

DSM 및 다중센서 융합을 이용한 UGV의 위치인식

최성인¹, 박순용¹

¹경북대학교 IT대학 컴퓨터학부

Localization of UGV using DSM and Multi-sensor Fusion

Sung-In Choi¹, Soon-Yong Park¹

¹Kyungpook National University, School of Computer Science and Engineering
e-mail: ellim5th@naver.com, sypark@knu.ac.kr

요약

본 논문에서는 DSM 및 전방향 3차원 거리센서-카메라의 융합을 이용한 UGV(Unmanned Ground Vehicle)의 위치인식 기술에 대해 소개한다. 제안된 방법은 P2P(Perspective 2-Point) 알고리즘을 이용한 쌍정합과 DSM을 활용한 ICP 정체정합으로 구성된다. ICP 정체정합 시 연속적으로 획득되는 전방향 3차원 거리데이터와 DSM의 정보를 동시에 활용하는 새로운 비용함수를 제안한다. 정량적인 실험 및 분석을 통해 제안된 위치추정방법의 우수성을 검증하였다.

1. 서론

Velodyne사의 전방향 3차원 거리센서가 시장에 소개된 이후로 지난 10년간 로보틱스 분야에서는 이를 이용한 다양한 3차원 정합기반 위치추정 기법이 학계에 소개되었다. 최근에는 이러한 3차원 거리센서와 더불어 비전센서, 향법센서 등 다양한 센서 정보를 서로 융합하여 UGV의 위치인식에 활용하는 사례가 증가하는 추세이며, 이미 수많은 연구결과를 토대로 이러한 센서 융합 접근법의 정확성과 효율성이 검증되었다.

본 논문에서 제안하는 기술의 핵심은 전방향 3차원 거리센서와 카메라의 정보를 융합하는데 있다. 또한, DSM(Digital Surface Map)의 정보를 추가적으로 활용함으로써 월드좌표계에서 이동 중인 UGV의 3차원 위치 및 자세정보를 정밀하게 획득하고자 한다. 본 논문에서 사용하는 DSM은 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표체계를 따르며 0.25m급의 해상력을 가지고 있다. [그림 1]은 제안하는 위치추정 기술의 기본 개념을 보여준다.

2. 본론

제안하는 위치추정 기술은 크게 P2P 기반 쌍정합과 DSM을 이용한 정체정합으로 나뉜다. [그림 2]는 위치추정을 위한 알고리즘 순서도를 보여준다. P2P 기반 쌍정합은 연속하는 거리데이터-영상 프레임, 즉 $n-1$ 과 n 프레임 사이의 상대모션 $T_c^{n,n-1}$ 을 추정하는 기술로써 UGV의 초기자세를 빠르게 획득하기

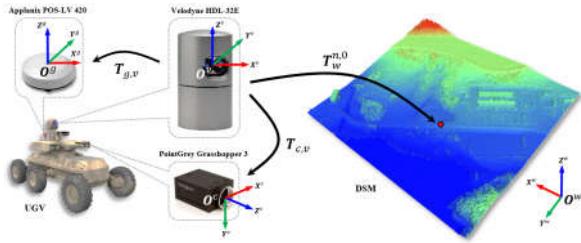
위해 사용된다. 적용된 P2P 알고리즘은 본 논문의 이전 연구결과로써 [1]에서 제안된 방법을 사용한다.

P2P 알고리즘으로 상대모션을 계산할 때는 3차원 거리센서로 획득한 n 프레임의 어떤 3차원 점 $P_{c_i}^n$ 과 이에 매칭되는 $n-1$ 프레임의 2차원 영상 점 p_i^{n-1} 를 필요로 한다. UGV가 연속적으로 움직이고 있다고 가정하면 $n-1$ 과 n 프레임 사이에는 반드시 모션 차이가 발생하므로 $P_{c_i}^n$ 의 2차원 매칭점 p_i^{n-1} 은 곧바로 구할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 [그림 3]에서 보이는 것과 같이 $P_{c_i}^n$ 을 먼저 n 프레임의 영상면에 투영하여 p_i^n 를 획득한 후 영상 점-대-영상점 추적(tracking)을 통해 p_i^{n-1} 를 획득하였다. 추적은 optical flow 알고리즘으로 잘 알려진 KLT 특징점 추적기(Kanade-Lucas-Tomasi feature tracker)를 사용하였다[2].

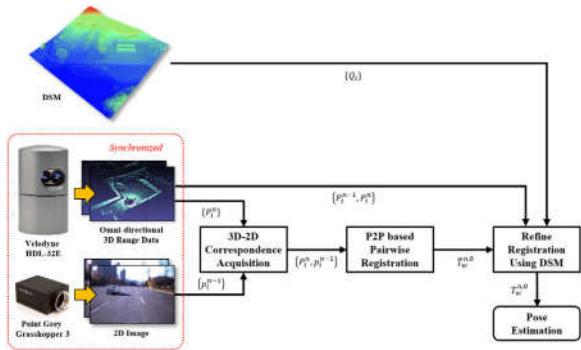
P2P 알고리즘으로 $T_c^{n,n-1}$ 가 계산되고 나면 0번째 프레임, 즉 UGV의 최초 위치에서 n 번째 프레임의 위치로 이동하는 초기 월드변환행렬 $\tilde{T}_w^{n,0}$ 가 식 (1)과 같이 결정된다.

$$\tilde{T}_w^{n,0} = T_c^{n,n-1} T_w^{n-1,0} \quad (T_w^{0,0} = I) \quad (1)$$

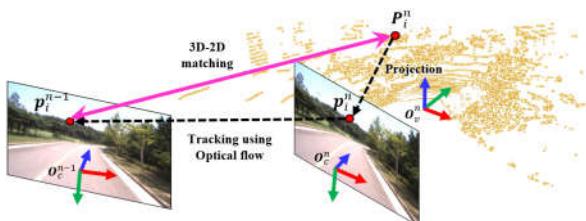
초기 월드변환행렬 $\tilde{T}_w^{n,0}$ 가 결정되고 나면 이어서 DSM 기반 정체정합을 수행하여 최종적으로 $T_w^{n,0}$ 을 획득한다. 본 논문에서는 3차원 정합 알고리즘으로



[그림 1] DSM 및 다중센서 융합 기반 위치추정의 개념



[그림 2] 위치추정을 위한 알고리즘 순서도



[그림 3] Optical flow 기반 3차원-2차원 매칭점 획득

써 널리 알려진 Point-to-Plane ICP 알고리즘을 사용한다[3]. 일반적으로 ICP 알고리즘은 식 (2)의 비용함수를 반복적으로 최적화함으로써 두 3차원 거리데이터 $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 와 $D=\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 사이의 상대모션 T 를 최소화 한다.

$$T \leftarrow \operatorname{argmin}_T \sum_{i=1}^n w_i \| \hat{d}_i \cdot (T \cdot s_i - d_i) \|^2 \quad (2)$$

식 (2)에서 \hat{d}_i 는 3차원 점 d_i 의 범선벡터를 의미하며 w_i 는 가중치로써 ICP 알고리즘 적용 시 거리제약에 따라 0 또는 1이 된다[3].

본 논문에서는 식 (2)의 비용함수를 사용하는 대신 연속하는 3차원 거리데이터 및 DSM의 정보를 동시에 활용하는 새로운 비용함수를 다음과 같이 제안한다.

$$\begin{aligned} P_{w_i}^{n-1} &= T_w^{n-1,0} P_{c_i}^{n-1} \\ e^V &= w_i^V \| \hat{P}_{w_i}^{n-1} \cdot (\tilde{T}_w^{n,0} \cdot P_{c_i}^n - P_{w_i}^{n-1}) \|^2 \\ e^D &= w_i^D \| \hat{Q}_i \cdot (\tilde{T}_w^{n,0} \cdot P_{c_i}^n - Q_i) \|^2 \\ T_w^{n,0} &\leftarrow \operatorname{argmin}_{\tilde{T}_w^{n,0}} \{e^V + e^D\} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 Q_i 와 \hat{Q}_i 는 각각 DSM의 어떤 한 3차원 점과 이의 범선벡터를 의미하며 $T_w^{n-1,0}$ 는 0에서 $n-1$ 프레임으로 이동하는 월드변환행렬을 뜻한다.

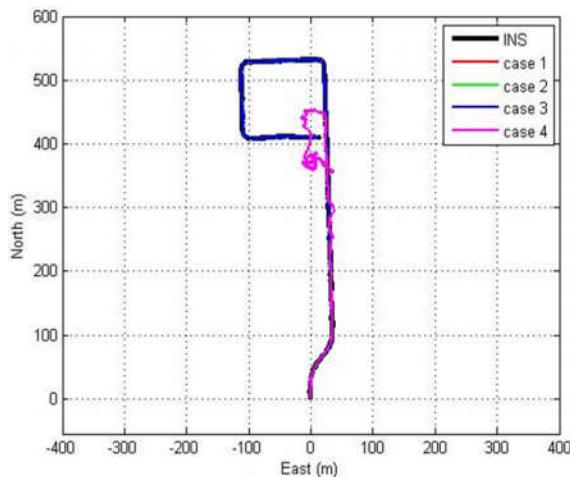
3. 실험결과

실험은 창원 국방과학연구소 내 야외실험장에서 진행되었다. 실험에 사용된 전방향 3차원 라이더는 Velodyne의 HDL-32e이며, 카메라는 PointGrey의 Grasshopper3를 사용하였다. P2P 알고리즘은 특성상 3차원-2차원 매칭정보를 사용하기 때문에 전방향 라이더 센서와 카메라는 사진에 반드시 보정이 되어야 한다. 보정 파라미터를 획득하기 위해 본 논문에서는 [4]에서 제안된 방법을 사용하였다.

야외실험장 입구에서부터 연구동까지 약 20km/h의 속도로 UGV를 주행하면서 실험데이터를 획득하였다. 실험데이터 획득 시 제안된 알고리즘의 성능을 정확하게 평가하기 위해 고정밀 INS(Inertial Navigation System) 정보도 함께 기록하였다.

[표 1]은 위치추정 실험에 대한 결과를 정량적으로 보여준다. 실험은 획득된 3차원 거리데이터-영상 프레임의 간격을 각기 다르게 하여 총 4회 실시하였다. 매 프레임에 대해 위치추정 실험을 진행했을 때에는 INS 대비 평균 1.51m의 위치추정 오차를 보였다. 프레임 간격을 2배와 4배로 늘렸을 때에도 비슷한 정밀도 수준을 보였다. 실험을 통해 제안된 방법의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

하지만 8배로 프레임 간격을 늘렸을 경우에는 위치추정에 실패하였다. DSM으로 위치추정에 실패한 부분을 자세히 확인해보면 3차원 특징이 거의 없는 평지인 것을 확인할 수 있다. 동일한 평지 부분에 대해 1~4배 프레임 간격에서는 성공했던 것과 대비되는 결과이다. 이러한 실험결과를 통해 P2P기반 3차원 초기자세 획득이 매우 중요한 과정임을 확인할 수 있었다. 그림 4는 위치추정 실험으로 획득한 UGV의 이동궤적을 보여준다.



[그림 4] 제안된 방법으로 획득한 UGV의 이동궤적

[표 1] 위치추정 실험결과

비교항목	실험 1	실험 2	실험 3	실험 4
프레임 간격	1	2	4	8
위치오차(m)	평균	1.51	2.12	2.32
	최대	7.6	8.4	14.1
	최소	0.03	0.15	0.16
회전오차(°)	평균	1.6	1.64	1.72
	최대	5.7	6.3	7.76
	최소	0.016	0.03	0.06
평균시간(ms)	쌍정합	45.1	45.3	44.8
	정제정합	742.5	744.1	745.9

4. 결론

본 논문에서는 DSM을 활용한 다중센서 융합 기반 UGV의 위치인식 기술에 대해 소개하였다. 제안된 방법은 P2P 알고리즘을 이용한 쌍정합과 DSM을 활용한 ICP 정제정합으로 구성된다. 연속하는 3 차원 거리데이터 및 DSM의 정보를 동시에 활용하는 새로운 비용함수를 제안함으로써 ICP 정제정합의 성능을 향상시켰다. 정량적인 실험 및 분석을 통해 제안된 위치추정방법의 우수성을 검증하였다. 향후 연구에서는 제안된 위치추정방법의 성능을 보다 개선하고 처리속도를 비약적으로 향상시키기 위한 노력을 계속적으로 이어나가고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기술 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] S. I. Choi, and S. Y. Park, "A New 2-Point Absolute Pose Estimation Algorithm under Planar Motion," in Proc. of Intl. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 2015.
- [2] J. Shi and C. Tomasi, "Good Features To Track," In Proc. of IEEE Intl. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 593–600, 1994.
- [3] Y. Chen, G. Medioni. "Object Modeling by Registration of Multiple Range Images," in Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2724–2729, 1991.
- [4] K. Kwak, D. F. Huber, H. Badino and T. Kanade, "Extrinsic calibration of a single line scanning lidar and a camera," in Proc. of IEEE Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3283–3289, 2011.