

평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상의 효율적인 정렬화 방법

강운석, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과

yunsuk@gist.ac.kr, hoyo@gist.ac.kr

I. 서론

다시점 영상을 통해 입체감과 몰입감 있는 영상을 생성하기 위해서는 인접한 시점의 영상간의 높은 상관도가 요구된다. 그러나 다시점 카메라 배열의 기하학적 오차와 카메라 보정(camera calibration) 과정에서 발생하는 오차는 다시점 영상을 생성하고 처리함에 있어서 큰 손실로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다시점 영상을 정렬화(rectification) 할 필요가 있다. 기존의 방법에서는 정렬화 된 영상의 기울어짐 때문에 정렬화가 완벽하게 수행되지 못하고 영상의 왜곡도 커지는 현상이 발생하였다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 다시점 카메라의 위치와 정렬화 된 영상의 왜곡을 고려하여 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상을 효과적으로 정렬화하는 방법을 제안한다.

II. 제안한 방법

다시점 영상을 정렬화하기 위해서 먼저 카메라 보정 과정을 통해서 각 카메라의 내부 및 외부 인자들을 획득한다. 이 카메라 인자들로부터 모든 광심의 3차원 공간상의 좌표를 구할 수 있고, 이 좌표들로부터 다시점 영상을 정렬화를 시작한다.

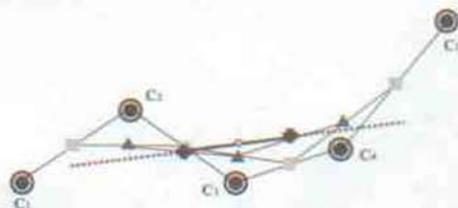


그림 1. 반복적인 중점 연결 알고리즘

그림 1과 같이, 다시점 카메라의 광심들에 반복적인 중점 연결 알고리즘을 적용함으로써 얻어지는 직선을 초기선으로 설정하고 최중적으로 얻어지는 한 점을 초기점으로 설정한다.

이 초기선으로부터 실제의 수평선과 평행한 기준선을 찾기 위해서 새로운 광축 방향에 대하여 초기선과 같은 평면에 존재하는 교정 벡터를 구한다. 기준선은 이 교정 벡터와 초기선 방향의 벡터합으로 구한다. 새로운 광축 방향과 초기선 방향의 외적으로 나타내어지는 벡터를 구한 후, 이 벡터와 초기선 벡터의 벡터합으로 교정 벡터가 구해진다. 따라서 교정 벡터와 초기선은 새로운 광축을 법선으로 가지는 평면상에 존재한다.

실험 영상 사상을 통하여 초기선 \vec{l} 와 교정 벡터 \vec{c} 의 기울기 s 와 c 를 구했을 때, 다음과 같은 벡터합으로 수평선과 평행한 기준선의 방향 \vec{b} 를 얻을 수 있다.

$$\vec{b} = \begin{cases} s \cdot \vec{l} + \vec{c} & (s = c/l, \text{if } c > l) \\ \vec{l} + s \cdot \vec{c} & (s = l/c, \text{if } l > c) \end{cases} \quad (1)$$

이렇게 획득한 기준선에 카메라가 가지는 영상 평면들이 평행하고 각각의 초점거리, 광심, 주요점들의 좌표가 같도록 하는 정렬화 변환을 구하여 수행함으로써 정렬화 된 다시점 영상을 얻을 수 있다.

정렬화 변환은 정렬화 된 이후의 다시점 카메라의 예측된 사상 행렬과 기존의 사상 행렬을 통해 구해지는 호모그래피(homography)로 구한다.

III. 실험 결과

그림 2와 그림 3은 실험을 위해 여덟 대의 카메라로 촬영된 다시점 영상의 정렬화 전과 후를 보여준다. 정렬화 되기 이전에는 각 영상에서의 상응점들의 수직 좌표가 맞추어지지 않았고, 수평 방향으로의 변위도 일정하지 않은 것을 볼 수 있다.

제안하는 방법으로 정렬화 된 다시점 영상에서는 상응점들의 수직 좌표가 일치하였고, 수평 방향으로의 변위도 일정한 값으로 나타났다.



그림 2. 정렬화 전과 후의 다시점 영상

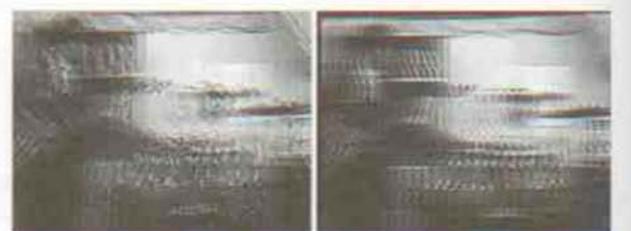


그림 3. 다시점 영상의 합성 영상

IV. 결론

본 논문에서는 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상의 효율적인 정렬화 방법을 제안하였다. 다시점 카메라의 위치와 영상의 왜곡을 고려하여 얻어진 결과는 기존의 방법과 비교하여 영상간의 수직 방향의 오차와 영상의 왜곡을 감소시켰다.

평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상의 효율적인 정렬화 방법

강윤석, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과

Efficient Multiview Image Rectification for Parallel Multi-Camera Array

Yun-Suk Kang and Yo-Sung Ho

Department of Information and Communications
Gwangju Institute of Science of Technology (GIST)
{yunsuk, hoyo}@gist.ac.kr

Abstract: 다시점 영상은 인접한 여러 대의 카메라를 가지는 다시점 카메라 배열을 이용하여 촬영된 영상들의 집합이다. 다시점 영상을 입력으로 이용하는 자유시점(free-viewpoint) TV 혹은 3차원 TV와 같은 응용에서는 각 영상간의 상관도가 높을수록 더욱 입체감 있고 몰입감 있는 영상을 제공할 수 있다. 그러나 다시점 카메라 배열이 가지는 기하학적 오차로 인하여 고품질의 다시점 영상을 제공하기 어렵기 때문에 영상의 정렬화(rectification) 과정이 필요하다. 다시점 영상 정렬화는 다시점 카메라로 촬영된 영상들의 2차원 변환을 통해 각 영상 평면을 회전하고 이동한다. 그 결과, 모든 영상 평면들이 한 평면상에 위치하며, 영상간 상응점들의 수직 좌표와 수평 변위가 각각 일정한 값을 가진다. 본 논문에서는 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상을 정렬화하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 카메라의 위치와 영상의 왜곡을 고려한 기준선을 구하고, 그에 따른 카메라 인자로 얻어지는 정렬화 변환(rectifying transform)을 수행하여 다시점 영상을 정렬화한다. 실험결과는 제안하는 방법이 상응점들의 수직 좌표의 오차와 정렬화로 인한 영상의 왜곡에서 각각 기존의 방법보다 우수한 성능을 나타냄을 보여준다.

Keywords: 다시점 영상, 다시점 카메라 배열, 영상 정렬화

I. 서론

다시점 영상은 기존의 단일 시점 영상과 달리 동일한 장면을 다수의 카메라를 통해 촬영함으로써 사용자에게 다양한 시점에서의 영상으로 입체감과 몰입감을 제공할 수 있는 장점이 있다 [1].

다시점 영상을 통해 이러한 입체감과 몰입감을 생성하기 위해서는 인접한 시점간의 높은 상관도가 요구된다. 그러나 다시점 카메라 배열이 가지는 기하학적 오차뿐 아니라 카메라 보정(camera calibration) [2] 과정에서 발생하는 오차로 인하여 영상간의 상응점들의 수직 좌표 및 수평 변위가 각각 일정한 값을 가지지 못하는 문제가 발생한다. 이것은 깊이 정보 생성이나 중

간 영상 합성, 다시점 영상의 압축 등 고품질의 다시점 영상을 생성하고 처리함에 있어서 심각한 손실로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다시점 영상을 정렬화(rectification) 할 필요가 있다 [3].

초기의 영상 정렬화 방법들은 주로 스테레오 영상 환경에서 제안되었다 [4]. 스테레오 영상 정렬화는 임의의 두 시점에서 촬영된 영상을 2차원 변환을 통하여 두 영상의 모든 에피폴라 선(epipolar line)이 평행하도록 만든다. 정렬화 된 두 영상은 한 평면상에 위치한 각각의 영상 평면을 가지며, 동일 선상에 위치한 두 대의 카메라에서 촬영된 영상의 특성을 가진다. 이 때, 두 영상의 상응점들은 동일한 수직 좌표를 가지게 되며, 결과적으로 두 영상 사이에는 수평 방향의 변위만이 존재한다.

영상 정렬화를 다시점 영상에 적용하기 위해서는 촬영에 사용된 모든 카메라의 영상을 동시에 고려해야 한다. 기존의 방법은 다시점 카메라의 위치들로부터의 거리의 제곱의 합이 최소가 되는 선을 기준선으로 하여 다시점 영상을 정렬화하였다 [5][6]. 그러나 이 방법은 다시점 카메라 배열이 가지는 기하학적 오차와 카메라 보정 과정에서 발생하는 오차로 인해 기준선이 수평선에 대하여 기울어질 수 있는 문제를 가지고 있다. 기준선의 기울어짐은 곧 영상의 왜곡을 의미한다. 따라서, 영상의 왜곡을 최소화 하면서 다시점 영상을 효과적으로 정렬화할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상의 효율적인 정렬화 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 모든 카메라의 위치와 영상의 왜곡을 고려한 기준선을 구하고, 이 기준선에 따라 예측된 카메라 인자들로부터 얻어지는 호모그래피(homography)를 정렬화 변환(rectifying transform)으로 이용하여 다시점 영상을 정렬화 한다.

II. 평행 카메라 배열의 특성

다시점 영상을 촬영하기 위한 다시점 카메라 배열은 여러 대의 카메라를 일정한 방향과 각도를 가지고 설치함으로써 만들어진다. 평행한 형태와 수렴 혹은 아치 형태의 다시점 카메라 배열이 주로 이용된다.

다시점 카메라 배열에서 각각의 카메라의 동작은 일반적으로 사용되는 핀홀(pinhole) 카메라 모델로 설명할 수 있다. 그림 1과 같이 카메라는 광심 C 와 영상 평면 R 에 의해 정의되며, 3차원 공간상의 한 점 M 은 영상 평면상의 한 점 m 으로 촬영을 통해 사상된다. 광심이 사상의 중심이 되기 때문에 평면상의 점 m 은 C 와 M 을 잇는 직선과 영상 평면과의 교점이 된다.

광심 C 를 포함하며 영상 평면에 수직인 직선의 방향은 광축으로 정의된다. 초점 거리는 광심과 영상 평면 사이의 수직 거리를 의미하며, 광축과 영상 평면과의 교점은 주요점(principal point)이라고 한다. 또한 영상 평면은 그 자체에 2차원의 직교 좌표계를 가지고 있다.

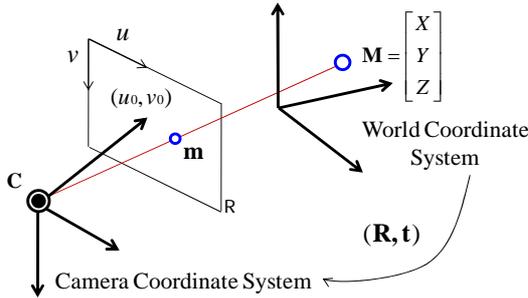


그림 1. 핀홀 카메라 모델

이러한 특성을 가지는 여러 대의 카메라를 가지고 다시점 카메라 배열을 만들 수 있다. 이상적인 평행 카메라 배열에서 카메라들은 기준선이라 부르는 3차원 공간상의 한 직선상에 위치한다. 각각의 카메라는 인접한 카메라들과 일정한 거리를 유지하며 모든 광축들은 기준선과 직교하도록 배열된다.

그러나 카메라를 수동적으로 설치하는 문제로 인하여 그림 2와 같은 실제적인 평행 카메라 배열은 위와 같은 이상적인 조건을 만족하지 못한다. 따라서, 이상적인 카메라 배열과의 기하학적 오차가 존재하며, 카메라 보정을 통해 얻어지는 카메라 인자에서도 실제의 카메라의 위치, 방향, 내부 특성에 대하여 오차가 발생한다.

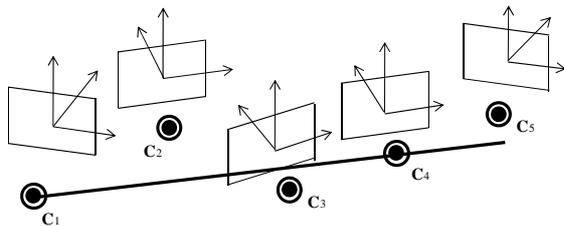


그림 2. 평행 카메라 배열의 특성

III. 제안하는 다시점 영상 정렬화 방법

그림 3은 제안하는 다시점 영상 정렬화 방법의 순서를 나타낸다. 다시점 영상을 정렬화하기 위해서는 먼저 카메라 보정 과정을 통해서 각 카메라의 내부 및 외부 인자들을 획득한다. 이 카메라 인자들로부터 모든 광심의 3차원 공간상의 좌표들을 구할 수 있고, 이 좌표들로부터 다시점 영상 정렬화를 시작한다.

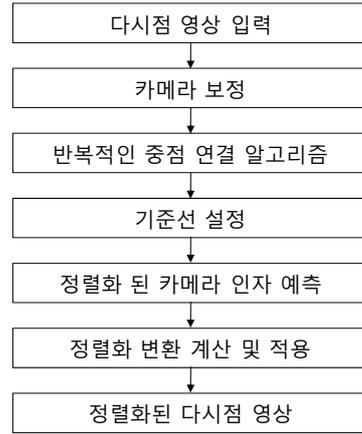


그림 3. 제안하는 다시점 영상 정렬화 방법

그림 4는 다시점 카메라의 광심들에 반복적인 중점 연결 알고리즘을 적용하여 얻어진 초기선과 초기점을 보여준다 [7]. 인접한 광심들의 첫 번째 중점을 획득하고, 그 중점들로부터 다시 두 번째 중점을 획득하는 과정을 최종적으로 두 개의 중점이 남을 때까지 반복한다. 마지막으로 구해진 두 개의 중점을 연결한 선이 초기선이 되고, 그 때의 중점이 초기점이 된다.

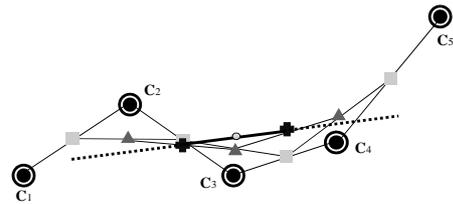


그림 4. 반복적인 중점 연결 알고리즘

이 초기선으로부터 실제의 수평선과 평행한 기준선을 찾기 위해서 새로운 광축 방향에 대하여 초기선과 같은 평면에 존재하는 교정 벡터를 구한다. 기준선은 이 교정 벡터와 초기선 방향의 벡터합으로 구해진다.

교정 벡터는 그림 5에 나타난 것과 같이 새로운 광축 방향과 초기선 방향의 외적 방향으로 나타내어지는 벡터와 초기선 방향 벡터의 벡터합으로 구해진다. 새로운 광축 방향은 먼저 각 영상 평면의 수직축들의 평균 방향과 초기선 방향의 외적으로 얻어지는 방향이다. 따라서 교정 벡터와 초기선은 새로운 광축을 법선으로 가지는 평면상에 존재한다.

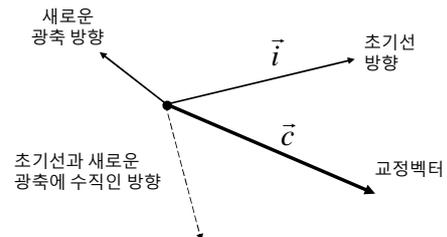


그림 5. 교정 벡터를 구하는 방법

벡터합을 통하여 실제의 수평선과의 오차를 최소로 하는 기준선을 얻기 위해서는 수평선에 대한 초기선과 교정 벡터의 기울기를 알아야 한다. 이 두 선의 기울기 값들을 구하기 위하여 그림 6 (a)와 같이 영상의 중앙에 수평한 선을 가진 임시 영상을 생성한다.



그림 6. 영상 사상에 의한 기울기 계산

이와 같은 실험 영상을 각각 초기선과 교정 벡터에 평행하도록 사상시킨 결과가 그림 6의 (b)와 (c)에 각각 나타나 있다. 기울기는 사상된 각 영상에서 중앙에 위치한 선의 처음과 끝 화소의 위치를 계산하여 구할 수 있다. 구해진 기울기를 가지고 그림 7에 나타난 것과 같이 기준선을 구할 수 있다. 초기선의 기울기와 교정벡터의 기울기를 각각 i 와 c 라고 할 때, 기준선 방향의 벡터 \vec{b} 를 구하는 벡터 합은 다음과 같다.

$$\vec{b} = \begin{cases} s \cdot \vec{i} + \vec{c} & (s = c/i, \text{if } c > i) \\ \vec{i} + s \cdot \vec{c} & (s = i/c, \text{if } i > c) \end{cases} \quad (1)$$

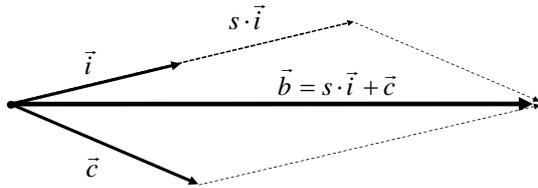


그림 7. 기준선을 구하는 방법

이렇게 획득한 기준선에 카메라가 가지는 영상 평면들이 평행하고 각각의 초점거리, 광심, 주요점들의 좌표가 같도록 하는 정렬화 변환을 구하여 각 영상에 적용함으로써 정렬화 된 다시점 영상을 얻을 수 있다.

정렬화 변환은 정렬화 된 이후의 다시점 카메라의 예측된 사상 행렬과 기존의 사상 행렬을 통해 구해지는 호모그래피 H_{π} 로 구한다. 그림 8에 나타난 것과 같이 한 대의 카메라에 대해서 기존의 카메라의 사상 행렬을 P_1 이라 하고 이 카메라의 영상이 정렬화 된 후의 카메라의 위치와 방향, 그리고 내부 인자들을 예측하여 새로운 사상 행렬 P_2 를 구하면 이 두 개의 사상 행렬을 이용하여 각 영상에 대한 정렬화 변환을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H_{\pi} = P_2 P_1^{-1} \quad (2)$$

정렬화 된 이후의 카메라들의 사상 행렬을 예측하기 위해서 먼저 초기점으로부터 기준선의 방향에 맞추어 동일한 간격으로 광심을 배열한다. 그리고 각 영상 평면의 수평축은 기준선과 평행하도록, 광축은 새로운 광축의 방향을 동일하게 가지도록, 그리고 수평축과 광

축에 직교하는 수직축을 가지도록 카메라의 방향을 설정한다. 마지막으로 모든 카메라의 내부인자를 동일하게 설정함으로 구해지는 카메라 인자들로 사상 행렬을 예측한다.

이와 같은 과정을 통해 각각의 영상에 대한 정렬화 변환을 구할 수 있고, 이 변환을 수행함으로써 정렬화 된 다시점 영상을 얻을 수 있다.

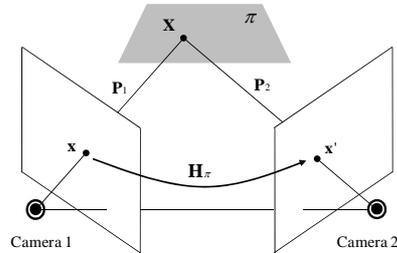


그림 8. 호모그래피

IV. 실험 결과

제안한 방법의 실험을 위하여 그림 9 (a)와 같은 다시점 영상을 촬영하였다. 이 영상은 평행 카메라 배열에서 여덟 대의 카메라로 촬영되었고 카메라 간 간격은 약 5.5cm 이다. 각 영상간의 상응점들의 수직 좌표가 맞추어지지 않았고 수평 방향으로의 변위도 일정하지 않은 것을 그림 10 (a)에 나타난 합성 영상을 통해서 볼 수 있다.

기존의 방법으로 다시점 영상을 정렬화 하였을 때, 그림 9 (b)와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 그림 10 (b)에서 볼 수 있듯이 정렬화 된 영상에서 기울어짐이 발생하였고, 이로 인하여 상응점들간의 수직 좌표의 오차가 완전하게 제거되지 않았음을 확인할 수 있었다.

제안한 방법을 적용하였을 때 그림 9 (c)와 그림 10 (c)에 나타난 결과를 얻을 수 있었다. 정렬화 된 다시점 영상은 상응점들간의 수직 좌표의 오차가 감소하였으며 수평 방향으로도 일정한 변위를 유지하였다. 그림 11은 제안하는 방법이 기존의 방법보다 우수한 결과를 나타내었음을 보여준다.

그림 12는 영상의 왜곡 및 손실의 관점에서 제안한 방법의 우수함을 보여준다. 정렬화 변환을 영상에 적용하면 영상의 경계부분에 홀(hole)이 발생하는데, 영상이 기울어질수록 더 많은 홀이 발생하는 것을 알 수 있다. 정렬화 된 영상을 사용하기 위해서는 홀이 발생한 부분을 제거해야만 하는데, 홀을 제거한 이후 영상을 원래의 해상도로 확대해야 하는 것을 감안할 때, 제거해야 하는 홀의 개수가 많은 것은 영상의 손실이 크다는 것을 의미한다. 제안한 방법의 결과에서 기존의 방법보다 발생하는 홀의 개수가 전체적으로 약 10% 정도 감소하였다.

V. 결론

본 논문에서는 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상을 효율적으로 정렬화 하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 카메라의 위치를 고려한 초기선으로부터 왜곡을 고려하여 기준선을 찾고, 이 기준선에 평행하도록 다시점 영상을 정렬화 하는 정렬화 변환을 수행한다. 제안한 방법은 수직 방향으로의 상응점간 오차



그림 9. 다시점 영상과 정렬화 된 다시점 영상

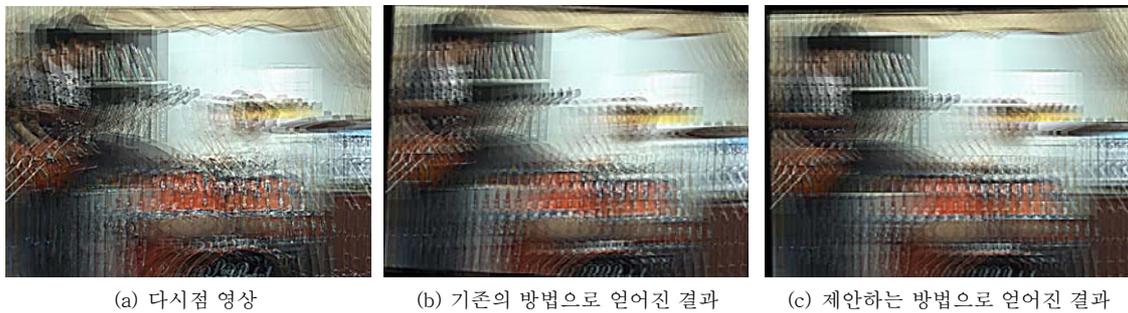


그림 10. 다시점 영상과 정렬화 된 다시점 영상의 합성 영상

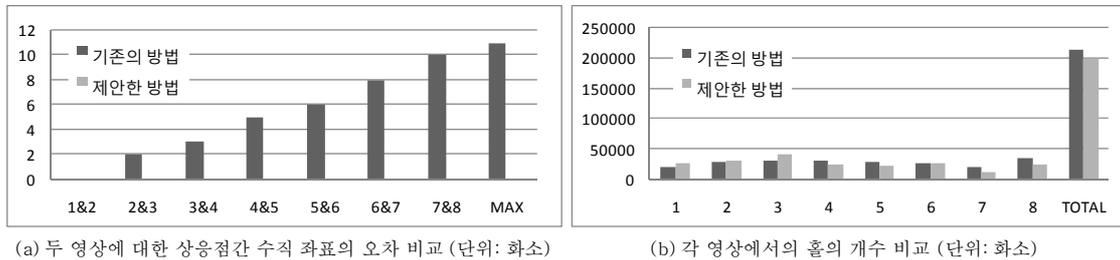


그림 11. 기존의 방법과 제안한 방법의 성능 비교

를 기존의 방법보다 감소시켰고, 영상의 왜곡 또한 약 10% 정도 감소시키는 성능을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터(ITRC)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

[1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N6909, "Survey of Algorithms used for Multi-view Video Coding (MVC)," January, 2005.

[2] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22(11), pp. 1330-1334, 2000.

[3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M12030, "Comments on Input and Output Format of MVC," April, 2005.

[4] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri, "A Compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs," *Machine Vision and Application*, vol. 12, no.1, pp. 16-22, 2000.

[5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M11435, "Calibration and Rectification Procedures for Multi-camera Systems," October, 2004.

[6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M15413, "HHI Test Material for 3D Video," April, 2008.

[7] Y. Kang, C. Lee and Y. Ho, "An Efficient Rectification Algorithm for Multi-view Images in Parallel Camera Array," *Proc. of 3DTV Conference*, pp. 61-64, May, 2008.