

V2V 네트워크의 효율적인 분산 측위 시스템을 위한 확률적 접근법

김민지*, 김홍기*, 이상현^o

Probabilistic Approach for Efficient Distributed Positioning System in V2V Networks

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

요 약

본 논문은 차량의 이동성을 반영한 5G V2V 네트워크에서 모든 차량이 지구 위치 위성 시스템(GPS : Global Positioning System) 신호를 얻기 어려운 열악한 환경에서 효율적으로 자신의 위치를 추정하기 위한 분산 협력 자기 측위 알고리즘을 제안한다. 이 때 차량의 내부 하드웨어 잡음의 크기에 따라 협력 측위 기술의 사용 여부를 결정하고 최적의 결과를 도출한다.

Key Words : Vehicle-to-Vehicle communication, mm-wave, message passing algorithm, cooperative localization.

ABSTRACT

In this paper, we propose a distributed cooperative self-positioning algorithm for efficiently estimating the position of a vehicle in a 5G V2V network that reflects the vehicle's mobility even in a harsh environment where all vehicles cannot obtain GPS signals. At this time, depending on the magnitude of internal hardware noise of the vehicle, it is decided

whether to use the cooperative positioning technology in order to obtain the optimum result.

I. 서 론

사물인터넷과 5G 무선통신 기술이 성행함에 따라 자동차와 ICT가 융합된 스마트 자동차의 혁신적인 기술이 비약적으로 발전하고 있다¹⁾. 스마트 자동차²⁾는 GPS 등을 통해 정확한 위치 정보를 실시간으로 받아 안전하게 자신의 위치를 추정할 수 있지만 터널이나 고층 빌딩이 있는 통신환경에서는 정확하지 않다. 따라서 열악한 통신 환경에서도 측위 정확도를 향상시키기 위해 본 논문에서는 5G 네트워크 환경에서 밀리미터파³⁾를 이용하여 상대차량으로부터 거리와 각도에 대한 정보를 얻었을 때 자동차 스스로 자신의 위치를 추정하는 분산 자기 측위를 주력으로 주변 자동차들과 정보를 주고받는 협력측위를 수행하는 메시지 전달(message passing) 알고리즘을 제안한다.

제안하는 네트워크 내 차량들의 경우, GPS들을 통해 자신의 절대 위치에 대한 정보를 대체적으로 알 수 있는 소수의 앵커(anchor)와 위치 정보를 직접 획득할 수 없는 다수의 에이전트(agent)로 구분된다. 각각의 차량은 위치 이동에 따른 내부 측정 결과와 이와 함께 mm-wave로 인접한 차량 간 상대적 거리와 방향을 측정해 메시지의 형태로 인접 차량과 교환한다. 이 때, 메시지를 반복적으로 전달하는 부분에서 메시지의 계산이 복잡하고, 그 값이 비모수적 분포(nonparametric distribution)로 주어지는 문제가 있어 이로부터 추정된 위치에 대한 사후 확률분포를 모수적 분포를 갖는 메시지로 근사하여 교환되는 정보를 최소화하고자 한다.

알고리즘에 현실성을 반영하기 위해 추가적으로 차량 하드웨어 센서의 잡음 민감도 등의 다양한 설정을 반영시켰다. 최적의 측위 정확도를 위해 차량은 자신의 잡음 크기에 따라 협력 측위 기술의 사용 여부를 결정하여 최적의 측위 정확도를 달성한다.

※ 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 : (ORCID:0000-0002-7465-8302) Korea University, School of Electrical Engineering, kimminji1013@korea.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5385-2061)Korea University, School of Electrical Engineering, sanghyunlee@korea.ac.kr, 정회원

* (ORCID:0000-0003-3618-4326)Korea University, School of Electrical Engineering, istackcheese@korea.ac.kr, 학생회원
 논문번호 : 201910-226--C-LU, Received October 7, 2019; Revised October 22, 2019; Accepted October 22, 2019

II. 시스템 모델

이동성이 존재하는 차량 네트워크에서 위치를 추정하고자 하는 기준 차량을 j 이웃차량을 k 라 했을 때 시각 t 에서 차량 j 와 k 의 2차원 좌표는 각각 벡터 $\mathbf{x}_j = [x_{1j}, x_{2j}]$, $\mathbf{x}_k = [x_{1k}, x_{2k}]$ 로 표기한다. \mathbf{x}_j 는 ‘내부 업데이트’ 모델과 ‘측정 모델’이 반영된 메시지의 사후확률분포의 최댓값에 따라 결정된다.

2.1 내부 업데이트 모델

네트워크 내 모든 차량은 일정 시간 간격 Δt 마다 내부적으로 자신의 위치를 갱신한다. 시각 t 에서 차량 j 의 속력을 $v_j^{(t)} = [v_{1j}^{(t)}, v_{2j}^{(t)}]$ 라고 했을 때, 다음 시각 $t+1$ 에서 차량의 위치는 기대 벡터 $\mathbf{q}_j^{(t)}$, 정확도 벡터 $\varphi_j^{(q)}(t)$ 를 갖는다고 설정한다.

$$\mathbf{q}_j^{(t)} = \mathbf{x}_j^{(t)} + v_j^{(t)} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$\varphi_j^{(q)}(t) = [\varphi_{1j}^q(t), \varphi_{2j}^q(t)]. \quad (2)$$

2.2 측정 모델

네트워크 내 모든 차량은 일정 시간마다 이웃 차량과의 상대 거리와 상대 방위각을 mm-wave를 이용해 측정하고, 교환한다. 차량 j 가 측정한 차량 k 와의 상대거리를 d_{kj} 라 하고, 상대 방위각을 θ_{kj} 라 했을 때 두 변수의 확률 분포는 매우 비선형적이기에 계산이 복잡하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상대 측정 결과인 두 파라미터의 관계를 두 차량을 잇는 직선이 장축, 이에 수직인 방향을 단축으로 갖는 타원의 모습으로 가정하고 $x_{1j}^{(t)} - x_{1k}^{(t)}$ 와 $x_{2j}^{(t)} - x_{2k}^{(t)}$ 의 확률분포를 이 변수 정규분포(bivariate Gaussian)로 근사시킨다. 해당 타원에 대해 코시 슈바르츠 부등식을 이용하여 접선 근사로부터 얻은 측정 모델의 기대벡터 $\mathbf{w}_{kj}^{(t)}$ 와 정확도 벡터 $\varphi_{kj}^{(w)}(t)$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{w}_{kj}^{(t)} = \begin{bmatrix} w_{1kj}^{(t)} \\ w_{2kj}^{(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d_{kj}^{(t)} \cos \theta_{kj}^{(t)} \\ -d_{kj}^{(t)} \sin \theta_{kj}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\varphi_{kj}^{(w)}(t) = \begin{bmatrix} \sigma_{d_{kj}}^2 + \cos^2 \theta_{kj}^{(t)} + (d_{kj}^{(t)})^2 \sigma_{\theta_{kj}}^2 + \sin^2 \theta_{kj}^{(t)} \\ \sigma_{d_{kj}}^2 + \sin^2 \theta_{kj}^{(t)} + (d_{kj}^{(t)})^2 \sigma_{\theta_{kj}}^2 + \cos^2 \theta_{kj}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

III. 알고리즘

제안하는 분산 협력 추위 알고리즘은 메시지 전달 기반 알고리즘으로, 메시지들은 최종적으로 구하고자 하는 확률 $p(\mathbf{x} | \mathbf{q}, \mathbf{w})$ 의 요소 그래프^[4] (factor graph) 노드 사이에 전달된다. 메시지를 나타내는 파라미터를 μ , 변수노드를 x , 그리고 함수노드를 f 라 했을 때 본 논문에서는 차량의 좌표가 변수노드에, 차량 간 측정 모델이 $p_{d, \theta | X}(d, \theta | x)$ 과 $p_{X | Q}(\mathbf{x} | \mathbf{q})$ 에 대한 함수노드로 정의될 수 있다. 각각의 변수노드는 자신과 관련된 함수노드와 연결되어 메시지 업데이트 규칙^[4]에 따라 계산된 메시지를 주고받는다. 시스템 모델에서 두 함수노드의 확률분포를 정규분포로 근사시키면 간단하게 평균과 분산만 교환하여 효율적으로 계산할 수 있다. 대표적인 상황으로 네트워크 내 차량의 개수가 N 일 때 차량 j 가 시각 t 에서 자신의 위치를 추정하는 경우를 다음과 같이 3단계의 메시지로 나타낼 수 있다. 메시지는 차량 j 의 내부에서 순차적으로 계산되고 Δt 동안 메시지의 반복 횟수는 l 로 표기한다.

- 1) 메시지 $\mu_{f \rightarrow x}^{(t, \mathbf{x}_j)}$ 는 시스템 모델의 내부 업데이트 식 (1), (2)와 동일하다.
- 2) 메시지 $\mu_{x \rightarrow f^w}(t, \mathbf{x}_j)$ 는 변수노드 x 로 들어오는 모든 정규분포 메시지의 곱으로 계산된다.

$$\mathbf{x}_j^{(l)} = \begin{bmatrix} \varphi_{1j}^x(l) \left(\frac{q_{1j}^{(t)}}{\varphi_{1j}^q} + \sum_{k=1}^N \frac{\Delta_{1kj}^{(l)}}{\varphi_{1kj}^{\Delta}(l)} \right) \\ \varphi_{2j}^x(l) \left(\frac{q_{2j}^{(t)}}{\varphi_{2j}^q} + \sum_{k=1}^N \frac{\Delta_{2kj}^{(l)}}{\varphi_{2kj}^{\Delta}(l)} \right) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\varphi_j^x(l) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\varphi_{1j}^q(t) + \sum_{k=1}^N \frac{1}{\varphi_{1kj}^{\Delta}(l)}} \\ \frac{1}{\varphi_{2j}^q(t) + \sum_{k=1}^N \frac{1}{\varphi_{2kj}^{\Delta}(l)}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

- 3) 측정 메시지 $\mu_{f^w \rightarrow x}(t, \mathbf{x}_j)$ 의 경우 $l-1$ 에서 추정된 $\mathbf{x}_k^{(l-1)}$ 의 값과 $\mathbf{x}_j^{(t)} - \mathbf{x}_k^{(t)}$ 로 근사시킨 측정 모델의 분포 $\mathbf{w}_{kj}^{(t)}$ 의 단순 덧셈으로 차량 j 의 위치를 추정하고, 평균 $\Delta_{kj}^{(l)}$ 과 분산 $\varphi_{kj}^{\Delta}(l)$ 은 다음과 같다.

$$\Delta_{kj}^{(l)} = \begin{bmatrix} x_{1k}^{(l-1)} + w_{1kj}^{(t)} \\ x_{2k}^{(l-1)} + w_{2kj}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\varphi_{kj}^{\Delta}(l) = \begin{pmatrix} \varphi_{1k}^x(l-1) + \varphi_{1kj}^w(t) \\ \varphi_{2k}^x(l-1) + \varphi_{2kj}^w(t) \end{pmatrix} \quad (8)$$

네트워크 내 모든 차량은 일정 시간 간격마다 3단계의 메시지를 반복적으로 수행하고 자신의 위치를 추정하여 브로드 캐스트 한다.

IV. 성능 평가

성능 평가에서는 제안하는 메시지 전달 알고리즘(이하 SMP)과 기존의 시간 동기화 기반 MP 알고리즘⁵⁾(이하 CSMP)과 비교 분석한다. 3GPP TR 37.885의 고속도로 모델을 반영한 시뮬레이션 환경은 다음 표 1과 같다.

그림 1은 앵커 차량 1대가 존재할 때와 존재하지 않을 때 제안하는 SMP와 기존 CSMP의 성능을 비교한 것이다. 먼저 앵커 차량이 존재했을 때 CSMP의 경우 관측 파라미터가 상대거리로 한정됨에 따라 상대거리와 상대 방위각의 정보를 모두 얻을 수 있는 SMP가 높은 정확도를 달성할 수 있다. 그러나 위치의 중심을 잡아 줄 앵커 차량이 존재하지 않을 경우에는 SMP가 추가적으로 얻는 상대 방위각의 정확도에 따라 SMP의 성능은 달라진다. 3GPP TR 37.885 서에 명시된 거리에 따른 SNR로 각도 θ 의 표준 편차의 하한 값을 크라메르-라오 하한(CRLB)을 통해 구한 결과 0.9297° 값이 유도된다. 따라서 $\sigma_{\theta}=1^{\circ}$ 인 경우 SMP가 CSMP보다 높은 성능을 보여줌을 확인할 수 있다.

그림 2는 V2V 네트워크에 현실의 상황을 반영하기 위해 차량 내부 업데이트 과정에서 발생하는 하드웨어의 잡음을 크기별로 추가했다. 잡음의 표준편차는

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Network size	17.5*2000[m ²]
Number of vehicles (anchor/agent)	10 (1/9)
Average speed of vehicles $v_2(t)$	70[km/h]
Discrete time period Δt	100[ms]
Std. of distance σ_d	±1[m]
Std. of AoA σ_{θ}	±3[°]
Std. of hardware noise σ_N	0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5[m]

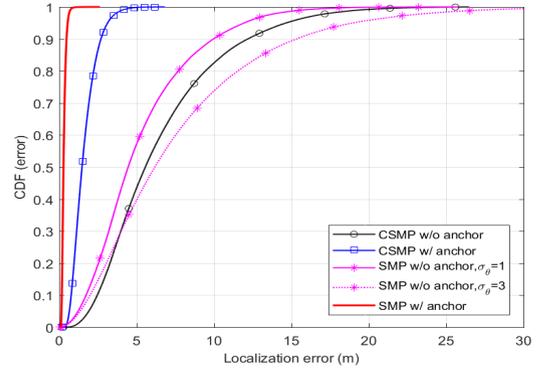


그림 1. SMP와 CSMP의 절대 위치 성능 비교
Fig. 1. Absolute positioning performance Comparison between SMP and CSMP

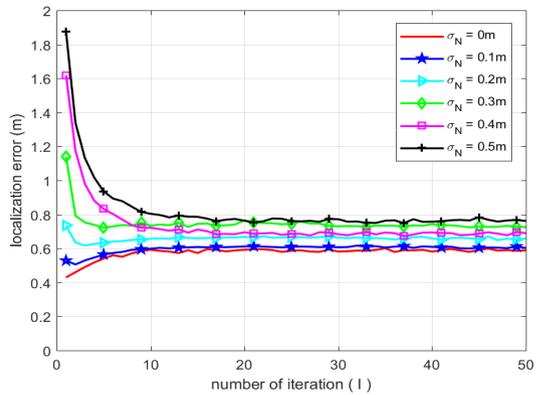


그림 2. 잡음 크기에 따른 평균 절대 오류 값
Fig. 2. Average absolute error value based on noise level

0m부터 0.5m 까지 0.1m 간격으로, 이때 차량끼리 주고받는 메시지의 반복횟수에 따른 절대 측위 오류를 확인한 결과 잡음의 크기가 0.2m 보다 작을 경우에는 다른 차량과 반복적으로 메시지를 주고받을수록 측위 오류가 오히려 증가해 협력측위가 모든 경우에 측위 성능을 향상시키는 것은 아니라 판단할 수 있다.

V. 결론

본 논문은 V2V 차량 네트워크가 열악한 환경일 경우에도 실시간으로 높은 정확도의 측위를 위한 간단한 메시지 전달 분산 협력 측위 알고리즘을 제안한다. 더불어 표1이 반영된 시뮬레이션 환경에서 차량의 하드웨어에 다양한 크기의 잡음을 더해줬을 경우, 잡음의 편차가 0.2m보다 작은 경우에는 협력측위가 오히려 전체 평균 측위 성능을 저하시켜 협력측위가 모든 상황에서 필수적이지만은 않다는 점을 확인할 수 있다.

References

- [1] Lee, B. Y., "Ongoing investigation and prospect about the domestic and foreign technical development of autonomous vehicle," ("국내외 자율주행자동차 기술개발 동향과 전망,") *KICS Inf. Conf. Commun.*, vol. 33, no. 4, pp. 10-16, 2016.
- [2] Choi, J. D., et al., "Research and development trends of connected convergence mobility platform," ("커넥티드 융합 모빌리티서비스플랫폼 연구개발 동향,") *KICS Inf. Conf. Commun.*, vol. 36, no. 2, pp. 3-9, 2019.
- [3] T. S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. N. Wong, J. K. Schulz, M. Samimi, and F. Gutierrez Jr., "Millimeterwave mobile communications for 5G cellular: It will work!," *IEEE Access*, vol. 1, no. 1, pp. 335-349, May 2013.
- [4] F. R. Kschischang, B. J. Frey, and H.-A. Loeliger, "Factor graphs and the sum-product algorithm," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, pp. 498-519, 2001.
- [5] 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, pp. 7258-7273, 2016.