기하학적 오차 보정을 이용한 다시점 영상의 개선방법

Multi-view Image Enhancement by Compensating Geometric Error

강윤석 · 호요성
Yun-Suk Kang · Yo-Sung Ho

본 논문에서는 1차원 평행 카메라 배열과 수렴형 카메라 배열에의 기하학적 오차를 보정함으로 촬영된 다시점 영상 개선하는 방법을 제안한다. 다시점 카메라 배열에서 발생하는 기하학적 오차는 여러 대의 카메라가 일정하지 않은 위치와 방향으로 배열되는 것으로부터 기인한다. 같은 카메라 모델이라도 차이가 있는 내부 특성과 카메라 보정 (Camera calibration) 과정에서 생기는 오차도 기하학적 오차 발생의 원인이 된다. 이러한 기하학적 오차는 다시점 영상에서 각 시점간 상응점들의 수직 좌표와 수평 변위의 불일치로 나타나며 이것은 3차원 정보를 생성하고 활용함에 있어서 심각한 장애요소가 된다. 제안하는 방법은 이와 같은 오차를 보정하여 기하학적으로 이상적인 다시점 영상을 생성한다. 다시점 카메라 배열에 대하여 측정된 카메라 인자와 오차 보정을 위해 예측된 카메라 인자들로 보정 변환(compensating transformation)을 계산하여 각 다시점 영상에 적용하면 예측된 카메라 인자의 특성을 가지는 다시점 영상이 생성된다. 생성된 다시점 영상에서는 시점간 상응점들의 수직 좌표와 수평 변위에 존재하던 오차가 줄었고 영상의 기울어짐 현상도 발생하지 않았다.

주제어: 다시점 영상, 다시점 카메라 배열, 기하학적 오차 보정, 영상 정렬화, 3차원 TV

In this paper, we propose a method to enhance a multi-view image by compensating for the geometric error in One-Dimensional (1-D) parallel and convergent camera arrays. The geometric error is caused by irregular positions and rotations of the manually arranged multiple cameras. The difference between physical characteristics of the cameras and the error caused by the camera calibration are also factors to cause the geometric error. Since the geometric error makes the vertical pixel coordinates and horizontal disparities between the corresponding points of the adjacent views uneven, we have difficulties to estimate and use Three-Dimensional (3-D) information. The proposed method generates an enhanced multi-view image by compensating for the geometric error. For the given camera array, we calculate the compensating transformation using the measured camera parameters and the estimated camera parameters that has ideal geometric characteristics. By applying this transformation to each image, we generate the multi-view image that has its geometry represented by the estimated camera parameters. Experimental results show that the irregular vertical coordinates and horizontal disparities were minimized without the tilted-distortion problem in the enhanced images.

Keywords: Multi-view image, Multi-camera arrays, Geometric error compensation, Image rectification, 3DTV

논문번호: TR09-038, 논문접수일자:2009.04.10, 논문수정일자:2009.10.07, 논문게재확정일자:2009.12.18

강윤석, 호요성: 광주과학기술원

그림 1. 여러 가지 다시점 카메라 배열

I. 서 론

다시점 영상은 다수의 카메라를 사용하여 동일한 장면을 촬영하였을 때 얻어진 영상들의 집합을 말한다. 이러한 다시점 영상을 통하여 사용자는 다양한 시점에서의 영상으로부터 기존의 단일시점 영상에서 느낄 수 없었던 입체감과 몰입감을 느낄 수 있다. 또한 각 시점의 영상으로부터 장면의 3차원 정보를 계산한 후 얻을 수 있는 가상시점 영상이나 3차원 복원은 사용자에게 화면을 통해 실제의 장면을 보는 것과 같은 효과를 줄 수 있다[1]. 최근에는 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Moving Picture Experts Group(MEPG)의 활동을 통해서 일부 선진국의 연구소와 대학들이 다시점 영상의 생성, 처리, 압축, 재현 등의 기술을 활발히 연구하고 개발하고 있다 [2],[3].

다시점 영상을 촬영하기 위해서는 여러 대의 카메라를 일정한 형태로 배열해 놓은 다시점 카메라 배열을 사용한다. 이때 다시점 카메라 배열에 필연적으로 발생하는 기하학적 오차는 형태에 맞게 배열되어야 할 카메라의 위치와 방향이 틀어지는 것에서 비롯된다. 같은 카메라 모델을 사용하더라도 각각의 내부 특성들에 차이가 존재하는 것과 카메라 보정(Camera calibration)[4] 과정에서 발생하는 오차 역시 다시점 카메라 배열에서 기하학적 오차가 발생하는 원인이 된다. 이와 같은 오차는 다시점 영상의 각 시점간의 상응점들의 관계에서 수직 좌표들과 수평으로의 변위들이 일정한 값을 가지지 못하는 문제로 나타난다. 따라서 각 시점간의 상관도가 감소하게 되고 이것은 3차원 정보 계산 및 활용에 장애요인으로 작용할 뿐 아니라 시점간의 부드러운 전환에도 걸림돌이 된다[5].

이러한 문제를 해결하기 위한 한가지 방법으로 영상 정렬화(image rectification)가 있다. 임의의 두 시점에서 촬영된 스테레오 영상이 주어졌을 때 영상 정렬화는 영상의 2차원 변환을 통해 모든 에피폴라 선(epipolar line)들을 평행하게 만든다. 정렬화를 통해 개선된 스테레오 영상은 3차원 공간의 한 평면상에 각각의 영상 평면을 가지게 되며 두 시점 사이에는 수평방향으로의 변위만이 존재하게 된다. 스테레오 영상 정렬화는 카메라 인자(camera parameters)를 기반으로 하는 방법과 그렇지 않은 방법으로 크게 나눌 수 있고 최근 카메라 인자를 기반으로 하여 다시점 영상을 위한 정렬화의 방법들이 제안되었다[6],[7].

다시점 영상을 정렬화하기 위해서는 사용된 모든 카메라의 위치를 동시에 고려하여 정렬화를 위한 최적의 기준선을 찾아내야 한다. 기존의 방법들은 각 카메라의 3차원 위치로부터의 오차의 합을 최소로 만드는 방법을 이용하여 얻은 직선을 기준으로 사용하였기 때문에 선택된 직선이 기울어짐으로 발생하는 영상 왜곡의 가능성을 가지고 있다 [8],[9]. 또한 기존의 영상 정렬화는 평행 카메라 배열에 특화된 방법으로 보다 넓은 시점간의 겹침영역을 가지는 수렴형 카메라 배열에 대해서는 적용할 수 없다는 한계가 있다. 따라서 이러한 단점 및 한계를 극복하고 평행과 수렴형 카메라 배열의 기하학적 오차를 보정하여 다시점 영상을 개선할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 평행 및 수렴형 카메라 배열에서 기하학적 오차를 보정하여 촬영된 다시점 영상을 개선하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 카메라의 위치와 개선된 영상에서의 왜곡을 고려한 기준선을 찾고 이 기준선을 바탕으로 예측된 카메라 인자와 기존의 카메라 인자로부터 구해지는 호모그래피(homography) 행렬을 보정 변환(compensating transformation)으로 정한다. 각 영상에 이 변환을 적용하여 기하학적 오차가 최소화된 영상을 얻는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 다시점 카메라 배열의 특성을 살펴본 후 III장에서 제안하는 다시점 영상 개선방법을 소개한다. IV장에서는 제안한 방법의 실험 결과를 분석하고 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

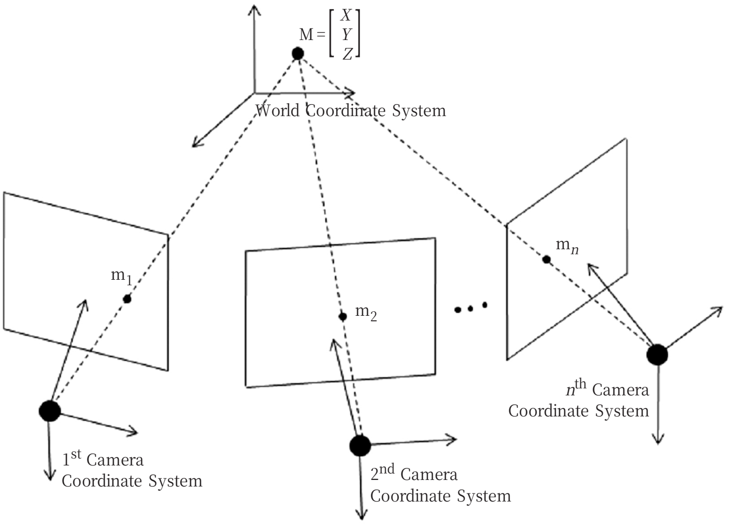

M = $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$
World Coordinate System
m_1
m_2
m_n
• • •
1st Camera Coordinate System
2nd Camera Coordinate System
nth Camera Coordinate System

그림 2. 다시점 카메라의 동작

II. 다시점 카메라 배열의 특성

다시점 카메라 배열은 다시점 영상을 촬영하기 위해 일정한 형태로 3대 이상의 카메라를 배치해 놓은 것을 말한다. 그림 1에 나타난 것과 같은 여러 가지 다시점 카메라 배열은 일반적으로 그 모양과 차원으로 분류할 수 있다[10],[11]. 모양에 따라서는 대표적으로 평행 카메라 배열과 수렴형 카메라 배열이 사용된다. 평행 카메라 배열에서는 모든 카메라가 일직선상에 존재하며 이 직선과 수직인 방향을 가진다. 수렴형 카메라 배열의 카메라들은 원형으로 배치되어 인접한 카메라와 일정한 각도를 유지하며 공통된 시야 내에 하나의 수렴점을 갖는다. 차원에 따라서는 카메라를 한 줄로만 배열하는 1차원 배열이 주로 사용되며 카메라를 여러 줄로 쌓아올리는 2차원 배열을 사용하였을 경우에는 수평방향으로의 상관성 뿐 아니라 수직방향으로의 상관성도 얻을 수 있다.

그림 2는 여러 개의 핀홀(pinhole) 카메라 모델로 나타낸 다시점 카메라의 동작을 보여준다. 3차원 공간 내의 한 점 **M**은 카메라의 촬영을 통해 각각의 영상 평면위의 점 $\mathbf{m}_k$로 사상된다. 이 점들은 **M**과 각 광심(optical center) $\mathbf{C}_k$를 연결한 직선들이 해당하는 영상 평면과 만나는 점이다. 이와 같은 다시점 카메라의 동작은 카메라 행렬 $\mathbf{P}_k$을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_k \cong P_k M = A_k [R_k | t_k] M \tag{1}$$

여기서 k는 k번째 카메라를 의미하고 **A**, **R**, **t**는 각각 카메라 내부 행렬, 회전 행렬, 이동 벡터를 의미한다. 내부 행렬은 카메라의 초점거리(focal length)와 주점(principal point)의 좌표 등을 포함하며 회전 행렬과 이동 벡터는 카메라 좌표계가 월드 좌표계로부터 어떤 방향으로 얼만큼 떨어져 있는지를 나타낸다.

III. 기하학적 오차 보정을 통한 다시점 영상의 개선방법

다시점 카메라 배열이 가지는 기하학적 오차 보정을 통해 다시점 영상을 개선하기 위해서는 그림 3과 같은 과정을 수행한다. 먼저 촬영에 사용한 다시점 카메라에 대하여 카메라 보정을 수행하여 각각의 카메라 행렬을 구한다. 여기에서 얻어진 광심의 좌표들을 기반으로 하여 카메라 배열의 형태에 맞는 기준선을 찾고 이 기준선을 바탕으로 하여 기하학적 오차가 보정된 카메라 인자를 계산한다. 보정 변환은 예측된 인자로 나타내어지는 카메라 행렬과 원래의 카메라 행렬이 결합되어 만들어지고 이것을 다시점 영상에 적용하면 기하학적 오차가 제거된 카메라 배열의 특성을 가지는 다시점 영상을 얻을 수 있다. 마지막으로 변환으로 발생한 영상 가장자리의 미투영 영역을 제거함으로써 개선된 다시점 영상을 얻을 수 있다.

본 장에서는 평행 카메라 배열과 수렴형 카메라 배열에서 기하학적 오차를 보정하여 다시점 영상을 개선하는 방법의 각 단계에 대해서 설명한다.

1. 기준선 계산

기준선은 기하학적 오차 보정의 가장 기본이 되는

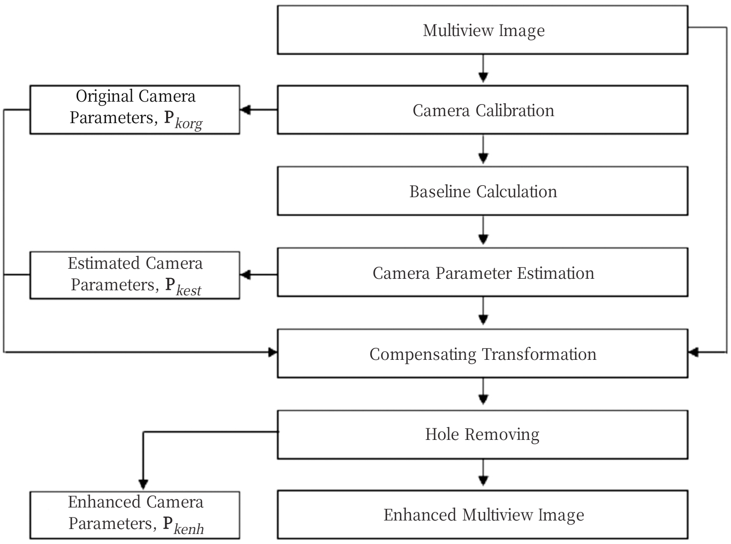
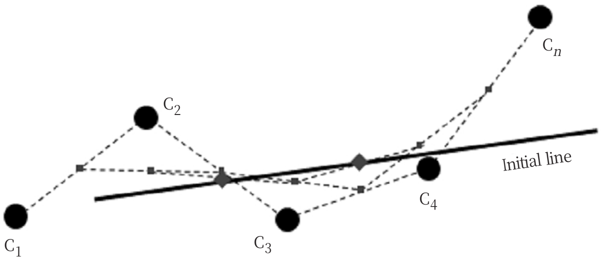
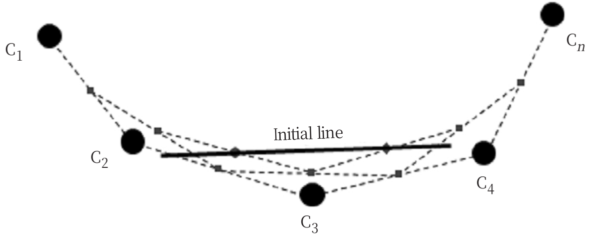

Multiview Image
Original Camera Parameters, P_{korg}
Camera Calibration
Baseline Calculation
Estimated Camera Parameters, P_{kest}
Camera Parameter Estimation
Compensating Transformation
Hole Removing
Enhanced Camera Parameters, P_{kenh}
Enhanced Multiview Image

그림 3. 제안하는 방법의 흐름도


C_n
C_2
Initial line
C_4
C_1
C_3

Parallel camera array

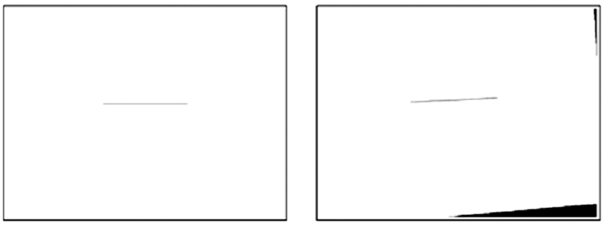

C_1
C_n
Initial line
C_2
C_4
C_3

Convergent camera array

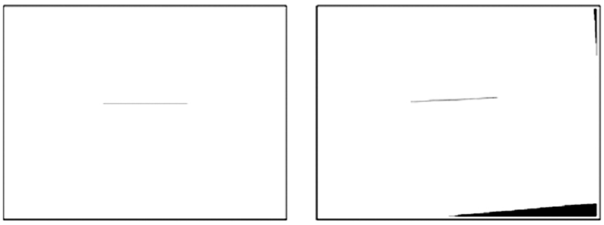
그림 4. 중점 연결을 이용한 초기선 계산

직선으로 카메라 보정을 통해 얻어진 광심들의 정보를 이용하여 계산된다. 그림 4와 같이 다시점 카메라의 광심들이 3차원 공간에 존재할 때 인접한 광심들의 중점을 구하고 이 중점들에서 다시 인접한 것들의 중점을 구하는 과정을 반복하여 최종적으로 남는 두 점을 이은 직선을 초기선이라 한다[12].

기준선은 구해진 초기선을 이용하여 계산할 수 있으며 초기선과 새로 정의되는 광축(optical axis)으로 만들어지는 평면상에 존재해야 한다. 새로 정의되는 광축은 초기선과 각 카메라 좌표계의 수직축들의 평균 방향에 모두 수직인 방향이다. 그리고 개선된 영상에서 영상이 기울어지는 왜곡을 최소화하기 위해서 실제의 수평선과도 평행을 유지해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 기준선은 먼저 초기선의 기울기를 계산하고 그 기울기를 보상할 수 있는 교정 벡터를 구하여 초기선과의 벡터 합으로 구할 수 있다.



(a) 측정용 영상 (b) 초기선의 기울기



(c) 교정 벡터의 기울기 (d) 기준선의 기울기

그림 5. 초기선의 기울기 측정

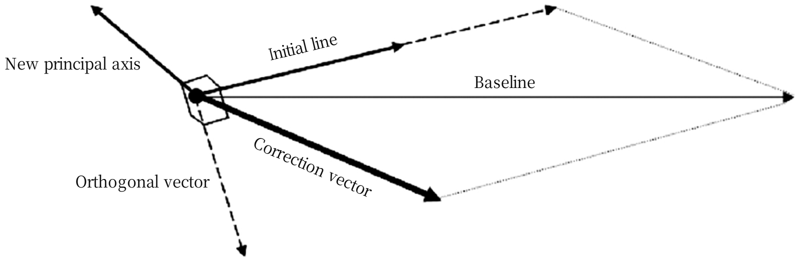


그림 6. 기준선 계산

초기선의 기울기는 그림 5 (a)와 같이 흰 바탕에 수평한 직선을 가지고 있는 기울기 측정용 영상을 이용하여 구할 수 있다. 이 영상을 다시점 영상의 중앙시점에 위치한 영상이라고 가정하고 초기선의 방향과 이 영상의 수평축의 방향이 평행하며 이 영상의 광축이 새로 정의된 카메라 배열의 광축방향과 평행하도록 영상을 사상하면 그림 5 (b)와 같이 기울어진 직선을 가지는 영상을 얻는다. 이 직선의 기울기가 초기선의 기울기가 된다.

이제 초기선의 기울기를 보상할 수 있는 교정 벡터를 구하기 위해서 그림 6과 같이 먼저 초기선과 새 광축에 수직인 직교 벡터를 구하고 이 직교 벡터와 초기선의 벡터 합으로 교정 벡터를 만들어 낸다. 그리고 식 (2)에 정의된 것과 같은 스케일 인자 s를 이용한 교정 벡터와 초기선의 벡터 합으로 기준선을 구한다.

$$\vec{b}=\begin{cases}\dfrac{s\vec{i}}{|\vec{i}|}\quad\dfrac{\vec{c}}{|\vec{c}|}\quad\left(s=\dfrac{|\vec{c}|}{|\vec{i}|},\ \text{if}\quad|\vec{c}|>|\vec{i}|\right)\\ \dfrac{\vec{i}}{|\vec{i}|}\quad\dfrac{s\vec{c}}{|\vec{c}|}\quad\left(s=\dfrac{|\vec{i}|}{|\vec{c}|},\ \text{if}\quad|\vec{c}|<|\vec{i}|\right)\end{cases}\tag{2}$$

여기서 벡터 $\vec{i}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$는 각각 초기선과 교정 벡터, 기준선 방향의 단위 벡터를 나타낸다. 구해진 교정 벡터와 기준선 방향으로 초기선의 경우와 마찬가지로 측정용 영상을 사상한 결과가 그림 5의 (c)와 (d)에 각각 나타나 있다. 교정 벡터는 초기선의 기울기와 반대의 부호를 가지고 있음을 볼 수 있고 기준선의 측정용 영상과 평행함을 알 수 있다.

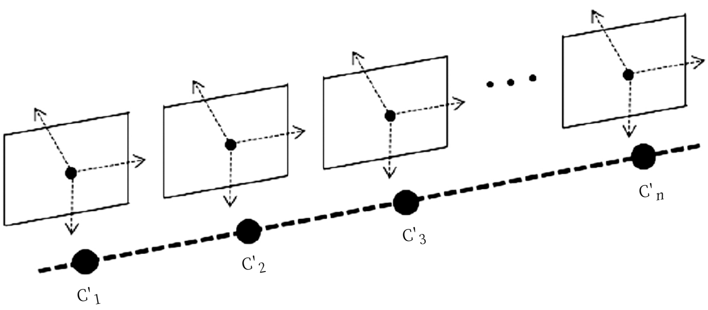


그림 7. 예측된 카메라 인자로 나타낸 평행 카메라 배열

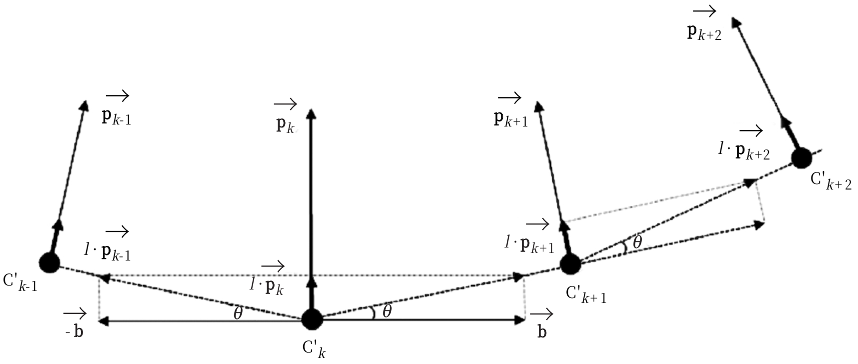

$\vec{p}_{k+2}$
$\vec{p}_{k-1}$
$\vec{p}_k$
$\vec{p}_{k+1}$
$l \cdot \vec{p}_{k+2}$
C'k+2
$l \cdot \vec{p}_{k-1}$
$l \cdot \vec{p}_{k+1}$
θ
C'k-1
$l \cdot \vec{p}_k$
C'k+1
$-\vec{b}$
θ
θ
$\vec{b}$
C'k

그림 8. 수렴형 카메라 배열에서 광심 예측

2. 기하학적 오차가 제거된 카메라 인자 예측

2.1. 평행 카메라 배열에서의 카메라 인자 예측

카메라 인자 예측 과정은 각 다시점 카메라의 새로운 광심의 위치 C_k'를 결정하는 것으로부터 시작된다. 그림 3의 평행 카메라 배열에서의 중점 연결의 결과로 남은 두 점의 중점을 초기점이라 하고 이 점으로부터 양옆으로 광심들을 배치한다. 카메라 간 간격 d는 기존의 인접한 광심들의 거리들의 평균으로 정한다. 카메라의 개수가 홀수인 경우 초기점이 중앙에 위치한 카메라의 새 광심이 되며 기준선 벡터의 방향과 그 반대 방향으로 d만큼씩 간격을 주어 새 광심들의 좌표를 정해준다. 카메라의 개수가 짝수인 경우는 초기점으로부터 기준선 벡터의 방향과 그 반대 방향으로 $d/2$만큼씩 떨어진 곳에 중앙에 위치한 두 카메라의 광심들을 놓고 나머지 광심들은 그곳에서부터 d의 간격을 주어 배치한다.

새로운 광심들을 찾은 후 각 카메라에 존재하는 오차가 보정된 회전 행렬을 구한다. 이상적인 평행 카메라 배열의 경우 회전 행렬은 모든 카메라에서 동일하게 나타난다. 따라서 새 회전 행렬 R'은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R' = \begin{bmatrix} \vec{b}^T \\ ((\vec{b} \times \vec{v}_a) \times \vec{b})^T \\ (\vec{b} \times \vec{V}_a)^T \end{bmatrix} \qquad (3)$$

여기서 벡터 $\vec{v}_a$는 원래의 다시점 카메라 배열에서 각 카메라 좌표계의 수직축 방향의 평균 벡터이다.

마지막으로 오차가 보정된 카메라 내부 인자들을 예측하여 카메라 내부 행렬 **A**'을 구한다. 회전 행렬과 마찬가지로 이상적인 카메라 배열에서는 모든 카메라가 같은 내부 행렬을 가진다. 따라서 제안하는 방법에서는 초점거리와 주점의 좌표는 기존의 값들의 평균값을 취하고 기울어짐 인자(skew parameter)의 값을 0으로 하는 새로운 카메라 내부 행렬을 만들어낸다.

이렇게 예측된 카메라 인자들을 가지고 평행 카메라 배열에서 기하학적 오차가 보정된 다시점 카메라의 카메라 행렬 $\mathbf{P}'_k$는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며 이 때의 카메라 배열의 구조는 그림 7과 같다.

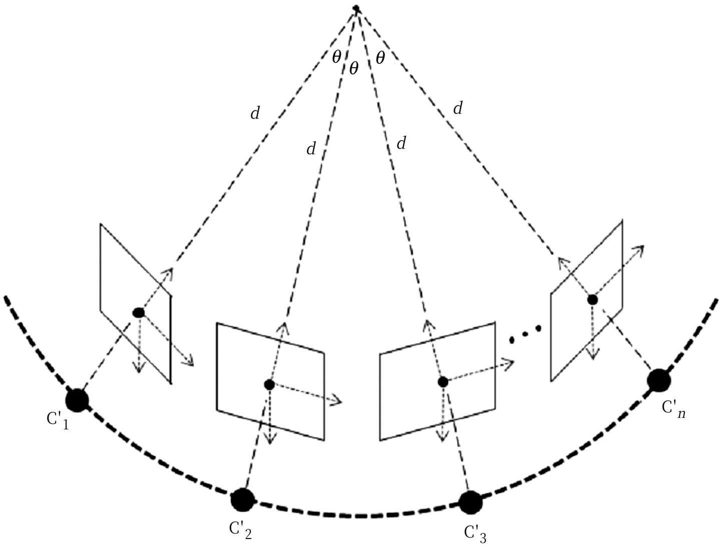


그림 9. 예측된 카메라 인자로 나타낸 수렴형 카메라 배열

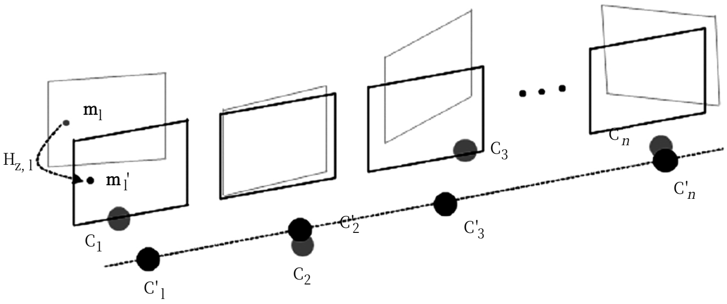


그림 10. 보정 전과 보정 후 영상 사이의 호모그래피

$$P'_k = A'[R'|t'_k] = A'[R'|-R'C'_k] \tag{4}$$

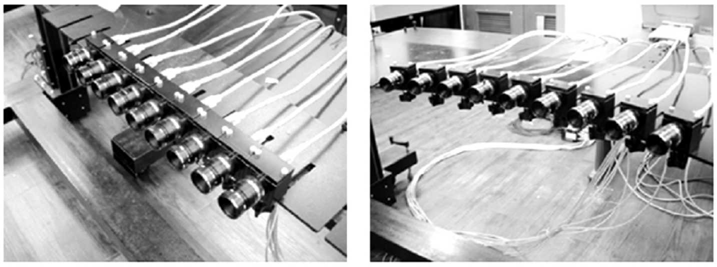
2.2. 수렴형 카메라 배열에서의 카메라 인자 예측

수렴형 카메라 배열에서 기하학적 오차가 보정된 카메라 인자를 예측하기 위해서는 먼저 기존의 인접한 광심들간의 평균 거리 d와 인접한 광축들이 이루는 평균 각도 θ를 측정한다. 새로운 광심의 좌표를 예측하기 위해서는 평행 카메라 배열에서의 경우와 마찬가지로 초기점을 설정해야 하는데 홀수 대의 카메라의 경우에는 정중앙에 위치한 광심이 초기점이자 해당하는 카메라의 새 광심이 된다. 짝수 대의 카메라의 경우에는 중앙에 위치한 두 광심 중 어느 것이 초기점이 되어도 무방하며 이 경우에도 초기점이 해당하는 카메라의 새 광심이 된다.

초기점으로부터 인접한 광심들을 순차적으로 찾아가는 방법이 그림 8에 나타나 있다. 먼저 초기점의 위치에 있게 되는 카메라는 기존의 수직축들의 평균 방향과 기준선 방향에 모두 수직인 방향으로의 광축 $\vec{p}_k$를 갖는다. 그리고 이 점으로부터 인접해 있는 광심의 위치는 식 (5)와 같이 구해진다.

$$C'_{k\pm1} = C'_k \pm d\,\frac{\vec{b} + l\vec{p}_k}{\|\vec{b} + l\vec{p}_k\|} \tag{5}$$

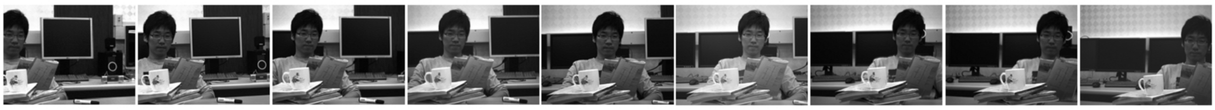
여기서 인자 l은 식 (5)와 같이 새 광심들이 구해졌을 때 각 카메라의 광축방향들이 θ만큼의 각도를 유지하도록 만들어 주는 변수로써 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.



(a) 평행 카메라 배열 (b) 수렴형 카메라 배열

그림 11. 촬영에 사용된 다시점 카메라 배열

(a) 평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상



(b) 수렴형 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상

그림 12. 촬영된 다시점 영상

$$l = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta} - 1} \tag{6}$$

이와 같은 과정으로 초기점과 인접한 두개의 새 광심의 좌표를 구한 후 같은 과정으로 나머지 카메라들에 대한 새 광심의 좌표를 구한다. 이 방법을 반복함으로써 각 광심의 좌표를 구할 때마다 인접한 카메라와의 각도를 θ로 유지하면서 수직 축들의 평균 방향과 기준선 방향에 모두 수직인 광축을 획득할 수 있다. 이러한 각각의 광축 성분들은 새로운 카메라 회전 행렬 예측에 사용된다. 새로운 카메라 회전 행렬은 수직축 성분만 같고 수평축 방향과 광축 방향은 인접한 카메라와 θ의 각도를 유지하도록 한다. 따라서 k번째 카메라의 새 회전 행렬은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R'_k = \begin{bmatrix} (\vec{v}_a \times \vec{p}_k)^T \\ \vec{v}_a^{\,T} \\ \vec{p}_k^{\,T} \end{bmatrix} \tag{7}$$

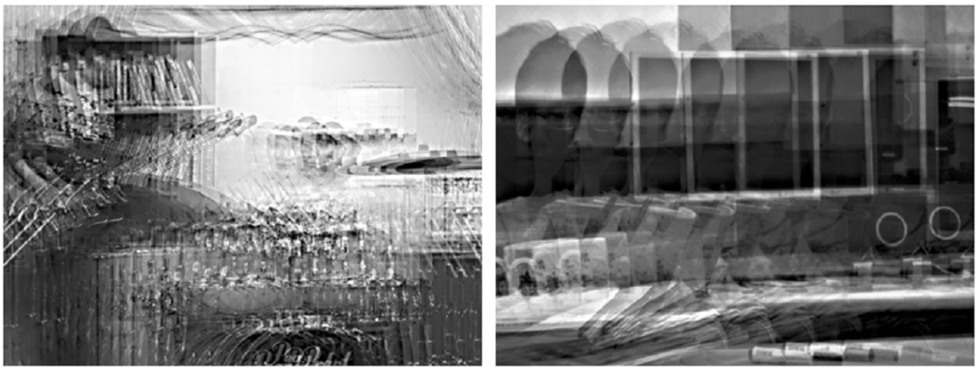
마지막으로 오차가 보정된 카메라 내부 행렬을 구함으로써 카메라 인자 예측을 마무리한다. 평행 카메라 배열에서와 마찬가지로 카메라의 내부 인자들은 모두 같은 값을 가져야 하므로 카메라 보정을 통해서 얻어진 초점 거리와 주점의 좌표들의 평균값으로 새로운 값들을 예측하고 기울어짐 인자의 값은 역시 0으로 하여 새로운 카메라 내부 행렬 **A'**를 예측한다.

지금까지 예측한 값들로 기하학적 오차가 보정된 수렴형 카메라 배열에서의 k번째 카메라의 행렬 $\mathbf{P}'_k$는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있으며 이 카메라 행렬이 나타내는 카메라 배열의 형태는 그림 9와 같다.

$$P'_k = A'[R'_k \mid t'_k] = A'[R'_k \mid -R'_k C'_k] \tag{8}$$

3. 보정 변환

영상의 2차원 변환은 원영상에서 변환하고자 하는

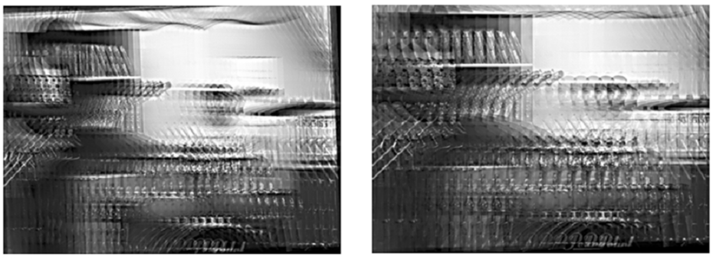


(a) 평행 카메라 배열에서 발생한 기하학적 오차 (b) 수렴형 카메라 배열에서 발생한 기하학적 오차

그림 13. 다시점 영상의 기하학적 오차

(a) 기존의 방법으로 보정된 다시점 영상

(b) 제안한 방법으로 보정된 다시점 영상



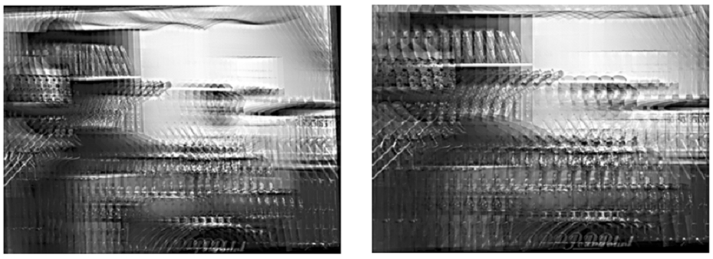
(c) 기존의 방법과 제안한 방법의 결과 비교

그림 14. 평행 카메라 배열에서 오차 보정된 다시점 영상

영상으로의 변환식을 3×3 행렬로 나타낸 것으로 이러한 변환식을 호모그래피라고 부른다. 호모그래피를 계산하는 방법에는 여러 가지가 있는데 제안하는 방법에서는 카메라 인자를 기반으로 하는 방법을 사용하여 호모그래피를 구한다.

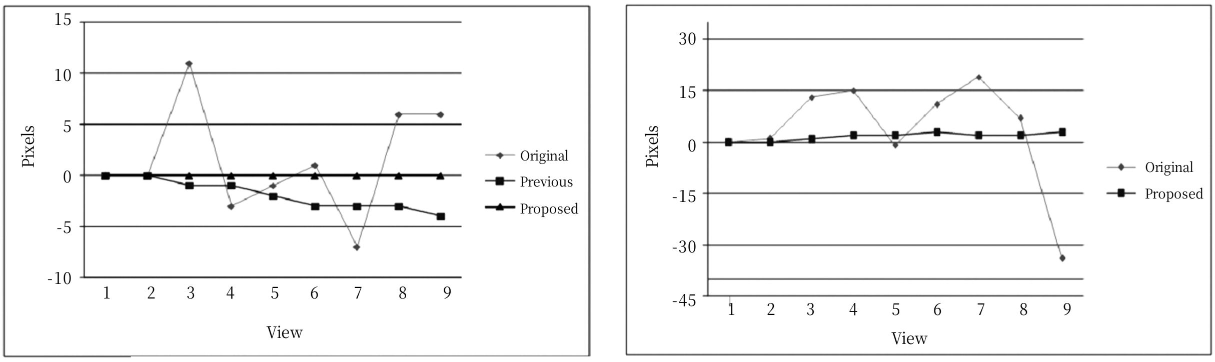
그림 10은 원래의 평행 카메라 배열과 카메라 인자 예측을 통해 만들어진 기하학적 오차가 보정된 평행 카메라 배열을 보여준다. 각각의 시점에 두개씩의 영상 평면이 존재하고 오차 보정이 되기 전의 영상 평면에서 보정 후의 영상 평면으로의 호모그래피는 식 (9)와 같이 구할 수 있다. T_k는 k번째 카메라의 보정 변환을 가리키며 P_k^+는 카메라 행렬 $\mathbf{P}_k$의 유사 역 행렬(pseudo inverse matrix)이다.

(a) 수렴형 카메라 배열에서 오차 보정된 다시점 영상



(b) 오차 보정된 영상의 합성 영상

그림 15. 오차 보정된 다시점 영상의 합성 영상



(a) 평행 카메라 배열

(b) 수렴형 카메라 배열

그림 16. 시점에 따른 수직 좌표값이 차이

$$T_k = H_{\pi,k} = P'_k P_k^+ \tag{9}$$

IV. 실험 결과 및 분석

제안한 방법의 실험을 위해서 그림 11 (a)와 같은 평행 카메라 배열을 사용하여 그림 12 (a)와 같은 아홉 시점의 영상을 촬영하였고 그림 11 (b)와 같은 수렴형 카메라 배열을 사용하여 그림 12 (b)와 같은 아홉 시점의 영상을 촬영하였다. 평행 카메라 배열의 경우 인접한 카메라와 5.5cm의 간격으로 배열하였으며 수렴형 카메라 배열에서는 6.5cm의 간격과 4°의 각도를 가지도록 배열하였다. 각 카메라 배열이 기하학적 오차를 가지고 있음은 각 시점의 영상을 한 곳으로 모아서 투명도를 조절하여 만든 그림 13의 (a)와 (b)를 통해 확인할 수 있다.

그림 14 (a)는 평행 카메라 배열에서 기존에 제안된 다시점 영상 정렬화방법을 사용하여 얻은 결과를 보여준다. 광심의 좌표들로부터 거리의 합이 최소가 되는 한 직선을 기준으로 정렬하였고 영상이 기울어지는 결과를 나타내었다. 반면 그림 14 (b)는 제안한 방법을 사용하여 개선된 다시점 영상을 보여준다. 제안한 방법의 경우에는 실제의 수평선과 평행하게 만들어진 기준선을 바탕으로 영상 평면을 정렬하였으므로 영상이 기울어지

는 현상이 발생하지 않았음을 볼 수 있다. 기존의 방법과 제안한 방법으로 얻어진 영상들의 합성 영상이 그림 14의 (c)에 나타나 있다.

그림 16 (a)는 기존의 방법과 제안한 방법의 성능을 비교하여 나타낸 그래프이다. 다시점에서 모두 보이는 전경의 한 점을 선택하고 이 점의 각 시점에서의 수직 좌표값의 차이를 비교하기 위하여 첫번째 시점을 기준으로 설정하고 각 시점에서의 동일한 점의 수직 좌표와의 차이를 측정하였다. 기존의 방법에서는 수직 좌표값이 시점에 따라 차이가 발생하였지만 제안한 방법에서는 차이가 발생하지 않았음을 볼 수 있다.

수렴형 카메라 배열에서 촬영된 영상의 경우 기존의 다시점 영상 정렬화 방법을 사용할 수 없기 때문에 제안한 방법으로만 실험을 수행하였다. 그림 15의 (a)와 (b)는 각각 제안한 방법으로 개선된 다시점 영상과 아홉 시점의 합성 영상을 나타낸다. 수렴형 카메라 배열에서도 역시 영상의 기울어짐 현상이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

그림 16 (b)는 수렴형 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상에 대하여 제안하는 방법을 수행하기 전과 후의 수직 좌표값의 변화를 보여준다. 전경에서의 한 점에 대하여 첫번째 시점을 기준으로 하였을 때 수직 좌표값의 오차의 범위가 크게 줄어들었음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기하학적 보정을 통해 평행 카메라 배열과 수렴형 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상을 개선하는 방법을 제안하였다. 다시점 카메라 배열이 기본적으로 가지고 있는 기하학적 오차로 인하여 다시점 영상에 나타나는 상응점들의 불일치 문제는 다시점 영상의 활용과 3차원 응용에 심각한 장애요소로 작용한다. 따라서 제안하는 방법은 기하학적 오차가 보정된 카메라 인자를 예측하고 이 예측된 인자들과 카메라 보정을 통해 얻어진 카메라 인자들로 만들어지는 보정 변환을 적용하여 이상적인 카메라 배열에서 촬영된 것과 같은 기하학적 특성을 가지는 다시점 영상을 생성한다.

제안한 방법으로 획득한 결과 영상에서는 두 종류의 카메라 배열 모두에 대해 영상의 기울어짐 현상이 발생하지 않았으며 기하학적 오차가 효과적으로 개선되었음을 확인할 수 있었다. 개선된 다시점 영상과 그에 따른 카메라 인자는 3차원 영상 처리 및 실제 응용에서 연산을 단순화시키며 정확도를 높여 줄 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2009-(C1090-0902-0017)).

[참고문헌]

[1] C. Fehn, R. Barre, and S. Pastoor, "Interactive 3-DTV-Concepts and Key Technologies," *Proceeding of the IEEE*, Vol. 94, No. 3, 2006, pp. 524-538.

[2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N5877, "Applications and Requirements for 3DAV," 2003.

[3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N8944, "Preliminary FTV Model and Requirements," 2007.

[4] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, 2000, pp. 1330-1334.

[5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M12030, "Comments on Input and Output Format of MVC," 2007.

[6] R. Hartley, "Theory and Practice of Projective Rectification," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 35, No. 2, 1999, pp. 115-127.

[7] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri, "A Compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs," *Machine Vision and Applications*, Vol. 12, No. 1, 2000, pp. 16-22.

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

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

[10] http://graphics.stanford.edu/projects/array.

[11] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M12338, "Test Sequences with Different Camera Arrangements for Call for Proposals on Multi-view Video Coding," 2005.

[12] Y. Kang and Y. Ho, "Geometrical Compensation for Multi-view Video in Multiple Camera Array," *Proc. of International Symposium ELMAR*, 2008, pp. 83-86.

[13] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge University Press, 2003.

강 윤 석
(Yun-Suk Kang)

2007. 2: 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
2008. 8: 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2009. 9 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
관심분야: 디지털 영상처리, 3차원 TV, 실감 방송
E-mail: yunsuk@gist.ac.kr
Tel: +82-62-970-2258
Fax: +82-62-970-3164

호 요 성
(Yo-Sung Ho)

1981. 2: 서울대학교 전자공학과 학사
1983. 2: 서울대학교 전자공학과 석사
1989. 12: Univ. of Califonia, Santa Barbara,
Department of Electrical and Computer
Engineering, 박사
1983. 3 ~ 1995. 9: 한국전자통신연구소 선임연구원
1990. 1 ~ 1993. 5: 미국 Philips 연구소,
Senior Research Member
1995. 9 ~ 현재: 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
관심분야: 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축,
멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV,
MPEG 표준, 3차원 TV, 실감 방송
Tel: +82-62-970-2211
Fax: +82-62-970-3164