

스테레오 카메라를 위한 렌즈 왜곡 및 3차원 자세 보정 알고리즘 개발

이승민*, 이남호*
한국원자력연구원*

Implementation of 3D Undistorting Algorithm for Stereo Camera

Lee Seung min*, Lee Nam Ho*
Korea Atomic Energy Research Institute*

Abstract - 본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용한 대상물체의 3차원 정보 추출 및 가시화를 위하여 우선적으로 실시해야 하는 카메라 대향 렌즈 왜곡 보정 및 3차원 자세 보정 알고리즘의 적용에 대하여 살펴 보았으며, 렌즈의 왜곡 보정 부분에서는 렌즈의 구면 수차로 인한 왜곡은 각 카메라에 대하여 패턴 영상을 획득한 후 렌즈왜곡보정계수를 산출하여 왜곡 보정 실시하였다. 더불어 보정을 통하여 보다 입체감 있는 영상의 출력이 가능함을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

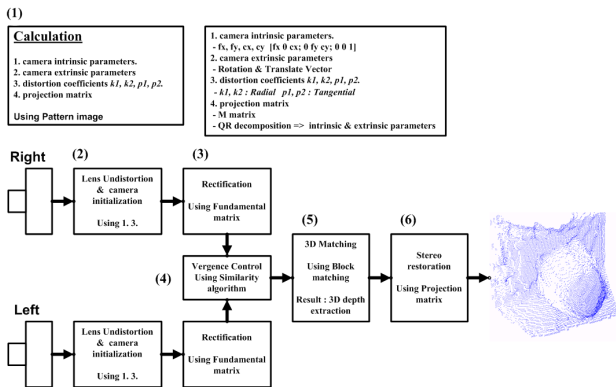
일반적으로, 사람이 물체를 입체적으로 볼 수 있는 것은 양안시차에 의한 것으로, 두 눈은 각기 다른 시점의 영상을 관측하고 인간의 뇌가 이 두 영상의 차이를 합성하여 3차원 물체로 인식하게 된다. 그 동안, 이러한 인간의 시각시스템(HVS: human visual system)을 모방하여 다양한 형태의 양안식 입체 디스플레이 시스템이 구현되어 왔다.^[1]

최근에 개발되고 있는 CCD 카메라의 경우에는 렌즈에 의한 왜곡이 매우 적지만 어안렌즈와 같은 특수한 용도의 렌즈를 사용하는 카메라의 경우에 있어서는 렌즈에 의한 영상의 왜곡이 크게 발생할 수 있으며 이러한 카메라를 통하여 입력되는 영상은 카메라의 내부 혹은 외부의 영향에 의하여 왜곡된 형태의 영상으로 나타날 수 있다.^[2] 카메라의 렌즈가 왜곡이 적게 제작되었다 하더라도 카메라를 사용하는 환경 조건에 따라서 보정이 필요하게 된다. 따라서 카메라에 대한 보정문제는 무엇보다도 정확한 영상을 요구하는 영상처리 분야에서 중요한 문제라 할 수 있다.^[3]

본 논문에서는 두 대의 카메라를 통하여 입력된 영상을 이용하여 대상 물체에 대하여 3차원 정보를 추출하고 가시화하는 일련의 과정 중에서 초기화 과정이라 할 수 있는 카메라의 내, 외부 파라미터 산출과 렌즈에 대한 왜곡 보정 방법에 대하여 논하고 있으며, 입체영상으로 디스플레이 될 때 관측자에게 보다 입체감 있는 영상을 제공하기 위해 렌즈 왜곡 보정을 실시하였다.

2. Stereo camera image processing

스테레오 카메라를 이용한 3차원 정보 추출 및 가시화 과정은 그림 1과 같이 표현 되어 질 수 있다.



〈그림 1〉 스테레오 카메라에 대한 영상처리 과정

〈그림 1〉에서 (1)은 카메라에 대한 여러 가지 보정을 위해 필요한 파라미터 및 matrix에 대한 내용이며, 산출된 파라미터를 이용하여 (2)의 렌즈 왜곡 보정 및 카메라 초기화를 실시하고 산출된 각 카메라의

projection matrix에, 카메라 원점 정보를 추가하면 산출될 수 있는 Q-matrix를 가지고 두 영상에 대한 Rectification(3)를 실시하게 된다. Rectification 된 두 영상을 바탕으로 유사성 알고리즘 적용하여 한 쪽 카메라에서 획득된 영상의 특정 영역이 다른 쪽 카메라에서 획득된 영상의 어느 위치에 존재하는지를 판단하고 두 영상가의 픽셀 차이 정보를 이용하여 주 시각 제어(4)를 실시한 후 입체 디스플레이를 하게 되면 관측자에게 보다 입체감 있는 영상을 제공할 수 있게 되고, 에너지 합수를 적용하여 대상 물체에 위치한 임의의 한 점에 대한 3차원 거리정보를 추출(6)할 수 있고, 다수의 점에 대하여 추출된 3차원 거리정보는 조합되어 VRML(virtual reality modeling language) 등을 이용하여 가시화된 3차원 영상으로 표현 될 수 있다.

2.1 Stereo Camera의 3차원 자세보정

카메라의 변수는 내부변수, 외부변수, 렌즈왜곡계수가 있고, 카메라에 대한 3차원 자세보정에 중요한 역할을 수행하는 Perspective Projection matrix가 있으며, 이를 M-matrix라고도 표현한다. 또한 M-matrix는 QR decomposition을 통해 카메라 내부변수, 외부 변수로 산출 될 수 있다는 점에서 큰 의미를 가진다.

카메라 내부 변수는 3차원 공간상에 위치한 물체가 카메라로 투영될 때 카메라 렌즈와 영상 센서 사이의 관계에 관여하는 변수로 3x3 행렬로 표현되고 f_x, f_y, C_x, C_y 의 정보를 담고 있으며 왜곡도(A)의 의미도 가지고 있다. 행렬로 표현되면 아래와 같다.

$$\text{Intrinsic parameters} = \begin{pmatrix} f_x A C_x \\ A f_y C_y \\ 0 \ 0 \ 1 \end{pmatrix} \text{-----(1)}$$

여기서, f_x : x방향의 focal length(단위는 pixel), f_y : y방향의 focal length, C_x : Principal point 의 x좌표, C_y : Principal point 의 y좌표, A : 왜곡도이다.

카메라 외부 변수는 내부변수와 그 관계는 유사하나, 3차원 공간상에 위치한 물체와 렌즈사이의 관계를 규정하는 의미에서 차이가 있다. 외부 변수의 성분은 Translation, Rotation, Scale로 크게 3가지 성분으로 구분된다.

3차원 공간상 한 점을 P(X, Y, Z)하고, 이 점이 이미지 센서에 투영된 2차원 좌표는 (x, y)라 하면, 이 관계는 아래의 Matrix 형태로 표현 가능하며, 여기서 M은 projection matrix가 된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \cong M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \text{-----(4)}$$

M matrix를 구하기 위하여 영상의 크기가 640x480의 사전에 규정된 보정패턴 영상을 이용하였으며, 보정 패턴 영상은 취득하고, 코너추출 필터를 사용하여 획득된 패턴영상의 코너점을 추출하게 된다.



〈그림 2〉 획득된 보정 패턴영상 및 추출된 코너점 이미지

〈그림 2〉에서 추출된 패턴 좌표를 기준으로 SVD(Singular Value Decomposition), QR 변환법을 이용하여 각각의 카메라에 대한 투영변환

행렬을 산출할 수 있다. 이때 코너 추출된 좌표는 2차원좌표 행렬, 미리 설정된 코너 점들은 3차원좌표 행렬을 이루어 5×N 행렬을 형성하게 된다. 해당 5×N 행렬을 SVD하게 되면 4×3 행렬이 도출되는데, 도출된 행렬이 M(투영변환행렬)이 된다. 그리고 이 M 행렬을 QR 변환하게 되면 상삼각행렬 R은 (카메라 내부 변환행렬)이 되고, 직교행렬 Q는 (카메라 외부 변환행렬)이 된다.

두 대의 카메라 시점이 각각 Oc1, Oc2인 경우 무한 원점 Ow를 기준으로 하는 공간 좌표상의 상태를 나타내고 있으며, 보정 패턴을 이용하여 Direct calibration 실험을 통하여 본 논문에서 사용된 스테레오 카메라의 3차원 자세보정 결과를 보면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Oc1 &= (-134.259124 \quad -22.303953 \quad -83.334299) \quad \text{-----}(3) \\ Oc2 &= (-127.033761 \quad -22.908661 \quad -94.188502) \end{aligned}$$

Baseline : 카메라 중심사이의 거리 13.05 mm

두 카메라의 Projection matrix -----(4)

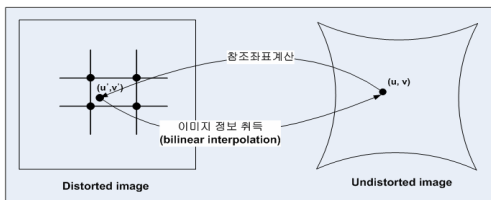
$$P_{o1} = \begin{pmatrix} 3.500043e-2 & 3.806843e-3 & -1.534172e-2 & 3.505544e-0 \\ 8.225751e-4 & 3.609744e-2 & 2.608783e-3 & 1.132955e-0 \\ 4.440400e-3 & 1.246667e-3 & 4.512310e-3 & 1.000000e-0 \end{pmatrix}$$

$$P_{o2} = \begin{pmatrix} 3.554123e-2 & 3.819685e-3 & -1.687898e-2 & 3.012633e-0 \\ 1.614648e-3 & 3.590917e-2 & 1.315212e-3 & 1.151624e-0 \\ 4.793156e-3 & 1.367426e-3 & 3.819803e-3 & 1.000000e-0 \end{pmatrix}$$

2.2 카메라 렌즈왜곡 보정

카메라 모델이 완전한 핀 홀 카메라 모델이라고 가정하면, 공간상의 한 점 P는 영상에서 점 p 위치에 맺히게 된다. 그러나 실제로는 완전하게 핀 홀 카메라 모델로 만족하지 못하기 때문에 렌즈의 왜곡에 의해 변형된 점 p'의 위치에 맺히게 될 수 있다.^{[4][5]}

스테레오 영상에 대한 렌즈 왜곡 보정을 실시함에 있어서, 우선적으로 이루어져야 하는 사항은 왜곡된 영상과 보정된 영상의 좌표간에 상관관계를 규정하는 것이다. 상관관계를 규정할 때, 왜곡된 좌표를 기준으로 보정 좌표값을 산출하게 되면 소수점 좌표가 산출되거나, 나타낼 수 없는 좌표값을 가질 수 있기 문제점 때문에 왜곡 보정된 좌표(u, v)의 이미지 값은 왜곡된 좌표(u', v')로 참조되어 Bilinear interpolation 기법을 적용하여 색 정보를 계산하는 방법을 적용하였다.



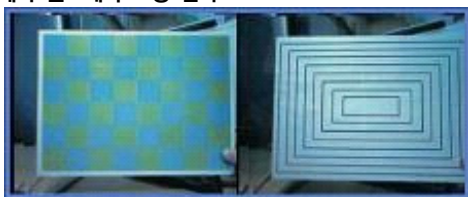
<그림 3> 왜곡 영상과 보정 영상 간의 상관관계

<그림 3>의 상관관계는 왜곡 보정된 좌표 (u, v)와 왜곡된 좌표 (u', v')가 포함되는 방정식의 형태로 아래와 같이 표현될 수 있으며, 수식은 위에서 언급한 왜곡 성분이 합성된 방정식을 이용하여 산출되어졌다.

$$\begin{aligned} u' &= u + (u - c_x) \times (k_1 r^2 + k_2 r^4 + 2p_1 y + p_2 (r^2/x + 2x)) \quad \text{-----}(5) \\ v' &= v + (v - c_y) \times (k_1 r^2 + k_2 r^4 + 2p_1 x + p_2 (r^2/y + 2y)) \end{aligned}$$

여기서, (c_x, c_y) : 이미지 중심, (u, v) : 왜곡이미지 좌표, (u', v') : 왜곡 보정 이미지 좌표, (K₁, K₂, P₁, P₂) : 왜곡 보정 계수이다.

2.3 카메라 렌즈왜곡 보정 결과

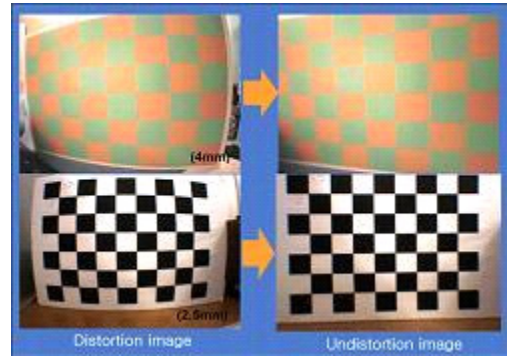


<그림 4> 보정 알고리즘을 적용한 3차원 입체 영상

<그림 4>는 주시각 제어 알고리즘을 바탕으로 스테레오 카메라에

대하여 렌즈의 왜곡보정을 실시함과 동시에 주시각 제어를 적용하여 실시간 입체 영상으로 출력하는 실험의 결과이며, 렌즈의 왜곡이 보정됨과 동시에 주시각 제어가 적용된 3차원 입체 영상이 출력됨을 확인 할 수 있었다.

<그림 5>는 제작된 카메라에 4mm 렌즈와 2.5mm 렌즈를 부착하고 렌즈 보정 파라미터를 산출한 결과 4mm 렌즈의 경우는 (k₁, k₂, p₁, p₂) = (-2.69e-1, 8.03e-2, 1.35e-3, -7.07e-4) 값이 산출 되었으며, 2.5mm 렌즈의 경우는 (k₁, k₂, p₁, p₂) = (-3.81e-2, 1.60e-3, 4.97e-4, 1.04e-4) 값이 산출되었으면, 산출된 왜곡 보정계수를 이용하여 실시간으로 보정한 결과를 나타내고 있다.



<그림 5> 렌즈에 대한 렌즈 왜곡 보정 실험의 결과

3. 결 론

본 논문에서는 스테레오 카메라에 대한 3차원 자세 보정 및 카메라 렌즈에 대한 왜곡 보정 알고리즘을 적용하기 위하여 자체 개발된 렌즈 왜곡 보정 계수 산출용 프로그램을 이용하여 각 카메라에 대한 내, 외부 파라미터 및 렌즈 왜곡 보정계수를 산출하였고, 산출된 카메라의 내부 변수와 렌즈 왜곡 보정계수를 적용하여 획득된 렌즈 왜곡 영상을 보정 영상으로 변환하는 Matrix를 산출하였다. 이 Matrix를 각 카메라에 적용하여 렌즈 왜곡 보정 실험을 실시하였는데, 초점 거리가 짧은(왜곡도가 심한) 4mm와 2.5mm 렌즈에 대하여 적용한 실험 결과는 충분히 만족할만한 수준의 왜곡의 보정이 이루어졌다. 또한 왜곡 보정된 영상을 바탕으로 주 시각 제어를 위하여 좌,우 카메라에서 스테레오 영상 획득하고 획득된 좌, 우 영상에서 특징점을 유사성 알고리즘을 이용하여 추출하여 원하는 거리에 있는 특징점의 2차원 좌표가 동일하도록 하는 주 시각 제어 알고리즘을 적용한 입체영상에서는 왜곡보정 전보다 더 입체감 있는 영상의 출력이 가능함을 확인 하였다.

추후로 정확한 3차원 정보를 추출하기 위하여 좌, 우 영상에 대하여 공간 좌표 보정을 통한 정규화를 실시하고 정규화 된 영상을 기준으로 정합에 대한 비용의 누적성분과 페널티 성분이 포함된 에너지 함수를 이용하여 취득된 영상에서 임의의 영역에 존재하는 각 픽셀에 대하여 정합을 실시하여 3차원 정보를 추출하여 추출된 3차원 거리정보를 바탕으로 가시화 방법에 대한 연구가 계속 진행될 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Victor S. Grinberg, Gregg Podner, M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", Proc. of SPIE, vol. 2177, February. 1994, pp. 56-65.
- [2] Delaigle, J.F., Devleeschouwer, C., Macq, B., and Langendijk, L., "Human visual system features enabling watermarking", ICME '02. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on Volume 2, Aug. 2002, pp. 489- 492.
- [3] David Peter Capel, "Image Mosaicing and Super-resolution", Robotics Research Group Department of Engineering Science University of Oxford, 2001, pp. 44-58.
- [4] 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, May. 1994, pp. 469-480.
- [5] 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.