

카메라 캘리브레이션을 위한 자동 타겟 인식 Automatic Target Recognition for Camera Calibration

김의명¹⁾ · 권상일²⁾

Kim, Eui Myoung · Kwon, Sang Il

Abstract

Camera calibration is the process of determining the parameters such as the focal length of a camera, the position of a principal point, and lens distortions. For this purpose, images of checkerboard have been mainly used. When targets were automatically recognized in checkerboard image, the existing studies had limitations in that the user should have a good understanding of the input parameters for recognizing the target or that all checkerboard should appear in the image. In this study, a methodology for automatic target recognition was proposed. In this method, even if only a part of the checkerboard image was captured using rectangles including eight blobs, four each at the central portion and the outer portion of the checkerboard, the index of the target can be automatically assigned. In addition, there is no need for input parameters. In this study, three conditions were used to automatically extract the center point of the checkerboard target: the distortion of black and white pattern, the frequency of edge change, and the ratio of black and white pixels. Also, the direction and numbering of the checkerboard targets were made with blobs. Through experiments on two types of checkerboards, it was possible to automatically recognize checkerboard targets within a minute for 36 images.

Keywords : Camera, Calibration, Checker Board, Target Detection, Blob

초 록

카메라 캘리브레이션은 카메라의 초점거리, 주점위치, 렌즈왜곡 등의 매개변수를 결정하는 작업으로 이를 위해서 주로 체커보드를 촬영한 영상을 사용하고 있다. 체커보드 영상에서 타겟을 자동으로 인식할 때 기존의 연구는 사용자가 타겟인식을 위한 입력 매개변수를 잘 이해하고 있어야 하거나 영상에서 체커보드가 모두 나타나야 하는 한계점이 있었다. 이에 본 연구에서는 체커보드 중심부와 외곽부분에 각각 4개씩 8개의 블랍을 포함하는 직사각형을 이용하여 체커보드 영상의 일부만 촬영된 경우에도 자동으로 타겟점의 번호를 부여할 수 있고 별도의 입력 매개변수 없이 자동으로 타겟을 인식하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 체커보드 타겟의 중심점을 자동으로 추출하기 위해서 흑백패턴의 왜곡, 경계선 변화빈도, 흑백픽셀의 비율의 3가지 조건을 이용하였다. 또한 체커보드의 방향성과 번호부여는 블랍을 이용하였다. 두 가지 타입의 체커보드에 대한 실험을 통해서 36장의 영상에 대해 1분 이내의 짧은 시간에 체커보드 타겟을 자동으로 인식할 수 있었다.

핵심어 : 카메라, 캘리브레이션, 체커보드, 타겟 인식, 블랍

Received 2018. 11. 19, Revised 2018. 11. 30, Accepted 2018. 12. 10

1) Corresponding Author, Member, Dept. of Spatial Information Engineering, Namseoul University (E-mail: kemyoung@nsu.ac.kr)

2) Member, Dept. of GIS Engineering, Namseoul University (E-mail: ksi7242@naver.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

카메라의 내부표정요소(IOP: Interior Orientation Parameters)는 카메라의 초점거리, 주점위치, 렌즈왜곡계수를 결정하고 보정하는 작업으로 이해할 수 있다. 내부표정이라는 것은 궁극적으로 사진의 광속을 사진을 촬영하는 순간의 광속(bundle)과 거의 유사하게 일치시키는 작업을 말한다. 사진(또는 영상) 좌표와 그에 대응되는 실세계 좌표와의 관계를 이용하여 이러한 내부표정요소를 결정할 수 있으며 이를 위해 주로 체커보드(checkerboard)를 사용하여 영상좌표와 실세계 좌표와의 관계를 얻어낸다.

이러한 체커보드 영상에서 인식하고자 하는 대상을 타겟(target)으로 설정하고 자동으로 타겟을 인식하는 방법은 입력 조건이 있는 방법과 입력 조건이 없는 방법의 2가지로 나눌 수 있다(Yu, 2015). 타겟을 자동으로 인식하기 위해서 입력 조건이 있는 방법은 입력 매개변수에 대한 이해가 필요하고, 입력 조건이 없는 방법은 촬영한 영상에서 체커보드 외부에 타겟과 비슷한 특징을 가지는 영역이 있을 경우 오인식되는 문제가 발생하거나 타겟 추출의 속도가 느린 단점이 있다(Oh and Cho, 2016).

이러한 문제를 해결하기 위해 국외에서는 체커보드 영상에서 사각형을 탐색하고 사각형들의 관계를 이용하여 타겟을 인식하는 연구(Rufli *et al.*, 2008), 체커보드 영상에서 타겟이 일부분 보이지 않아도 타겟을 인식하기 위한 연구(Fürsattel *et al.*, 2016), 체커보드의 기울기가 비교적 큰 경우에도 타겟을 인식하기 위한 연구(Placht *et al.*, 2014), 체커보드 타겟을 인식하고 번호를 자동으로 부여하기 위하여 블랍(blob)을 이용한 연구(Habib *et al.*, 2013, Kwon and Kim, 2018), 멀티 카메라 캘리브레이션을 위해서 블랍(blob)을 이용한 연구(Lari *et al.*, 2014) 등이 수행되었다.

체커보드 타겟의 인식과 관련된 국내의 사례분석을 통해서 타겟의 추출을 위한 속도를 높이기 위해서는 특징점(keypoint) 추출기법을 이용하고 번호를 자동으로 부여하기 위해서는 블랍(blob)을 이용할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 체커보드 영상에서 타겟 일부분이 보이지 않거나, 체커보드의 기울기가 비교적 큰 경우에는 블랍을 이용하여 템플릿 영상의 타겟을 인식하는 것이 수월한 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존 연구의 블랍을 이용하는 방법은 수용하면서 체커보드 타겟을 인식할 때의 타겟과 유사한 패턴을 제거하지 못하는 단점을 보완하는 방법과 캘리브레이션을 위해서 많이 사용되는 체스보드(chessboard)에 블랍을 부착할 경우에도 타겟의 번호를 자동으로 부여할 수 있는 방법을 제안하는 것을 목적으로 하였다.

2. 타겟 추출방법론 및 중심좌표 추출 기법

2.1 체커보드 패턴 설계

카메라 캘리브레이션을 위한 체커보드는 일반적으로 흑백 패턴을 반복적으로 나타낸 체스보드가 많이 사용되고 있으나 타겟의 위치에 대한 일종의 번호(ID)를 부여하는 레이블링(labeling)을 위해서는 흑백 타겟의 가로 및 세로 격자의 개수를 사전에 알아야 하고 영상 촬영 시에 체스보드의 모든 영역에 나타나야 하는 단점이 있었다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 체스보드 뿐만 아니라 Fig. 2와 같은 변형된 패턴의 체커보드에도 타겟의 번호 인식에 적용 가능한 블랍을 이용하는 방법을 제안하였다. 블랍은 흑색 바탕에 흰색 원으로 구성하였으며 블랍의 식별을 돕기 위해서 백색 테두리 내에 블랍이 위치하도록 하였으며 백색 원의 개수에 따라 블랍의 번호가 정의되도록 하였다.

블랍은 체스보드와 체커보드 중심부를 기준으로 4개, 외곽부를 기준으로 4개 부착하여 8개의 블랍을 이용하여 타겟인식을 할 수 있도록 하였다. 1~4번 블랍은 영상 내 체커보드의 방향성을 판별하는데 사용하였고, 5~8번 블랍은 체커보드의 오인식 타겟 제거 및 타겟 개수를 산출하는데 이용하였다.

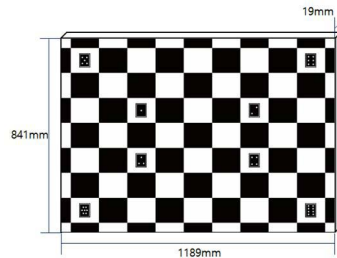


Fig. 1. Chessboard target

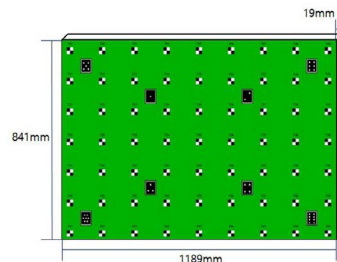


Fig. 2. Checkerboard target

체커보드와 체스보드는 카메라를 이용하여 촬영할 때 변형이 나타나지 않아야 하고 회전 및 이동이 편리해야 하기 때문에 포맥스(pomax) 재질로 제작하였으며, 두께는 19mm 크기로

제작하였다.

Fig. 1과 Fig. 2에 나타난 블랍을 좀 더 상세히 나타내면 Fig. 3과 같다. 블랍을 구성하고 있는 사각형의 가로 및 세로 크기는 체커보드 또는 체스보드 가로 및 세로 크기의 약 4%와 7%로 구성하였다. 흰색의 블랍은 흑색 사각형 내부에 위치하고 이를 둘러싸고 있는 백색 테두리가 존재한다. 블랍은 종이형태로 출력해서 부착하거나 아크릴 재질로 제작하여 부착할 수 있다.

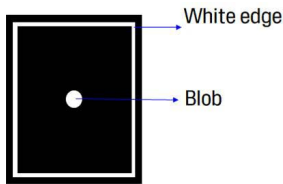


Fig. 3. Structure of blob

2.2 타겟 추출 방법론

체커보드를 촬영한 영상에서 타겟의 영역을 추출하고 타겟의 좌표값을 얻기 위한 방법론은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 입력된 체커보드 영상에서 피라미드 영상을 만들고 특징점을 추출한 후 피라미드 레벨을 고려하여 특징점의 좌표를 추출한다. 특징점은 KLT(Kanade Lucas Tomasi) 특징점 검출 기법을 이용하여 최대 1500개의 특징점을 추출한다. 추출된 특징점을 기준으로 일정 반경의 원을 구성하여 픽셀 밝기값의 최소, 최대값을 구한 후에 픽셀 밝기값을 정량화한다. 그리고 흑백 픽셀 수, 색상 변화 빈도, 흑백 패턴의 왜곡의 3가지 조건을 고려하여 추출된 특징점의 좌표가 타겟점인지 판별한다.

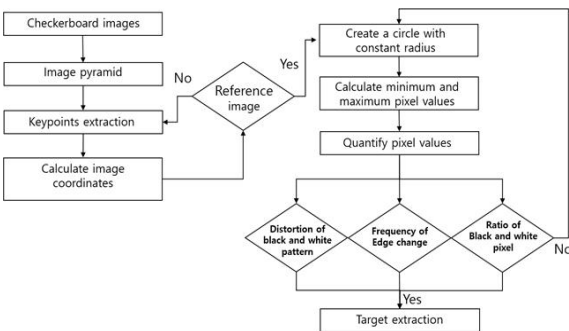


Fig. 4. Methodology of target extraction

2.3 픽셀 밝기값의 정량화

특징점 추출 기법을 이용하여 추출된 특징점은 타겟 뿐만 아니라 타겟 영역의 모서리, 블랍을 구성하고 있는 사각형 모

서리 등에서도 추출되기 때문에 타겟 중심부의 밝기값 변화를 확인하여 타겟점인지 아닌지를 확인할 필요가 있다.

흑백 패턴을 갖는 경계선의 교점을 타겟으로 인식하기 위해 추출된 특징점의 좌표에서 원을 그리면서 밝기값의 변화량을 고려하여 특징점을 타겟으로 추출하는 방법을 사용하였다. 추출된 모든 특징점에 대해 Fig. 5와 같이 원을 그리면서 밝기값을 얻고 이를 Eq. (1)을 이용하여 정량화한 후 0과 1로 이진화하였다. 이를 위해 흑색과 백색의 임계값은 픽셀 밝기값의 범위인 0~255에서 절반을 나눈 값인 약 127을 기준으로 선정된다. 0~127의 절반인 약 63보다 작은 값인 50을 흑색 범위의 최대값으로 선정하였고, 127~255의 절반인 약 191보다 큰 값인 205를 백색의 최소값으로 선정하였다.

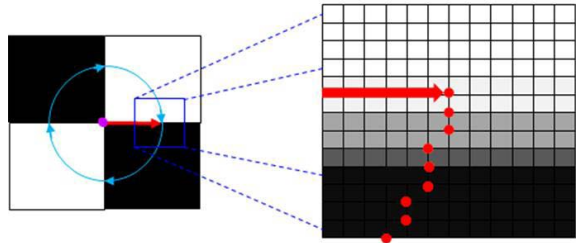


Fig. 5. Circular search of pixel values based on extracted keypoint

$$GV_q = (GV_c - GV_a) \times \frac{255}{(GV_b - GV_a)} \quad (1)$$

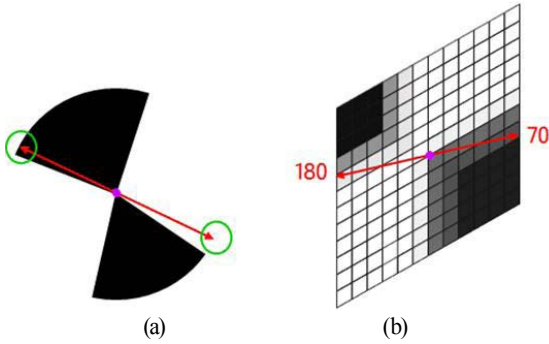
where GV_q is a quantified gray value, GV_c is a current gray value, GV_a is a maximum gray value, and GV_b is a minimum gray value.

2.4 타겟 영역 인식

2.4.1 흑백 패턴의 왜곡 조건

사각형의 타겟은 영상을 촬영하는 방향 또는 각도에 따라 Fig. 6과 같이 사각형의 형태가 왜곡되어 나타날 수 있다. 사각형의 형태가 왜곡됨에 따라 흑색(0~50)과 백색(205~255) 사이의 픽셀 수가 달라질 수 있다.

타겟의 흑백 패턴은 Fig. 6 (a)와 같이 추출된 특징점 위치에서 양방향의 밝기값이 한 방향은 흑색으로 나타나고 다른 방향은 백색으로 나타날 수 있다. 또한, Fig. 6 (b)와 같이 양방향 모두 흑색과 백색의 범위에 들지 못할 수도 있다. 흑백 패턴을 갖는 타겟점을 대상으로 흑색과 백색이 아닌 픽셀 개수보다 한 방향은 흑색, 다른 방향은 백색으로 나타나는 픽셀의 개수가 많다면 이를 타겟으로 인식하였다.



(a) One of the two directions is black or white
 (b) Both directions are not black and white

Fig. 6. Condition of the distortion of black and white pattern

2.4.2 경계선 변화 빈도 조건

추출된 특징점에서 Fig. 7과 같이 좌측과 우측 양방향으로 원을 그리면서 밝기값을 탐색하여 흑색에서 백색 또는 백색에서 흑색으로 변화되는 구간을 경계선(edge)으로 가정하고, 각 방향별로 한 번의 경계선 영역이 나타나는 경우에만 타겟이 있는 영역으로 인식하였다.

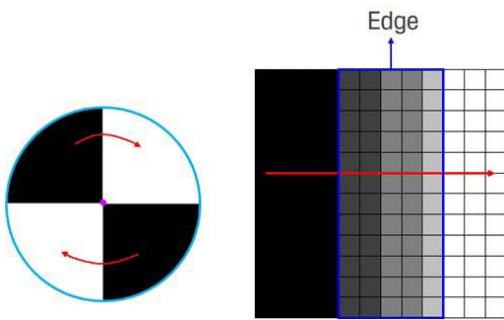


Fig. 7. Condition of the frequency of edge change

2.4.3 흑백 픽셀의 비율 조건

흑백 패턴의 왜곡과 경계선 변화 빈도 조건을 고려하였음에도 불구하고 타겟점이 아닌 대상이 타겟점으로 추출될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 추출된 특징점으로부터 Fig. 8과 같이 좌우방향으로 원을 그리면서 완전히 흑색 또는 백색에 속하는 픽셀(○)의 개수와 흑색 또는 백색이 아닌 픽셀(□)의 개수를 구한 후 일정 비율(약 20%)보다 적으면 타겟영역에서 제외하였다.

일정 비율을 약 20%로 설정한 이유는 정상적인 흑백 패턴이라면 흑백이 아닌 픽셀의 개수가 흑백의 픽셀 개수의 20%를 넘을 수 없기 때문이다. 예를 들어, Fig. 8과 같이 흑색의 픽셀 개수

가 26개 이고 백색의 픽셀 개수가 26일 경우 흑색과 백색에 속하지 않는 픽셀의 개수는 12개 보다 작은 4개이기 때문에 타겟이 있는 영역으로 인식하였다.

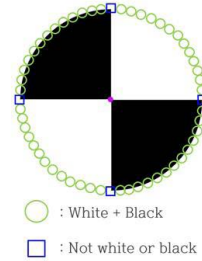


Fig. 8. Condition of the ratio of black and white pixel

3. 타겟 번호 부여방법

3.1 블랍수 식별

타겟의 좌표값을 추출하고 나서 그 다음으로 타겟의 위치가 어디에서 추출된 것인지 알아야 한다. 이를 위해서 체커보드내에 있는 블랍의 개수를 인식하는 방법을 통해서 타겟의 위치에 대한 번호를 자동으로 부여하였다. Fig. 9는 블랍의 개수를 찾고 블랍의 ID를 설정하는 절차를 나타낸 것이다.

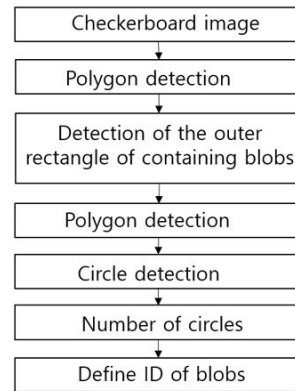


Fig. 9. Procedure of identifying the number of blobs

블랍의 개수를 찾기 위해서는 먼저 Fig. 3에 표시된 블랍을 둘러싸고 있는 사각형을 판별해야 한다. 사각형은 영상에서 경계선 추출연산자를 이용하여 다각형을 검출한 후 꼭지점의 개수가 4개이면서, Fig. 10과 같이 두 직선이 이루는 각도가 $90^\circ \pm 45^\circ$ 이내인 것을 사각형으로 판별하였다. 두 직선이 이루는 각도는 Eq. (2)와 같이 두 벡터의 내적과 외적을 이용하는 방법을 사용하였으며 θ 로 계산된 $\text{도}(\text{°})$ 단위를 이용하였다.

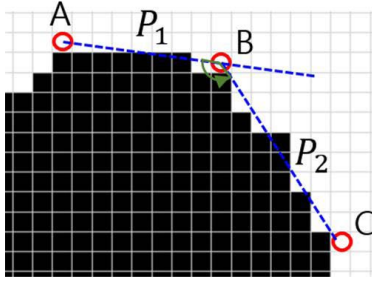


Fig. 10. Angle calculation of polygon

$$\alpha = \text{atan2}\left(\frac{P_1 \times P_2}{P_1 \cdot P_2}\right), \theta = \frac{\alpha \times 180}{\pi} + 0.5 \quad (2)$$

where $P_1(B_x - A_x, B_y - A_y)$ and $P_2(B_x - C_x, B_y - C_y)$ represent line vectors, α and θ represent the radian and degree angle between P_1 and P_2 , respectively.

경계선 추출연산자를 통해서 추출된 모든 사각형이 내부에 블랍을 포함하고 있는 것은 아니기 때문에 사각형 중에서 블랍을 포함하고 있는지 여부를 살펴봐야 한다.

이를 위해서 Fig. 11과 같이 내부 사각형의 네 꼭지점에 대해 각 꼭지점의 바깥 방향으로 일정 길이만큼 이동하면서 밝기값의 변화 횟수를 검사하였다. 이 때 밝기값은 Eq. (1)을 통해서 정량화한 값을 이용하여 변화 횟수를 검사하였다. 내부 사각형의 네 꼭지점에서 밝기값 변화 횟수가 3회인 꼭지점이 3개 이상 4개 이하이면 블랍을 포함하는 사각형으로 판별하였다.

잡영(noise)의 영향으로 일부 사각형의 꼭지점을 추출하지 못할 수 있기 때문에 3개 이상의 꼭지점을 기준으로 설정하였다.

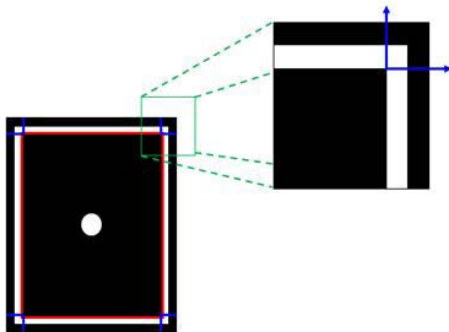


Fig. 11. Determining the rectangle containing blob

사각형으로 판별된 내부에 있는 블랍을 식별하는 과정은 영상에 존재하는 모든 블랍을 우선 추출한 후 이것이 사각형 내에 있는지의 여부를 검사하였다. 블랍은 경계선 연산자를 이용

하여 경계선을 추출한 후 경계선으로 구성된 다각형 중에서 꼭지점의 개수가 3개 이상이면서, 최소 각도가 -80° , 최대 각도가 0° 이내인 다각형을 Fig. 12와 같이 원으로 인식하는 방법을 이용하였다.

초기 블랍으로 인식된 다각형들 중에는 실제 블랍이 아닌 작은 먼지나 작은 점과 같은 것이 추출될 수 있기 때문에 모든 블랍의 평균면적을 구하여 추출된 초기 블랍의 면적이 평균면적의 70%보다 작은 경우는 잡영으로 판단하여 제거하였다. 그 후에 사각형 내에 존재하는 블랍의 개수에 따라 번호(ID)를 부여하였다.

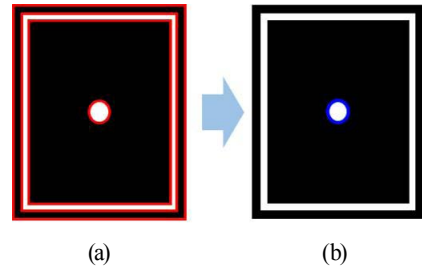


Fig. 12. Identifying the blob contained within rectangle

3.2 오인식 타겟 제거

카메라 캘리브레이션을 위해서 체커보드를 촬영한 여러 장의 영상을 사용하게 되는데 이 때 타겟의 번호를 자동으로 부여해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 정방향 영상(기준영상)을 정하고 이를 대상이 되는 영상(템플릿영상)에 투영 변환하여 타겟에 번호를 초기 부여하는 방법을 사용하였다.

가장 먼저 기준영상에 대해 타겟의 번호를 자동으로 부여해야 한다. 이를 위해 추출된 타겟중에서 Fig. 13과 같이 오인식된 타겟을 제거하여 인식해야 될 타겟의 정확한 개수를 산출해야 한다. 오인식된 타겟은 다양한 잡영에 의해 영향을 받은 결과이다. 인식해야 될 타겟의 개수 산출은 Fig. 14와 같이 체커보드의 가장자리 네 방향의 타겟 배열들을 추출하여 산출하였다.

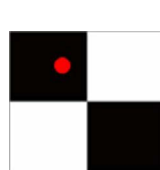


Fig. 13. Mis-detected target

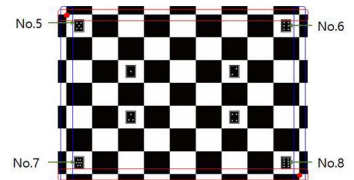


Fig. 14. Target array in four edges

가장자리 네 방향의 타겟 배열들을 추출하기 위해 5번 ~ 8번

블랍을 이용하여 타겟의 개수를 산정하였다. 이러한 과정에서도 타겟들 중 오인식된 타겟이 나타날 수 있는데 이는 네 방향에서 추출한 타겟들 간의 거리보다 평균±20% 이상 클 경우 이를 오인식된 타겟으로 제거하는 방법을 사용하였다.

가로 및 세로 방향으로 인식해야 될 타겟의 개수가 정해지고 나면 다음으로 각각의 방향에서 오인식된 타겟을 제거해야 하며 이를 위해 가로 및 세로 방향으로 각도를 산출하여 임계값을 벗어나는 경우 제외하는 방법을 사용하였으며 본 연구에서 사용한 임계값은 ±1%를 기준으로 하였다.

가로 방향은 Fig. 15 (a)의 가장 좌측 타겟(O)을 기준 타겟으로 가정 후 해당 가로 줄의 기준 타겟으로부터 가까운 순서대로 각각 타겟(●)과의 각도를 산출한다. 좌측과 우측 타겟(O) 간의 각도가 설정한 임계값을 벗어나면 오인식된 타겟으로 제거하였다. 세로 방향으로 오인식된 타겟을 제거하는 방법도 가로 방향의 방법과 동일하며 Fig. 15 (b)와 같다.

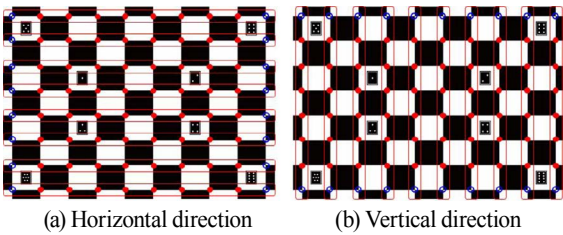


Fig. 15. Angle calculation between targets

3.3 방향성 판별

캘리브레이션을 위한 체커보드는 카메라로 어떻게 촬영하는가에 따라 회전되어 촬영되거나 체커보드의 일부만 촬영될 수 있기 때문에 체커보드의 방향성을 식별하여 체커보드의 일부만 촬영하였더라도 체커보드가 어떻게 회전되었는지를 알 수 있도록 하였다. 이를 위해 체커보드의 중심영역에 있는 1~4번의 블랍을 이용하여 Fig. 16과 같이 A, B, C, D 타입의 방향성을 정의하였다.

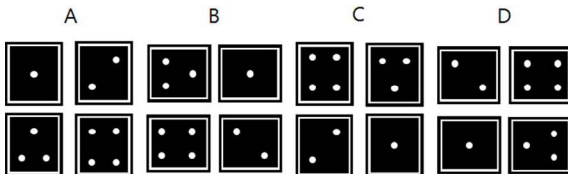


Fig. 16. Define the direction of blobs

체커보드를 촬영한 영상에서 중심영역에 있는 1~4번의 블랍 중에서 최소 2개 이상의 블랍이 나타난다면 방향성을 판별할

수 있도록 하였다. 방향성 판별은 Fig. 17과 같이 길이를 비교하기 위한 6가지 형태로 나눌 수 있다. 각각 점선화살표(---)와 실선화살표(→)로 두 가지 선분의 길이를 비교하고 블랍을 포함하는 사각형의 꼭지점 좌표를 비교하여 방향성을 판별하였다.

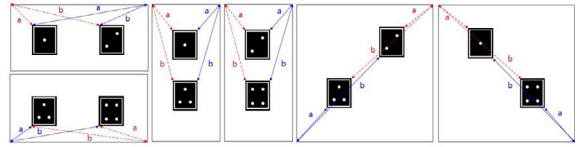


Fig. 17. Comparison of line length using rectangle containing blob for direction determination

3.3 타겟의 번호 부여

카메라 캘리브레이션을 통해서 초점거리, 주점위치, 렌즈왜곡 등의 다양한 매개변수를 결정하기 위해서 체커보드를 다양한 각도에서 촬영한 여러 장의 영상을 이용하게 된다. 체커보드를 구성하고 있는 흑백 타겟의 번호는 타겟의 개수와 방향성을 이용하여 부여하였다.

본 연구에서 체커보드 타겟의 번호를 자동으로 부여하기 위해서 기준영상은 정방향으로 촬영하였다고 가정하였다. 기준영상은 체커보드를 촬영한 영상 혹은 체커보드 도안 모두 적용 가능하다. 타겟의 번호를 부여하기 위해 Fig. 18과 같이 기준영상에서 블랍과 타겟의 개수, 타겟의 좌표, 타겟의 번호를 부여하고 이를 템플릿영상에서 식별한 블랍을 이용하여 호모그래피(homography) 행렬을 생성하여 투영변환한 후 타겟의 번호를 부여하였다(Park et al., 2015).

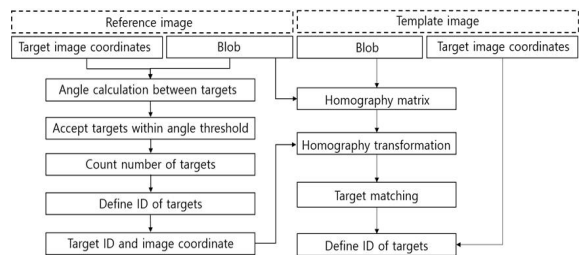


Fig. 18. Labeling of targets

오인식 타겟 제거 과정에서 가로 및 세로 방향 타겟 간 각도를 산출하여 오인식 타겟을 제거하면 각 방향별 결과에 대해 동일한 타겟 개수가 산출된다. 더불어 가로 방향 및 세로 방향의 타겟 개수를 통해 타겟 ID를 정의하는데 기준이 된다.

타겟의 번호는 Fig. 19와 같이 기준영상의 좌상단에서 부터 1번으로 시작하도록 설계하였다. 우선 1번에서 가까운 두 개의

타겟 점을 탐색한 후 영상의 y좌표값이 작은 타겟점을 다음 타겟점으로 설정하고, y좌표값이 큰 타겟점을 다음 행의 첫 번째 타겟점으로 설정하였다.

동일한 행에서 타겟의 번호부여는 순차적으로 부여하고 다시 가까운 두 타겟점을 탐색하고, 마지막 열이라면 다음 행의 첫 번째 타겟점을 다음 번호로 설정하였으며, 이러한 방식으로 기준영상에서 모든 타겟점에 대한 번호를 부여하였다.

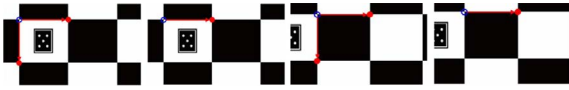


Fig. 19. Sequential numbering of target points

기준영상을 제외한 템플릿영상에서 타겟의 번호부여는 Fig. 20과 같이 블랍이 존재하는 모든 사각형의 네 꼭지점 좌표와 기준영상에서 추출한 블랍이 존재하는 사각형의 네 꼭지점 좌표를 이용하여 호모그래피 변환 행렬을 계산하였다.

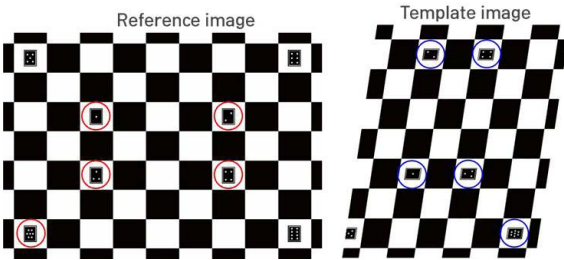


Fig. 20. Detection of rectangles containing blobs for projective transformation

호모그래피 행렬을 이용하여 기준영상의 타겟 영상 좌표와 번호를 Fig. 21과 같이 투영하면 템플릿영상에서 추출한 타겟점 근처에 존재하게 된다.

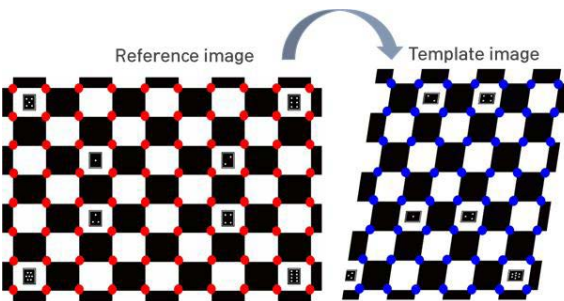
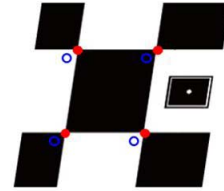


Fig. 21. Result of homography transformation

호모그래피 행렬을 이용하여 투영변환한 기준영상의 타겟점

은 템플릿영상의 타겟점의 위치와 정확하게 동일하게 나타나지 않을 수 있다. 따라서, 기준영상에서 변환된 타겟점과 템플릿영상의 타겟점을 매칭하기 위해 변환된 각 타겟점에서 Fig. 22와 같이 가장 가까운 타겟점을 찾고 기준영상의 타겟번호와 동일한 번호를 부여하였다.



- Target location of template image
- Projected target location using reference target points

Fig. 22. Location of the target from reference and template images

템플릿영상의 실제 타겟에서 특징점이 추출되지 않은 경우가 발생할 수 있다. 이때에는 변환된 타겟점에서 블랍 사각형의 크기에 비례하는 일정 크기의 반경을 이용하여 템플릿영상에서 특징점을 추출한 후 변환된 타겟점과 특징점과의 거리를 산출하여 최소 거리에 있는 특징점을 타겟으로 판단하였다. 이를 좀 더 상세히 설명하면, Fig. 23과 같이 일정 반경 내에 특징점이 한 개 이상인 경우 최소 거리가 타겟 검출을 위한 일정 반경의 30%보다 짧다면 특징점을 타겟으로 판별하고 번호를 부여하였다. Fig. 24와 같이 일정 반경 내에 특징점이 한 개 존재하고 최소 거리가 일정 반경의 약 50%보다 짧다면 특징점을 타겟으로 판별하고 번호를 부여하였다.

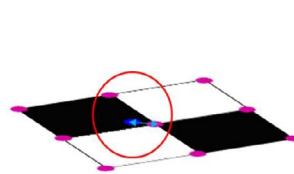


Fig. 23. More than one keypoint

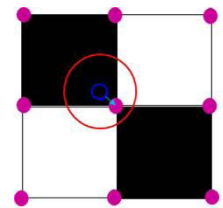


Fig. 24. one keypoint

4. 체커보드 타겟의 자동인식

본 자동타겟인식 알고리즘을 수행하기 위하여 C++ 언어를 사용하였고, OpenCV 라이브러리를 사용하였다. 체커보드의 자동타겟인식을 수행하기 위해 체커보드를 촬영한 영상이 필요하다. 체커보드는 Fig. 25의 캐논(Canon EOS 800D) 디지털

카메라를 이용하여 촬영하였으며 카메라 설정값은 Table 1과 같다.



Fig. 25. Canon EOS 800D

Table 1. Camera setting

Camera	Width (pixel)	Height (pixel)	ISO	Iris	Shutter speed (sec)	Focal length (mm)	Pixel size (μm)	Object distance (m)
Canon EOS 800D	6000	4000	400	F5.6	1/20	35	3.8989	2.1

디지털 카메라를 이용하여 Fig. 26과 같이 두 가지 형태의 체커보드에 대해서 촬영을 수행하여 실험을 하였다.

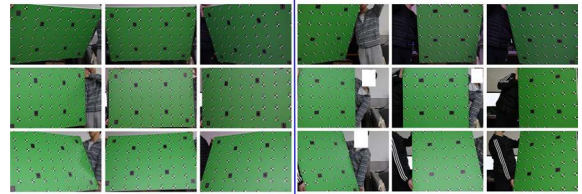


(a) Checkerboard-A (b) Chessboard-B
Fig. 26. Two types of checkerboard

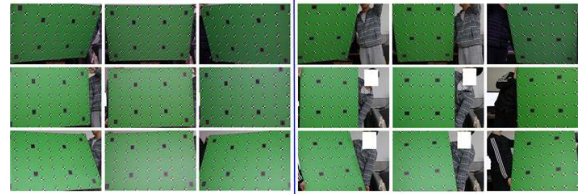
설명을 위해서 Fig. 26의 (a)를 체커보드-A, (b)를 체커보드-B로 구분하였다. 체커보드-A와 체커보드-B에 대해 자동인식을 수행한 결과는 Table 2와 같다. 체커보드-A의 타겟의 개수는 63개이고, 체커보드-B는 80개이다.

체커보드 타겟의 인식률에 대한 실험을 위해서 가로 및 세로 방향으로 각각 9장의 영상을 촬영하였으며 각각의 방향에 대해 기울기를 달리하여 2장씩 각 18장의 영상을 촬영하여 총

36장의 영상을 촬영하였으며 그 결과는 각각 Fig. 27과 Fig. 28과 같다.



(a) Checkerboard images taken at low slope



(b) Checkerboard images taken at high slope

Fig. 27. Captured images of checkerboard type A



(a) Checkerboard images taken at low slope



(b) Checkerboard images taken at high slope

Fig. 28. Captured images of checkerboard type B

Table 2에서 나타난 것과 같이 체커보드 타입에 관계없이 오인식되거나 미인식 되는 타겟 없이 모든 타겟을 자동으로 인식할 수 있는 것을 알 수 있었다.

Table 2. Detection rate of checkerboard targets

Type	Photos	Detection target	Undetected target	Mis-detected target	Invalid labeling	Run time (sec)	Detection rate(%)
A	36	1674	0	0	0	46	100
B	36	2189	0	0	0	35	100

체커보드의 촬영을 멀리에서 수행하여도 원활하게 자동으로 타겟인식이 이루어지는지 확인하기 위하여 Fig. 29, Fig. 30과 같이 촬영거리를 다양하게 하여 체커보드-B를 이용하여 실험을 수행하였다. Fig. 29는 체커보드의 면적이 영상에서 차지하는 비율이 약11%인 것으로 자동으로 타겟인식이 수행된 것을 알 수 있다. 이에 반해, Fig. 30은 체커보드의 면적이 영상에서 차지하는 비율이 약4%인 것으로 체커보드의 블랍을 인식하지 못하여 정상적인 타겟인식이 이루어지지 않았다. 실험을 통해서 자동타겟인식을 위해서는 체커보드의 타겟이 영상에서 약 11% 정도는 나타낼 수 있도록 촬영이 이루어져야 하는 것을 알 수 있었다.



Fig. 29. Area ratio of a checkerboard in the image(11%)



Fig. 30. Area ratio of a checkerboard in the image(4%)

5. 결론

본 연구는 카메라 캘리브레이션을 위한 체커보드의 타겟을 자동으로 인식하기 방법을 제안한 것으로 다음과 같은 결론을

도출하였다.

첫째, 흑백패턴의 왜곡, 경계선 변화빈도, 흑백픽셀의 비율에 대한 3가지 조건을 이용하여 두 가지 타입의 체커보드 타겟점의 좌표를 자동으로 추출할 수 있었다.

둘째, 타겟을 촬영한 영상에 대해서 타겟점의 번호는 체커보드 중심부분에 4개 그리고 바깥부분에 4개로 구성된 8개의 블랍을 이용하여 자동으로 부여할 수 있었다. 이를 통해서 8개의 블랍을 부착하면 체스보드 타겟에 대해서도 자동으로 번호를 부여할 수 있는 것을 알 수 있었다.

셋째, 여러 장을 촬영한 체커보드 영상간의 관계는 기준영상과 템플릿영상에서 인식한 블랍을 이용한 호모그래피 행렬을 이용하여 설정할 수 있었으며 이를 통해, 템플릿영상의 일부만 촬영된 경우에도 타겟점의 번호를 자동으로 부여할 수 있었다.

넷째, 일반적으로 사용되는 체스보드 형태의 타겟이 아닌 변형된 형태의 체커보드도 자동으로 타겟을 인식할 수 있는 것을 알 수 있었다.

다섯째, 디지털 카메라를 이용하여 촬영한 실험을 통해서 체커보드가 영상내에서 11%이상 나타나는 경우 1분 이내의 짧은 자료처리 시간을 통해서 모든 타겟을 자동으로 인식할 수 있는 것을 알 수 있었다. 체커보드를 멀리서 촬영하였을 경우에는 자동으로 타겟의 번호를 부여하기 위해서 사용하고 있는 블랍의 크기가 매우 작아 블랍을 정상적으로 인식하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 체커보드의 타겟이 영상에서 약 11% 이상 나타낼 수 있도록 촬영을 하거나 체커보드를 크게 제작할 필요가 있다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2018R1D1A1B07045817).

References

- Kwon, S.I. and Kim, E.M. (2018), Blob configuration for target estimation of multi-camera checker board images, *2018 Joint fall conference*, 18 November 2018, Jeju, Korea, pp. 50-51.
- Fürsattel, P., Dotenco, S., Placht, S., Balda, M., Maier, A., and Riess, C. (2016), OCPAD — Occluded checkerboard pattern detector, *2016 IEEE Winter Conference on*

Applications of Computer Vision, 7-10 March 2016, NY, USA, pp. 1-9.

Lari, Z., Habib, A., Mazaheri, M., and Al-Durgham, K. (2013), Multi-camera system calibration with built-in relative orientation constraints(part 2) - Automation, implementation, and experimental results, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 3, pp. 205-216.

Habib, A., Lari, Z., Kwak, E., and Al-Durgham, K. (2013), Automated detection, localization, and identification of signalized targets and their impact on digital camera calibration, *Revista Brasileira de Cartografia*, Vol. 65, No. 4, pp. 785-803.

Oh, S.Y. and Cho, N.I. (2016), Finding locating checker board using corner detection and interpolation, *2016 Conference of The Korean Society Of Broad Engineers*, The Korean Society Of Broad Engineers, 4 November 2016, Seoul, Korea, pp. 165-168.

Park, J.M., Lee, J.I., Cho, J.B., and Lee, J.W. (2015), Precise detection of coplanar checkerboard corner points for stereo camera calibration using a single frame, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 21, No. 7, pp. 602-608. (in Korean with English abstract)

Placht, S., Mengue, E.A., Hofmann, H., Schaller, C., and Balda, M. (2014), ROCHADE: Robust Checkerboard Advanced Detection for Camera Calibration, *2014 European Conference on Computer Vision*, 6-12 September 2014, Zurich, Switzerland, pp. 766-779.

Rufli, M., Scaramuzza, D., and Siegwart, R. (2008), Automatic detection of checkerboards on blurred and distorted images, *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Intelligent Robots and Systems, 22-26 September 2008, Nice, France, pp. 3121-3126.

Yu, Y.J. (2015), *Automatic Checkerboard Corner Detection for Camera Calibration*, Master's thesis, Dongkuk University, Seoul, Korea, 49p.