

주성분 분석을 이용한 마커 검출 및 인식 시스템

강 선경*, 소 인미*, 김 영운*, 정 성태*
*원광대학교 컴퓨터공학과
e-mail:selfid@nate.com

A Marker Detection and Recognition System based on Principal Component Analysis

Sun-Kyoung Kang*, In-Me So*, Young-Un Kim* Sung-Tae Jung*
*Dept of Computer Engineering, Wonkwang University

요 약

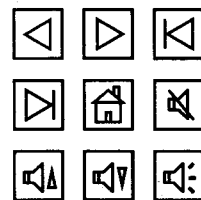
본 논문에서는 카메라 영상으로부터 사각형 형태의 마커를 검출하고 인식하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 사각형 형태의 마커 검출을 위하여 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 객체들의 윤곽선을 추출한 다음에 윤곽선을 선분으로 근사화 한다. 근사화된 선분으로부터 기하학적 특징을 이용하여 사각형을 찾는다. 마커의 사각형 영역을 찾은 다음에는 워핑 기법을 이용하여 사각형 마커 영상을 정사각형 형태로 정규화한다. 마커 영상을 정규화한 다음에는 주성분 분석을 통하여 마커 영상으로부터 특징 벡터를 추출하고 표준 마커에 대한 특징 벡터와의 최소 거리법에 의해 마커의 종류를 인식한다. 인식 실험 결과 마커의 종류가 50개일 때에 최대 98%의 인식률을 얻을 수 있었다.

1. 서론

의미가 부여된 마커를 카메라 영상으로부터 검출하고 인식하여 증감 현실(augmented reality), 로봇의 경로 이동, 객체 인식 등 다양한 분야에 활용하는 연구가 수행되고 있다 [1]. 증감 현실에서는 마커를 검출하고 인식함으로써 자신의 위치를 파악하거나, 사용자의 시선 방향을 인식하거나, 카메라에 보이는 영상에 추가하여 3차원 객체를 디스플레이하거나 텍스트 정보를 출력하는데 활용한다. 사용되는 마커의 종류도 다양하다. 대부분의 경우에 평면에 그려진 사각형 또는 원형 둘레를 가진 그림을 이용하는데, 참고 문헌 [2]의 시스템에서는 사람 눈에는 보이지 않고 적외선 카메라로만 감지할 수 있는 마커를 사용함으로써 보다 깔끔한 주변 환경을 제공하는 방법을 제안하였다. 참고 문헌 [3]에서는 발광 다이오드를 사용해서 마커의 내용을 변화시킬 수 있게 함으로써 보다 동적인 시스템을 구축하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 (그림 1)와 같은 일반형 마커를 검출하고 인식하는 방법을 제안한다. 마커의 가장자리는 정사각형이

고 내부에 단순한 형태의 도형을 포함한다. 배경은 흰색이고 마커의 색은 검정색이다. 본 논문의 2장에서는 마커 검출 방법에 대해서 설명하고 2장에서는 마커 인식 방법을 설명하며 4장에서는 실험 결과를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.



(그림 1) 제안된 마커 예

2. 마커 검출

본 논문에서 사용하는 마커의 원래 형태는 정사각형이지만 마커가 있는 평면과 카메라의 상대적인 위치에 따라서 정사각형 형태로 보이지 않을 수 있다. (그림 2)에는 마커를 비스듬한 방향에서 촬영된 모습이 나타나 있다. 이 영상에서 마커는 각 변의 길이도 다르고 네 정점의 사이 각이 90도가 아닌 일반 사각형 형태이다.

“이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임” (지방연구중심대학육성사업/헬스케어기술개발사업단)



(그림 2) 마커 촬영 예

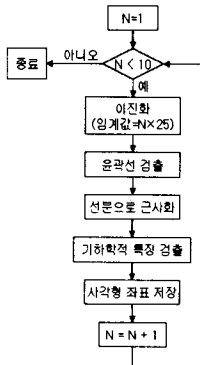


(a) 임계값 = 100 (b) 임계값 = 125

(그림 5) 이진화 영상 예

2.1 사각형 검출

본 논문의 사각형 마커 검출 과정이 (그림 3)에 나타나 있다.

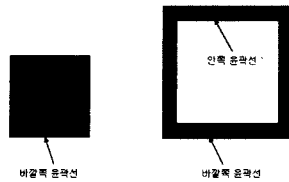


(그림 3) 마커 검출 단계

본 논문에서는 사각형 마커를 검출하기 위해 먼저 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 윤곽선을 검출한다. 여기에서 검출된 윤곽선은 연결된 픽셀들로 구성되어 있는데, 사각형 검출을 위해 윤곽선을 선분으로 근사화한다. 선분으로 근사화한 다음에는 윤곽선을 이루는 선분의 수, 윤곽선 내부의 면적, 볼록 객체 여부 등의 기하학적 특징을 검출하여 이로부터 윤곽선이 사각형인지 아닌지를 판단한다.

본 논문에서는 처리 방법을 단순하게 하기 위해 컬러 영상인 카메라의 입력 영상을 그대로 사용하지 않고 배경색은 255이고 마커 색은 0인 이진 영상으로 변환해서 사용한다. 컬러 입력 영상을 이진 영상으로 변환하기 위해 먼저 256가지의 명암도를 갖는 흑백 영상으로 변환한다. 흑백 영상을 이진 영상으로 변환하기 위해서는 임계값을 정하여 임계값보다 크면 배경색으로 변환하고 그렇지 않으면 마커 색으로 변환하는 방법을 사용하면 된다. 사각형 마커는 흰색 배경에 검정색으로 되어있지만 카메라로부터 촬영된 입력 영상에서는 주변 환경의 빛의 밝기에 따라 배경과 마커의 명암도가 많은 영향을 받으므로, 이진화를 위한 적절한 임계값을 정하는 문제는 그리 간단한 문제가 아니다. 본 논문에서는 흑백 영상이 가질 수 있는 명암도 값인 0에서 255 사이에 일정 간격으로 9개의 임계값을 지정하여 이진 영상 9개를 생성하고 각 이진 영상으로부터 사각형을 검출하는 방법을 사용한다. (그림 5)에는 (그림 3)에 대한 이진화 영상 예가 나타나 있다. 실험 결과에 의하면 대부분의 경우에 사각형 마커가 검출되는 이진 영상은 3개 내지 4개 정도이었다.

이진화를 수행한 다음에는 윤곽선 검출을 수행한다. 윤곽선이란 객체의 가장자리 선을 말하는데, (그림 6) (a)와 같이 객체 내부에 비어있는 공간이 없는 경우에는 바깥쪽 윤곽선만 존재하고 (그림 6) (b)의 사각형 마커의 외곽선처럼 객체 내부에 비어있는 부분이 있으면 객체의 바깥쪽 윤곽선과 안쪽 윤곽선이 존재한다.



(그림 6) 바깥쪽 윤곽선과 안쪽 윤곽선

이렇게 윤곽선 검출에 의해 구한 물체의 가장자리 점들은 다시 선분으로 근사화 한다. 윤곽선을 구성하는 픽셀들을 선분으로 근사화하는 방법으로 본 논문에서는 Douglas-Peucker 알고리즘[4]이라 불리는 방법을 사용한다. 이 알고리즘을 이용해서 선분으로 근사화한 다음에는 사각형인지 아닌지를 판단하기 위하여 기하학적 특징을 이용한다. 기하학적 특징으로는 윤곽선 내부의 면적, 각 선분 사이의 각도, 볼록 객체 여부, 윤곽선을 구성하는 선분의 수, 선분의 길이를 이용한다. 윤곽선 내부 면적은 다각형 면적을 계산하는 공식을 이용하면 간단하게 구할 수 있다. 본 논문에서는 선분으로 근사화된 윤곽선이 사각형 마커의 윤곽선인지를 판별하는 조건으로 윤곽선을 구성하는 선분의 수가 4개이고 윤곽선 내부 면적이 100이상이고 이웃한 선분 사이각이 45도에서 135도 사이이며 볼록 다각형이어야 하도록 했다. 윤곽선 내부 면적을 검사하는 것은 마커를 인식하기 위해 최소한 마커 영상의 크기가 가로 세로 각각 10 픽셀씩은 되어야 할 것으로 판단했기 때문이다. (그림 7)에는 (그림 2)의 영상에 대한 윤곽선 검출 결과가 나타나 있다.



(그림7) 마커 검출 결과

2.2 마커 영상 추출

입력 영상의 사각형 마커를 인식하기 위해서는 검출된 사각형 마커의 영상을 추출한 다음에 정사각형 형태의 표준

마커 영상 형태로 변환을 해야 한다. (그림 7)의 영상에 대하여 사각형 마커에 해당하는 영역의 영상만 추출한 결과가 (그림 8)에 나타나 있다.



(그림8) 추출된 마커 영상

(그림 8)의 마커 영상과 같이 추출된 마커 영상이 정사각형이 아닌 경우에는 이를 정사각형 형태로 변환을 해주어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 먼저 워핑(warping)기법 [16]을 이용하여 마커 영상을 직사각형 형태로 변환한다. 그 다음에는 확대 또는 축소 연산을 이용하여 표준 크기의 정사각형 형태로 변환한다. 정사각형 형태로 변환한 다음에는 이진화를 수행하는데, 이진화에 사용하는 임계값은 사각형 검출시에 적용되었던 임계값과 같은 값을 사용하면 된다. 그런데, 여러 가지 임계값에 대하여 이진화를 수행하고 마커를 검출하였으므로 같은 마커가 여러 번 검출될 수 있다. 같은 마커들이 여러 번 검출된 경우에는 그중에서 임계값이 중간인 경우에 검출된 마커를 선택하여 사용한다. (그림 2)의 영상에서는 임계값이 50, 75, 100, 125인 경우에 마커가 검출되었는데, 이 중에서 임계값이 75를 사용하여 이진화를 수행한다. 이진화 결과는 (그림 9)에 나타나 있다.



(그림9) 이진화된 마커 영상

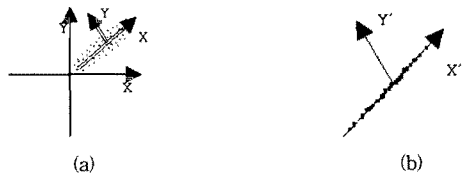
3. 마커 인식

본 논문에서는 마커 인식을 위해 최소 거리 식별법을 사용한다. 패턴 인식에서 인식 대상이 되는 각 부류를 대표하는 패턴을 표준 패턴이라 하는데, 표준 패턴은 각 부류마다 하나 또는 여러 개 존재 할 수 있다. M개의 부류 w_1, w_2, \dots, w_M 가 있고 부류 w_i 를 대표하는 표준 패턴을 y_i 라 하고 입력 패턴을 x 로 나타내기로 하자. 각 패턴을 N 차원의 특징 벡터로 나타내면 $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in})$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ 이 될 것이다. 그리고 패턴 x 와 패턴 y_i 의 거리 $D(x, y)$ 는 다음 (식1)로 계산할 수 있다. 최소 거리 식별법에서는 입력 패턴 x 를 $D(x, y)$ 의 값이 최소가 되는 부류 w_i 로 인식한다.

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^N (x_k - y_{ik})^2} \quad (식1)$$

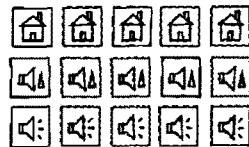
앞 절에서 설명한 방법에 의하여 입력 영상으로부터 구한

정사각형 마커 영상의 크기는 64 x 64이다. 영상의 픽셀 값을 그대로 특징 벡터로 사용하면 특징 벡터의 차원은 4096이 되고 최소거리 식별법에서 많은 양의 연산을 필요로 하게 된다. 따라서 인식의 수행 속도를 높이기 위해 특징 벡터의 차원을 줄이는 방법이 널리 사용되는데, 본 논문에서는 주성분 분석을 이용하여 특징 벡터의 차원을 줄인다. 주성분 분석은 고차원 특징 벡터를 몇 개의 주성분 값으로 나타내어 저차원의 특징 벡터로 표현해 주는 방식이다. 특징 벡터가 N-차원일 경우에는 각 특징 벡터는 N개의 기준 축을 기준으로 표현된다. 따라서 특징 벡터의 차원을 줄인다는 것은 기준 축을 줄이는 것으로 생각할 수 있다. 예를 들어 X축과 Y축으로 구성된 2차원 평면에서 특징 벡터가 (그림 10) (a)와 같이 대각선 방향으로 길게 퍼져있다고 하자. 여기에서는 각 특징 벡터를 하나의 점으로 표시하였다. (그림 10) (a)와 같은 분포에서 대각선 방향과 그에 수직 방향인 X' 축과 Y' 축 관점에서 특징 벡터를 살펴 볼 때에는 특징 벡터가 X'축을 중심으로 넓게 퍼져 있고 Y' 축을 중심으로 좁게 모여 있다. 따라서 특징 벡터를 구분할 때에 X' 축 상에서 어느 위치에 있느냐가 가장 중요한 요소가 되고 Y' 축 상에서는 어느 위치에 있느냐 하는 것이 그 다음으로 중요하게 된다. 이와 같이 특징 벡터의 분포에 따른 새로운 기준 축을 구한 다음에는 기준 축 중에서 중요한 것만 남기고 나머지는 버림으로써 데이터의 차원을 줄일 수 있다. (그림 10) (a)의 경우에 X' 축이 더 중요하므로 (그림 10) (b)에 나타나 있듯이 특징 벡터를 X' 축에 투영하여 Y' 축 성분 값은 버리고 X' 축 성분 값만 남도록 함으로써 2차원의 특징 벡터를 1차원의 특징 벡터로 줄여서 표현할 수 있다.



(그림 10) 주성분 분석의 원리

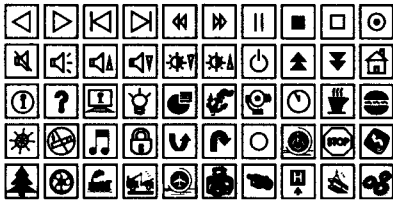
주성분 분석을 위해서는 마커 영상들이 필요하다. (그림 11)에는 주성분 분석에 사용된 마커 영상의 일부가 나타나 있다. 이들은 앞 절에서 설명한 마커 검출 방법에 의하여 카메라 영상으로부터 추출된 영상이다.



(그림 11) 주성분 분석에 사용된 마커 영상 예

4. 실험 결과

본 논문에서는 두 가지로 나누어 실험을 진행하였다. 하나는 인식 성능을 측정하기 위하여 디지털 카메라로 촬영된 영상에 대해 인식 실험을 수행하였고 다른 하나는 인식 속도를 측정하기 위해 PC 카메라에서 실시간으로 캡처된 영상에 대한 인식 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 전체 마커의 종류는 모두 50개이고 (그림 12)에 나타나 있다.



(그림12) 마커의 종류

디지털 카메라 영상을 이용한 실험에서는 마커가 10 종류, 20 종류, 30 종류, 40 종류, 50 종류일 때로 구분해서 실험함으로써 마커 수의 증가에 따른 인식률의 변화를 살펴보았다. 또한 주성분 분석 결과로 구한 특징 벡터의 크기도 변화시키면서 인식률의 변화를 살펴보았다. 각 마커에 대하여 10 장의 영상을 촬영하였으며 5장의 영상은 주성분 분석에 사용하였고 각 마커에 대한 표준 패턴으로 사용하였다. 나머지 5장의 영상은 인식실험에 사용하였다. 50개의 마커에 대해 10장씩 모두 500장의 영상으로부터 마커를 검출한 결과 모든 영상에서 마커 영상을 올바르게 검출할 수 있었다. <표 1>에는 인식 실험 결과가 나타나 있다. 표에서 마커 수가 10개일 때는 특징 벡터의 크기가 50까지만 나타나 있다. 이는 특징 벡터의 최대 크기는 마커의 수에 5를 곱한 값과 같기 때문이다. 마커가 10개일 때는 특징 벡터의 최대 크기가 50이고 마커가 50개일 때에는 특징 벡터 최대 크기가 250이다. 표에 나타나 있듯이 대체적으로 특징 벡터의 크기가 증가하면 인식률도 같이 증가하다가 어느 정도 증가하면 그 수준을 유지하거나 더 낮아지는 것을 볼 수 있다. 특징 벡터의 크기가 대략 마커의 수에 20 또는 30을 더한 수와 같아질 때에 인식률이 최고가 되는 것을 볼 수 있다. 인식률은 마커의 수가 10개에서 20개로 되면서 증가하였고 30에서 다시 감소하였다가 40, 50이 되면 다시 증가하였다. 이러한 결과가 발생한 이유는 맨 처음 사용한 10개의 마커 안에서 서로 비슷한 마커가 있었고 이들이 서로 혼동되어 잘못 인식되었기 때문이다. 마커의 수가 20개로 늘어나도 추가된 마커들에서는 오류가 없었고 10개일 경우에 틀렸던 것들이 계속해서 틀린 것이다. 따라서 틀린 개수는 같으면서 마커의 수가 늘어나 인식률이 높아진 것이다. 마찬가지로 30개가 되면서 비슷한 마커들이 추가되어서 인식률이 떨어진 것이다. 이로부터 마커의 수가 증가하더라도 인식률에는 큰

영향이 없다는 것을 알 수 있었고 비슷한 마커가 얼마나 있는 지가 인식률에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

표 1. 인식 결과

마커 수	영상 수	특징 벡터의 크기에 따른 인식률								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	50	86	98	98	98	98				
20	100	91	97	98	99	99	98	98	98	98
30	150	93.3	92.7	95.3	95.3	96.7	96	96	96	95.3
40	200	92.5	93.5	95.5	96	96.5	97.5	97.5	97	97
50	250	93.2	96	96	95.6	96.4	97.6	97.6	98	97.6

5. 결론

본 논문에서는 카메라 영상으로부터 사각형 형태의 마커를 검출하고 인식하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 여러 단계의 임계값을 사용하여 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 객체들의 윤곽선을 추출한 다음에 윤곽선의 기하학적 특징을 이용하여 사각형을 찾고 워핑 기법을 이용하여 사각형 마커 영상을 정사각형 형태로 정규화한 다음에 주성분 분석을 통하여 마커영상으로부터 특징 벡터를 추출하고 표준 마커에 대한 특징 벡터와의 최소 거리법에 의해 마커의 종류를 인식하는 방법을 제안하였다. 마커의 종류를 변화시켜가면서 인식 실험을 해본 결과 마커의 종류가 증가하더라도 신뢰할만한 인식률을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안된 방법은 향후에 착용형 컴퓨팅 환경 등에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 논문

- [1] Y. Nakazato, M. Kanbara, N. Yokoya, "Wearable augmented reality system using invisible visual markers and an IR camera," Proc. of International Symposium on Wearable Computers, pp. 198-199, 2005
- [2] I. Poupirev H. Kato, M. Billinghurst. ARToolkit User Manual, Version 2.33. Human Interface Technology Lab, University of Washington, 2000.
- [3] Fiala, M., "ARTag, a fiducial marker system using digital techniques," In Proc. of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 590 - 596, 2005.
- [4] J. Hershberger and J. Snoeyink, "Speeding up the Douglas-Peucker line simplification algorithm," In Proc. 5th Intl. Symp. Spatial Data Handling. IGU Commission on GIS, pp 134-143, 1992
- [5] D.S. Watkins, "Fundamentals of Matrix Computation," A John Wiley and Sons, Inc. 2002