

# 효과적인 3차원 디스플레이를 위한 다시점 영상왜곡 보정처리 시스템 구현

정회원 배 경 훈\*, 박 재 성\*, 이 동 식\*\*, 종신회원 김 은 수\*

## Implementation of Multiview Calibration System for An Effective 3D Display

Kyung-Hoon Bae\*, Jae-Sung Park\*, Dong-Sik Yi\*\* *Regular Members*,  
Eun-Soo Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 효과적인 3차원 영상 디스플레이를 위한 다시점 영상왜곡 보정처리 시스템 구현을 제안한다. 본 논문에서 제안한 보정처리 시스템은 기존의 스테레오 방식에서 확장된 4시점으로 카메라를 구성하여 영상을 획득하고 다시점 영상 간에 발생할 수 있는 렌즈의 왜곡, 카메라 오차 및 크기, 카메라 간 밝기 및 색상, 영상 간 밝기 균일도 등의 영상의 보정 신호처리에 대한 방법을 제시한다. 본 논문에서 제안된 시스템에서는 카메라 간 밝기 및 색상 보상은 각 영상의 특징점과 대응점을 찾아 영상 전체에 대한 대응점을 추출하여 색 변환을 통해 영상을 보정하였고 밝기 및 균일도 처리는 각 영상의 밝기차이 맵을 생성하여 보정하였다. 또한 렌즈의 구면수차로 인한 왜곡은 각 영상의 패턴을 검출한 후 렌즈 왜곡을 보정하고 카메라의 오차 및 크기 보상을 통해 다시점 3차원 디스플레이시 발생하는 왜곡현상을 해결하여 보다 효과적인 3차원 입체 디스플레이가 가능하도록 하였다.

Key Words : Rectification, Calibration, 3DAV, Multiview Camera

### ABSTRACT

In this paper, multiview calibration system for an effective 3D display is proposed. This system can be obtain 4-view image from multiview camera system. Also it can be rectify lens and camera distortion, error of bright and color, and it can be calibrate distortion of geometry. In this paper, we proposed the signal processing skill to calibrate the camera distortions which are able to take place from the acquired multiview images. The discordance of the brightness and the colors are calibrated the color transform by extracting the feature point, correspondence point. And the difference of brightness is calibrated by using the differential map of brightness from each camera image. A spherical lens distortion is corrected by extracting the pattern of the multiview camera images. Finally the camera error and size among the multiview cameras is calibrated by removing the distortion. Accordingly, this proposed rectification & calibration system enable to effective 3D display and acquire natural multiview 3D image.

### I. 서 론

일반적으로, 물체를 입체적으로 볼 수 있는 것은

양안시차에 의한 것으로, 두 눈은 각기 다른 시점의 영상을 관측하고 인간의 뇌가 이 두 스테레오 영상의 차이를 합성하여 3차원(3D) 입체물체를 인식하

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원(IITA)의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.(IITA-2005-C1090-0502-0038)

\* 광운대학교 전자공학과 차세대 3차원 디스플레이 연구센터(3DRC), \*\* (주) 블루비스  
논문번호 : KICS2005-01-014, 접수일자 : 2005년 1월 6일

게 된다<sup>11</sup>. 그 동안, 이러한 인간시각 시스템(HVS: human visual system)을 모방하여 다양한 형태의 양안식 3D 디스플레이 시스템이 구현되어 왔다. 그러나 이러한 스테레오 양안방식은 시점이 2안으로 제한되기 때문에 관찰자가 제한된 시역을 벗어나거나 초점이 맞지 않을 경우에는 입체감을 느낄 수 없고 또한, 눈의 피곤함 및 어지러움 등을 느끼기 때문에 실질적인 응용이 제한되고 있다<sup>12</sup>. 따라서 이러한 기존의 스테레오 방식의 단점을 해결하기 위한 접근방법으로 여러 형태의 다시점 스테레오 3D 디스플레이 시스템에 관한 활발한 연구들이 진행되고 있다<sup>13</sup>. 이러한 시스템은 다안식 입체 카메라를 통해 다시점의 영상획득과 디스플레이가 이루어지기 때문에 시점의 개수가 증가됨에 따라 시역이 확대되고 보다 자연스러운 3D 디스플레이가 가능하다. 다시점의 영상을 얻기 위한 방법으로 다시점 카메라를 구성하는데, 구성 방법에는 교차축(Toed-in)방식과 수평식(Parallel) 방식이 있다. 먼저, 교차축 방식의 다시점 카메라는 관심 물체에 대해 모든 카메라의 광축을 회전시켜 한 점에서 수렴하도록 한 방식이다. 반면 수평식 방식은 카메라를 평행하게 설치하고 관심 물체에 수렴점을 형성하기 위해서 카메라의 렌즈의 위치를 수평이동 시키는 방식이다<sup>14</sup>.

최근의 CCD 카메라의 경우 왜곡이 매우 적지만 특수한 렌즈를 사용하는 카메라의 경우에 있어서는 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 카메라를 통하여 입력되는 영상은 카메라의 내부 혹은 외부의 영향에 의해서 왜곡이 발생하여 실제와는 다른 형태의 영상으로 나타날 수 있으며 카메라의 렌즈 왜곡이 적게 제작되었더라도 사용하는 환경 조건에 의해서 보정이 필요하다. 따라서 카메라 보정은 무엇보다도 정확한 영상을 요구하는 영상처리 분야에서 중요한 문제라 할 수 있다.

본 논문에서 사용한 다시점 카메라 기술은 단안 방식의 카메라 기술과는 달리 사람의 인지 특성을 고려한 기술 개발이 요구되는데 우선 대상물의 거리에 따른 양안 시차를 고려하여 사람이 보는 것과 같은 영상을 획득하기 위한 정교한 제어와 기계적 구동 기술이 필요하다. 또한 2대 이상의 카메라가 연동되어야 하기 때문에 카메라간의 특성을 항상 일정하게 유지하도록 제어하는 카메라 특성 제어 기술이 필요하다. 특히 현재의 다시점 카메라 시스템에서는 보정처리 없이 영상을 획득하기 때문에 시각 피로 현상이 나타나게 된다. 이러한 현상을 제거

하기 위해서는 양안시차(Binocular Disparity) 등의 양안에 의한 결과 및 명암(Light & Shade), 색의 진출과 후퇴(Advancing & Receding Color) 등의 단안에 의한 결과, 시각피로 요소 분석이 필요하고 이를 해소하기 위한 둘 이상의 획득된 영상 간의 왜곡을 보정하고 균일성을 유지하기 위한 알고리즘은 필수적이다<sup>4, 5</sup>.

따라서 본 논문에서는 기존의 스테레오에서 확장된 4시점(4x1 수평식 방식) 영상을 획득하여 무안경식 디스플레이 시스템에 적용하기 위하여 영상간의 오차 및 왜곡, 밝기 균일도, 카메라 간 밝기 및 색상, 렌즈 왜곡을 보정하는 알고리즘을 제안하고 이를 4시점 보정처리 시스템으로 구현하여 3차원 디스플레이 시 보다 정교하고 왜곡 없는 입체 디스플레이가 가능하도록 실시간으로 영상을 획득하여 이를 보정한다.

## II. 다시점 카메라 보정 시스템

본 논문이 제안한 다시점 카메라 보정 시스템에서 얻어진 4개의 영상은 각각 영상의 색상이나 밝기, 크기 등이 다르고 각 카메라는 오차와 왜곡을 가지고 있기 때문에 보다 균일하고 왜곡이 없는 영상을 얻기 위한 영상 보정 신호처리 방법을 제안하고자 한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 다시점 보정처리 시스템의 처리과정이다.

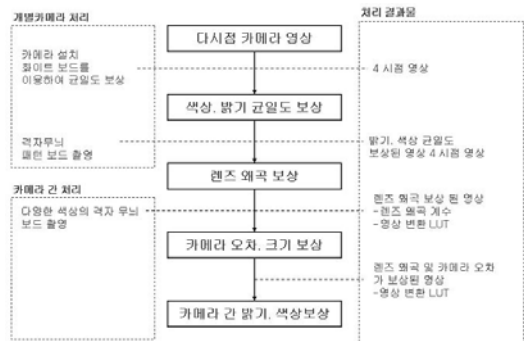


그림 1. 영상 보정 처리과정  
Fig. 1. The Procedure of Image Calibration Process

### 2.1 카메라 간 밝기 및 색상 보상

RGB Color 공간에서는 밝기 및 색상을 동시에 처리하며 색상 및 밝기의 변환은 어파인(Affine) 변환의 형태를 보이고 다음 식 1과 같이 표현된다. 색상 보상에 적용된 어파인(Affine) 변환은 세 개의 점에 대해 기하학적으로 성립하는 변환이다. 어파인

(Affine) 변환은 회전과 이동 및 스케일 등의 변화에 대하여 적용 가능하며 영상 내에서 평행선을 보존하고 선을 따라 등 간격의 점들이 보존된다는 원리를 이용하여 영상의 색상을 보상한다<sup>[4][6]</sup>.

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_R & & \\ & a_B & \\ & & a_G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 \\ G_2 \\ B_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_R \\ b_B \\ b_G \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 식을 이용하여  $a_{R,G,B}$ 와  $b_{R,G,B}$ 를 구할 수 있다. 영상 전체의 색상을 맞추기 위해서는 가능한 많은 점을 사용하는 것이 효과적이며, 이를 위해서 일치점을 많이 구성하는 것이 좋다. 일치점의 수를 많이 구성하기 위해서 미리 설정된 영상을 사용한다. 미리 설정된 영상은 평면 영상으로 영상 사이의 관계가 어파인(Affine) 변형에 만족하기 위함이다. 이를 이용하여 많은 점의 일치정보를 얻을 수 있다. 일치정보를 얻은 후 이를 통해 어파인(Affine) 변환 행렬을 구할 수 있다. 변환 행렬과 호모그래피(Homography)를 이용하여 영상전체의 일치정보를 얻을 수 있으며, 이는 영상이 촬영된 장면이 평면이기 때문에 가능하다. 어파인(Affine) 변환은 평행 이동 및 회전, 스케일 변화에 대하여 변환이 수행되기 때문에, 카메라의 렌즈 왜곡이 있는 영상을 미리 설정된 영상으로 사용한 경우에는 정확한 결과를 얻을 수 없다. 영상전체에 대해 일치정보를 구성하였다면, 식(1)로부터 각각의 색상에 대한 계수를 구하고 이를 적용하여, 색상을 보상한다. 이 때, 정합 결과에 영향을 많이 받기 때문에 정확한 정합 결과를 얻는 것이 중요하다. 그림 2는 위에서 설명한 색상 및 밝기 보상 처리 과정을 나타낸 블록도이다.

이 때 호모그래피(Homography) 과정은 평면을 촬영한 두 영상 사이의 사영변환(Projective Transformation)관계로 설명된다. 사영변환은 3×3 행렬로 표현되며, 최소 4점의 일치점으로부터 얻을 수 있다. 이를 수식적으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)로부터 행렬의 모든 원소  $h_{11} \dots_{33}$ 를 구할 수 있다.  $\lambda$ 는 스케일 벡터로 사영변환 행렬 안에서 소거될 수 있다. 사영변환 행렬이 추정되면 이를 이용하여 한 점에 대한 일치점을 식 (2)를 통해 쉽게 설정할 수 있다. 그러므로 영상 전체에 대해 같은 과정을 반복하여 전체 일치점 리스트를 구성할 수

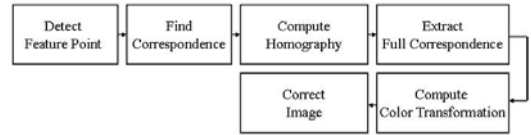


그림 2. 카메라 간 밝기 및 색상 보상 처리 과정  
Fig. 2. Brightness and Color Calibration among Cameras

있고 이것을 이용하여 컬러 변환을 통해 영상을 보정한다<sup>[7][8][9]</sup>.

### 2.2 카메라 렌즈 왜곡 보상

다시점 카메라에 의해 획득된 영상은 깊이감의 인식할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 깊이 방향의 추가 차원으로 인하여 2차원 표시 장치에 비해 다시점 영상들은 왜곡에 보다 제한적이다. 기하학적인 왜곡들은 대부분 교차식(Toed-in) 배치의 카메라 구조로부터 발생되며 보다 좋은 다시점 영상의 표시를 위해 그 왜곡들은 보다 최소화 되어 한다. 카메라 모델이 완전한 핀홀(Pinhole) 카메라 모델이라고 가정하면, 공간상의 한 점  $P$ 는 영상에서 점  $p$  위치에 맺히게 된다. 그러나 실제로는 완전하게 핀홀(Pinhole) 카메라 모델로 만족하지 못하기 때문에 렌즈의 왜곡에 의해 변형된 점  $p'$ 의 위치에 맺히게 될 수 있다<sup>[10][11]</sup>.

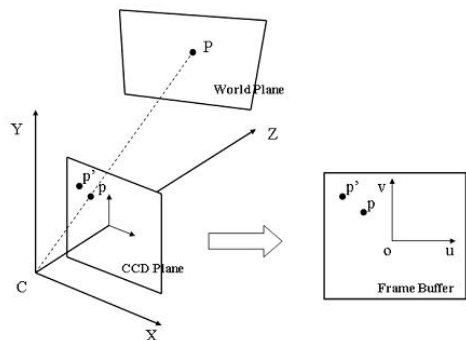


그림 3. 디지털 영상 생성 모델  
Fig. 3. Model of Digital Image Generation

이는 광학중심(principle point)에서부터 거리에 비례하여 점  $p$ 와 점  $p'$ 의 차이가 커지게 되며, 이 차이는 광학 중심으로부터의 거리의 2차 함수의 형태로 표현되고 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x' = x + f_x(d) \quad y' = y + f_y(d) \quad (3)$$

여기서  $x, y$ 는  $P$ 점이 CCD평면에 사영 되었을 때  $p$ 의 좌표이고  $x', y'$ 은 렌즈의 왜곡에 의해서  $p'$ 에

사영된 좌표이다.  $d$ 는 광학중심에서 점  $p$ 까지의 거리로  $d = \sqrt{x^2 + y^2}$ 이며 각 좌표축에 대한 거리 차이 값인  $f(d)$ 는 식 (4)와 같다.

$$f_x(d) = k_1 x d^2 + k_2 x d^4 \quad f_y(d) = k_1 y d^2 + k_2 y d^4 \quad (4)$$

그러므로 렌즈에 의해 왜곡된 점  $p'$ 와 왜곡이 제거된 점  $p$ 의 쌍이 최소 2개가 있다면 쉽게 렌즈 왜곡 계수  $k_1, k_2$  값을 구할 수 있으며, 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 영상에서 렌즈에 의한 왜곡을 제거할 수 있다.

영상에서 왜곡을 제거하기 위해서 왜곡이 제거된 점  $p$ 가 필요하다. 그러나 점  $p$ 의 위치는 실제로 알 수 없기 때문에 다른 방법이 요구 된다. 즉 영상에서 직선성분을 검출하여, 직선을 검출하는데 사용된 점들을 그룹핑 하고, 점들에 식 (1)을 적용하여, 직선의 방정식에 적용하여 오차가 최소가 되도록 하는  $k_1, k_2$ 를 구한다. 직선을 검출하기 위해서, 휴라인 검출기(Hough Line Detector)를 이용하였으며, 한 직선을 이루는 점들은 휴(Hough) 공간에서 그룹핑 한다. 정확한 직선검출 및 점 그룹핑을 하기 위해 격자무늬 패턴을 촬영하여 이용한다. 그림 4는 처리과정을 도식화하여 나타낸 것이고 보정처리 과정은 다음과 같다.

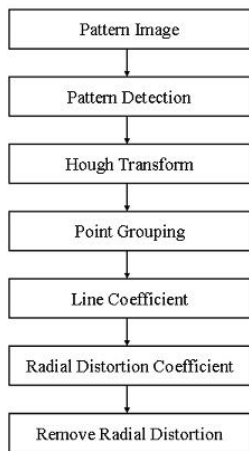


그림 4. 렌즈 왜곡 보정 처리과정  
Fig. 4. The Process of Lens Distortion Calibration

1단계 : 패턴 검출(Pattern Detection)

영상은 격자무늬 패턴을 사용하여 코너가 잘 나타나도록 한다. 일정 영역 안에 밝기의 변화가 양축 ( $x$ 축,  $y$ 축) 방향으로 일정하게 분포되는 영역을 그

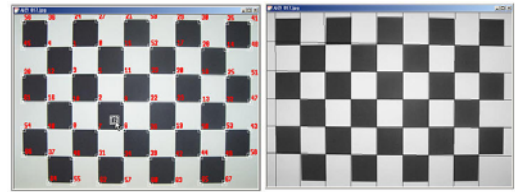


그림 5. 패턴검출영상(좌)과 직선 검출 영상(우)  
Fig. 5. Detection Image of Pattern(Left) and Line(Right)

림 5와 같이 코너점으로 정의하고 검출한다.

2단계 : 점 그룹핑(Point Grouping)

코너점을 휴(Hough) 공간에서 직선을 이루는 점들로 그룹핑 한다. 휴(Hough) 공간의 해상도는 직선의 정밀도를 내포하기 때문에 해상도를 낮추어서 직선을 이루는 점들을 대략적으로 그룹핑 한다.

3단계 : 선 계수(Line Coefficient)

그룹핑된 점의 집합을  $S$ 라 하고 하면, 집합  $S$ 를 이용하여 직선의 계수를 추정한다. 직선은 점 2로 최소 두 점으로 추정 할 수 있다. 3점 이상이 되면, 노이즈에 영향으로 정확하게 3점이 한직선상에 존재 않을 수 있으며, 이 경우 점들과의 최단거리가 최소가 되도록 하는 직선의 계수를 구한다. 식 (5)은 3점 이상의 경우 직선을 구하는 식이다. 점의 수가  $n$  이라고 하면,

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = 0 \quad (5)$$

같이 된다.  $Ax=0$ 의 형태이므로 특이값 분해법을 이용하여 쉽게 직선 계수  $a, b, c$ 를 구할 수 있다.

4단계 : 방사형 왜곡 계수(Radial Distortion Coefficient)

방사형 왜곡(Radial Distortion)은 렌즈의 구면 수차에 의해서 발생하는 것으로서 방사형 왜곡(Radial Distortion)에 의해서 주어진 영상의 점은 이상적인 위치로부터 그 점의 안쪽 또는 바깥쪽으로 변위를 일으킨다. 안쪽으로 변위를 일으키는 것을 음의 방사 변위라 하고 바깥쪽으로 변위를 일으키는 것을 양의 방사 변위라 한다. 영상에서 점들의 음의 방사 변위는 배럴 왜곡(barrel distortion, 원통형 왜곡)이라 하며 이것은 바깥쪽 점들을 점차적으로 뭉쳐지게 하며 크기는 감소시키다. 양의 방사 변위는 핀쿠션

왜곡(pincushion distortion, 방석형 왜곡)이라하며 이것은 바깥쪽 점들을 펼치며 크기는 증가시킨다. 이러한 종류의 왜곡은 렌즈의 광학축에 대하여 정확히 대칭적이다<sup>11)</sup>.

실제로 집합  $S$ 의 점들은 렌즈의 왜곡에 의한 오차로 인해 정확하게 직선을 이루지 못하고, 광학중심을 중심으로 해서 곡선의 형태를 띠게 된다. 이를 직선을 이루도록 하는  $f(d)$ 를 구한다. 식 (1)과 (2)를 직선의 방정식에 적용하면 식 (6)과 같다.

$$ax + axk_1d^2 + axk_2d^4 + by + byk_1d^2 + byk_2d^4 + c = 0 \quad (6)$$

이 되고, 이를 대수 형태로 정리하면 식 (7)과 같이 나타나고  $Ax = b$ 의 형태로 정리 된다.

$$\begin{bmatrix} ax_1d^2 + by_1d^2 & ax_1d^4 + by_1d^4 \\ ax_2d^2 + by_2d^2 & ax_2d^4 + by_2d^4 \\ ax_3d^2 + by_3d^2 & ax_3d^4 + by_3d^4 \\ \vdots & \vdots \\ ax_nd^2 + by_nd^2 & ax_nd^4 + by_nd^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ax_1 - by_1 - c \\ -ax_2 - by_2 - c \\ -ax_3 - by_3 - c \\ \vdots \\ -ax_n - by_n - c \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)을 최소 2차 해법(least squares solution)을 이용하여 식 (8)과 같이 렌즈 왜곡계수를 구한다.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (8)$$

5단계 : 방사형 왜곡 제거(Remove Radial Distortion)

렌즈왜곡계수를 구한 후 이제 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 왜곡이 제거된 점의 위치를 구할 수 있다.

2.3 카메라 오차 및 크기 보상

카메라 오차 보상은 하우징(housing), 센서의 위치, 렌즈 마운트 상의 틀어짐 등에 의한 오차 성분 제거하는 것을 말하고 영상크기 보상은 초점 길이(focal length) 차이에 의한 영상의 크기 보상을 말한다. 본 실험을 위한 가정으로는 렌즈 왜곡이 없다는 것과 어파인(Affine) 변환이 적용된 카메라 모델이라는 두 가지 가정을 전제로 테스트 한다.

두 영상 간에 일치정보를 이용하여 한 카메라에 대한 다른 카메라의 기울어짐 정도를 측정할 수 있으며, 기울어짐을 보정할 수 있다. 일치정보는 특징

점 추출과 SSD(Sum of Squared Difference) 방법을 이용하여 설정할 수 있다. 이렇게 설정된 두 개의 일치정보로부터 각각의 공분산 행렬(Covariance Matrix)을 구하고 이를 EVD(Eigen Value Decomposition)을 이용하여 각각의 기울어짐 정도를 측정할 수 있으며, 이로부터 회전 행렬을 구한다. 이를 한 쪽 영상에 맞추기 위해서 다른 영상에 적용하여 오차를 보정한다. 그림 6은 카메라 오차 제거 처리 과정을 나타낸다<sup>9)</sup>.



그림 6. 카메라 오차 제거 처리과정  
Fig. 6. The Process of Camera Distortion Calibration

1단계 : 특징점 및 대응점

특징점은 패턴검출과 같은 방법으로 검출한다. 이를 다른 영상과의 일치정보를 설정하기 위해 SSD 방법을 사용한다. 다음은 SSD 함수를 나타낸 식이다.

$$f(d) = \sum_{k=1}^W \sum_{l=1}^W \psi(I_1(i+k, j+l), I_2(i+k-d_x, j+l-d_y)) \quad (9)$$

여기서  $\psi(u, v) = -(u-v)^2$  이고,  $I(x, y)$ 는  $I$  영상에  $x, y$  위치 화소의 밝기값 이다.  $(d_x, d_y)$ 는 일치점의 변위(disparity)이고,  $W$ 는 특징점을 중심으로 특징영역의 크기이다. 일치점은 함수  $f(d)$ 가 값이 가장 크게 되는  $d$ 를 찾음으로서 얻어진다.

2단계 : 공분산 행렬(Covariance Matrix)

공분산 행렬(Covariance Matrix)은 데이터의 분포를 알아보기 위해 흔히 사용되며, 이는 3차원 모델 정합기술에 많이 응용된다. 일치정보로부터 공분산 행렬(Covariance Matrix)을 구하는 방법은 다음 식 (10)과 같다.

$$Cov = \sum_{i=0}^n \begin{bmatrix} (x_i - x_{aver})^2 & (x_i - x_{aver})(y_i - y_{aver}) \\ (y_i - y_{aver})(x_i - x_{aver}) & (y_i - y_{aver})^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

이를 EVD를 이용하여 다음과 같이 분해되고 식 (11)과 같이 나타난다.

$$EVD(Cov) = UDU^T \quad (11)$$

여기서  $U$ 는 직교행렬(Orthogonal)이고,  $D$ 는 대각행



렬(diagonal)이다.  $(x_{aver}, y_{aver})$ 는 평균점으로 각 축의 합을 점의 수( $n$ )으로 나눈 값이다.  $U$ 의 각 열벡터는 장축과 단축을 나타내고,  $D$ 의 각 원소는 점의 분포의 장축과 단축의 크기를 나타낸다.  $U$ 행렬은 직교행렬로 회전행렬과 같으며, 이는 바로 회전행렬로 적용될 수 있다. 보정된 영상에서 일치점 리스트로 각각의 공분산 행렬을 구하고, 공분산 행렬을 분해하여  $U$  행렬을 구한다.

3단계: 회전 행렬 (Rotation Matrix)

각각의  $U$  행렬을 이용하여 한 쪽을 다른 쪽에 맞출 수 있다. 영상 2를 영상 1에 맞추기 위한 회전행렬  $R$ 은 다음 식과 같다.

$$R = U_1 U_2^{-1} \quad (12)$$

2.4 밝기 균일도 처리

렌즈의 특성에 따라서 CCD에 도달하는 빛의 세기는 각각의 CCD에 대해 균일하지 못하다. 영상의 중심을 기준으로 하여 주변으로 갈수록 CCD에 도달하는 빛의 세기는 약해지며 이는 밝기 값이 영상 전체에 대해 일정하지 못한 결과를 준다. 영상 전체에 대해 밝기 값이 균일하게 분포 하도록 하기 위해서, 영상에 대해 밝기값 변화를 주어야 한다. 그러나 이러한 문제는 영상에 한 픽셀의 위치에 대해 각각 처리해야 하기 때문에 영상 전체에 대한 밝기의 선형변환(shift+scale)으로는 해결이 불가능 하다. 본 논문에서 이를 처리하기 위해서 밝기차이 지도(brightness difference map)를 생성하여 이를 이용한다. 밝기 차이맵( $I_d$ ) 생성과정을 살펴보면 다음과 같다.

1. 같은 밝기를 같은 평면을 영상전체에 찍 차도록 촬영한다.
2. 촬영된 영상을 YCbCr 공간으로 변환하여 Y (Luminance) 채널을 추출한다.
3. Y 채널(channel)에서 최고 밝기 값  $I_{max}$  또는 평균 밝기 값  $I_{aver}$ 를 계산한다.

$$I_{max} = \max(I(x, y)), \quad I_{aver} = \frac{\sum_{y=0}^h \sum_{x=0}^w I(x, y)}{w \times h} \quad (13)$$

4. 밝기 차이 맵을 생성한다.

$$I_d(x, y) = I_{aver} - I(x, y) = I_{max} - I(x, y) \quad (14)$$

이렇게 얻어진 밝기 차이 지도를 밝기 불균일 영상의 Y 채널에 더하기 연산을 함으로써 밝기가 균일한 영상을 얻을 수 있다.

III. 실험 및 결과고찰

3.1 실험 환경 및 캘리브레이션 과정

실험을 위한 환경은 일반적인 사무실 환경으로서 조명은 직사광에 의한 하이라이트가 생기지 않도록 하며, 형광등 같은 간접광 환경을 구성하여 패턴 전체에 대해 밝기가 균일하도록 한다. 밝기를 가능한 낮게 하여 패턴의 경계가 뚜렷하게 보이도록 한다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 보정처리 시스템이고 본 논문을 위해서 제작된 프로그램은 크게 두 단계를 거쳐서 영상을 보정하게 된다. 첫째는 카메라의 오차 정도를 측정하는 보정 단계와 둘째는 첫 번째에서 측정된 데이터를 바탕으로 실시간으로 처리하는 단계이다. 이때 보정 과정이란 개별 카메라의 오차(밝기 균일도, 렌즈 왜곡)와 카메라 간의 오차(색상/형태)를 보정하기 위한 설정 값을 찾는 과정이다.



그림 7. 다시점 보정처리 시스템  
Fig. 7. Multiview Calibration System

다음 표 1은 실험에 사용된 카메라 및 시스템에 필요한 장비들이다.

표 1. 카메라 시스템에 필요한 장비

Module	EA	Specification
IEEE 1394 Camera	4	640 x 480, Color, 30 frame
PC System	2	영상의 왜곡 보정처리 및 영상출력 카메라 왜곡 보정 정보 저장. 카메라의 H/W 설정 제어
Image frame zig	1	카메라 고정 정밀 Zig.

### 3.2 카메라 간 밝기 및 색상 보상

카메라 간 밝기 및 색상 보상 알고리즘을 테스트 하기 위해서 다음과 같은 환경을 조성하였다. 벽면과의 거리는 5.1m, 조명환경은 사무실환경 (형광등 12개), 그리고 실험영상은 디지털 카메라로 촬영 후 이미지 편집 툴을 이용하여 색상 및 밝기 변화를 준다. 그림 8은 카메라 간의 색상 및 밝기가 불균일한 보상처리 전의 4시점 영상이다. 실험 결과 그림 8에서 획득된 영상을 색상 변환과 밝기의 평균값을 이용하여 색상 및 밝기 차이가 개선된 영상을 그림 9, 10을 통해 확인하였다.



그림 8. 카메라 간 밝기 및 색상 보상 전의 4시점 영상  
Fig. 8. Original 4-view Image before Brightness and Color Calibration



그림 9. 카메라 간 밝기보상 후의 4시점 영상  
Fig. 9. Calibrated 4-view Image after Brightness and Color Calibration



그림 10. 원 영상(좌) 와 색상 및 밝기가 보상된 영상(우)  
Fig. 10. Original Image(Left) and Brightness and Color Calibrated Image(Right)

### 3.3 카메라 별 밝기 균일도

밝기 균일도에 대한 실험 결과는 그림 11, 12, 13에서 볼 수 있다. 그림 11은 CCD의 특성으로 인하여 영상의 중심 영역과 가장자리 영역에서 영상 전체의 밝기가 균일하지 못한 것을 나타낸다. 이러한 밝기 불균일 영상에서 영상 전체의 평균 밝기값이나 최대 밝기 값을 이용하여 원 영상의 밝기값과 비교하여 그림 12와 같은 밝기 차이맵을 생성하고

균일하지 못한 영상에 더하기 연산하여 그림 13과 같이 밝기 균일도 차이를 보정하였다.

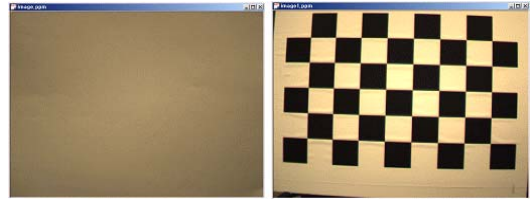


그림 11. 밝기 차이가 균일하지 못한 원영상  
Fig. 11. Original Image (non-uniform difference map)



그림 12. 원 영상과 그 밝기 차이 맵  
Fig. 12. Original Image and Brightness Difference Map

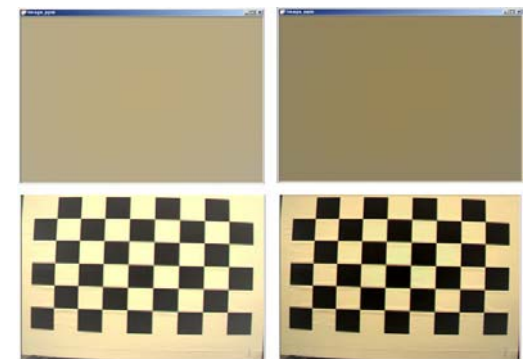


그림 13. 밝기 차이맵을 이용한 영상밝기 균일도 처리 (왼쪽:  $I_{max}$ , 오른쪽:  $I_{aver}$ )  
Fig. 13. Uniform Processing by using a Brightness Difference Map (Left:  $I_{max}$ , Right:  $I_{aver}$ )

그림 14의 영상은 불균일한 밝기를 가진 보정처리 전의 영상을 나타내고 그림 15는 밝기 차이맵을 이용한 처리 후의 영상을 나타낸다. 즉, 밝기 차이맵을 구성하는 방법으로 영상의 밝기 균일도를 보상하여 균일도의 개선이 가능한 것을 실험결과를 통해 확인 하였다.



그림 14. 밝기 균일도 처리 전 영상  
Fig. 14. Original Image before Brightness Uniformity Processing

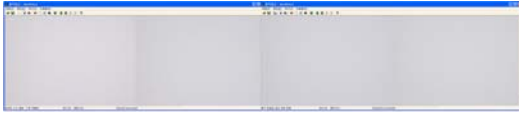


그림 15. 밝기 균일도 처리 후 영상  
Fig. 15. Calibrated Image after Brightness Uniformity Processing

### 3.4 렌즈 왜곡 보정

알고리즘의 성능 테스트를 위해 다음과 같은 조건에서 실험 하였다. 실험영상 촬영 환경은 격자무늬 패턴을 카메라에 대해 수직으로 세워 촬영한다. 격자무늬 패턴 크기는 9×6으로 격자 크기는 4.2cm×4.2cm로 설정하고 조명 환경은 사무실환경으로 형광등 8개가 있는 환경으로 패턴과의 거리 3m로 환경설정을 하였다.

본 논문에서 사용한 알고리즘 테스트 결과에 따르면 패턴 검출 및 특징점 그룹핑 파라미터(Feature Point Grouping Parameter)에 따라서 결과에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 그림 16에서 원 영상은 방사형 왜곡(Radial distortion)을 일으키는 영상이고 각 영상의 패턴을 검출한 후, 휴 변환을(Hough Transform) 통해서 렌즈왜곡 계수를 이용하여 렌즈왜곡을 보정한 결과 영상을 같은 그림 우측에 보여준다.

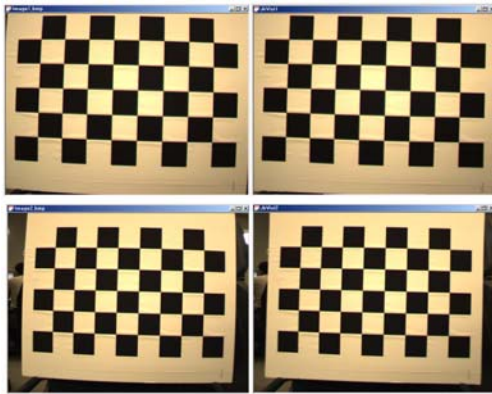


그림 16. 원 영상(좌) 과 렌즈 왜곡이 제거된 영상(우)  
Fig. 16. Original Image(Left) and Removed Lens Distortion Image(Right)

### 3.5 카메라 오차 및 크기 보상

실험영상 촬영은 디지털 카메라를 이용하여 벽면을 촬영한다. 한번은 바닥에 대해 수평하게 촬영하며, 한번은 약간 기울어지게 촬영하여 마운트 상에 틀어짐, 하우징과 센서의 불일치 등에 의한 오차효과를 준다. 벽면과의 거리는 5.1m으로 조명환경 사무실환경(형광등 12개)로 설정한다.

그림 17의 좌측 영상은 각 카메라에서 받아진 영상의 기울어짐으로 인한 오차를 보여준다. 아래와 같은 좌측 영상에서 특징점(Feature point)과 대응점(corresponding point)를 찾아낸다. 찾아낸 대응점으로 공분산 행렬(covariance matrix)을 계산한 후에 영상이 얼마만큼 기울어졌는지를 알 수 있는 회전행렬(rotation matrix)을 한다. 마지막으로 회전된 값만큼 영상을 회전시켜줌으로써 영상의 오차를 보정하였다. 그 결과 그림 17의 우측 영상과 같이 영상의 기울어짐과 오차가 제거된 영상을 획득하였다.



그림 17. 원 영상(좌) 과 기울어짐이 제거된 영상(우)  
Fig. 17. Original Image(Left) and Removed Geometry Distortion Image(Right)

### 3.6 3차원 입체 디스플레이

그림 18은 본 논문에서 제안된 보정처리 시스템으로 획득된 4시점의 영상을 입체 무안경식 디스플레이 시스템에 적용한 것이다. 본 논문에서 제안된 시스템으로 획득한 4시점 보정처리 영상은 기존의 일반 획득 영상보다 영상간의 균일도, 색상 및 기울어짐이 보상이 되어 보다 자연스럽게 입체감 있는 3차원 영상 디스플레이가 가능함을 확인하였다.



그림 18. 4시점 보정이미지를 이용한 3차원 영상디스플레이  
Fig. 18. 4-view 3D Display by using a Calibrated Image



#### IV. 결 론

다시점 카메라 시스템을 구성할 때 각 카메라 간의 차이가 영상을 얻은 후의 처리에 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서 각 카메라 간의 오차와 왜곡을 줄이기 위한 방법과 알고리즘을 제시하였다. 카메라 간 색상 보상 실험 결과 영상의 정합의 정확성에 따라서 결과에 많은 영향을 미치며, 부정확한 정합 정보를 제거 하는 방법이 보다 필요하다는 것을 확인하였다. 문제점으로는 정확한 사영변환을 추정하기 위한 방법 즉, RANSAC 기반의 사영변환 추정 필요하고 색변환 시에도 정확한 값을 추정하기 위해서 에러가 큰 값을 제거하는 방법이 필요함을 확인 하였다. 렌즈 왜곡 보정의 경우 위에서 언급한 바와 같이 본 논문에서 사용한 알고리즘 테스트 결과에 따르면 패턴 검출 및 특징점 그룹핑 파라미터에 따라서 결과에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 영상의 밝기 균일도 처리의 경우 밝기차이 지도를 생성하는 방법으로 최고값( $I_{max}$ )을 이용하는 방법과 평균값( $I_{aver}$ )을 이용하는 방법을 보였으며 이에 대한 실험결과도 보였다. 최고값을 이용하는 경우 영상전체에 대해 밝기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 영상의 중심의 밝기에 주변을 맞추기 때문이며 CCD의 중심으로 오는 빛의 세기를 기준으로 한다면 적절한 방법이라 할 수 있다. 그러나 영상의 전체에 대해 밝기값의 변화가 심하기 때문에 색상의 변화를 유발 할 수 있다. 반면에 평균값을 이용하며, 영상의 밝기값의 변화가 심하지 않기 때문에 색상의 변화는 적다. 즉 최고값 처리는 밝기값의 변화가 크기 때문에 영상의 중심에 밝기를 맞추고 중간값 처리는 밝기값의 변화가 적기 때문에 영상 밝기의 평균에 밝기를 맞추어야 한다는 사실을 확인하였다. 본 논문을 통해 다시점 영상에서 발생하는 영상의 왜곡을 보정하고 이를 통해 압축이나 전송 시 보다 효과적인 영상처리가 가능 하도록 하고 3차원 디스플레이 시 보다 자연스러운 입체영상 구현이 가능할 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] Victor S. Grinberg, Gregg Podner, M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", *Proc. of SPIE*, vol. 2177, pp. 56-65, February 1994.

[2] 김은수/이승현 공역, 3차원 영상의 기초, 技多利 1998.

[3] N. A. Dodgson, J. R. Moore and S. R. Lang, "Multi-view autostereoscopic 3D display", *IBC '99 10th-14th*, pp. 497-502, September 1999.

[4] 정보통신부, 3차원 입체영상(3DTV) 방송중계 시범서비스 보고서, pp. 2-7, 2002.

[5] David Peter Capel, "Image Mosaicing and Super-resolution", *Robotics Research Group Department of Engineering Science University of Oxford*, pp. 44-58, Trinity Term, 2001.

[6] David peter Capel, "Image Mosaicing and Super-resolution", *3rd Chapter-Geometric Registration Robotics Research Group Department of Engineering Science University of Oxford*, Trinity Term 2001.

[7] Jianbo Shi and Tomasi C. "Good features to track", *Proceedings of the 1994 IEEE Computer Society Conference* pp. 593-600, June 1994.

[8] Bruce D. Lucas and Tekeo Kanade, "An Interactive Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", *Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213*, proc. of imaging understanding workshop pp.121-130, 1981.

[9] Jean Yves Bouguet, "Pyarmidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm", Intel Coporation, Microprocessor Research Labs.

[10] Guo-Qing Wei and Song De Ma, "Implicit and explicit camera calibration: theory and experiments Pattern Analysis and Machine Intelligence", *IEEE Transactions on*, vol. 16, Issue: 5, pp. 469-480, May 1994.

[11] Zhengyou Zhang, "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations.", *Computer Vision*, 1999. *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on*, Volume:1, Sept. 1999, pp. 666-673, Sept. 1999.

배 경 훈 (Kyung-Hoon Bae)

정회원



2000년 2월 광운대학교 학사  
2002년 2월 광운대학교 전자공  
학과 석사  
2004년 9월 Project Manage-  
ment Institute, USA, PMP  
Certification  
2005년 2월 Columbia Southern

University, USA, MBA

2002년~현재 광운대학교 전자공학과 박사과정수료  
/3R 부설연구소 연구팀장

<관심분야> 3D Technology, Next Generation  
CODEC, 3D Broadcasting, Technical Business,  
R&D Planning

이 등 식 (Dong-Sik Yi)

정회원



1991년 2월 서울대학교 전자공  
학과 학사  
1993년 2월 서울대학교 전자공  
학과 석사  
1996년~2000년 LG 전자 기술  
원 선임연구원  
2000년~2001년 (주)브랜스 테

크놀로지 책임연구원

2001년~2005년 3R (주) 대표이사

2005년~현재 (주) 블루비스 대표이사

<관심분야> 3D Camera, Contents & DVR

박 재 성 (Jae-Sung Park)

정회원



2005년 2월 광운대학교 전자공  
학과 학사  
2005년~현재 광운대학교 전자  
공학과 석사과정

<관심분야> Signal Processing,  
3D Display, Integral Imag-  
ing, Optical information  
Processing

김 은 수 (Eun-Soo Kim)

종신회원

광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터

(<http://3DRC.org>)

한국통신학회지 Vol.29, No. 4c 참조