

휠 오도메트리와 비주얼 오도메트리 정보의 퍼지 융합에 기반한 궤도 로봇의 위치 추정

함형하[†] · 홍성호[†] · 송재복^{*}

Localization of a Tracked Vehicle based on Fuzzy Fusion of Wheel Odometry and Visual Odometry

Hyeong-Ha Ham, Sung-Ho Hong and Jae-Bok Song

Key Words : tracked robot(궤도 로봇), localization(위치추정), visual odometry(영상 위치추정), fuzzy fusion(퍼지 융합)

Abstract

Tracked vehicles usually show poor localization performance because of the slip of tracks. This paper proposes a new localization method for tracked vehicles by using fuzzy fusion of visual odometry and encoder-based wheel odometry. Visual odometry lacks accuracy when a sufficient number of visual feature points are not available while the encoder is prone to accumulate errors when a large slip occurs. In combining these two methods, the weight of each method was controlled by the fuzzy method according to the surrounding environment. The experimental results show that the proposed scheme enhanced localization performance of a tracked vehicle.

1. 서론

이동로봇의 주행에 있어서 자신의 위치를 정확히 추정하는 것은 매우 중요하다. 로봇의 위치 추정은 기본적으로 바퀴에 부착된 엔코더에 기반한 휠 오도메트리를 사용한다. 그러나 궤도식 로봇(tracked robot)의 경우는 바퀴식 로봇에 비해 지면과 맞닿는 면적이 넓어서 주행 시 슬립이 크게 발생하므로 휠 오도메트리 정보는 매우 부정확하다.

이러한 궤도 로봇의 오도메트리 정보를 보정하기 위하여, 궤도 형태의 바퀴에 적합한 로봇의 운동모델이 제안되었다⁽¹⁾. 이 연구에서는 지면과 궤도와의 기하학적인 관계를 통해 바퀴의 슬립을 예측하여 오도메트리를 보정한다. 그러나 지면 상태로 인해 바퀴의 슬립이 매우 크게 발생하는 경우, 오도메트리 보정에는 한계가 있다. 이러한 엔코더 정보에 기반한 위치추정과는 별개로, 카메라를 통해 얻은 영상을 이용하여 로봇의 위치를 추정하는

비주얼 오도메트리(Visual odometry)가 제안되었다⁽²⁾. 비주얼 오도메트리는 영상 특징이 많은 환경의 경우에는 엔코더 정보 없이도 안정적인 위치추정이 가능하지만, 실내의 복도 및 개활지와 같이 특징 추출이 어려운 환경에서는 위치추정이 어렵다.

본 논문에서는 두 가지 위치정보의 단점을 상호 보완하기 위하여 퍼지논리를 통한 융합을 제안한다. 퍼지논리를 통해 상황에 따라 두 가지 위치정보에 대한 가중치를 조정함으로써 궤도 로봇의 신뢰성 있는 위치추정이 가능하다.

2. 궤도 로봇의 휠 오도메트리

그림 1과 같이 궤도 로봇이 순간 회전중심을 기준으로 회전할 때, X^i, Y^i 와 X^{i+1}, Y^{i+1} 는 회전 전후의 로봇 좌표계를 나타낸다. 다음 식과 같이 로봇의 병진 및 회전 이동량을 계산할 수 있다.

$$\dot{x} = \frac{[r(\omega_r + \omega_l) + (v_{sr} + v_{sl})] \cos \theta}{2} + \frac{d[r(\omega_r - \omega_l) + (v_{sr} - v_{sl})] \sin \theta}{B} \quad (1)$$

[†] 고려대학교 메카트로닉스학과

E-mail : clover777@korea.ac.kr

TEL : (02)929-8501 FAX : (02)929-8501

^{*} 고려대학교 기계공학부

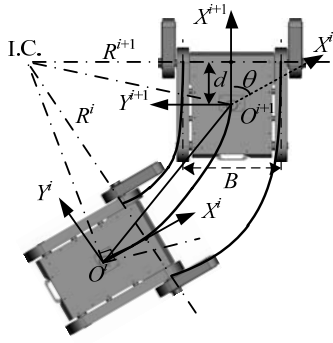


Fig. 1 Kinematic model of tracked robot

$$\dot{y} = \frac{[r(\omega_r + \omega_l) + (v_{sr} + v_{sl})]\sin\theta}{2} - \frac{d[r(\omega_r - \omega_l) + (v_{sr} - v_{sl})]\cos\theta}{B} \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \frac{r(\omega_r - \omega_l) + (v_{sr} - v_{sl})}{B} \quad (3)$$

여기서 v_{sl} , v_{sr} 은 양 궤도에서의 슬립 속도를 의미하며, 다음과 같이 주어진다.

$$v_{sl} = \cos\theta \cdot \dot{x} + \sin\theta \cdot \dot{y} - B \cdot \dot{\theta} / 2 - r \cdot \omega_l \quad (4)$$

$$v_{sr} = \cos\theta \cdot \dot{x} + \sin\theta \cdot \dot{y} + B \cdot \dot{\theta} / 2 - r \cdot \omega_r \quad (5)$$

본 연구에서는 궤도와 로봇간의 상대속도를 통해 슬립 속도를 계산하였다. 여기서 r 은 바퀴의 반지름, ω_r , ω_l 은 모터의 회전속도를 의미하며, 자세한 내용은 참고문헌에 설명되어 있다⁽³⁾.

3. 비주얼 오도메트리

비주얼 오도메트리를 통해 로봇의 위치를 추정하는 과정은 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 우선 해리스 코너 추출법을 이용해, 이전 프레임과 현재 프레임 영상에서 다수의 특징점을 추출한다. 다음으로, LK 추적 알고리즘을 이용하여 특징점들을 정합한다. 이 과정에서 그림 2와 같이 외곽점(outlier)이 발생할 수 있는데, 이는 RANSAC 알고리즘을 사용하여 제거할 수 있다. 마지막으로, closed-form solution⁽⁴⁾을 이용하여 로봇의 롤, 피치, 요 회전량에 대한 행렬 R 을 계산한 후, 다음 식을 통해 로봇의 병진속도를 계산한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [C_p - (R \cdot C_x)] \quad (6)$$

여기서, C_p 는 이전 프레임에서 얻은 특징점들의 중

점, C_x 는 현재 프레임에서 얻은 특징점들의 중점을 의미한다.

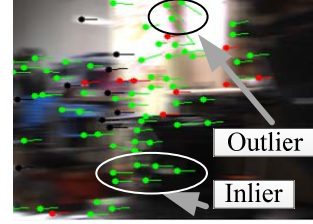


Fig. 2 Comparison between inliers and outliers among matched features using LK tracker

4. 퍼지 융합 및 실험 결과

2, 3장에서 얻은 로봇의 속도정보 (\dot{x} , \dot{y})를 적분하면 최종적으로 추정된 로봇의 위치정보 (x , y)를 얻을 수 있다. 퍼지 융합을 위해서 2, 3장에서 각각 설명한 슬립을 고려한 휠 오도메트리와 비주얼 오도메트리 정보를 사용한다.

휠 오도메트리 정보는 지면과의 마찰력, 지형 형태 등의 원인으로 불확실성이 높아지며, 비주얼 오도메트리는 영상에서 추출된 특징점의 개수가 적을 경우 위치추정이 어렵다. 이를 상호 보완하기 위해 퍼지 논리를 이용해 두 정보를 융합한다.

우선 2, 3장에서 얻은 슬립속도, 특징점의 개수를 바탕으로 퍼지집합을 정의한다. 첫째 입력조건인 슬립속도는 ‘매우 작다(VS), 작다(S), 보통이다(C), 크다(L), 매우 크다(VL)’의 5단계로 퍼지변수를 정의하였으며, 둘째 입력조건인 특징점의 개수는 ‘매우 적다(VF), 적다(F), 보통이다(C), 많다(M), 매우 많다(VM)’로 정의하였다. 그림 3에 이와 같은 퍼지집합이 나타나 있다.

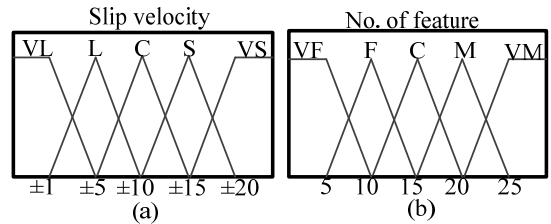


Fig. 3 (a) Fuzzy set of slip velocity, and (b) fuzzy set of the number of visual features.

표 1은 그림 3의 퍼지집합을 사용해 퍼지 융합의 퍼지규칙을 나타낸 도표이다. 이와 같이 퍼지 집합의 상태에 따라 서로 다른 비율로 두 위치 정보를 융합한다. 즉, 슬립속도가 클수록 비주얼 오도메트리에 높은 가중치를 주고, 카메라 영상에서 추출된 특징이 적을수록 휠 오도메트리에 높은 가중치를 준다.

Table 1 Fuzzy rules application on localization.

NF \ v_s	VL	L	C	S	VS
VF	0.5W +0.5V	0.7W +0.3V	0.8W +0.2V	0.9W +0.1V	1.0W +0.0V
F	0.3W +0.7V	0.5W +0.5V	0.7W +0.3V	0.8W +0.2V	0.9W +0.1V
C	0.2W +0.8V	0.3W +0.7V	0.5W +0.5V	0.7W +0.3V	0.8W +0.2V
M	0.1W +0.9V	0.2W +0.8V	0.3W +0.7V	0.5W +0.5V	0.7W +0.3V
VM	0.0W +1.0V	0.1W 0.9V	0.2W +0.8V	0.3W 0.7V	0.5W +0.5V

NF : No. of visual features, v_s : Slip velocity
W: Wheel odometry, V: Visual odometry

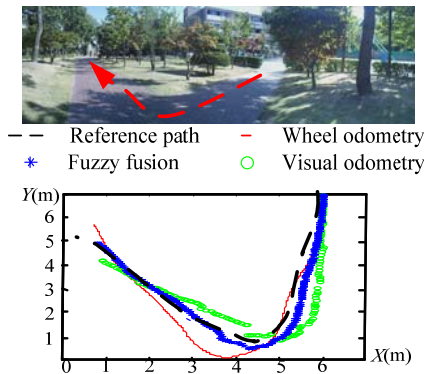


Fig. 4 Experiments in outdoor environment

그림 4는 실외환경에서 퍼지융합을 실험한 결과다. 실외환경은 지면이 고르지 않으므로 슬립이 크게 발생하므로, 휠 오도메트리의 오차가 많이 누적되는 것을 알 수 있다. 반면에, 위 환경은 카메라 영상에서 정합에 유리한 특징이 많이 추출되므로, 비주얼 오도메트리로 추정된 로봇의 위치는 비교적 정확하다. 이러한 경우는 표 1의 퍼지규칙에 의해 상대적으로 비주얼 오도메트리에 높은 가중치를 두고 두 정보를 융합한다. 융합 결과, 참조 경로와 가장 근사하게 로봇의 위치를 추정할 수 있었다.

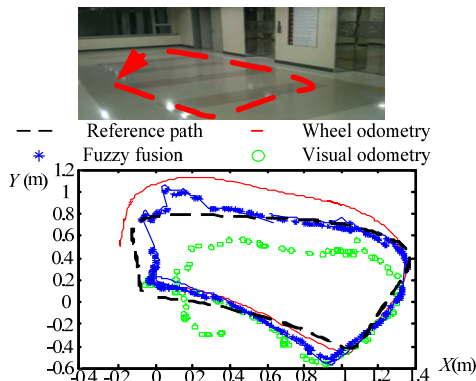


Fig. 5 Experiments in indoor environment

그림 5는 실내의 복도환경에서의 실험 결과이다. 이러한 환경은 정합에 유리한 특징이 거의 추출되지 않으므로 비주얼 오도메트리는 상당히 부정확하지만, 지면이 편평하므로 휠 오도메트리로 추정된 로봇의 위치는 상대적으로 오차가 크지 않다. 즉, 상대적으로 휠 오도메트리에 높은 가중치를 두고 퍼지융합을 수행하여 참조 경로와 가장 가깝게 로봇의 위치추정이 가능하였다.

5. 결론

본 연구에서는 궤도 로봇의 슬립을 고려한 휠 오도메트리와 카메라 영상을 통한 비주얼 오도메트리정보를 퍼지 융합하여 신뢰성 있는 위치추정이 가능하도록 하였다. 그리고 제안한 방법의 실험을 통해 두 가지 정보의 단점을 상호 보완하여 궤도 로봇의 안정적인 위치추정이 가능한 것을 보였다.

후기

본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기특화 연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원 및 지식경제부 융복합형 로봇인력 양성 사업인 “자율지능형 머니플레이션 연구센터”를 통하여 수행되었음(NIPA-2011-C7000-1001-0003).

참고문헌

- (1) Anh T. L., David.C. R. and Hugh.F.Durrant-Whyte, 1997, “Estimation of Track-soil interactions for Autonomous Tracked Vehicles,” *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1388-1393.
- (2) Jung S. J., Song J. B., Kang S. C., 2008, “Stereo Vision-based Visual Odometry Using Robust Visual Feature in Dynamic Environment,” *The Journal of Korea Robotics Society*, Vol.10, No.4, pp.263~269.
- (3) Liu Y., Liu G., 2009, “Modeling of tracked mobile manipulators with consideration of track-terrain and vehicle-manipulator interactions,” *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 57, No. 11, pp 1065~1074.
- (4) Berthold K. P. Horn, 1987, “Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions,” *Journal of the Optical Society of America A*, Vol.4, No.4, pp. 629~642.