

3차원 복원을 위한 Laser Range Finder 기반 Disparity Map 생성 알고리즘

성창훈 김시종 안광호 정명진
한국 과학 기술원

Laser Ranger Finder based disparity map generation algorithm for 3D reconstruction

Chang-Hun Sung , Si Jong Kim, Kwang Ho An, Myung Jin Chung
Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract - Disparity 맵은 스테레오 카메라의 이미지 평면에 동일한 3차원 포인트를 나타내는 픽셀간의 차이를 나타내는 이미지이다. 이는 3차원 정보를 얻기 위하여 생성 한며 생성된 Disparity 맵은 Triangulation을 이용하여 3차원 복원이 가능하다. Disparity 맵은 픽셀의 intensity의 차를 이용하여 구하므로 Repeated Pattern 이나 Textureless 부분에서 많은 에러가 생기는 문제가 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 싱글 카메라와 레이저 레인지 파인더의 캘리브레이션을 통해 알아낸 기하학적인 관계를 이용하여 3차원 정보를 카메라의 이미지 평면으로 역 사영 시켜서 Disparity 맵을 생성하는 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 기존의 스트레오 카메라 기반으로 Disparity 맵을 생성하는 경우에 생기는 Repeated Pattern 이나 Textureless 부분의 문제를 해결 할 수 있다는 것을 실험을 통하여 검증 하였다.

1. 서 론

최근 센서의 저가화, 정밀화가 이루어지면서 이동 로봇에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 과거 이동 로봇의 위치 인식, 물체 인식, 장애물 회피 등의 연구는 2차원에서 이루어 졌으나 최근에는 3차원에서 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 3차원 환경을 복원하는 방법으로 스테레오 매칭(matching)방법이 많이 이용 되고 있다. 그러나 이런 스테레오 카메라에 의한 갈라 3차원 복원은 Repeated Pattern 이나 Textureless 부분에 있어서 그 정확성이 떨어지는 문제가 있었다.[2] 본 논문에서는 스테레오 카메라가 아닌 단일 카메라와 레이저 레인지 파인더를 기반으로 하는 Disparity 맵을 생성하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 2.1절에서는 카메라-레이저 레인지 파인더 캘리브레이션 2.2절에서는 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵 생성에 대하여 설명한다.

2. 본 론

2.1 카메라-레이저 레인지 파인더 캘리브레이션 2.1.1 카메라 레이저 레인지 파인더 캘리브레이션 전체 과정

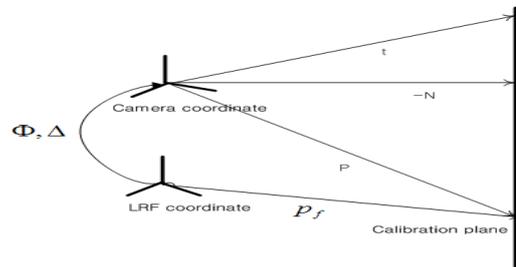
카메라 캘리브레이션은 카메라의 정보를 알아내는 과정으로 카메라의 정보는 크게 내부 변수 (intrinsic parameter)와 외부변수(extrinsic parameter) 두 가지로 나눌 수 있다. 이 논문에서는 Pinhole 카메라 모델을 기반으로 하였으며 카메라와 레이저 레인지 파인더 캘리브레이션을 하기 위하여 다양한 포즈(pose)의 격자무늬 평면에 대하여 카메라에서 사진 정보를 얻고 레이저 레인지 파인더를 통하여 거리 정보를 얻는다. 다양한 포즈(pose)의 격자무늬 평면에 대하여 얻은 사진을 이용하여 우선 카메라와 격자무늬 평면간의 내부 변수(intrinsic parameter)와 외부 변수(extrinsic parameter)을 얻는다.[1] 이후 격자 무늬 평면에 대한 카메라 좌표계와 레이저 레인지 파인더 좌표계간의 기하학적인 관계를 이용하여 카메라와 레이저 레인지 파인더의 회전 행렬(Φ),평행이동 벡터(Δ)을 구한다.

2.1.2 카메라-레이저 레인지 파인더 캘리브레이션

<그림1>에서 P는 카메라에서 본 격자무늬 평면 위의 포인트 좌표 $((x,0,z)^T$), P_f 는 레이저 레인지 파인더에서 본 격자무늬 평면 위의 포인트 좌표 $((x,y,z)^T$), Φ 는 카메라 좌표계와 레이저 레인지 파인더 좌표계간의 회전 행렬, Δ 는 카메라 좌표계와 레이저 레인지 파인더 좌표계간의 평행 이동 벡터이다. R, t은 격자무늬 평면과 카메라간의 회전 행렬과 평행 이동 벡터이다. P와 P_f 간에는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$P_f = \Phi P + \Delta \tag{1}$$

이 식을 통하여 레이저 레인지 파인더 좌표에서의 포인트를 카메라 좌표에서의 포인트로 표현이 가능해 진다.



<그림 1> 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity map 생성 과정

격자무늬 평면은 Z=0인 평면으로 두면 격자무늬 평면에 수직인 방향의 N은 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$N = -(R_3^T t) R_3 \tag{2}$$

R_3 은 회전 행렬의 3번째 열이고 t은 격자무늬 평면과 카메라의 평행 이동 벡터이다.

카메라 좌표계에서 본 격자무늬 평면의 포인트 P은 식(1)에서

$$P = \Phi^{-1}(P_f - \Delta) \tag{3}$$

로 표현이 가능하며 이는 $N \cdot P = \|N\|$ 을 만족한다. 따라서 식(4)을 구할 수 있다.

$$N \cdot \Phi^{-1}(P_f - \Delta) = \|N\| \tag{4}$$

카메라 캘리브레이션과 식 (2) 통해서 구한 N과 레이저 레인지 파인더를 통하여 얻은 P_f 을 이용하여 Φ, Δ 을 구할 수 있으며 Φ, Δ 을 구하기 위하여 식 (5)와 같이 정의한다.

$$N \cdot H \hat{P}_f = \|N\|^2 \tag{5}$$

여기서 H 행렬은 다음과 같이 정의한다.

모든 P_f 에 대하여 스택하면 $Ax=b$ 선형 방정식이 되어 H을 구할 수 있으며 H을 이용하여 Φ, Δ 을 구할 수 있다.

$$\Phi = [H_1, -H_1 \times H_2, H_2]^T$$

$$\Delta = -[H_1, -H_1 \times H_2, H_2]^T H_3$$

$$H = \Phi^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 - \Delta \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기서 H_i 은 H 행렬의 i 번째 열이다.

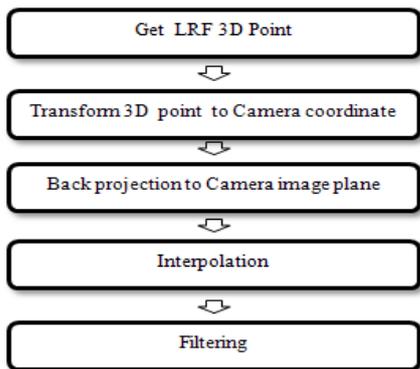
2.2 Disparity 생성

레이저 레인지 파인더 기반 Disparity map 은 아래 그림 2와 같은 과정을 거쳐 생성 된다. 레이저 레인지 파인더를 통한 3차원 포인트는 스탑 앤 스캔(stop-scan)방식을 통하여 데이터를 여러 프레임 얻은 이후에 통합 과정을 통하여 얻는다. 2.1절의 식 (3)을 이용하여 3차원 포인트는 카메라 좌표축으로 표현이 가능하다. 카메라 좌표계로 표현한 3차원 포

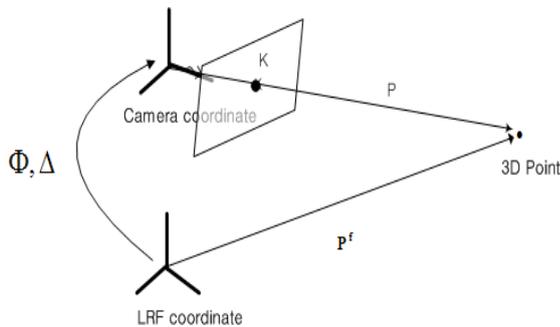
인터는 식(6)와 같이 카메라 내부 변수 행렬 K (intrinsic parameter) 통하여 카메라 이미지 평면으로 3차원 포인터를 역 사영 시킬 수 있다.

$$x = K[I: 0]X \quad (6)$$

카메라 좌표계의 점들을 카메라 이미지 평면으로 사영을 시키는 것이므로 회전 행렬은 3차원 단위 행렬이 되고 평행 이동 벡터는 3×1 영행렬이 된다. 카메라 이미지 평면으로 역 사영시킨 점은 이미지 평면에서 3차원 포인터의 거리 정보를 담고 있으나 성긴 형태로 얻어져서 이미지 평면 전체의 거리 정보를 얻을 수가 없다. 따라서 조밀한 Disparity 맵을 생성하기 위한 방법으로 역 사영 시켜서 얻은 이미지 평면에 있는 점들을 영상 보간법에 의하여 이미지 평면 전체에 조밀한 Disparity 맵을 생성한다. 이렇게 생성된 Disparity 맵은 카메라 시야(Field of view)에서 조밀한 3차원 거리 정보를 나타낸다. 영상 보간법을 이용하여 Disparity 맵을 생성하면 영상 보간법에 의한 오차가 생기므로 이를 줄일 수 있는 후처리 과정이 필요하다. 이에 후처리 과정으로 윈도우 기반 필터링을 하여 보다 정밀한 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵을 생성한다.



<그림 2> 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵 생성 흐름도

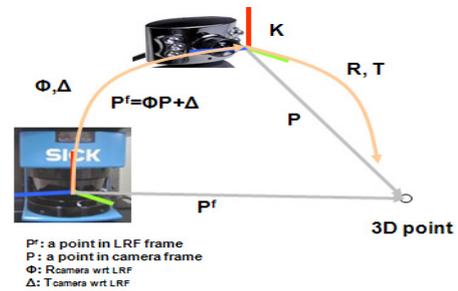


<그림 3> 카메라와 LRF 간의 기하학적 관계

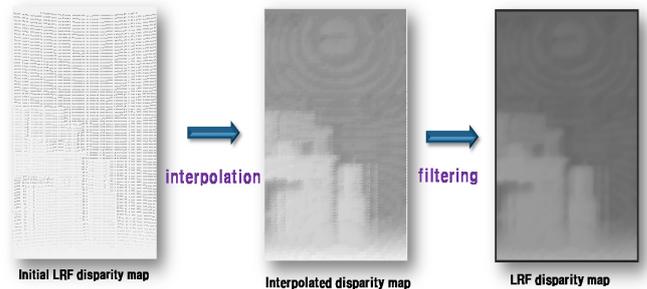
2.3 실험 결과

본 실험은 <그림 4>와 같이 SICK MLS-200 레이저 레인지 파인더와 단일 카메라를 사용하여 실내에서 실험이 이루어 졌다. <그림 5 a>은 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵을 생성하는 과정을 나타내는 것으로 3차원 포인터를 이미지 평면으로 역 사영 시켰을 경우에 성긴 형태로 이미지 평면에 3차원 포인터의 거리 정보가 표현이 되는 것을 확인할 수가 있다. 이렇게 얻어진 영상을 영상 보간법을 통하여 조밀한 Disparity 맵을 생성하여 카메라 시야(field of view)에서 조밀한 3차원 정보를 얻을 것을 확인할 수가 있다. <그림 5 b> 영상 보간법에 의하여 생성된 Disparity 맵은 영상 보간에 의한 오차를 포함 하고 있으므로 이를 제거하는 후처리 과정으로 <그림 5 c>와 같이 윈도우 기반 필터링을 수행하면 보정된 Disparity 맵이 생성 되는 것을 볼 수가 있다. <그림 6>은 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵은 Stereo 기반 Disparity 과 비교한 것이다. <그림 6 a>은 실험 환경 사진이고 <그림 6 b>은 스테레오 기반 Disparity 맵으로 책상의 책과 같이 Repeated Pattern 부분이나 바닥 부분, 책상의 모서리 부분과 같이 경계 부분에서 많은 에러가 생기는 것을 볼 수가 있다. 그러나 <그림 6 c>와 같이 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵에서는 가까운 책상 부분은 밝게

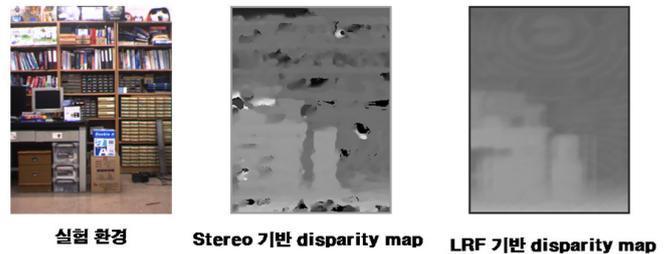
면 책상 부분은 어둡게 보이며 서서히 거리가 변화하는 바닥부분은 음영도 서서히 변화가 생긴다. 그리고 물체의 모서리 부분 경계도 주변과 비교하여 명확하게 구분이 되는 것을 확인할 수가 있다. 따라서 기존의 스테레오 기반의 Disparity 맵을 이용한 것보다 3차원 복원 보다 정밀한 3차원 복원이 가능한 것을 확인할 수가 있다.



<그림 4> 실험 환경



<그림 5> 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵 생성 과정



<그림 6> 스테레오 기반 Disparity 맵과 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵

3. 결론

본 논문은 기존의 스테레오 카메라를 이용한 Disparity 맵에서 Repeated Pattern 이나 Textureless 부분에서 생기는 문제를 해결하기 위하여 단일 카메라와 레이저 레인지 파인더 기반 Disparity 맵 생성 알고리즘을 제안하였으면 위의 실험 결과를 보면 스테레오 기반 Disparity 맵 보다 향상된 Disparity 맵을 생성 하는 것을 확인할 수가 있다.

4. 감사의 말

이 연구는 국방 과학 연구소(ADD)의 Unmanned Technology Research Center(UTRC)사업의 도움을 받았습니다.

[참고 문헌]

[1] Q,Zhang and R.pless, "Extrinsic calibration of a Camera and Laser Range Finder(improves camera calibration)", in Proceedings of the IEEE/RSJ International conference on Intelligent Robots and Systems ,2004
 [2] Heiko Hirschmuller, Peter R, "Real-Time Correlation-Based Stereo Vision with Reduced Border Errors", International Journal of Computer Vision", Volume 47, p.229-246, spring, 2004
 [3] Richard hartley and Andrew Zisserman, "Mutiplen View Geometry in computer vision", second edition