

카메라 외부변수구법을 통한 다중카메라의 3차원 위치 분석

서동욱^o 조강현
울산대학교{dwseo^o, jkh2005}@islab.ulsan.ac.krMulti-Camera's 3D Position Analysis
Computing Extrinsic Parameters of Camera SetsDong-Wook Seo^o Kang-hyun Jo
University of Ulsan

요 약

본 논문에서는 다중카메라를 이용한 3차원 공간 구성에 대한 분석을 위해 실제 카메라의 3차원 위치를 분석하였다. 카메라의 3차원 위치 분석을 위해서 카메라 교정법을 이용하였으며 교정 결과 얻은 카메라의 외부변수를 역좌표변환하여 카메라의 3차원 위치를 얻었다. 다중카메라 교정을 위해서 10대의 카메라를 다섯 쌍의 스테레오 카메라로 묶어 교정을 하였다. 이러한 과정을 통해 얻은 카메라의 외부변수의 역좌표변환으로 실제 카메라의 위치를 계산하였고 이것의 정확한 3차원 위치정보를 얻기 위해 초기 교정에서 선택된 12개의 점을 기초로 하여 각 좌표의 8-방향의 좌표 결과를 얻게 된다. 이렇게 해서 얻은 좌표를 이용하여 카메라 교정 과정을 반복하였다. 그 결과 카메라의 정확한 3차원 위치를 얻었으며, 또한 마커 좌표의 변화가 카메라의 위치에 영향 정도를 분석하였다.

1. 서 론

최근 다중카메라를 이용한 연구가 활발히 진행 중이다. 다중카메라를 이용한 연구는 감시시스템, 실감공간 기술, 인간과 로봇이 공존하는 로봇타운, 지능형 교통시스템(Intelligent Transportation Systems), 홈 네트워크(Home-Network) 등과 같은 지능형 시스템에 적용할 수 있다. 이러한 지능형 시스템에서는 복잡한 환경에서 다수의 객체를 강인하게 추적하는 것이 필수적이다. 또한 객체의 정확한 위치와 방향을 아는 것도 중요한 요소가 된다. 왜냐하면 여러 대의 카메라를 이용하여 객체를 추적하게 되면 단일 카메라가 갖고 있는 제한된 시야를 확장하거나 가림 현상에 대한 문제해결이 가능하다. 또한 3차원 공간상에 존재하는 객체의 정확한 위치와 방향의 추적이 가능하다. 이렇게 여러 가지 장점을 이용할 수 있는 다중카메라 시스템에서는 카메라의 교정이 선행되어야 한다.

컴퓨터 비전에서 카메라 교정은 내부변수와 외부변수를 구하는 일련의 과정을 말한다. 즉, 카메라의 기하학적 특성, 광학적 특성을 가진 내부변수와 월드좌표계에서 카메라의 3차원 위치와 방향 정보를 가진 외부변수를 결정하는 것이다. 이러한 과정을 통해 획득된 카메라의 3차원 위치와 방향 정보를 이용하여 다중카메라 시스템에서의 공간적인 특성을 알 수 있다.

일반적으로 다중카메라를 이용한 카메라 교정은 각 영상들 사이에서 일치하는 많은 점들의 집합을 이용한다. [1, 2]에서는 지정된 시간 동안 깜박이는 LED들의 영상을 다수의 카메라로 획득한 후 각 영상 간에 일치하는 점들의 집합을 다중카메라 교정에 이용하였다. 이

러한 과정에서 카메라 변수와 기초 행렬(Fundamental Matrix)을 계산하기 위해 비선형 고유값 최소화 방법(Nonlinear Eigenvalue Minimization Method)을 사용하였다. 또한 [3]에서는 넓은 지역에 있는 다중카메라 교정을 위해 공간상에 무작위로 움직이는 LED를 획득한다. 이렇게 획득된 영상을 통해 단일 비선형 최소화(Single Non-Linear Minimization)의 방법 없이 카메라 변수와 기하학적 지름방향 왜곡(Radial Distortion)을 계산한다. 그러나 [1-3]에서 제안한 방법들은 LED 불빛의 위치를 픽셀보다 더 정확하게 얻기가 힘들다는 단점이 있다. 그리고 [4]에서는 회의실의 배치와 회의실 공간 내의 객체들의 3차원 위치 정보를 얻기 위해 다중카메라 교정과 모션캡처시스템(Vicon Motion Capture System)을 사용하였다. 다중카메라 교정은 Tsai 알고리즘[5, 6]을 사용하였고 교정을 통해 얻어진 좌표계에서의 위치와 모션캡처시스템을 이용해 얻어진 3차원 위치 사이의 오차를 최소화함으로써 정확한 3차원 위치 정보를 획득한다. 카메라 교정을 통해 얻어진 카메라 변수들을 통해 3차원 위치 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 다중카메라를 이용한 3차원 공간구성에 대한 분석을 위해 실제 카메라의 정확한 3차원 위치 정보를 얻고자 한다. 이러한 정보를 통해 2차원 영상에서의 영상 점의 변화가 3차원 공간상의 위치에 얼마나 영향을 줄 수 있는지를 알 수 있다. 카메라 교정은 가장 일반적인 카메라 교정법[7]을 사용하며 다중카메라를 교정하기 위하여 10대의 카메라를 다섯 쌍의 스테레오 카메라로 묶어 교정을 한다. 카메라의 3차원 위치 정보는 교정을 통해 얻은 회전행렬과 병진벡터를 이용하여 구하게 된다. 영상내의 좌표 변화가 실제 카메라의 3차

원 위치에 얼마나 영향을 주는지를 측정하기 위해 카메라 교정을 반복 실행하여 카메라의 3차원 위치들을 얻고 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다중카메라의 교정 방법에 관하여 소개하고 3장에서는 카메라 교정 후 얻은 위치 정보를 이용하여 실제 카메라의 3차원 위치 정보를 얻고 영상내의 좌표변화가 카메라의 위치에 어떠한 영향을 주는지 분석한다. 4장에서는 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 실험결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 다중카메라 교정

카메라 교정과 이를 이용한 다중카메라 교정에 관하여 서술한다. 카메라 교정은 카메라의 내부변수와 외부변수를 구하는 일련의 과정이다. 내부변수는 카메라의 기하학적 특성, 광학적 특성을 나타내는 것이고 외부변수는 실세계에서의 좌표계에 대해서 카메라의 3차원 위치와 방향 정보를 나타내는 것이다. 다중카메라의 교정은 10대의 카메라를 다섯 쌍의 스테레오 카메라로 묶어 교정한다.

2.1 단일카메라 교정

일반적인 카메라교정은 형태를 미리 알고 있는 패턴을 놓고 그것을 관측함으로써 교정을 한다. 핀 홀 카메라의 사영방정식은 다음과 같다.

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P}\tilde{\mathbf{M}} = \mathbf{A}[\mathbf{R} | \mathbf{T}]\tilde{\mathbf{M}} \quad (1)$$

$$\tilde{\mathbf{m}} = [u, v, 1], \tilde{\mathbf{M}} = [X, Y, Z, 1]$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1^T & p_{14} \\ \mathbf{p}_2^T & p_{24} \\ \mathbf{p}_3^T & p_{34} \end{bmatrix}$$

여기서 $\tilde{\mathbf{m}}$ 은 영상의 2차원 좌표, $\tilde{\mathbf{M}}$ 은 영상의 2차원 좌표에 일치하는 패턴의 3차원 좌표이다. 그리고 \mathbf{P} 는 3x4의 사영행렬을 나타낸다. \mathbf{A} 는 카메라의 내부변수이고 \mathbf{R}, \mathbf{T} 는 카메라의 외부변수를 나타내는 행렬과 벡터이다. 즉, 카메라 교정은 $\mathbf{A}, \mathbf{R}, \mathbf{T}$ 을 구하는 과정을 말한다. 식(1)을 이용하면 다음과 같은 선형방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{cases} \mathbf{p}_1^T \mathbf{M}_i - u_i \mathbf{p}_3^T \mathbf{M}_i + p_{14} - u_i p_{34} = 0 \\ \mathbf{p}_2^T \mathbf{M}_i - v_i \mathbf{p}_3^T \mathbf{M}_i + p_{24} - v_i p_{34} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

n개의 점이 있으면 식(2)를 통하여 다음과 같은 방정식을 얻는다.

$$\mathbf{B}\mathbf{p} = 0 \quad (3)$$

여기서 \mathbf{p} 는 \mathbf{P} 의 요소를 일렬로 나열한 12x1의 벡터이고 \mathbf{B} 는 n개의 점의 3차원과 2차원 좌표로 정의된 2nx12의 행렬이다.

$$\mathbf{p} = [\mathbf{p}_1^T, p_{14}, \mathbf{p}_2^T, p_{24}, \mathbf{p}_3^T, p_{34}] \quad (4)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1 X_1 & -u_1 Y_1 & -u_1 Z_1 & -u_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -v_1 X_1 & -v_1 Y_1 & -v_1 Z_1 & -v_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_n X_n & -u_n Y_n & -u_n Z_n & -u_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -v_n X_n & -v_n Y_n & -v_n Z_n & -v_n \end{bmatrix}$$

\mathbf{p} 는 11개의 내부변수와 외부변수에 의존한다. 만약 n개의 3차원 점이 동일한 평면에 있다면 \mathbf{B} 의 랭크는 11이 된다. 따라서 12x1의 \mathbf{p} 는 $\mathbf{B}^T \mathbf{B}$ 의 최소고유 값에 대응하는 최소고유벡터로 구할 수 있다.

\mathbf{P} 가 정해지면 식 (1)의 사영방정식을 통해 $\mathbf{A}, \mathbf{R}, \mathbf{T}$ 를 구할 수 있다.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1^T \\ \mathbf{r}_2^T \\ \mathbf{r}_3^T \end{bmatrix}, \mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 f_u, f_v, u_0, v_0 는 카메라의 초점거리, 영상의 원점을 나타내며 이들이 카메라의 내부변수이다. 그리고 \mathbf{R}, \mathbf{T} 는 카메라의 외부변수들로 회전행렬과 병진벡터를 나타내는 것이다. 여기서 구해진 회전행렬과 병진벡터를 이용하여 카메라의 3차원 위치 정보를 얻게 된다.

2.2 다중카메라 교정

다중카메라의 교정은 10대의 카메라를 다섯 쌍의 스테레오 카메라로 묶어 교정한다. 스테레오 카메라의 교정은 단일카메라 교정을 통해 각 카메라의 사영행렬, 회전행렬, 그리고 병진벡터를 구한 후 그 결과를 이용하여 두 카메라 간의 회전행렬과 병진벡터를 구할 수 있다.

두 카메라의 좌표계와 교정 패턴의 좌표계와의 관계는 다음 식을 만족한다.

$$\begin{cases} \mathbf{M}_{c1} = \mathbf{R}_1 \mathbf{M}_w + \mathbf{T}_1 \\ \mathbf{M}_{c2} = \mathbf{R}_2 \mathbf{M}_w + \mathbf{T}_2 \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $\mathbf{M}_{c1}, \mathbf{M}_{c2}$ 는 카메라의 좌표 계이고 \mathbf{M}_w 는 교정 패턴의 좌표계이다. 단일카메라 교정법을 이용하여 각 카메라의 사영행렬 $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2$ 를 구하게 되고 구해진 사영행렬을 이용하여 각 카메라의 $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2$ 을 구하게 된다. 두 카메라간의 관계는 다음 관계를 통하여 구해진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{c1} &= \mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2^T \mathbf{M}_{c2} - \mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2^T \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_1 \\ &= \mathbf{R} \mathbf{M}_{c2} + \mathbf{T} \\ \mathbf{R} &= \mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2^T, \quad \mathbf{T} = -\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2^T \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_1 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 \mathbf{R}, \mathbf{T} 가 두 카메라간의 회전과 병진을 나타낸다.

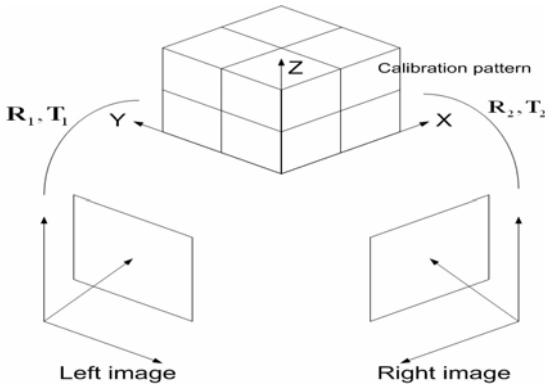


그림 1 스테레오 카메라 교정

다중카메라 교정은 다섯 쌍의 스테레오 카메라에 대해 개별적으로 카메라 교정을 하게 된다. 교정 후 얻은 각 카메라에 대한 회전행렬과 병진벡터를 이용하여 개별적인 3차원 위치 정보를 얻는다.

3. 실제 카메라의 위치

카메라 교정을 통해 얻은 외부변수를 이용하여 실제 카메라의 위치를 계산한다. 그리고 영상내의 좌표변화가 실제 카메라의 3차원 위치에 주는 영향에 대해서 분석한다.

3.1 역좌표변환과 카메라의 3차원 위치

다중카메라 교정을 통해 카메라의 내부변수와 외부변수를 구하였다. 외부변수는 카메라의 위치와 방향의 정

보를 가지고 있다. 교정을 통해 구해진 외부변수는 다중 카메라들이 가진 3차원 공간의 위치를 결정짓는다. 이는 간단한 역좌표변환을 통하여 3차원 공간상에서의 위치를 구한다.

$${}^w({}^c \mathbf{M}_{wORG}) = {}^w {}_c \mathbf{R} {}^c \mathbf{M}_{wORG} + {}^w \mathbf{M}_{cORG} \quad (9)$$

여기서 ${}^c \mathbf{M}_{wORG}$ 는 카메라 좌표계에서 바라본 월드좌표 계(카메라 교정을 위한 패턴의 좌표계)의 원점 위치를 나타내는 것이고 ${}^w \mathbf{M}_{cORG}$ 는 월드좌표계에서 바라본 카메라의 좌표계의 원점을 나타내는 것이다. 그리고 ${}^w {}_c \mathbf{R}$ 는 월드좌표계에서 카메라 좌표계로의 회전행렬을 나타내는 것이다. 식(9)을 월드좌표계로 바꾸면 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\begin{aligned} {}^w \mathbf{M}_{cORG} &= -{}^w {}_c \mathbf{R} {}^c \mathbf{M}_{wORG} \\ &= -{}^c {}_w \mathbf{R} {}^c \mathbf{M}_{wORG} \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)을 이용하여 얻은 ${}^w \mathbf{M}_{cORG}$ 가 카메라의 3차원 위치를 나타낸다.

3.2 위치변화에 대한 분석

카메라 교정과 역좌표변환을 통해 각 카메라의 3차원 위치를 구하였다. 이는 실제 카메라의 3차원 위치를 나타내고 있다. 여기서는 교정 패턴의 좌표계를 중심으로 카메라의 위치를 알 수 있다. 카메라의 교정을 위해 12개의 마커의 좌표를 선택한다. 교정을 위해 선택된 12개의 마커의 좌표에 그림 2와 같이 1번부터 12번까지의 번호를 부여한다. 모든 카메라에 대해 동일하게 적용한다.

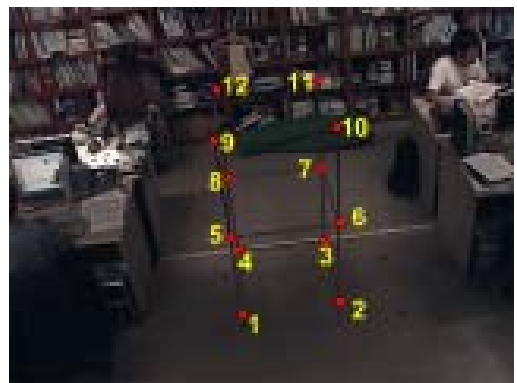


그림 2 교정을 위한 마커의 위치

정확한 카메라의 위치와 방향을 구하기 위하여 처음 교정에서 선택한 영상내의 12개의 좌표들을 기초로 그림 3과 같이 각 좌표들의 8-방향 좌표를 얻는다.

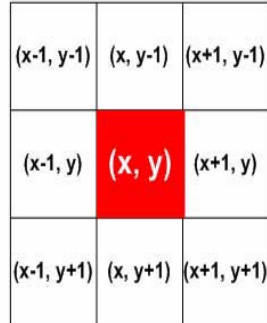
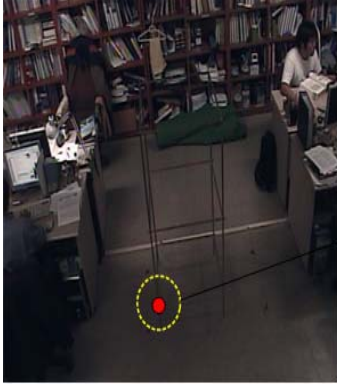


그림 3 마커 좌표를 중심으로 한 주변 8-방향의 좌표

각 마커로부터 얻은 좌표의 집합을 이용하여 다중카메라 교정과 역좌표변환을 반복 수행한다. 예를 들면 2번부터 12번까지의 마커는 초기 좌표값으로 고정시키고 1번 마커의 8-방향의 좌표를 변화시키면서 카메라의 교정과 역좌표변환을 한다. 즉, 1번 마커에 대해 총 9번의 카메라 교정과 역좌표변환을 한다. 또한 5번부터 12번까지의 마커들은 초기값으로 고정하고 1번부터 4번까지의 마커들의 8-방향 좌표를 동시에 변화시키면서 카메라의 위치를 얻는다. 이러한 과정을 통하여 얻어진 카메라의 3차원 위치들이 다음 관계를 만족할 때까지 반복한다.

$$e = \min_{(X,Y,Z)} \| \mathbf{P}_{\text{Real camera}} - \mathbf{M}_C \|^2 \quad (11)$$

여기서 $\mathbf{P}_{\text{Real camera}}$ 는 실제카메라들의 3차원 위치이고 \mathbf{M}_C 는 카메라교정과 좌표변환을 통해 구해진 3차원 카메라의 좌표이다. 식(11)을 만족하는 새로운 12개의 새로운 마커를 얻는다. 또한 이러한 반복과정을 통해 얻어진 영상 내의 좌표들과 카메라의 3차원 위치들을 이용하여 영상 내의 좌표변화가 카메라의 3차원 위치에 미치는 영향을 분석한다.

4. 실험

다중카메라의 교정과 역좌표변환을 통해 얻은 카메라의 위치에 관한 실험결과를 보여준다. 또한 영상내의 좌표변화가 실제 카메라의 3차원 공간상의 위치에 얼마나 영향을 주는지를 보여준다. 실험을 위해 10대의 카메라를 그림4와 같이 설치하였다. 카메라는 C1~C10으로 부여하였다. 카메라의 위치는 교정 틀을 중심으로 하여 시

계방향으로 설치하였다.

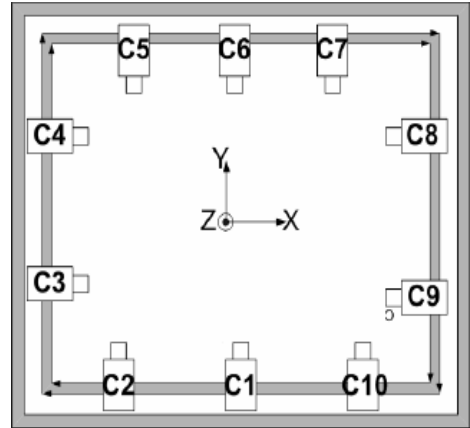


그림 4 다중카메라 배치도

카메라 교정을 위하여 그림 5와 같은 교정용틀을 사용하였다. 카메라는 동일 기종의 10대의 카메라를 사용하였다. 또한 교정을 위한 마커의 좌표는 사용자가 직접 입력한다.



그림 5 카메라1 과 6번에서 본 교정 패턴

4.1 다중카메라 교정 결과

카메라의 다섯 쌍은 식(12)와 같이 구성하고 이에 대하여 교정을 위한 마커를 사용자가 직접 입력하였다. 교정 결과는 표 1과 같다. 카메라 교정을 위해 사용자가 직접 마커의 선택에 개입하기 때문에 초기 카메라 교정 결과에도 많은 오차가 포함되어 있다. 그리고 카메라의 3차원 위치에 대한 오차의 최소화 문제에 대해서만 카메라 교정을 반복하기 때문에 마지막에 새롭게 선택된 마커에 의한 교정 결과도 많은 오차를 포함하게 된다.

$$P_i = (C_{2i-1}, C_{2i}), i = 1, \dots, 5 \quad (12)$$

표 1 다중카메라 교정에 대한 오차 분석

카메라 쌍	초기 교정에 의한 오차 분석			카메라 위치 보정 후에 교정 오차 분석				
	오차형식	X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	오차형식	X[mm]	Y[mm]	Z[mm]
P1	최소	0.21	0.54	0.31	최소	0.67	0.23	0.28
	평균	2.53	3.89	3.11	평균	3.79	6.58	6.63
	최대	5.67	11.60	12.13	최대	7.72	18.73	19.30
P2	최소	0.30	0.17	0.20	최소	0.72	0.63	1.29
	평균	2.70	3.37	2.91	평균	3.66	6.99	4.98
	최대	6.98	13.43	6.07	최대	6.68	17.70	10.39
P3	최소	0.43	0.89	1.11	최소	2.76	0.83	0.70
	평균	6.86	5.49	4.24	평균	10.09	4.43	3.95
	최대	17.56	17.15	14.65	최대	17.34	13.42	8.55
P4	최소	0.21	0.54	0.31	최소	0.21	0.54	0.31
	평균	2.53	3.89	3.11	평균	2.53	3.89	3.11
	최대	5.67	11.60	12.13	최대	5.67	11.60	12.13
P5	최소	4.24	5.49	0.58	최소	5.80	6.16	3.68
	평균	9.90	10.87	7.69	평균	16.14	1.94	11.68
	최대	20.98	21.55	18.41	최대	31.44	26.02	24.71

4.2 카메라의 3차원 위치 분석

초기에 카메라 교정을 위해 선택된 점을 기초로 하여 8-방향의 좌표를 선택하고 카메라 교정과 좌표변환을 반복 실시한다.

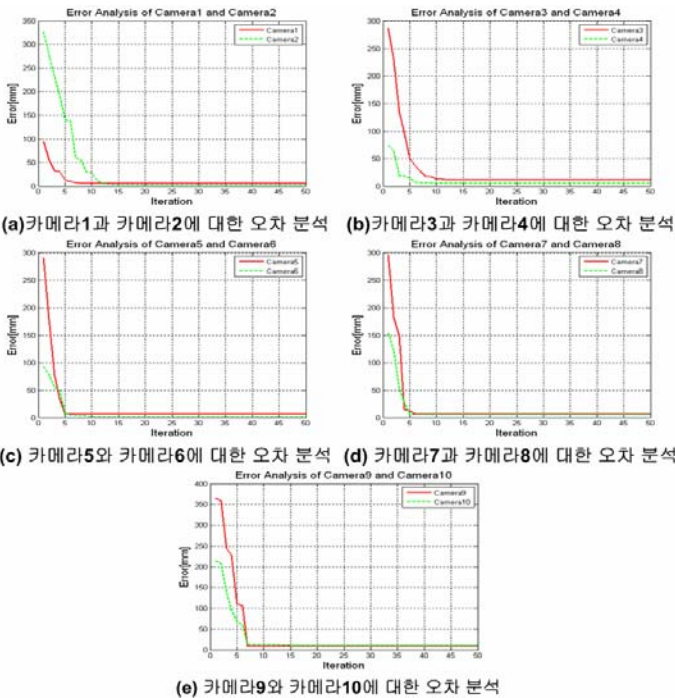


그림 6 카메라 위치에 대한 오차 분석 결과

그림 6는 정확한 카메라의 위치와 방향을 구하기 위한 카메라 교정의 반복횟수와 오차에 관한 결과를 보여 주고 있다. 오차의 범위는 1.32mm에서 10.6mm의 범위로 보정되었으며 초기에 많은 오차를 포함하고 있더라도 반복횟수에 의해 오차보정을 한 것을 볼 수가 있다.

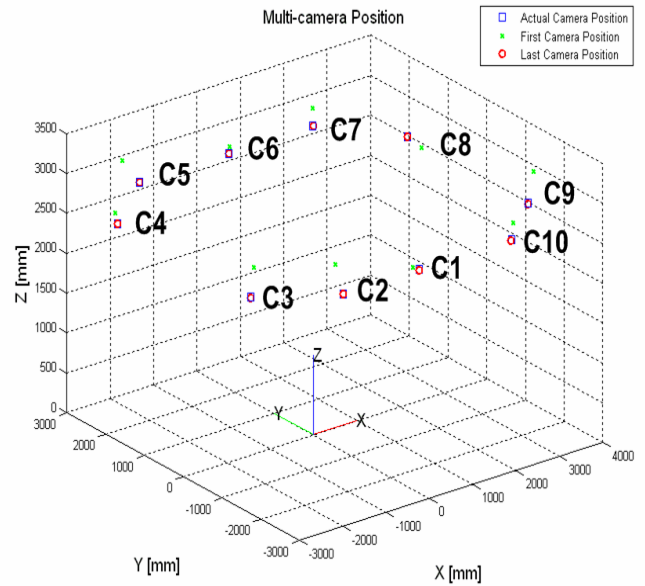


그림 7 다중카메라의 위치 실험에 대한 결과

그림 7은 오차를 최소화한 다중카메라의 위치 실험에 대한 결과를 보여주고 있다. 여기서 '□'은 실제카메라의 3차원 위치이고 'X'는 초기에 선택된 마커로부터 얻은 카메라의 위치를 보여주고 있다. 그리고 'O'는 새롭게 선택된 마커에 의해 얻은 카메라의 위치를 보여준다.

마지막으로 영상 내의 좌표변화가 카메라의 3차원 위치에 얼마나 영향을 주는 지를 분석하였다. 카메라의 위치 오차를 최소화하는 마커의 좌표를 이용하게 된다. 새롭게 선택된 마커를 기초로 하여 8-방향의 좌표를 선택하고 각 좌표 변화에 따르는 카메라의 위치를 구하였다. 마커 좌표 변화에 따르는 카메라의 위치 변화는 평균오차로 표현하였다.

표 2 카메라 쌍(C1-C5)의 위치평균오차 단위(mm)

마커번호	카메라1	카메라2	카메라3	카메라4	카메라5
1	48.22	67.34	90.64	65.08	47.80
2	47.06	58.76	76.12	68.99	51.76
3	45.25	63.75	89.35	68.11	53.05
4	44.90	56.25	79.80	72.91	58.30
5	25.78	35.60	48.00	32.35	24.64
6	22.89	23.66	36.58	39.24	30.93
7	25.58	35.97	48.87	29.69	24.16
8	23.50	24.84	34.63	39.69	34.84
9	37.68	48.27	69.63	61.45	45.54
10	36.72	53.45	79.70	74.69	61.99
11	47.47	68.23	91.91	64.83	40.43
12	47.21	57.38	72.55	56.88	41.08

표 3 카메라 쌍(C6-C7)의 위치평균오차
단위(mm)

마커번호	카메라6	카메라7	카메라8	카메라9	카메라10
1	32.42	59.77	70.95	85.72	76.25
2	34.09	64.96	76.27	94.02	78.16
3	37.38	67.17	79.12	95.86	74.74
4	37.87	66.73	71.73	86.89	71.26
5	20.35	39.81	42.25	43.64	35.41
6	19.49	29.75	35.11	50.84	44.71
7	18.58	37.35	39.36	40.94	37.17
8	18.89	28.92	36.64	52.87	44.14
9	35.47	70.13	80.04	88.72	68.96
10	37.28	62.37	62.88	70.66	57.62
11	25.53	44.54	56.88	82.28	70.26
12	28.17	60.13	69.42	99.52	81.41

카메라의 위치 변화는 카메라에서 멀리 보이는 점에 변화에 많은 영향을 받을 것으로 예상하였으나 결과는 그렇지 않았다. 표 2와 표 3에서 보여지듯이 5번부터 8번까지 마커의 좌표에 영향을 적게 받고 나머지 마커의 좌표에 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 예를 들면 카메라1에서 가장 큰 위치평균오차는 37.87mm로 4번 마커 좌표변화에 따른 카메라의 위치평균오차이고 가장 작은 위치평균오차는 18.58mm로 7번 마커 좌표변화에 따른 카메라의 위치평균오차이다. 마커의 위치상으로 4번 보다는 7번의 마커가 더 멀리 위치해 있는데 카메라의 위치변화는 4번 마커에 의해 많이 받는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 다중카메라를 이용한 3차원 공간 구성에 대한 분석을 위한 실제 카메라의 3차원 위치 분석을 하였다. 3차원 공간 구성에 대한 분석을 위해서는 카메라 교정이 선행되어야 한다. 카메라 교정은 내부변수와 외부변수를 구하는 일련의 과정이지만 여기서는 카메라의 외부변수만을 이용하였으며 역좌표변환을 통해 카메라의 3차원 위치를 구하였다. 다중카메라 교정은 10대의 카메라를 다섯 쌍의 스테레오 카메라로 묶어 교정을 하였다. 정확한 카메라의 위치를 구하기 위해 초기 교정을 위하여 선택된 12개의 마커 좌표를 기초로 하여 각 좌표의 8-방향의 좌표 결과를 얻었다. 이를 이용해서 카메라 교정을 반복하고 카메라의 정확한 3차원 위치를 얻었다. 또한 영상 내의 좌표변화가 카메라의 3차원 위치에 영향을 주는 것을 보았다. 카메라에서 먼 거리에 존재하는 마커의 위치에 변화에 많은 영향을 받는 것이 아니라 교정틀의 중간 위치에 존재하는 5번에서 8번까지 마커 좌표변화에 영향을 적게 받고 나머지 마커 좌표변화에 영향을 많이 받는 것을 보았다. 그러나 본 시

스템은 다중카메라 교정을 위한 마커의 좌표를 사용자가 직접 입력하게 되는 제약이 있으며 초기에 많은 오차를 포함할 수가 있는 문제가 있다. 그리고 카메라의 3차원 위치 오차를 최소화하는 문제에만 초점을 두고 카메라 교정을 실시하므로 마지막 교정결과에 많은 오차를 포함하고 있다. 또한 마커 좌표변화에 의한 카메라의 위치 변화를 위해 각 마커 좌표의 8-방향만을 이용하므로 카메라의 정확한 위치 변화를 알 수가 없다. 그러므로 향후 과제로 입력영상으로부터 자동으로 다중카메라 교정과 동시에 카메라의 3차원 위치 오차를 최소화하고 마커 좌표의 변화를 세분화하여 카메라의 정확한 위치 변화를 측정하는 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] P. Baker and Y. Aloimonos, "Complete Calibration of a Multi-Camera Network," Proc. IEEE Workshop on Omnidirectional Vision, pp. 134-141, 2000.
- [2] P. Baker and Y. Aloimonos, "Calibration of a Multicamera Network," Proc. 2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW03), pp. 1-8, 2003.
- [3] Joao P. Barreto and Kostas Daniilidis, "Wide Area Multiple Camera Calibration and Estimation of Radial Distortion," Proc. Workshop on Omnidirectional Vision and Camera Networks (OMNIVIS 2004), pp. 1-5, Prague, Czech Republic, 2004.
- [4] Yingen Xiong and Francis Quek, "Meeting Room Configuration and Multiple Camera Calibration in Meeting Analysis," Proc. Int'l Conf. on Multimodal Interfaces (ICMI 2005), Trento, Italy, October, 2005.
- [5] R. Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision," Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 364-374, Miami Beach, FL, 1986.
- [6] R. Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-3, no. 4, pp. 323-344, 1987.
- [7] Gérard Medioni and Sing Bang Kang, "Emerging Topics in Computer Vision," Prentice hall, pp. 4-40, July, 2004.