

측정 정보 갱신과 보안을 통한 V2X 네트워크의 측위 성능 향상

김 홍 기*, 김 민 지*, 이 상 현^o

Repetitive Measurement Update and Compensation for Enhancement of V2X Network Localization

Hong Ki Kim*, Minji Kim*, Sang Hyun Lee^o

요 약

본 논문은 반복적 정보 교환과 오류 보완 과정을 통해 V2X 네트워크의 측위 성능을 향상하는 방법을 제안한다. 여러 대의 차량이 연결된 네트워크에서 각 차량은 다른 차량들의 측위 결과를 이용하여 자신의 측위 정보를 반복적으로 갱신할 수 있다. 이후 각 차량에 나타나는 위치 정보의 오류의 유사성을 이용한 보완 과정을 거쳐 측위 성능을 향상한다.

Key Words : autonomous vehicle, cooperative localization, vehicle-to-everything(V2X)

ABSTRACT

This paper presents a method of exchanging measurement data and compensating for the error to improve localization performance in a V2X network. In a network constituting of multiple vehicles, the vehicles can use each other's measurement to repeatedly update their measurements. The similarity of the errors in the updated measurement data is exploited to compensate for the measurement error, to improve the localization performance.

* 이 논문은 2016년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(2016-0-00208, 차세대 5G V2X 서비스 실현을 위한 정밀 측위탐색 연계 고효율 다중안테나 정보전송 및 네트워크 기술 연구)과 2017년도 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행된 연구임

• First Author : (0000-0003-3618-4326)Korea University Department of Electrical and Computer Engineering, istackcheese@korea.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (0000-0001-5385-2061)Korea University Department of Electrical and Computer Engineering, sanghyunlee@korea.ac.kr, 정회원

* (0000-0002-7465-8302)Korea University Department of Electrical and Computer Engineering, kimminji1013@korea.ac.kr, 학생회원
 논문번호 : 201910-225-C-LU, Received October 7, 2019; Revised October 12, 2019; Accepted October 14, 2019

I. 서 론

최근 5세대 이동통신과 밀리미터파 센서 등의 통신 기술의 발달로 인해 자율주행차량의 실현에 필요한 요소들이 갖추어지고 있다.^[1] 자율주행차량의 동작을 위해서는 정확한 정보 교환과 제어가 이루어져야 하며, 이에 대한 핵심적 요구사항 중 하나는 고성능의 차량 측위이다.^[2] 그러나 차량의 위치 측정 과정과 정보 교환 과정에서 잡음에 의한 오류가 발생하기 때문에 특정 절차를 거쳐 오류를 감소시킬 필요가 있다. 이를 위해 최대 사후 확률^[3], 파티클 필터^[4], 최대 가능도 방법^[5] 등의 기술들이 연구되고 있다. 그러나 차량에 탑재될 수 있는 연산 자원의 한정성과 위치 정보 실시간 갱신의 필요성 등을 고려하면 보다 단순한 측위 성능 향상법이 필요할 수 있다. 본 논문은 차량 간 위치 정보 교환과 이를 이용한 갱신을 반복한 후 최고 성능 차량을 기준 삼아 전체 오류를 보완하는 방식을 제안한다. 네트워크에 여러 대의 차량이 있을 때 각 차량은 서로에게 위치 정보를 교환하고, 수신된 위치 정보들을 이용하여 자신의 위치 정보를 갱신할 수 있다. 이를 반복적으로 수행하면 네트워크 내 모든 차량들이 위치 정보에 비슷한 크기와 방향의 오류를 갖도록 조율된다. 이때 측위 성능이 가장 좋은 차량은 위치 정보 갱신을 반복하며 오류가 오히려 커지는 점을 이용하여 네트워크 내 모든 차량들의 위치 정보의 오류를 감소시킬 수 있다.

II. 본 론

2.1 시스템 모형

차량 $v \in \Omega_V$ 가 동일한 네트워크 내에 n 대 연결되어 있고 가정한다. 각 차량은 2차원 공간에서 자신의 위치 $\mathbf{p}_v = (p_x, p_y)$ 를 측정할 수 있다. 측정 시 잡음에 의한 오류 $\mathbf{n}_v = (n_x, n_y)$ 가 발생하여 결과적으로 $\hat{\mathbf{p}}_v = \mathbf{p}_v + \mathbf{n}_v$ 를 얻게 되며, 차량 v 는 $\hat{\mathbf{p}}_v$ 를 나머지 $n-1$ 개의 차량들과 공유할 수 있다. 각 차량은 다른

차량과의 거리 $\mathbf{d}_{v_i, v_j} = \mathbf{p}_{v_i} - \mathbf{p}_{v_j}$ 를 측정할 수 있고, 해당 과정에서 잡음에 의한 오류 $\mathbf{n}_{v_i, v_j} = (n_{x_{v_i, v_j}}, n_{y_{v_i, v_j}})$ 가 발생하여 $\hat{\mathbf{d}}_{v_i, v_j} = \mathbf{d}_{v_i, v_j} + \mathbf{n}_{v_i, v_j}$ 를 획득한다. n 대의 차량 중 측정 성능이 가장 좋은 차량을 기준 차량 v_* 로 삼아 오류 보정에 이용하도록 한다. 측정, 공유 및 계산 과정은 고정된 시간에서 이루어진다고 근사할 만큼 빠르게 수행된다고 가정한다.

2.2 정보 교환과 갱신 및 보완 과정

차량 $v_0 \in \Omega_V$ 가 위치 정보를 교정하는 과정은 크게 두 단계로 나눌 수 있다. 첫 단계는 정보 교환과 갱신이며, 다음 식에 따라 동작한다.

$$\hat{\mathbf{p}}_{v_0}^{(new)} = \frac{1}{n-1} \sum_{\forall v \neq v_0} (\hat{\mathbf{p}}_v^{(old)} + \hat{\mathbf{d}}_{v, v_0}) \quad (1)$$

이는 다른 차량들의 위치와 v_0 까지의 거리를 기반으로 v_0 의 위치를 계산한 값들의 평균이다. 각 차량은 다른 차량들의 위치 정보를 수신하고 차량 간 거리를 측정하여 (1)에 따른 위치 정보 갱신을 반복한다. 갱신을 n 회 반복한 $\hat{\mathbf{p}}_{v_0}^{(n)}$ 을 실제 값 \mathbf{p}_{v_0} , \mathbf{d}_{v_i, v_j} 와 측정 오류 \mathbf{n}_v , \mathbf{n}_{v_i, v_j} 로 분해하여 계산하면 다음과 같이 실제 위치와 위치 측정 오차, 그리고 차량 간 거리 측정 오차들의 선형 조합으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{p}}_{v_0}^{(n)} &= \mathbf{p}_{v_0} + C_1 \mathbf{n}_{v_0} + C_2 \left(\sum_{\forall v \neq v_0} \mathbf{n}_v \right) \\ &\quad + C_3 \left(\sum_{\forall v \neq v_0} \mathbf{n}_{v_0, v} \right) \\ &\quad + C_4 \left(\sum_{\forall v \neq v_0} \left(\sum_{\forall v' \neq v} \mathbf{n}_{v, v'} \right) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

각 항에 대한 계수 C_n 는 갱신 횟수에 따라 변하며 1회 갱신에 따른 C_n 의 변화는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} C_1^{(n)} \\ C_2^{(n)} \\ C_3^{(n)} \\ C_4^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1^{(n-1)} \\ C_2^{(n-1)} \\ C_3^{(n-1)} \\ C_4^{(n-1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$\hat{\mathbf{p}}_{v_0}$ 의 갱신을 반복적으로 수행하면 C_1 과 C_2 는

$\frac{1}{n-1}$ 로 수렴하나 C_3 과 C_4 는 수렴을 보장하지 않는다. 즉, 상대거리 오차에 의한 영향에 더 민감하다. 따라서 다음 조건을 만족하면 갱신을 중단하도록 한다.

$$|\hat{\mathbf{p}}_v^{(n)} - \hat{\mathbf{p}}_v^{(n-1)}| \approx |\hat{\mathbf{p}}_v^{(n-1)} - \hat{\mathbf{p}}_v^{(n-2)}| \quad (4)$$

두 번째 단계는 기준 차량을 이용한 오차 보완과정이다. 갱신 중단 시점에서 각 차량의 위치를 (2)의 형태로 분석하면 $C_1 \approx C_2$ 와 $C_3 \approx C_4$ 를 만족하여 차량들이 유사한 위치 정보 오류를 갖는다. 한편 기준 차량 v_* 의 경우 다른 차량들의 측정 오류가 유입되어 갱신된 위치 $\hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(n)}$ 가 초기 측정값 $\hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(0)}$ 보다 오히려 부정확하다. 이를 이용해 모든 차량의 위치 정보를 $\hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(0)} - \hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(n)}$ 만큼 보정하여 오류를 줄일 수 있다.

차량 v_0 가 위치 정보를 갱신하고 보완하는 과정을 정리하면 다음과 같다.

1. \mathbf{p}_{v_0} 를 측정한다.
2. 자신을 제외한 차량들에게 $\hat{\mathbf{p}}_{v_0}$ 를 공유한다.
3. 다른 차량들에게서 $\hat{\mathbf{p}}_v \forall v \neq v_0$ 를 수신하며 $\hat{\mathbf{d}}_{v_0, v} \forall v \neq v_0$ 를 측정한다.
4. (1)로 $\hat{\mathbf{p}}_{v_0}$ 를 갱신한다.
5. 모든 차량 $v \in \Omega_V$ 에 대하여 (4)를 만족할 때까지 갱신을 반복한다.
6. 기준 차량 v_* 를 기준삼아 $\hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(0)} - \hat{\mathbf{p}}_{v_*}^{(n)}$ 만큼 모든 차량들의 위치 정보를 보완한다.

2.3 실험

위치 정보 교정 과정과 효과를 관찰하기 위해 5대의 차량이 네트워크에 연결된 상황을 가정한다. 위치 측정 잡음은 $\sigma=3$, 차량 간 거리 측정 잡음은 $\sigma=0.3$ 인 평균이 0인 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 각 차량의 실제 위치와 측정 위치는 다음과 같으며, 명확한 관찰을 위해 기준 차량의 측정 오차는 없다고 가정한다.

(4)의 반복 중단 조건을 1cm 이내의 차이로 설정하면 총 6회 정보 교환과 갱신을 반복하게 되며, 아래와 같이 모든 차량이 유사한 크기와 방향의 오류를 갖게 됨을 관찰할 수 있다.

이후 기준 차량을 이용한 보정을 거치면 아래와 같이 실제 위치와 추정 위치가 더욱 가까워짐을 관찰할

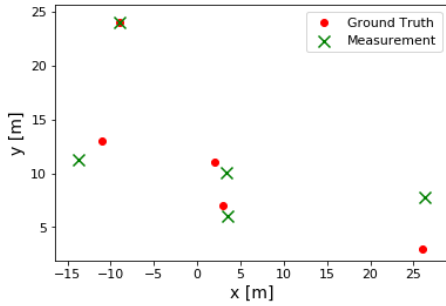


그림 1. 측정된 차량 위치와 실제 위치
Fig. 1. Measured vehicle locations and ground truths

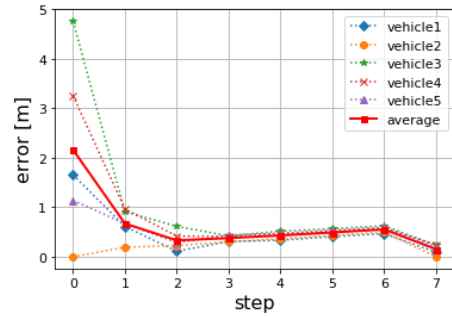


그림 4. 단계별 위치 정보 오류
Fig. 4. Measurement error at each step

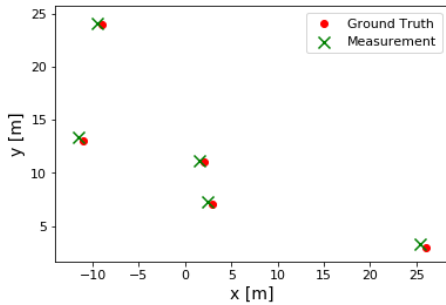


그림 2. 정보 교환 및 갱신 단계를 거친 후 위치 정보
Fig. 2. Location measurements after the update and exchange

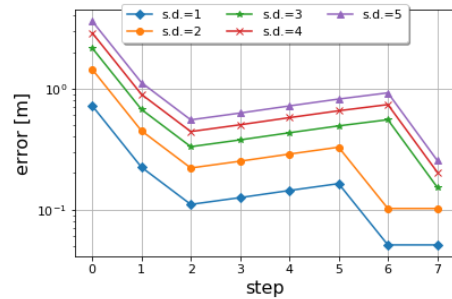


그림 5. 잡음 강도별 위치 정보 오류 변화
Fig. 5. Measurement error changes of different noise strengths

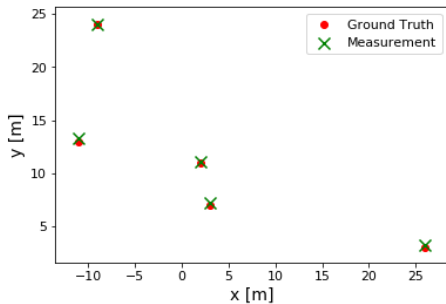


그림 3. 보정 단계를 거친 후 위치 정보
Fig. 3. Location measurements after the compensation

수 있다.

2.4 성능 평가

위 실험의 각 단계에서 위치 정보 오류의 변화는 아래와 같다. 초기 측정값인 단계 0에서 각기 달랐던 오류가 정보 교환 및 갱신 과정에서 균일해진다. 균일화가 부분적으로 이루어진 후 단계 4-6에서 오류가 증가하는데, 이는 상대 거리 측정 오류가 단계마다 더해져 (2)의 거리 측정 오류 계수 C_3 , C_4 가 증가하기 때

문이다. 위치 정보 오류의 유사성을 이용해 단계 7에서 위치를 보정하므로, 해당 오류는 단계 7에서 감소하며 최종적으로 초기 측정값보다 균일하고 적은 값의 오류를 갖게 된다.

잡음 강도를 변경해도 아래와 같이 동작이 유사하며, 잡음이 강할수록 더 많은 반복 횟수가 필요한 것을 확인할 수 있다.

기준 차량의 위치 정보 오류가 다른 차량들에 비해 적다면 실험과 같이 위치 정보가 완전하지 않아도 보완 과정에 효과적으로 이용 가능하며, 네트워크 내에서 최고 성능 차량을 결정하는 방법을 접목한다면 보다 일반적인 상황에서의 측위 성능 개선을 기대할 수 있다. 또한, Roadside unit과 같이 고정된 물체를 네트워크에 포함함으로써 본 논문에서 제안하는 방법을 더욱 효과적으로 이용할 수 있다.

III. 결론

차량들의 측위 결과에 포함된 오류들을 반복적 정보 교환과 보정을 통해 줄이는 방법을 제안하고 동작 원리를 분석하였다. 실험을 통해 위치 정보가 변하는

과정을 관찰하고 최종적으로 오류가 감소하는 것을 확인하였다.

References

- [1] M. Jung, J. W. Kang, and S. W. Kim, “(Technological Trends of 5G Wireless Localization and Location-based Communications (5G 무선 측위 기술 및 위치 기반 통신 기술 동향과 전망),” *KICS Inf. & Commun. Mag.*, vol. 35, no. 3, pp. 32-40, Feb. 2018.
- [2] H. G. Kim and K. S. Huh, “Technological Research Trends in Automated Driving (자율 주행 기술 연구 동향 및 전망),” *KICS Inf. & Commun. Mag.*, vol. 35, no. 5, pp. 3-12, Apr. 2018.
- [3] W. Yuan, N. Wu, B. Etlzinger, H. Wang, and J. Kuang, “Cooperative joint localization and clock synchronization based on gaussian message passing in asynchronous wireless networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 9, pp. 7258-7273, Sep. 2016.
- [4] F. Chausse, J. Laneurit, and R. Chapuis, “Vehicle localization on a digital map using particles filtering,” in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 243-248, Jul. 2005.
- [5] A. Howard, M. J. Mataric, and G. S. Sukhatme, “Localization for mobile robot teams using maximum likelihood estimation,” *IEEE/RSJ Int. Conf. Robotics and Intell. Syst.*, vol. 1, pp. 434-459, Jan. 2002.