

3차원 복원 및 시점 합성을 위한 반복적인 매칭 비용 업데이트 기반의 다시점 스테레오 매칭 알고리즘

*이민재 *박순용 **엄기문 **정원식 **윤정일 **이진환

*경북대학교 전자공학부

**한국전자통신연구원 통신미디어연구소 실감미디어연구실

Iterative Matching Cost Update based Multi-view Stereo Matching Algorithm for 3D Reconstruction and View Synthesis

*Lee, Min-Jae *Park, Soon-Yong **Um, Gi-Mun **Cheong, Won-Sik

**Yun, Jounghil **Lee, Jinhwan

*Kyungpook national university, School of electronics engineering

** Digital Broadcasting Research Division, Electronics and Telecommunications, Research Institute

요약

본 논문에서는 정밀한 3차원 복원 및 시점 합성을 위해 매칭 비용을 반복적으로 업데이트하는 Generalized Soft 3D Reconstruction (GenSoft3D) 알고리즘을 제안한다. 먼저 다시점 영상들과 카메라 자세정보가 주어지면 GenSoft3D는 볼륨 기반의 다시점 스테레오 매칭 알고리즘으로 시점별 초기 매칭 비용 볼륨 및 시차 맵을 계산한다. 그 후 정제 과정에서 각 시점은 모든 시차 맵을 이용하여 표면 확률 및 가시 확률을 계산한다. 표면 확률은 초기 매칭 비용 업데이트에 사용하며, 가시 확률은 폐색 영역의 정확한 시차를 계산하기 위해 사용된다. 해당 정제 과정을 일정 횟수 반복할 경우 시점별 고정밀의 시차 맵 획득이 가능하다. 또한 시차 맵의 정확도가 향상됨에 따라 정확한 시점 합성이 가능하다.

1. 서론

시점 합성 기술은 가상의 시점에 대한 영상을 합성하는 기술이다. 이는 사용자의 시점 변화에 따라 실시간으로 영상을 합성하여 출력함으로써 사용자는 입체감을 느낄 수 있다. 영상 합성을 위한 대표적인 방법은 다시점의 3차원 정보들을 사용하는 것이다. 정확한 3차원 정보를 사용할수록 시점 합성 영상의 정확도가 향상된다.

다시점 영상의 3차원 정보를 획득하는 대표적인 방법은 다시점 스테레오 매칭 알고리즘이다. 시점의 수가 많을수록 정확한 3차원 정보를 획득할 수 있다. 하지만, 여러 방향으로 폐색이 발생하여 물체 윤곽 영역에는 부정확한 시차가 계산된다. 이를 해결하기 위해 Panner, et. al[1]은 다시점 영상으로 시점 합성 영상을 생성하는 Soft 3D Reconstruction (Soft3D) 알고리즘을 제안하였다. 이는 시점 별로 투영-역투영 매칭을 이용한 매칭 비용을 계산한 후, 시점별 가시 확률을 계산하여 폐색 영역의 정확한 깊이를 추정한다. 하지만 매칭 비용이 부정확 할 경우 정제 과정에서 부정확한 깊이가 유지된다.

따라서 본 논문에서는 3차원 복원 및 영상 합성을 위한 반복적인 매칭 비용 업데이트 기반의 Generalized Soft 3D Reconstruction (GenSoft3D) 알고리즘을 제안한다. Soft3D 알고리즘의 가시 확률은 표면 확률을 기반으로 계산된다. 표면 확률은 시차 공간에서 물체 표면의 위치에 대한 확률을 볼륨 형태로 표현한다. 이를 이용하여 표면으로 예상되는 위치의 매칭 비용을 업데이트한다. 정제 과정이 반복 될수록 매칭 비용의 정확도가 향상되며, 표면 확률과 가시 확률 또한 향상된 매칭



그림 1. ETH3D(terrace) 의 Soft3D와 GenSoft3D 결과 비교

비용으로 계산되므로 그림 1과 같이 정확한 시차 맵 획득이 가능하다. 이로 인해 성능이 향상된 시점 합성 영상을 생성할 수 있다.

2. 양방향 필터를 이용한 Soft 3D Reconstruction

본 논문에서는 이전 연구[2]인 양방향 필터를 이용한 Soft3D의 프로세스를 개선한다. 해당 알고리즘은 행렬형태의 카메라로 획득한 영상들 또는 단일 카메라를 움직이며 획득한 영상들을 사용한다. 입력 영상들과 카메라 자세들이 주어지면, Plane Sweep Stereo(PSS) 알고리즘을 이용하여 각 시점마다 인접시점 만큼의 두 시점 비용 볼륨을 생성한다. 각 볼륨은 입력 영상의 각 픽셀마다 최대 시차 범위만큼 복셀로 구성되며 투영-역투영 매칭을 통해 계산된 비용(색상 유사도)을 가지고 있다. 두 시점 비용 볼륨들은 평균되어 기준 시점의 초기 비용볼륨으로 통합되고, 볼륨의 각 레이어마다 가이드 필터를 수행하여 매칭 비용을 정제한다. 그 후 각 픽셀은 해당 시차 축에서 가장 최소가 되는 비용의 위치를 찾아 초기 시차를 결정한다. 모든 시점의 시차가 계산되면 반복적으로 볼륨형태의 가시 확률을 계산하고, 이를 기반으로 매칭 비용들을 가중

평균하여 폐색 영역에 대한 정확한 시차를 계산한다.

Soft3D의 가시 확률 과정에 사용되는 표면 확률 볼륨에는 가이드 필터가 사용된다. 입력 영상의 색을 기준으로 필터링하여 표면 확률의 잡음을 최소화한다. 하지만 입력 영상에 잡음이 있을 경우 오히려 잡음을 발생시킬 수 있다. 이를 방지하기 위해 입력 영상을 양방향 필터로 필터링하고, 이를 표면 확률 볼륨 계산에 사용한다. 이로 인해 입력 영상의 잡음에 의한 영향이 최소화 된 표면 확률을 계산할 수 있다.

3. 표면 확률 정보를 이용한 매칭 비용 업데이트

시점 별 조명 변화 또는 특징 부족과 같은 영역의 경우 부정확한 매칭 비용이 계산된다. 이로 인해 해당 영역은 정제 과정에서 지속적으로 부정확한 시차가 계산된다. 이 문제를 해결하기 위해 표면 확률 정보를 이용하여 두 시점 비용 볼륨을 업데이트한다. 기존 시점의 각 픽셀은 표면 확률 볼륨의 시차 축에서 최대 표면 확률 값의 위치를 찾고 이를 기준으로 역방향 가우시안 모델을 생성한다. 그 후 각 픽셀은 시차 축에 해당하는 매칭 비용들에 역방향 가우시안 모델을 곱함으로써 물체 표면에 해당하는 위치의 비용이 최소가 되도록 유도한다. 정제 과정의 각 반복마다 물체 표면의 정확도가 증가하여 그림 2와 같이 정확한 두 시점 비용 볼륨을 얻을 수 있다. 또한 향상된 매칭 비용으로 물체 표면 확률 및 가시 확률이 계산되어 시차 맵을 정제하므로 최종적으로 고정밀의 시차 맵을 획득할 수 있다.

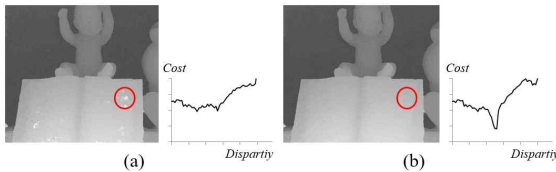


그림 2. 매칭 비용 업데이트에 의한 시차 맵 및 매칭 비용 변화

4. 실험 결과 및 결론

제안한 방법의 3차원 복원 성능 평가를 위해 먼저 비구조적인 다시점 스테레오 매칭의 데이터 셋인 ETH3D[3]을 사용한다. 각 데이터 마다 장면이 겹치는 7장의 영상을 선택하고, 이를 이용해 시차 맵을 계산한다(그림 3). 기존의 Soft3D의 경우 폐색 영역에는 정확한 시차가 계산되거나 부정확한 매칭 비용이 계산된 영역에는 정제 후에도 시차 잡음이 유지된다. 하지만 물체 표면으로 업데이트된 매칭 비용에 의해 해당 영역의 정확한 시차가 계산되었다. 정밀도의 경우 정수 단위의 3차원 점군을 이용해 측정하였으며, 임계값이 0.1,0.2,0.5(m)일 경우 기존 Soft3D는 91.56, 95.22, 97.22 (%)이며, 제안한 방법은 96.13, 98.29, 99.05 (%)이다. 초기 매칭 비용을 업데이트함으로써 성능이 크게 향상되었다. 해당 결과는 ETH3D 벤치마크의 최신 기술들과 유사한 정확도를 가지고 있다. 하지만 정밀도 측정에 사용된 3차원 점군의 단위를 보간법을 이용

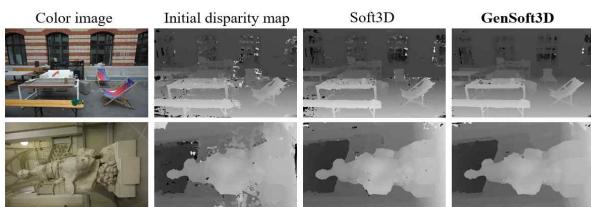


그림 3 ETH3D(courtyard, statue)의 실험결과

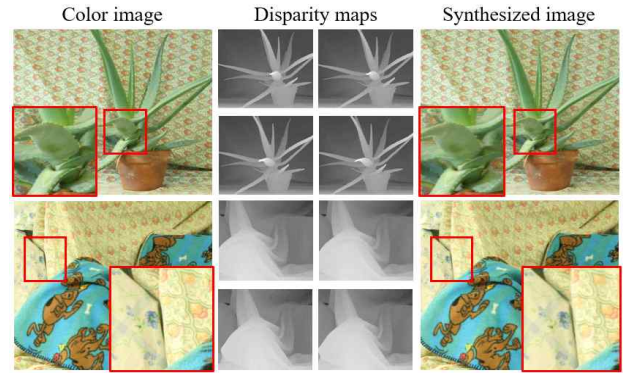


그림 4. Middlebury v2(Aloe, Cloth3)의 시차 맵 및 시점 합성 결과

하여 실수로 변환하고, 후처리 과정을 추가할 경우 성능의 향상을 기대할 수 있다.

다음은 Middlebury v2[4]를 이용하여 시점 합성의 성능을 평가한다(그림 4). 각 데이터의 7개의 시점 중에서 6개의 시점으로 시차 맵을 생성하고, 남은 시점에 대한 합성영상을 Soft3D의 시점 합성 알고리즘으로 생성하여 원본 영상과의 PSNR/SSIM을 측정한다. 제안한 방법의 실험 결과 평균 PSNR 과 SSIM은 각각 41.85/0.98로 기존 Soft3D의 성능(41.40/0.97)에 비해 깊이 시차 맵의 정확도 증가에 따라 시점 합성의 성능 또한 향상되었다.

본 논문에서 제안한 GenSoft3D 알고리즘으로 정밀한 시차 맵을 획득할 수 있었으며, 이를 이용하여 생성된 시점 합성 영상의 정확도 또한 향상되었다. 하지만 3차원 복원에서 특징이 없는 넓은 영역 또는 반복 패턴 영역이 있을 경우 성능 향상의 한계가 있었다. 따라서 향후에는 해당 영역에 대해 법선 벡터와 같은 표면의 방향 정보를 이용하여 개선할 예정이다.

논문 사사

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017-0-00072, 초심감 테라미디어를 위한 AV 부호화 및 LF 미디어 원천기술 개발)

참고 문헌

- [1] Penner, Eric, and Li Zhang. "Soft 3D reconstruction for view synthesis." ACM Transactions on Graphics (TOG) 36.6 (2017): 1-11.
- [2] Lee, Min-Jae, et al. "Disparity Refinement with Guided Filtering of Soft 3D Cost Function in Multi-view Stereo System." 2019 International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ). IEEE, 2019.
- [3] Schops, Thomas, et al. "A multi-view stereo benchmark with high-resolution images and multi-camera videos." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017.
- [4] H. Hirschmüller and D. Scharstein. Evaluation of cost functions for stereo matching. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2007), Minneapolis, MN, June 2007.