

영상 거리계 및 평면 추정 정보를 이용한 카메라-차체 회전 캘리브레이션 방법

*이정균, 윤국진

광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부

e-mail : leejk@gist.kr, kjyoon@gist.ac.kr

Camera-Vehicle Body Rotation Calibration Method Using Visual Odometry and Plane Estimation

*Jeong-Kyun Lee, Kuk-Jin Yoon

School of Electrical Engineering and Computer Science
GIST

Abstract

본 논문에서는 카메라와 차체의 좌표계 간 회전 관계를 추정하는 회전 캘리브레이션(rotation calibration) 방법에 대하여 기술한다. 스테레오 카메라를 이용하여 영상 거리계 및 평면 법선 벡터 정보를 추정하고, 이러한 정보가 차체의 좌표계로 변환되는 관계를 추정함으로써 회전 캘리브레이션을 수행한다. 실험에서는 제안된 방법을 digital elevation map 추정에 적용시킴으로써 회전 캘리브레이션 결과에 의해 발생된 회전 보정의 효과를 확인한다.

I. 서론

최근 자동차 시장에서는 첨단 운전자 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 및 자율 주행 기술이 차세대 기술로써 대두됨에 따라 저가형 센서인 카메라를 활용한 영상 처리 및 컴퓨터 비전 분야의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중에서도 도로 노면 프로파일 추정 기술[1,2] 등과 같은 일부 기술들은 카메라 기준에서 추정된 차량 전방의 3차원 정보를 차량의 관점에서 해석해야 하는데, 이를 위해서는 카메라와 차체의 좌표계 간 변환 관계를 알아야 한

다.

본 논문에서는 영상 거리계(visual odometry)에서 획득한 카메라의 자체 운동(ego-motion) 정보와 도로 노면 평면의 법선 정보를 이용하여 카메라와 차체 좌표계 간 회전 관계를 추정하는 방법에 대해 제안한다. 제안된 방법은 체스보드와 같이 캘리브레이션을 위한 추가적인 장치를 필요로 하지 않으며, 도로 위에서 주행 중에 획득한 영상만을 이용하여 캘리브레이션을 수행할 수 있다.

II. 제안하는 방법

2.1 카메라-차체 회전 캘리브레이션 방법

주행 영상을 이용하여 카메라와 차체 간 회전 캘리브레이션을 수행하기 위해서, 본 연구에서는 차량이 평평한 도로면을 직선으로 주행하고 있으며, 도로 노면 평면의 법선과 주행 방향이 수직임을 가정한다. 그리고 차체의 좌표계 \mathbf{B} 는 그림1과 같이 주행 방향을 Z 축, 평면 법선의 방향을 Y 축으로 정의한다. 카메라 좌표계 \mathbf{C} 에서 주행 방향의 벡터를 \mathbf{m} , 도로 노면 평면의 법선 방향 벡터를 \mathbf{p} 라 할 때, 차체 좌표계 \mathbf{B} 에서 카메라 좌표계 \mathbf{C} 로의 회전 행렬 \mathbf{R}_{CB} 는 다음과 같다.

$$\mathbf{R}_{CB} = [\mathbf{p} \times \mathbf{m} \quad \mathbf{p} \quad \mathbf{m}] \quad (\text{식 1})$$

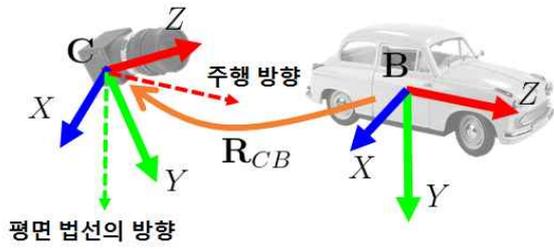


그림 1. 카메라와 차체 좌표계 간 관계

2.2 주행 방향 및 평면 법선의 초기값 추정

본 연구에서는 카메라의 자체 운동을 추정하기 위해 특징점 추출 및 추적 방법으로 FAST 코너 검출 방법 [3]과 KLT tracker[4]를 이용하였고, 차체 운동 추정을 위해 robust PnP 알고리즘[5]을 사용하였다. 도로 노면 평면의 법선을 추정하기 위해 스테레오 정합[6]에서 획득한 점군(point cloud)과 RANSAC 기법[7]을 이용하여 평면 정합을 수행한 후 법선 벡터를 획득하였다. 매 프레임 추정된 주행 방향 벡터들과 평면 법선 벡터들에 대한 평균 벡터를 각각 $\hat{\mathbf{m}}$ 과 $\hat{\mathbf{p}}$ 라 할 때, 회전 행렬의 초기값 $\widehat{\mathbf{R}}_{CB}$ 는 특이값 분해(singular value decomposition)를 통해 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\mathbf{S} = [\hat{\mathbf{p}} \times \hat{\mathbf{m}} \quad \hat{\mathbf{p}} \quad \hat{\mathbf{m}}] \quad (\text{식 2})$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^T \quad (\text{식 3})$$

$$\widehat{\mathbf{R}}_{CB} = \mathbf{U}\mathbf{V}^T \quad (\text{식 4})$$

2.3 회전 행렬의 최적화

매 프레임 추정된 주행 방향 벡터의 집합을 \mathbf{M} , 평면 법선 벡터의 집합을 \mathbf{P} , 추정해야 할 회전 행렬이 $\overline{\mathbf{R}}_{CB} = [\overline{\mathbf{n}} \quad \overline{\mathbf{p}} \quad \overline{\mathbf{m}}]$ 로 구성되었을 때, 회전 행렬을 최적화하기 위한 비용함수는 다음과 같다.

$$\min \sum_{\mathbf{m}_i \in \mathbf{M}} \rho(\|\overline{\mathbf{m}} \times \mathbf{m}_i\|_2) + \sum_{\mathbf{p}_i \in \mathbf{P}} \rho(\|\overline{\mathbf{p}} \times \mathbf{p}_i\|_2) \quad (\text{식 5})$$

함수 ρ 는 강건 추정을 위한 Tukey's biweight 함수[8]이며, Levenberg-Marquardt 방법을 통해 최적화를 수행한다.

III. 실험결과

카메라-차체 회전 캘리브레이션의 결과를 확인하기 위해서 본 연구에서는 추정된 회전 행렬을 digital ele-

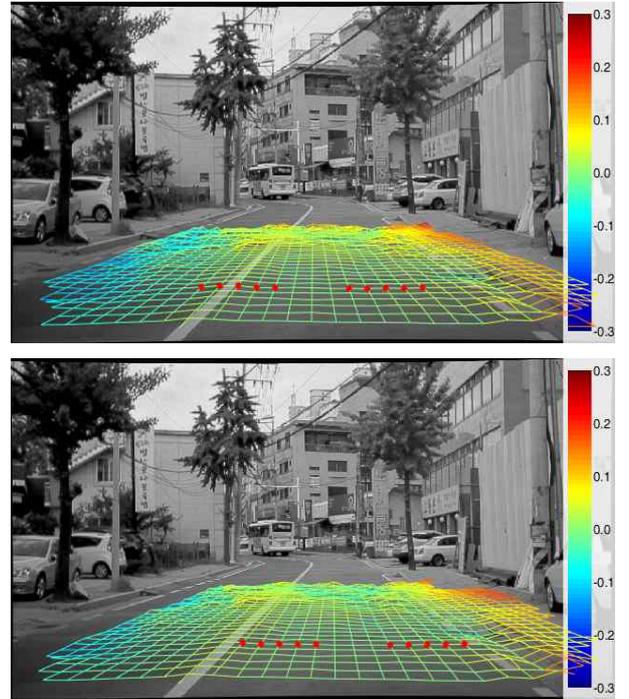


그림 2. 카메라-차체 회전 캘리브레이션 전(상)과 후(하)

vation map(DEM) 추정에 적용시킨 후 그 결과를 확인하였다. 그림2는 회전 캘리브레이션이 적용된 전과 후에 대한 실험 결과를 나타낸다. 캘리브레이션의 결과가 적용되기 전인 그림2의 상단은 차량이 직진을 함에 불구하고 카메라의 방향이 차체와 다르기 때문에 DEM의 격자선(grid)이 차선의 방향과 일치하지 않음을 볼 수 있다. 이와 달리, 회전 캘리브레이션이 적용된 후의 결과(그림2의 하단)는 격자선이 차선의 방향과 일치되어짐을 볼 수 있다. 이는 카메라에서 획득한 3차원 정보를 차체 좌표계로 정확히 변환되었음을 의미한다. 이를 통해 차량 전방의 3차원 정보를 더욱 정확하게 분석할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 카메라와 차체 간의 회전 캘리브레이션을 수행하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 체스보드와 같은 캘리브레이션을 위한 추가적인 장치 없이, 제안된 방법은 평평한 도로면을 직선으로 주행하고 있는 영상이 주어질 때 도로 노면 평면의 법선과 영상 거리의 주행 방향 정보를 추정하고, 이를 이용하여 카메라와 차체 간 회전 행렬의 최적값을 산출하였다. 회전 캘리브레이션의 결과물은 DEM 추정과 같은 응용 기술에 적용되어 차체의 관점에서 3차원 정보를 더욱 정확하게 분석할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 산업기술혁신사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.10062907, “주행 안정성 향상을 위한 Preview 센서 및 능동 새시 제어시스템 개발”)

참고문헌

- [1] T. Shen, G. Schamp and M. Haddad, “Stereo vision based road surface preview”, In ITSC, 2014.
- [2] M. Lrentzon and T. Andersson, “Road Surface Modeling using Stereo Vision”, Linköpings universitet, 2012.
- [3] M. Trajković and M. Hedley, “Fast corner detection”, Image and vision computing 16(2):75–87, 1988.
- [4] C. Tomasi and T. Kanade, “Detection and Tracking of Point Features”, Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991.
- [5] S. Li, C. Xu and M. Xie, “A Robust $O(n)$ Solution to the Perspective- n -Point Problem”, In TPAMI, 34(7):1444–1450, 2012.
- [6] H. Hirschmuller, “Stereo processing by semi-global matching and mutual information”, In TPAMI, 30(2):328–341, 2008.
- [7] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”, Comm. of the ACM. 24 (6):381 - 395, 1981.
- [8] P. J. Huber, “Robust statistics”, Springer Berlin Heidelberg, 2011.