지 위의 절차를 반복한다.

그림 5. 탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘
Fig. 5. Greedy matching algorithm for vehicular position estimates

$$R_E = R_S + M \quad (6)$$

예를 들어, 그림 2 (a)에서 수식 (5)를 만족하는 GPS 측위값의 집합을 $L = \{V_1, V_2\}$ 이다.

그림 4에서는 측위 데이터 매핑을 위하여 본 절에서 정의하는 이분할 그래프(Bipartite Graph)를 도시하였다. 이분할 그래프에서 집합 N 의 원소 $\hat{P}_{s,n}$ 과 집합 L 의 원소 $\hat{P}_{g,l}$ 사이의 간선(Edge)만이 존재한다. 이분할 그래프에서 원소 $\hat{P}_{s,n}$ 과 원소 $\hat{P}_{g,l}$ 을 연결하는 간선의 가중치(Weight)는 두 측위값들의 거리 $D_{n,l}$ 로 정의한다. 수식 (1)을 수식 (3)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{P}_{s,n} &= (\hat{x}_s + x_{r,n}, \hat{y}_s + y_{r,n}) \\ &= (x_s + x_{r,n} + X_s, y_s + y_{r,n} + Y_s) \\ &= (x_n + X_s, y_n + Y_s) \\ &= P_n + \tilde{P}_s \end{aligned} \quad (7)$$

수식 (4)와 수식 (7)에서 거리 $D_{n,l}$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$D_{n,l} = \sqrt{(x_n + X_s - x_l - X_l)^2 + (y_n + Y_s - y_l - Y_l)^2} \quad (8)$$

위의 식에서 $\hat{P}_{s,n}$ 과 $\hat{P}_{g,l}$ 이 동일한 자동차의 측위값일 경우, $x_n = x_l$ 이고 $y_n = y_l$ 이므로 수식 (8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{n,l} = \sqrt{(X_s - X_l)^2 + (Y_s - Y_l)^2} \quad (9)$$

따라서, 위의 이분할 그래프에서 측위 데이터 매핑

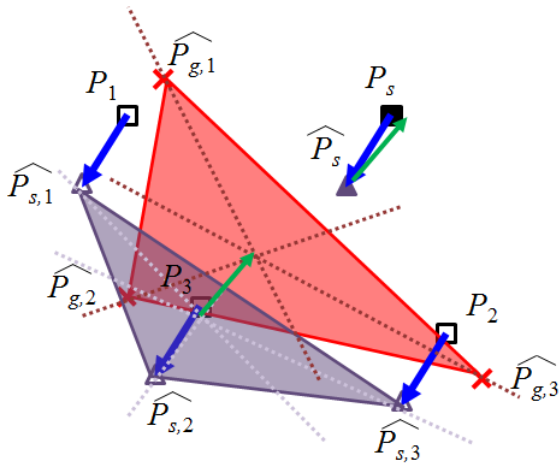


그림 6. 융합 측위 보정 알고리즘의 예
Fig. 6. Example of the position refinement algorithm

문제는 최소의 가중치 합을 가지는 그래프 매칭 (Graph Matching)을 도출하는 문제와 동일하다^[12]. 본 논문에서는 그림 5에서 제시하는 탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘을 사용하여 센싱 측위값과 GPS 측위값을 대응시킨다. 탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘에서는 최소의 가중치를 가지는 간선 ($\widehat{P}_{s,n}^*$, $\widehat{P}_{g,l}^*$)을 매칭에 포함시키고, 그 간선의 양 끝 정점(Vertex)과 연결된 모든 간선들을 제거하면서 매칭 공간을 줄이는 알고리즘이다. 탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘은 적은 계산 복잡도를 가지고 있어 빠른 시간 내에 지역 최적해 (Local-Optimal Solution)를 도출할 수 있는 효율적인 매칭 알고리즘이다.

4.2 융합 측위 보정 알고리즘

본 절에서는 4.1절에서 도출한 $|N|$ 개의 센싱 측위값과 GPS 측위값 쌍 ($\widehat{P}_{s,n}$, $\widehat{P}_{g,l}$)들을 기반으로 자기 자동차 V_s 의 GPS 측위 오차 \widetilde{P}_s 를 보정하여 자동차 측위 정확도를 향상하는 것을 목표로 한다. 표현 상의 간결성을 위해 본 절에서는 센싱 측위 인덱스 n 과 GPS 측위 인덱스 l 이 같다고 가정한다.

그림 6에서는 융합 측위 보정 알고리즘의 예를 도시하였다. 그림에서 사각형 표식은 자동차들의 실제 위치(P_s, P_i)를, 삼각형 표식은 센싱 측위값을, 그리고 X 표식은 GPS 측위값을 나타낸다. 또한, 파란색 벡터는 자기 자동차의 GPS 측위값에서 실제 위치를 뺀 GPS 측위 오차 \widetilde{P}_s 를 나타낸다. 보라색으로 나타낸 주변 자동차들의 센싱 측위값들을 서로 연결하면 센싱 측위값들로 구성된 다각형을 만들 수 있다. 그림에서 표시한 바와 같이 센싱 측위값으로 구성된 다각형

융합 측위 보정 알고리즘

1. 센싱 측위값으로 구성된 다각형의 무게 중심 $\overline{Z_{s,|N|}}$ 을 수식 (10)을 활용하여 계산한다.
2. GPS 측위값으로 구성된 다각형의 무게 중심 $\overline{Z_{g,|N|}}$ 을 수식 (11)을 활용하여 계산한다.
3. 자기 자동차의 최종 측위값 \widehat{P}_s^* 을 수식 (12)를 활용하여 계산한다.

그림 7. 융합 측위 보정 알고리즘
Fig. 7. Vehicular positioning refinement algorithm

은 주변 자동차의 실제 위치들로 구성된 다각형을 \widetilde{P}_s 만큼 평행이동시킨 도형임을 알 수 있다. 같은 방법으로 붉은색으로 표시한 GPS 측위값들을 서로 연결하여 GPS 측위값으로 구성된 다각형을 만든다. 각각의 GPS 측위값은 자동차의 실제 위치 P_i 에 임의의 GPS 측위오차 \widetilde{P}_i 를 더한 값과 같으므로 그림 6에서 보인 것처럼 임의의 패턴을 가지게 된다.

융합 측위 보정 알고리즘에서는 대수 법칙을 적용시키기 위해 각 도형들의 무게 중심을 계산한다. 각각의 다각형에서 무게 중심을 계산하는 것은 다각형의 모든 꼭지점들의 위치 평균을 구하는 것과 같다. 우선, 센싱 측위값들로 구성된 다각형의 무게 중심 $\overline{Z_{s,|N|}}$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{Z_{s,|N|}} &= \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \widehat{P}_{s,i}}{|N|} = \frac{\sum_{i=1}^{|N|} (P_i + \widetilde{P}_s)}{|N|} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{|N|} P_i}{|N|} + \widetilde{P}_s \end{aligned} \quad (10)$$

센싱 측위값으로 구성된 다각형은 모든 꼭지점들이 동일한 GPS 측위오차(\widetilde{P}_s)를 가지므로, 수식 (10)에서 나타낸 것처럼 자동차들의 위치 평균에 자기 자동차의 GPS 측위오차를 더해진 값과 같다. 같은 방법으로 GPS 측위값으로 구성된 다각형의 무게중심 $\overline{Z_{g,|N|}}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{Z_{g,|N|}} &= \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \widehat{P}_{g,i}}{|N|} = \frac{\sum_{i=1}^{|N|} (P_i + \widetilde{P}_i)}{|N|} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{|N|} P_i}{|N|} + \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \widetilde{P}_i}{|N|} \end{aligned} \quad (11)$$

GPS 측위값으로 구성된 다각형은 각 꼭지점들의 GPS 측위오차가 서로 독립이고 동일한 확률 분포를 따르므로 수식 (11)에서 나타난 것처럼 실제 자동차의 위치 평균에 $|N|$ 개 확률변수의 평균을 더한 값으로 나타낼 수 있다.

마지막으로 본 논문에서 제시하는 융합 측위 보정 알고리즘은 자기 자동차의 GPS 측위값 \hat{P}_s 에 그림 6에서 녹색으로 표시한 벡터 $\overline{Z_{g,|N|}} - \overline{Z_{s,|N|}}$ 을 더해서 최종 측위값 \hat{P}_s^* 를 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \hat{P}_s^* &= \hat{P}_s + \overline{Z_{g,|N|}} - \overline{Z_{s,|N|}} \\ &= P_s + \tilde{P}_s + \frac{\sum_{i=1}^{|N|} P_i}{|N|} + \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \tilde{P}_i}{|N|} - \frac{\sum_{i=1}^{|N|} P_i}{|N|} - \tilde{P}_s \\ &= P_s + \frac{\sum_{i=1}^{|N|} \tilde{P}_i}{|N|} \end{aligned} \quad (12)$$

수식 (1)의 GPS 측위값 \hat{P}_s 와 수식 (12)의 최종 측위값 \hat{P}_s^* 을 비교하면 두 번째 항이 최종 측위 오차가 됨을 알 수 있다. 그런데, 각각의 \tilde{P}_i 가 평균이 0이고 서로 독립인 확률변수이고, RMS 위치 오차는 수식 (12)의 두 번째 항의 표준 편차와 같다. 따라서, 대수 법칙에 의해 최종 측위값의 RMS 위치오차가 GPS 측위값의 RMS 위치오차보다 $1/\sqrt{|N|}$ 배 적음을 알 수 있다. 그림 7에서는 융합측위 보정 알고리즘을 도시하였다.

V. 자동차 융합 측위 시뮬레이션

본 장에서는 자동차 융합 측위 알고리즘의 측위 정확도를 검증하기 위한 시뮬레이션 환경을 설정하고, 그 결과를 분석한다.

표 1. 측위 데이터 매핑 알고리즘의 평균 매칭의 크기와 미스매칭 확률
Table 1. Mean matching size of position mapping and mismatching probability

자동차 밀도	평균 매칭 크기	미스매칭 확률
5	8.934	0.004297
10	22.93	0.003734
15	35.59	0.01688
20	47.40	0.01270
25	55.86	0.01594

5.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 자동차 주행 시뮬레이션과 융합 측위 시뮬레이션의 두 단계로 구성된다. 자동차 주행 시뮬레이션을 위해 Klauß car-following model을 기반으로 동작하는 SUMO (Simulation of Urban MObility) 시뮬레이터를 사용하여 자동차 밀도(Vehicle Density)가 5/10/15/20/25 (Veh/Km/Lane) 일 때 자동차 주행

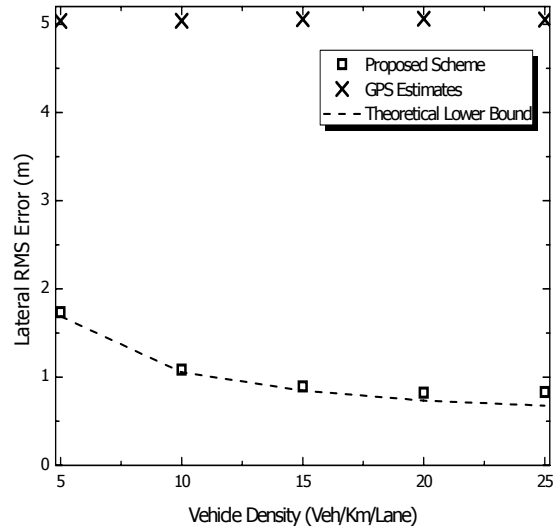


그림 8. 횡방향(Lateral) RMS 측위오차
Fig. 8. Lateral RMS Error

출력 파일을 생성하였다^[15]. 자동차 주행 출력 파일은 매 초마다 도로 상에 있는 모든 자동차들의 위치와 속도를 저장한다. 융합 측위 시뮬레이션은 자동차 주행 출력 파일을 입력으로 받아서 실제 위치를 기반으로 자동차 센싱 측위값 $\hat{P}_{s,n}$ 을 생성한다. 실제 주행 환경에서의 측위 오차 \tilde{P}_s 는 주변 지형 및 건물 높이, 위성의 개수 및 위치, 날씨 등의 환경 조건에 따라 그 성능이 달라진다. 그러나, 일반적인 도로 주행 환경에서 GPS 측위 오차의 확률밀도함수에 관한 연구 결과는 지금까지 존재하지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 그림 1 (b)에서 측정된 확률밀도함수를 이용하여 GPS 측위오차의 크기를 생성한다. 또한, GPS 측위오차의 방향은 구간 $[0, 2\pi)$ 에서 균일하게 분포하도록 생성한다.

본 논문에서는 6 Km 길이의 편도 4차선 양방향 고속도로 상황에서 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션에서 각 차선의 폭은 4 m, GPS, 센싱 및 측위 주기는 각각 $T_G = 1$ sec, $T_S = T_C = 0.1$ sec, 센싱 범위 $R_S = 150$ m, 통신 범위 $R_C = 500$ m, 유자격 범위 $R_E = 210$ m로 설정하였다. 시뮬레이션은 10^5 개의

자동차 측위 샘플들이 수집될 때까지 계속해서 수행한다. 시뮬레이션에서 도로 경계선의 영향을 줄이기 위하여 구간 [0.5 Km, 5.5 Km] 내에서만 융합 측위 알고리즘을 실행하여, 자동차의 측위오차를 기록한다.

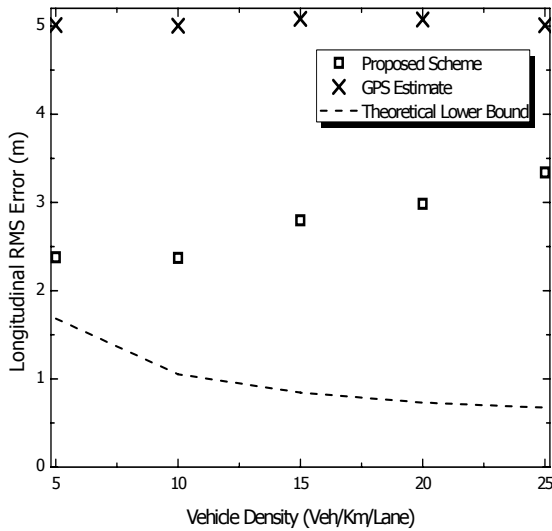


그림 9. 종방향(Longitudinal) RMS 측위오차
Fig. 9. Longitudinal RMS Error

5.2 시뮬레이션 결과 및 토의

본 절에서는 자동차 밀도를 변화시키면서 제안하는 융합 측위 알고리즘의 RMS 측위오차를 GPS 수신기의 RMS 측위오차와 비교한다. 표 1에서는 자동차 밀도에 따른 측위 데이터 매핑 알고리즘의 매칭 크기를 나타내었다. 자동차 밀도가 증가함에 따라 융합 측위 알고리즘에서 고려하는 주변 자동차의 대수가 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다. GPS 수신기의 RMS 측위오차(σ)와 표 1의 주변 자동차 대수(N)이 주어지면 대수 법칙에 의해 RMS 측위 오차에 대한 이론적인 하한(Theoretical Lower Bound) ($\widetilde{P}_{s, LB}$)은 다음과 같이 주어진다.

$$\widetilde{P}_{s, LB} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (13)$$

본 절에서는 수식 (13)에서 구한 RMS 측위 오차에 대한 이론적인 하한값을 함께 도출하여 융합 측위 알고리즘의 정확도를 검증한다.

그림 8에서는 횡방향 RMS 측위오차를 자동차 밀도에 따라 도시하였다. 횡방향 GPS 기반 RMS 측위 오차는 자동차 밀도와 상관없이 약 5.035 m 정도의 값을 가진다. 반면, 융합 측위 알고리즘의 경우, 자동차 밀도가 증가함에 따라 센싱 범위 내의 주변 자동차

들의 수가 증가한다. 따라서, 수식 (13)에 의해 횡방향 RMS 측위오차가 점점 감소하는 경향을 보여준다. 특히, 횡방향 RMS 측위오차는 이론적인 하한에 거의 근사하는 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 융합 측위 알고리즘의 RMS 측위오차는 GPS 기반 RMS 측위오차의 약 40 % 이내에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9에서는 종방향 RMS 측위오차를 자동차 밀도에 따라 도시하였다. 종방향 GPS 측위 RMS 오차도 자동차 밀도와 상관없이 약 5.051 m 정도의 RMS 측위오차를 가진다. 이론적인 하한 값 또한 횡방향 RMS 오차와 거의 동일한 경향을 보여준다. 그런데, 융합 측위 알고리즘의 종방향 RMS 측위오차와 이론적인 하한값과의 차이는 자동차 밀도가 증가함에 따라 점점 증가한다. 이러한 경향은 4.1절의 탐욕적 측위 데이터 매칭 알고리즘에서 서로 다른 자동차의 센싱 측위값과 GPS 측위값을 매칭시키면서 발생한다. 이와 같이 미스매칭(Mismatching)될 경우, 수식 (8)에서 보인 바와 같이 두 자동차의 거리만큼의 오차가 더 발생하게 되는 것이다. 그림 8에서 자동차 밀도가 증가함에 따라 횡방향 RMS 측위오차와 이론적인 하한 값 사이의 차이가 점점 증가함을 확인할 수 있다. 그러나, 센싱 측위값과 GPS 측위값의 종방향 차이가 횡방향 차이보다 훨씬 크기 때문에, 그림 9에서 나타난 것처럼 종방향 RMS 측위 오차가 횡방향 RMS 측위 오차보다 훨씬 크게 나타난다. 표 1에서 탐욕적 측위 데이터 매핑 알고리즘의 미스매칭 확률을 보여준다. 모든 경우에 미스매칭 확률이 2 % 이내로 작게 발생하지만, 이분할 그래프의 간선 가중치가 매우 크게 되므로 그림 9에서 나타난 바와 같이 이론적인 하한에 비해 큰 차이를 나타낸다. 그럼에도 불구하고, 융합 측위 알고리즘의 종방향 RMS 측위오차는 GPS 기반 RMS 측위오차보다 정확도를 30 % 이상 향상함을 볼 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 자동차 센서로부터 수집하는 주변 자동차들의 상대적 위치 정보와 자동차 간 통신을 통해 수신하는 GPS 수신 정보를 융합하여 자동차의 측위 정확도를 향상하는 융합 측위 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 센싱 측위값과 GPS 측위값을 서로 대응시키기 위한 탐욕적 측위 데이터 매핑 알고리즘과 대수 법칙에 기반하여 자기 자동차의 GPS 측위값을 보정하는 융합 측위 보정 알고리즘으로 구

성된다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 융합 측위 알고리즘의 측위 성능이 기존의 GPS 측위 방식에 비해 매우 뛰어남을 보였다.

본 논문에서 제시하는 융합 측위 알고리즘은 GPS 수신기와 자동차 센서, 그리고 자동차간 통신 모듈을 장착한 모든 자동차들에서 사용할 수 있다. 그러나, 측위 데이터 매핑 알고리즘에서의 미스매칭이 종방향 측위 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 따라서, 향후 미스매칭으로 인한 측위 정확도 문제를 해결하기 위한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] R. Rajamani, *Vehicle Dynamics and Control, 2nd Ed.*, Springer, 2012.

[2] H. Moustafa and Y. Zhang, *Vehicular Networks, Techniques, Standards, and Applications*, CRC Press, 2009.

[3] The CAMP Vehicle Safety Communications Consortium, "Vehicle safety communications project, task 3 final report," *DOT HS 809 859*, March 2005.

[4] IEEE 802.11 Working Group, "IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks - specific requirements; Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications; Amendment 6: Wireless access in vehicular environments," *IEEE Std 802.11p-2010*, July 2010.

[5] S. E. Shladover and S.-K. Tan, "Analysis of vehicle positioning accuracy requirements for communication-based cooperative collision warning," *J. of Intelligent Transport Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 131-140, 2006.

[6] M. S. Grewal, L. R. Weill, and A. P. Andrews, *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*, Wiley, 2000.

[7] E. Abbott and D. Powell, "Land-vehicle navigation using GPS," *Proc. of the IEEE*, Aug. 2002.

[8] G. M. Djuknic and R. E. Richton,

"Geolocation and assisted GPS," *IEEE Computer*, vol. 34, no. 2, pp. 123-125, Feb. 2001.

[9] S. Rezaei and R. Sengupta, "Kalman filter-based integration of DGPS and vehicle sensors for localization," *IEEE Trans. Control Syst. Techno.*, vol. 15, no. 6, pp. 1080-1088, Nov. 2007.

[10] S. Rezaei, R. Sengupta, H. Krishnan, X. Guan, and R. Bhatia, "Tracking the position of neighboring vehicles using wireless communications," *Elsevier Transportation Research, Part. C*, no. 18, May 2009.

[11] T.-S. Dao, K. Y. K. Leung, C. M. Clark, and J. P. Huissoon, "Markov-based lane positioning using intervehicle communication", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 641-650, Dec. 2007.

[12] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*, Prentice Hall, 2000.

[13] L. H. Eriksson and B.-O. As, "Automotive radar for adaptive cruise control and collision warning/ avoidance," *IEE Radar 97*, pp. 16-20, Nov. 1997.

[14] B.-E. Tullsson and B.-O. As, "Alternative applications for a 77 GHz automotive radar," *IEEE Radar Conf.*, pp. 273-277, May 2000.

[15] SUMO available: <http://sumo.sourceforge.net>

아디타 바위유가 (Adhitya Bhawiyuga)



2011년 3월, 인도네시아 ITS 대학 정보공학과 학사
 2011년 9월~현재, 부산대학교 물류IT학과 석사과정
 <관심분야> 자동차 통신 및 네트워크

응엔 호아 흥 (Hoa-Hung Nguyen)



2009년 4월, 베트남 호치민공
과대학(HCMUT) 컴퓨터공
학과 학사
2011년 9월~현재, 부산대학교
물류IT학과 석사과정
<관심분야> 자동차 통신 및
네트워크

정 한 유 (Han-You Jeong)



1998년 2월, 서울대학교 전기
공학부
2000년 2월, 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 석사
2005년 2월, 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 박사
2005년 3월~2007년 7월, 삼
성전자 정보통신총괄 책임연구원
2008년 1월~8월, 미네소타대학교 박사후연구원
2008년 9월~현재, 부산대학교 차세대물류IT기술연
구사업단 조교수
<관심분야> 자동차 네트워크, 무선 메쉬 네트워크,
광통신망