

이벤트 기반으로 복원한 영상에서의 노이즈 제거 방법

백승한 송도훈 박종일†

한양대학교

{hameli, dohoons, jipark}@hayang.ac.kr

Denoising Method Using Reconstructed Frame Based On Event

Seung-han Paek, Do-hoon Song, Jong-il Park

Hanyang University

요 약

밝기 차이가 발생할 때마다 비동기적으로 영상을 획득하는 이벤트 카메라는 기존의 프레임 기반 카메라가 가지고 있는 한계점을 보완하기 위해 사용된다. 이벤트는 비동기적으로 획득되고 프레임보다 훨씬 빠르게 작동할 수 있기 때문에, 이를 활용하는 방안은 다양하다. 본 논문에서는 기존의 프레임 기반 카메라를 대체하여 사용하기 위해 이벤트만 활용하여 프레임 형태의 영상을 복원한 선행연구를 기반으로 한다. 복원한 영상의 노이즈를 제거하는 방법을 제시하고, 기존의 노이즈 제거 방법들과 비교하여 성능을 평가한다. 또한 기존에 있는 대표적인 특징점 추출방법을 노이즈를 제거한 영상에 적용해보고, 복원된 영상에서의 특징점 추출에 적합한 추출방법을 확인한다. 이 결과는 프레임 기반의 특징점을 추출하여 추적하는 다양한 분야에서 기존의 카메라를 대체할 수 있다.

1. 서론

이벤트카메라는 밝기 차이에 의해 발생하는 이벤트(Event)를 측정하는 장치로, 프레임 기반 카메라와는 다르게 작동한다. 이벤트가 발생할 때마다 비동기적으로 입력을 받고, 급격한 움직임이나 심한 밝기 차이에도 강인한 성질을 가진다. 입력의 시각화를 하기 위해 주로 검은 화면에 밝기가 상승하는 On 과 밝기가 감소하는 Off 를 각각 다른 색으로 표시하여 프레임 형태로 단순한 복원을 한다. 기존의 영상처리 알고리즘을 사용하기 위해서는 일정한 시간마다 발생하는 프레임이 필요하고, 이를 위해 비동기적으로 발생하는 이벤트를 이용하여 프레임 형태의 영상을 복원하는 과정이 필요하다. 이 논문에서는 이벤트 카메라를 통해 그레이스케일 프레임 형태의 영상을 복원한 선행연구[1]를 기반으로 하여 실험을 진행한다. 이후 특징점을 추출 및 추적하는 다른 분야에서 사용하기 적합한 지에 대해서 확인하기 위한 비교실험을 한다. 특히 특징점을 추출하는 방법의 성능을 향상시키기 위해 이벤트에서 복원된 영상의 노이즈를 제거하는 알고리즘을 제시하고, 기존의 노이즈 제거 알고리즘과의 비교를 통해 알고리즘의 성능을 평가한다.

2. 관련 연구

특징점을 추출하고 추적하는 방법은 많지만, 최근 연구에서 대표적으로 사용하는 알고리즘이 몇 가지 있다. 먼저, Shi 와 Tomasi 가 제시한 특징점 추출방법[9]은 특징점의 평행이동만 고려하여 특징점을 추출하던 기존의 방식과는 다르게 affine 변화까지 고려하여 특징점을 추출 및 추적한다. 다음으로 Lucas 와 Kanade 가 제시한 알고리즘[10]은 보고자 하는 특징점의 이웃 화소가 같은 모션 벡터를 가진다는 가정에서 시작하여 주변 화소까지 고려하여 최소자승법을 이용한 광학 추적을 수행한다. 이 두 방법은 영상처리 분야에서 주로 사용되는 프레임워크인 openCV 에서 함수로 구현되어 있는 대표적인 특징점 추출 및 추적 방법이다. Rublee 외 연구진이 제시한 방법[3]은 주변 픽셀과의 밝기 차이를 통해 빠르게 특징점을 추출하는 FAST 알고리즘[7]과 함께 주변 픽셀과의 밝기 차이를 이진 형식으로 압축하여 기술자(Descriptor)를 생성하는 BRIEF 알고리즘[5]을 결합한 방법이다. 이전에 제시되었던 특징점 추출방법인 SIFT[6]와 SURF[4]보다 처리속도가 더 빠르기 때문에 자주 사용되고, 앞의 두 방법과 마찬가지로 openCV 에서 구현이 되어있다.

† : 교신저자

이미지 또는 영상에 일정한 필터를 적용하여 노이즈를 제거하는 알고리즘에 대한 연구도 있다. 먼저, Rudin 외 연구진이 제시한 방법[11]에서는 정상적인 신호인 경우 주변 신호와 유사하여 총 변동량(Total Variation)이 높을 것이라는 가정을 이용하여 노이즈를 제거한다. Antoni 외 연구진이 제시한 방법[12]에서는 같은 프레임 내에서 유사한 영역을 찾아 평균을 취하는 Non-Local Means 방식을 이용한다. 이 두 가지 노이즈 제거 방법은 특징점 추출 방법들과 동일하게 openCV 에서 함수로 구현되어 있는 대표적인 노이즈 제거 방법이다.

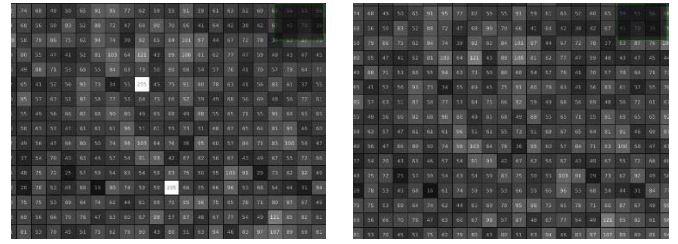
이벤트 카메라로 촬영된 각각의 이벤트는 일반적인 RGB 카메라에서 얻은 영상과 달리 굉장히 적은 내용을 담고 있어, 기존 비전 알고리즘을 적용함에 어려움이 따른다. 이를 해소하기 위해 이벤트가 발생한 위치에 시간 값을 누적하여 프레임화하려는 시도[1]가 이루어졌다. Scheerlinck 외 연구진이 제시한 방법[1] 또한 이러한 방법을 이용하였는데, 이벤트 카메라를 통해 동시에 획득한 프레임과 이벤트를 결합하는 필터를 제시하고, High Pass Filter 를 통해 기존 프레임의 품질을 향상시켰다. 이 연구는 기존의 프레임 기반 카메라의 문제점을 보완하기 위해서 이벤트를 이용하는 방식을 채택하였다. 그러면서 이벤트 데이터만을 사용하여 영상을 프레임의 형태로 복원하는 것을 시도했는데, 기존의 프레임과 거의 유사하게 복원이 되었다. 이 논문에서는 이 방법으로 복원한 프레임 형태의 영상에서 특징점의 추출을 용이하게 하기 위해 추가적으로 노이즈를 제거하는 방법을 제시한다. 그리고 노이즈를 제거한 영상에서 어떤 특징점 추출 방법이 원본 프레임의 특징점 추출과 비슷한 결과를 내는 지 평가하기 위한 실험을 진행한다.

3. 실험

먼저, 실험을 진행하기 위해 이벤트 데이터에서 영상을 복원할 필요가 있었다. 선행연구 중 이벤트를 사용하여 프레임 형태의 영상을 복원하는 방법을 사용하였다[1]. 다양한 경우의 복원 및 노이즈 제거 실험을 위해 Mueggler 외 연구진에서 제시한 데이터셋[15]을 활용하였다.

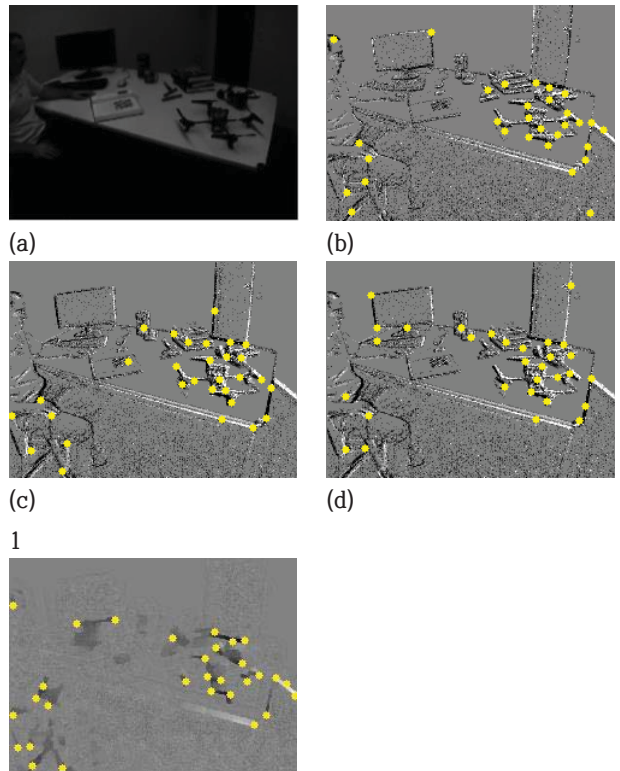
먼저 이벤트를 이용해 프레임 형태로 복원한 영상의 노이즈를 제거하기 위해서 노이즈의 특성을 활용하였다. 노이즈는 그림 1(a)와 같이 주변 화소와 차이가 크게 나는데, 이는 특징점과 유사하다. 하지만 특징점은 주변 화소중에 비슷한 게 있다는 걸 감안하여 특징점을 한번 추출한 후, 그림 1(b)와 같이 노이즈 제거 방법을 적용하였다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다:

$$f'(x,y) = \{f(x-2,y) + f(x+2,y) + f(x,y+2) + f(x,y-2)\} / 4$$



(a) (b)
그림 1. 노이즈 제거 방법을 적용하기 전(a)과 후(b) 사진.

$f(x,y)$ 는 원래 이미지에서 특징점 나타내고, $f'(x,y)$ 는 주변 화소값으로 평균을 내어 노이즈를 제거한 특징점을 의미한다. 이 방법을 여러 번 반복하여 노이즈 제거의 성능을 향상시켰다. 이후 평가를 위해 다른 노이즈 제거 방법들과 비교를 진행하였다. 비교를 위해 특징점을 추출하는 방법은 shi 외 연구진이 제시한 방법[9]을 사용하였다. 선행연구 중 노이즈 제거에 사용되는 Rudin 외 연구진이 제시한 방법[11]과 Antoni 외 연구진이 제시한 방법[12]과 이벤트로 복원한 영상에서 각 방법으로 노이즈를 제거한 후, 그림 2 와 같이 기존의 프레임 기반의 영상에서 추출한 특징점과 얼마나 유사하게 추출되는 지 실험하였다, 원본 영상과 복원된 영상은 모두 240*180 해상도로



(a) (b) (c) (d) (e)
그림 2. 노이즈 제거 방법을 적용한 후 특징점을 추출한 이미지. (a) 비교의 근거가 되는 원본 영상. (b) 이벤트로 복원된 영상. (c) 논문에서 제안한 방법으로 노이즈를 제거한 영상. (d) Non-Linear Means 방식으로 제거한 영상. (e) Total Variance 방식으로 제거한 영상

동일하였고, 특징점은 200 개를 뽑았다.

또한, 이벤트로 복원한 프레임 형태의 영상에서 어떠한 특징점 추출방법의 성능이 좋은 지 비교하기 위해 동일한 데이터셋에서 실험을 진행하였다. Shi 외 연구진이 제시한 방법[9]과 Rublee 외 연구진이 제시한 방법[3]을 사용하여 특징점을 추출한 후, 기존의 프레임 기반 영상에서 추출한 것과 얼마나 유사하게 추출되었는지 비교하였다.

4. 결과

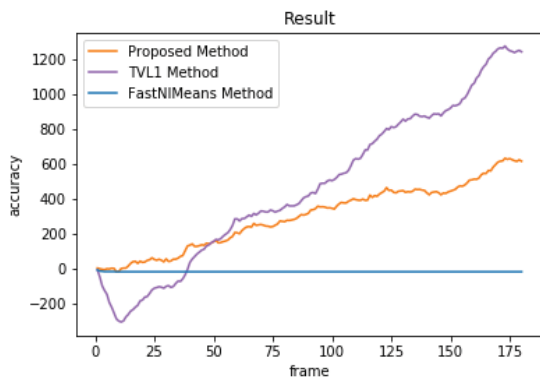


그림 3. 노이즈 제거방법별 특징점 추출의 성능을 비교한 그래프.

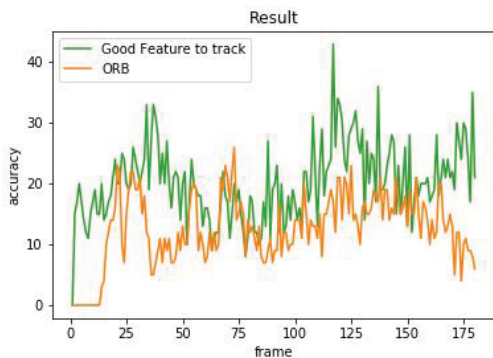


그림 4. 노이즈 제거 후 특징점 추출별 성능을 비교한 그래프.

실험의 결과를 정량적으로 평가하기 위해서 비교할 원본 영상에서의 특징점 추출과의 유사도를 측정하였다. 그림 3 에서 나타난 그래프는 이벤트에서 복원된 영상에서 추출된 특징점에 대한 비교 그래프이다. 추출된 특징점이 원본 프레임 영상의 특징점과 일치하면 점수를 주는 형식을 사용하여, 노이즈를 제거하기 전의 복원 영상과의 점수 차이를 그래프에 나타내었다. x 축은 시간을 나타내고, y 축은 점수 차이를 나타냈다. 주황색, 보라색, 파란색은 각각 이 논문에서 제안한 방법, Rudin 외 연구진이 제시한 방법[11], Antoni 외 연구진이 제시한 방법[12]을 사용한 결과를 나타낸다. 이 논문에서 제안한 방법은 복원된 영상에서 더 많은 특징점을 추출하는 모습을 보여줬다. Rudin 외 연구진이

제시한 방법[11]을 적용하였을 때에는 처음에 움직임이 적을 때에는 특징점을 잘 추출하지 못했지만, 움직임이 발생하였을 때부터는 특징점을 잘 추출하는 모습을 보였다. 대신, 그림 2(d)에서 확인할 수 있듯이 영상의 데이터가 많이 손실되었다. Antoni 외 연구진이 제시한 방법[12]은 복원된 영상과 거의 동일하게 추출하는 모습을 보여 특징점 추출에 도움이 되지 못했다.

또한, 특징점 추출방법을 비교한 결과는 그림 4 와 같이 그래프로 나타냈다. 그래프의 x, y 축은 각각 영상 프레임의 번호, 원본 영상과의 특징점 추출 비교이다. 앞과 동일하게 추출된 특징점이 원본 프레임 영상의 특징점과 일치할 때 점수를 주었다. 이벤트에서 복원한 영상에서 특징점을 추출했을 때, Shi 외 연구진이 제시한 방법[9]이 비교대상이 되는 프레임 기반의 영상에서의 특징점 추출과 비슷하게 추출되었다.

5. 결론

이벤트의 데이터에 기존 프레임 기반 알고리즘을 사용하기 위해서 프레임 형태의 영상으로 복원했을 때, 복원된 영상의 노이즈를 제거하는 방법은 제거하기 전의 영상보다 더 특징점을 잘 추출해냈고, 영상의 데이터가 더 잘 보존되었다. 이 논문의 결과는 이후 프레임 기반 영상에서 특징점을 추출하여 추적하는 측위방법[2] 등에 접목시켜 이벤트 기반의 측위 시스템에 대해 연구할 때 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019R1A4A1029800).

참고문헌

[1] C. Scheerlinck, N. Barnes, R. Mahony, "Continuous-time Intensity Estimation Using Event Cameras", Asian Conference on Computer Vision (ACCV), Perth, 2018.

[2] T. Qin, P. Li and S. Shen, "VINS-Mono: A Robust and Versatile Monocular Visual-Inertial State Estimator," in IEEE Transactions on Robotics, vol. 34, no. 4, pp. 1004-1020, Aug. 2018.

[3] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige and G. Bradski, "ORB: An

- efficient alternative to SIFT or SURF," 2011 International Conference on Computer Vision, Barcelona, pp. 2564-2571, 2011.
- [4] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "Surf: Speeded up robust features," In *European Conference on Computer Vision*, May 2006.
- [5] M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, and P. Fua, "Brief: Binary robust independent elementary features," in *European Conference on Computer Vision*, 2010.
- [6] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," in *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91-110, 2004.
- [7] E. Rosten and T. Drummond, "Machine learning for highspeed corner detection," in *European Conference on Computer Vision*, volume 1, 2006.
- [8] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," in *Alvey Vision Conference*, pages 147-151, 1988.
- [9] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94., 1994 IEEE Computer Society Conference on*. IEEE, 1994, pp. 593.600.
- [10] C. Tomasi. T. Kanade, "Detection and tracking of point features.", Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, 1991.
- [11] L. I. Rudin, S. Osher and E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms," *Physica D*. 60 (1-4): 259-268, 1992.
- [12] B. Antoni, C. Bartomeu, M. J. Michel, "Non-Local Means Denoising," *Image Processing On Line*, pp. 208-212, 2011.
- [13] A. Z. Zhu, N. Atanasov, K. Daniilidis, "Event-based Inertial Odometry", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, 2017.
- [14] R. Benosman, C. Clercq, X. Lagorce, Sio-Hoi Ieng, and C. Bartolozzi, "Event-Based Visual Flow", *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 25, no. 2. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, pp. 407-417, 2014.
- [15] E. Mueggler, H. Rebecq, G. Gallego, T. Delbruck, D. Scaramuzza, "The Event-Camera Dataset and Simulator: Event-based Data for Pose Estimation, Visual Odometry, and SLAM," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 36, Issue 2, pages 142-149, Feb. 2017.