중증환자 인터페이스를 위한 마커 인식 시스템

소 인 미[†] · 강 선 경[†] · 김 영 운[†] · 정 성 태[††]

요 약

본 논문에서는 거동이 불편한 환자를 위하여 주변 환경에 놓여 있는 기기들에 대한 제어와 간호사를 호출하는 간단한 의사소통 등을 위한 몇 가지 사각형 형태의 마커를 제시하고 이 마커들을 카메라 영상으로부터 검출하고 인식하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 사각형 형태의 마커 검출을 위하여 다중 임계값을 사용하여 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 객체들의 윤곽선을 추출한 다음에 윤곽선을 선분으로 근사화한다. 근사화 된 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 마커의 종류를 인식한다. 본 논문의 시스템은 다중 임계값을 이용하여 조명에 견고하며 워핑 기법과 주성분 분석을 이용하여 촬영 각도에 견고하다. 총 21개의 마커를 설계하여 인식 실험한 결과 최대 100%의 인식률을 얻을 수 있었고 초당 12프레임의 수행속도로 조명과 각도 변화에 견고한 인식 결과를 얻을 수 있었다.

키워드 : 마커 검출, 마커 인식, 주성분 분석, 헬스케어

Marker Recognition System for the User Interface of a Serious Case

In-Mi So[†] · Sun-Kyung Kang[†] · Young-Un Kim[†] · Sung-Tae Jung[††]

ABSTRACT

In this paper, we present a marker detection and recognition method from camera image for a disabled person to interact with a server system which can control appliance of surrounding environment. It converts the camera image to a binary image by using multi-threshold and extracts contours of objects in the binary image. After that, it approximates the contours to a list of line segments. It finds rectangular markers by using geometrical features which are extracted from the approximated line segments. It normalizes the shape of extracted markers into exact squares by using the warping technique. It extracts feature vectors from marker image by using principal component analysis and then recognizes the marker. The proposed marker recognition system is robust for light change by using multi-threshold. Also, it is robust for angular variation of camera by using warping technique and principal component analysis. Experimental results show that the proposed method achieves 100% recognition rate at maximum for 21 markers and execution speed of 12 frames/sec.

Key Words : Marker Detection, Marker Recognition, PCA, Healthcare

1. 서 론

의미가 부여된 마커를 카메라 영상으로부터 검출하고 인식하여 증감 현실(augmented reality), 로봇의 경로 이동, 객체 인식 등 다양한 분야에 활용하는 연구가 수행되고 있다. 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 [1]의 시스템에서는 사람 눈에는 보이지 않고 적외선 카메라로만 감지할 수 있는 마커를 사용함으로써 보다 깔끔한 주변 환경을 제공하는 방법을 제안하였다. 참고 문헌 [2]에서는 발광 다이오드를 사용해서 마커의 내용을 변화시킬 수 있게 함으로써 보다 동적인 시스템을 구축하는 방법을 제안하였다.

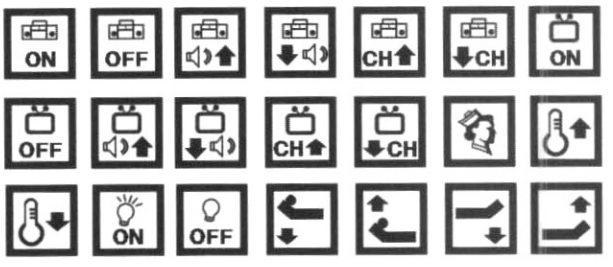
(그림 1)에는 몇몇 마커 인식 시스템에서 사용하는 마커의 예가 나타나 있다. ARToolkit[3], ARTag[4], SCR[5], HOM[6]은 증감 현실에 사용되는 마커 인식 시스템이다. ARTag, SCR, HOM의 마커는 2차원 바코드처럼 격자 형태의 구조에 데이터를 코드화한 형태를 취하고 있으며 인식의 견고성을 더 높일 수 있고 많은 수의 마커를 쉽게 생성할

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/헬스케어기술개발사업단).
† 준 회 원 : 원광대학교 컴퓨터공학과 대학원 박사과정
†† 종신회원 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
논문접수 : 2007년 1월 3일, 심사완료 : 2007년 4월 23일

(그림 1) 기존 시스템의 마커 예

수 있고 보안성을 가지는 장점을 가진다. 그러나 이와 같은 마커는 사람이 봐서는 어떤 의미를 가진 마커인지 인지하기가 쉽지 않다. 예를 들어, (그림 1)에 나타나 있는 ARTag의 마커는 숫자 1을 나타내는데, 이를 사람이 기억하기란 어려운 일이다. 그런데 응용에 따라서는 사람이 의미를 쉽게 인지 할 수 있는 마커를 사용해야 할 경우가 있다. 이러한 응용을 위하여 ARToolkit, 참고문헌 [7, 8] 등에서는 알파벳, 숫자, 기호 등 사람이 인지 가능한 일반형 마커를 사용하였다. ARToolkit는 착용 가능한 컴퓨터를 입은 사용자가 낯선 건물에서 마커를 인식함으로써 자신의 위치를 파악하고 원하는 장소에 찾아가기 위한 정보를 얻는 등의 증감 현실을 위한 여러 가지 용도로 활용되었다[9,10,11]. 참고문헌 [12]에서는 ARToolkit을 이용하여 프로그래머가 개발한 게임에 쉽게 적용할 수 있고 사용자들에게 보다 나은 게임성을 제공하는 인터페이스를 제안하였다. 참고 문헌 [7]에서는 원격 교육을 위한 촬영에서 마커를 추적함으로써 카메라를 자동으로 조정하는 용도로 활용하였다. 참고 문헌 [8]에서는 로봇이 마커를 인식함으로써 자신의 위치를 파악하는데 활용하였다.

본 논문에서는 마커 인식을 전신 마비 환자와 같이 거동이 많이 불편한 환자가 주변 환경에 놓여 있는 기기들에 대한 제어를 지시하거나 간호사를 호출하는 등의 간단한 의사소통에 활용할 수 있도록 하는 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법에서는 환자가 컴퓨터에 연결된 카메라와 HMD (Head Mounted Display)를 착용하고 있는 것을 가정한다. 그리고 손, 발 등을 이용하여 컴퓨터에 입력할 수 없는 것으로 가정한다. 손, 발을 이외의 입력 도구 방법으로 본 논문에서는 눈 주위의 전위차를 측정하여 안구의 움직임을 감지하는 장치를 활용하였다. 그리고 제어하고자 하는 기기가 수행할 수 있는 동작을 마커로 형상화해서 붙여놓고, 환자가 그 마커를 쳐다보면 카메라를 통하여 그 영상이 HMD에 표시되고 컴퓨터에서는 카메라 영상으로부터 마커를 검출하고 표시해준다. 그러면 환자는 자신이 원하는 동작에 해당하는 마커를 안구를 움직여서 선택하고 눈을 두번 깜빡이면 컴퓨터는 선택된 마커를 인식하여 해당 동작을 수행하게 된다. 이러한 시스템을 위하여 본 논문에서는 마커를 검출하고 인식하는 방법을 제안한다.



(그림 2) 제안된 마커 예

본 논문에서는 먼저 (그림 2)와 같은 형태의 사람이 인지 가능한 마커를 설계하였다. 불특정 다수의 사용자에게 의미 전달을 하는 것이 아니라 사용자를 환자로 국한을 두고 주변 기기에 대한 제어를 목적으로 하는 마커가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 마커에 대해 친근감 있게 접근할 수 있고, 내용의 의미하는 바를 쉽게 알 수 있도록 마커를 설계하였다. 여기에는 라디오, TV, 온도, 전등, 침상 등에 대한 제어와 간호사 호출에 대한 마커가 포함되어 있다. (그림 2)의 두 번째 줄 맨 왼쪽 마커는 텔레비전을 끄게 하는 것을 나타내며, 세 번째 줄 오른쪽 끝의 4개의 마커는 환자가 누워 있는 침상의 높낮이를 조절과 침대 머리 부분의 높낮이를 조절하는 동작을 나타낸다.

(그림 2)와 같은 형태의 마커를 인식하는 대표적인 기존의 방법으로 ARToolkit이 있다. 이 방법에서는 이진화 영상에 대해 마커 영역을 검출한 다음에 마커 영상에 대한 기하학적 불변량(geometrical invariants)을 구하여 미리 정의된 값들과 비교하여 마커를 인식한다. 기하학적 불변량이란 어떤 영상에 회전, 확대, 축소, 이동 등의 변환을 적용하더라도 계속해서 변하지 않는 값들을 의미한다. ARToolkit는 기하학적 불변량을 사용함으로써 수행속도가 아주 빠르지만 마커를 잘못 인식하는 경우가 많고 이진화에 있어서 고정된 임계값을 사용함으로써 조명 변화에 견고하지 못하다는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 본 논문에서는 다중 임계값을 사용하여 조명 변화에 견고하게 하고 주성분 분석을 이용한 학습을 통하여 인식률을 향상시키는 방법을 제안한다.

본 논문의 방법에서는 사각형 형태의 마커 검출을 위하여 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 객체들의 윤곽선을 추출한 다음에 윤곽선을 선분으로 근사화한다. 주변 환경의 밝기에 따라 영상의 명암이 크게 달라지는데, 본 논문에서는 여러 임계값을 사용하여 이진 영상을 구함으로써 조명 변화에 영향을 받지 않도록 했다. 근사화된 선분으로부터 기하학적 특징을 이용하여 사각형을 찾는다. 마커의 사각형 영역을 찾은 다음에는 워핑 기법(warping)을 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 21개일 때에 최대 100%의 인식률을 얻을

수 있었다. 본 논문에서 제안된 마커 인식 방법의 견고성을 살펴보기 위하여 여러 각도에서 마커를 촬영하여 인식 실험을 수행하였고 조명을 변화시켜가면서 촬영하여 인식 실험을 수행해본 결과 두 가지 경우 모두 본 논문에서 제안된 방법이 ARToolkit 보다 더 좋은 성능을 보였다. 그리고 카메라, HMD, 안구 움직임 측정 장치를 착용하고 실험해본 결과 안구를 움직여서 마커를 선택하고 인식할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 방법은 ARToolkit 방법보다 수행속도는 느리지만 실시간으로 동작하는 데에는 문제가 없었다.

본 논문의 2장에서는 안구 움직임 측정에 대해서 설명하고 3장에서는 마커 검출과 인식에 대해서 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

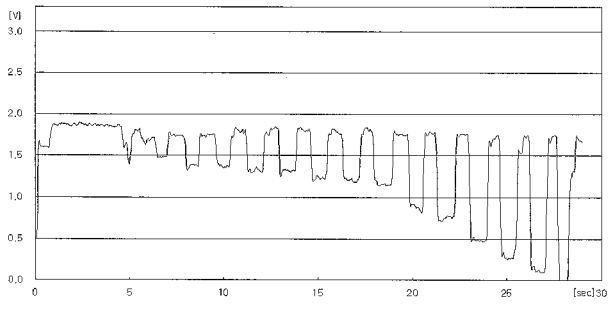
2. 안구 움직임 측정

본 논문에서는 제안된 마커 인식 시스템에서는 사용자의 입력 장치로 안구 움직임 정보를 이용한다. 안구 움직임은 수평과 수직 방향으로 측정 가능한데, 본 논문에서는 (그림 3)과 같이 2개의 전극을 눈 주위에 부착하여 안구의 수평방향 움직임과 깜박임을 측정할 수 있는 방법을 이용한다.[13].

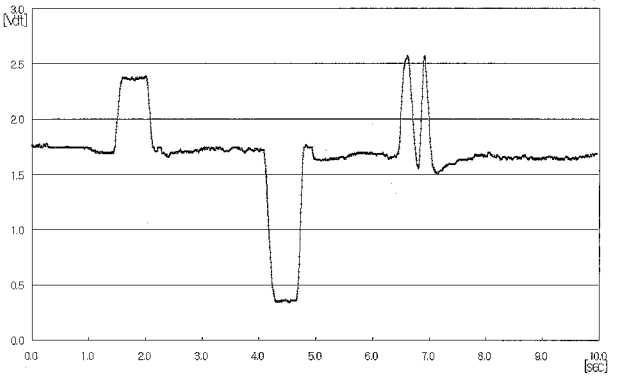
(그림 4)는 약 30 초간 안구의 움직임에 따른 안구전위를 측정한 것이며, 안구가 수평중앙에 있을 때 약 1.8[V]의 DC 전압이 나타나도록 보정하였다. 약 0.7초 동안 우측을 응시하고 0.7초 동안 안구를 중앙으로 복귀시키는 동작을 응시위치를 바꾸면서 반복 측정한 신호다. 응시위치에 비례하여 신호가 측정되므로 안구의 움직임을 이용하여 관심있는 마커위치로 커서를 이동 시킬 수 있다.

눈 주위의 전위차 신호를 이용하여 원하는 마커에 대한 선택기능을 갖게 하기 위해서는 수평 움직임 외에 마우스의 클릭과 대등한 기능을 갖는 신호가 필요하다. 눈의 깜박임 신호를 사용하여 마우스의 클릭 기능을 표현할 수 있다. 아

(그림 3) 안구 움직임 측정을 위한 전극부착



(그림 4) DC 성분이 포함된 EOG 신호

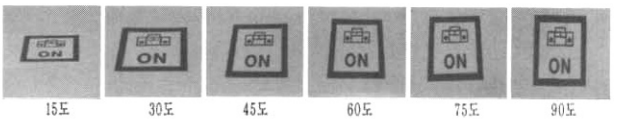


(그림 5) 눈 깜빡임과 안구움직임 측정 EOG 신호

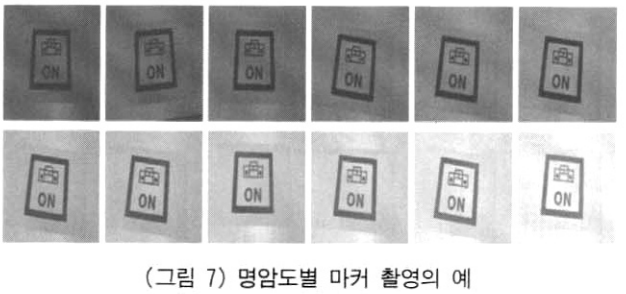
래의 (그림 5)는 눈 깜박임과 안구의 수평움직임을 측정한 EOG(Electro-Oculo-Gram) 신호를 나타낸다. 약 6초에서 7초 사이에 두 번의 눈 깜박임 신호를 관찰할 수 있다. 눈 깜박임은 약 1.5초와 4.5초에 관찰된 안구의 수평움직임과 비교할 때 짧은 순간의 펄스로 관찰된다. 1회의 깜박임은 눈의 피로에 의해 자연적으로 발생될 확률이 높으므로 이용하지 않고 2회의 깜박임을 마우스의 클릭과 같은 선택·기능으로 활용하였다.

3. 마커 검출 및 인식

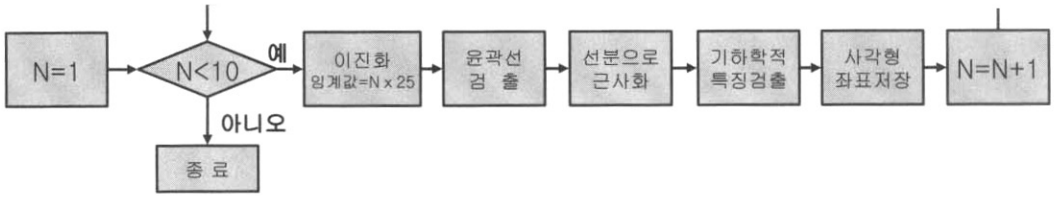
본 논문에서 사용하는 마커의 원래 형태는 정사각형이지만 마커가 놓여있는 평면과 카메라의 상대적인 위치에 따라서 정사각형 형태로 보이지 않을 수 있다. 또한 조명의 변화에 따라 마커의 영상이 달라질 수 있다. (그림 6)에는 마커를 15도, 30도, 45도, 60도, 75도, 90도 각도에서 촬영한 영상이 나타나 있다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 마커와 카메라의 각도에 따라 마커의 각 변의 길이가 달라지고 네 정점의 사이 각이 90도에서 벗어나게 되어 마커의 형태가 정사각형이 아닌 일반 사각형 형태가 된다. (그림 7)에는 조명의 변화를 준 후 촬영된 이미지가 나타나 있다. 본 논문



(그림 6) 각도별 마커 촬영의 예



(그림 7) 명암도별 마커 촬영의 예



(그림 8) 마커 검출 단계

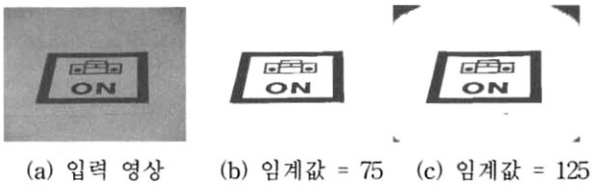
에서는 이와 같이 다양한 각도와 조명 변화에도 동작 가능한 마커 검출과 인식 방법을 제안한다.

3.1 사각형 검출

본 논문의 사각형 마커 검출 과정이 (그림 8)에 나타나 있다. 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, 색을 표현하는 비트수가 8비트 일 때 배경색은 255(white)이고 마커색은 0(black)인 이진 영상으로 변환해서 사용한다. 컬러 입력 영상을 이진 영상으로 변환하기 위해 먼저 256가지의 명암도를 갖는 흑백 영상으로 변환한다. 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 9)에는 입력 영상에 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, 본 논문에서는 객체의 가장자리에 있는 한 픽셀로부터 시작하여 가장자리에 있는 픽셀을 계속 따라가다가 시작점에 도착하면 추적을 멈추는 방법[14]을 사용하였다. 가장자리 픽셀을 탐색해 나가다가 더 이상 연결된 가장자리 픽셀이 없는 경우 또는 탐색의 시작점을 만나는 경우에는 탐색을 종료한다. 윤곽선 검출에 의해 구한 물체의 가장자리 점들을 선분으로 근사화한다. 윤곽선을 구성하는 픽셀들을 선분으로 근사화하는 방법으로 본 논문에서는 Douglas-Peucker 알고리즘[15]이라 불리는 방법을 사용하였다. 선분으로 근사화된 윤곽선이 사각형 마커의 윤곽선인지를 판별하는 조건으로 윤곽선을 구성하는 선분의 수가 4개이고 윤곽선 내부 면적이 100이상이고 이웃한 선분 사이각이 45도에서 135도 사이이며 볼록 다각형이 될 수 있도록 했다. 윤곽선 내부 면적을 검사하는 것은 마커를 인식하기 위해 최소한 마커 영상의 크기가 가로 세로 각각 10 픽셀씩은 되어야 할 것으로 판단했기 때문이다. (그림 10)에는 (그림 9) (a)의 영상에 대한 윤곽선 검출 결과가 나타나 있다.



(a) 입력 영상 (b) 임계값 = 75 (c) 임계값 = 125

(그림 9) 이진화 영상 예

(그림 10) 마커 검출 결과 이미지

(그림 11) 추출된 마커 영상

(그림 12) 직사각형 형태로 워핑된 결과 영상

3.2 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 10)의 영상에 대하여 사각형 마커에 해당하는 영역의 영상만 추출한 결과가 (그림 11)에 나타나 있다.

(그림 11)의 마커 영상과 같이 추출된 마커 영상이 정사각형이 아닌 경우에는 이를 정사각형 형태로 변환을 해주어

(그림 13) 정사각형 형태로 변환된 마커 영상

(그림 14) 이진화 된 마커 영상

야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 먼저 워핑기법[16]을 이용하여 마커 영상을 (그림 12)와 같이 직사각형 형태로 변환한다.

직사각형 형태로 워핑을 수행한 다음에는 확대 또는 축소 연산을 이용하여 표준 크기의 정사각형 형태로 변환한다. (그림 13)에는 (그림 12)의 영상을 정사각형 형태로 변환한 결과가 나타나 있다.

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 9) (a)의 영상에서는 임계값이 50, 75, 100, 125인 경우에 마커가 검출되었는데, 이중에서 임계값이 75를 사용하여 이진화를 수행한다. 이진화 결과는 (그림 14)에 나타나 있다.

3.3 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 $w_1, w_2, \cdots, w_M$가 있고 부류 w_i를 대표하는 표준 패턴을 y_i라 하고 입력 패턴을 x로 나타내기로 하자. 각 패턴을 N차원의 특징 벡터로 나타내면 $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \ldots, y_{iN})$, $x = (x_1, x_2, \ldots, x_N)$이 될 것이다. 그리고 패턴 x와 패턴 y_i의 거리 $D(x, y_i)$는 다음 (식1)로 계산할 수 있다. 최소 거리 식별법에서는 입력 패턴 x를 $D(x, y_i)$의 값이 최소가 되는 부류 w_i로 인식한다.

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

앞 절에서 설명한 방법에 의하여 입력 영상으로부터 구한 정사각형 마커 영상의 크기는 64×64 픽셀이다. 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 분석을 위해서는 먼저 학습 영상을 열벡터인 하나의 특징 벡터로 나타낸다. 그리고 전체 영상에 대한 특징 벡터들을 모아서 하나의 행렬 S를 생성한다. 그리고 행렬 S에 대한 공분산 행렬을 구한 다음에 공분산 행렬에 대한 고유 벡터와 고유 값[17]을 구한다. 고유 벡터들이 주성분 축이 되며 고유 값이 클수록 해당 주성분 축의 중요도가 높아진다. 한 영상의 픽셀수가 N이고 주성분 분석에 사용된 영상의 수가 M개이면, 생성된 행렬 S의 크기는 $N \times M$이 된다. $\boldsymbol{\Phi}_i$를 i번째 영상에 대한 특징 벡터라 하고 영상의 수가 M개일 때에 행렬 S는 다음 (식2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = [\boldsymbol{\Phi}_1 \ \boldsymbol{\Phi}_2 \ \cdots \ \boldsymbol{\Phi}_M] \qquad (식2)$$

행렬 S에 대한 공분산 행렬을 구하기 위해 먼저 평균 벡터 $\boldsymbol{\Psi}$를 다음 (식3)과 같이 구한다.

$$\boldsymbol{\Psi} = \frac{1}{M}\left[\sum_{i=1}^{M} \boldsymbol{\Phi}_i\right] \qquad (식3)$$

평균 벡터 $\boldsymbol{\Psi}$를 구한 다음에는 (식4)와 같이 행렬 S의 각 열벡터로부터 평균 벡터를 빼줌으로써 행렬 A를 생성한다.

$$A = [\boldsymbol{\Phi}_1 - \boldsymbol{\Psi} \ \ \boldsymbol{\Phi}_2 - \boldsymbol{\Psi} \ \ \cdots \ \boldsymbol{\Phi}_M - \boldsymbol{\Psi}] \qquad (식4)$$

행렬 S의 공분산 행렬은 다음과 같이 구할 수 있다. 행렬 A의 크기는 $N \times M$이고 행렬 A^T의 크기는 $M \times N$이므로 (식5)에 의해서 공분산 행렬 C의 크기는 $N \times N$이 된다.

$$C = AA^T \qquad (식5)$$

위와 같이 공분산 행렬을 구한 다음에 고유 벡터와 고유 값을 구함으로써 주성분 축을 구할 수 있다. 그런데, 마커 영상의 경우와 같이 N의 값이 아주 큰 경우에는 공분산 행렬에 대한 고유 벡터를 구하는 것은 고성능 PC의 경우에도 여러 날 이상이 소요된다. 고유 벡터를 빠르게 구하기 위한 방법으로는 다음과 같이 행렬 L을 생성한 다음에 L에 대한 고유 벡터를 구하고 행렬 A를 고유 벡터에 투영하는 방법이 있다. 행렬 A^T의 크기는 $M \times N$이고 행렬 A의 크기는 $N \times M$이므로 (식6)에 의해서 행렬 L의 크기는 $M \times M$이 된다.

$$L = A^T A \qquad (식6)$$

행렬 L에 대해 구한 i번째 고유 벡터를 $\mathbf{x}_i$라 하고 고유 값을 λ_i라 하자. 고유 벡터를 구한 다음에는 (식7)과 같이 고유 벡터를 열로 하는 행렬을 생성한다. 고유 벡터들은 고

유 값에 따라 정렬하여 행렬의 좌측으로부터 우측으로 고유 값이 점점 작아지도록 하자.

$$E=[\mathbf{x}_1\ \mathbf{x}_2\ \cdots\ \mathbf{x}_M] \quad (식7)$$

행렬 L에 대한 고유 벡터로부터 행렬 C에 대한 고유 벡터를 다음 (식8)과 같이 구할 수 있다.

$$V=AE \quad (식8)$$

행렬 V를 구한 다음에는 좌측의 열부터 원하는 수만큼 주성분 축으로 사용하면 된다. 주성분 축을 구한 다음에는 주성분 축에 입력 영상을 투영함으로써 입력 영상들에 대해서 차원이 축소된 특징 벡터를 구할 수 있다.

마커 인식을 위해서는 먼저 주성분 분석에 사용된 마커 영상 $\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_M$에 대해서 특징 벡터 $Z_1, Z_2, \ldots, Z_M$를 구한다. 그리고 인식할 입력 영상이 들어오면 그에 대한 특징 벡터를 구하고 이 벡터와 $Z_1, Z_2, \ldots, Z_M$ 벡터 사이의 거리를 구해서 가장 가까운 거리에 있는 벡터를 찾으면 된다.

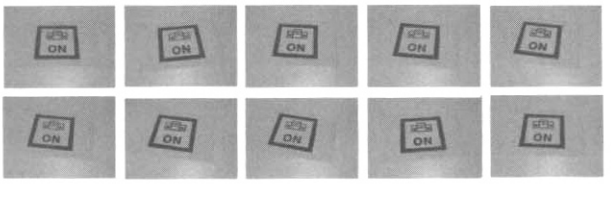
영상 Φ_i를 주성분 축에 투영하여 특징 벡터 Z_i를 구하기 위해서는 다음 식과 같이 먼저 영상 Φ_i로부터 주성분 분석에 사용된 평균 얼굴 벡터 Ψ를 뺀 다음에 고유 벡터 행렬에 대한 전치 행렬과 곱하면 된다. 행렬 V로부터 K개의 열만 선택하고 나머지는 버림으로써 V의 크기가 $N\times K$가 되었을 경우 행렬 V^T의 크기는 $K\times N$이고 행렬 I의 크기는 $N\times 1$이므로 행렬 Z_i의 크기는 $K\times 1$이 된다. 이렇게 함으로써 특징 벡터의 크기를 N에서 K로 줄어들게 되는 것이다. 인식 대상 영상에 대해서도 아래의 (식9)와 (식10)을 동일하게 적용하여 특징 벡터를 구할 수 있다.

$$I=\Phi_i-\Psi \quad (식9)$$

$$Z_i=V^TI \quad (식10)$$

4. 실험 결과

본 논문의 마커 인식시스템의 인식률과 ARToolkit과 인



(그림 15) 마커 촬영 영상

식률을 비교하기 위해 디지털 카메라로 촬영된 영상에 대하여 인식실험을 진행하였다. 동일한 마커에 대해 각도별, 명암도별로 촬영을 한 뒤, ARToolkit을 이용하여 인식 성능을 측정하였고 본 논문에서 제안된 마커 인식 시스템을 이용하여 인식 성능을 측정 한 뒤 비교 분석하였다. 실험에 사용된 전체 마커의 종류는 모두 21개이고 (그림 2)에 나타나 있다.

촬영 각도에 따른 ARToolkit과 본 논문의 마커 인식 시스템의 인식률을 비교하기 위해 15도 보다 작은 각도는 허용하지 않고 15도씩의 각도 변화를 주면서 90도까지 6종류로 촬영각도를 달리하여 실험함으로써 각도의 변화에 따른 인식률의 변화를 살펴보았다. 또한 촬영 각도를 75도로 고정시킨 후 조명을 변화시켜가면서 11종류로 구분해서 실험함으로써 명암도에 따른 ARToolkit과 본 논문의 마커 인식 시스템의 인식률의 변화를 살펴보았다. 각 마커에 대하여 동일 촬영 각도에서 15장의 영상을 촬영하였으며 10장의 영상은 학습에 사용하였고 나머지 5장의 영상은 인식실험에 사용하였다. 하나의 마커에 대한 15장의 영상의 촬영은 (그림 15)와 같이 촬영 각도를 미리 정한 뒤 여러 방향에서 촬영될 수 있도록 하였다. (그림 15)는 하나의 마커에 대해서 촬영각도 60도에서 촬영된 영상 15장 중에서 일부를 보이고 있다. 21개의 마커에 대해 15장씩 모두 315장의 영상으로부터 마커를 검출한 결과 모든 영상에서 마커 영상을 올바르게 검출할 수 있었다.

<표 1>에는 6종류의 각도별로 ARToolkit과 본 논문의 마커 인식 시스템의 인식 실험 결과가 나타나 있다. 표에 나타나 있듯이 ARToolkit을 이용하여 인식한 것과 본 논문의 마커 인식 시스템을 이용하여 인식 실험을 했을 때, 대체적으로 각도의 크기가 증가하면 인식률도 같이 증가되는 것을 볼 수 있다. 본 논문의 방법에서는 몇몇 각도의 경우에 100%의 인식률을 얻을 수 있었는데, 이는 마커의 수가 적고 마커간의 구분이 명확하기 때문인 것으로 분석된다. 마커의 종류가 더 다양하게 추가되거나 유사 마커가 추가되어 인식 실험을 하게 되면 인식률에도 변화가 있을 것으로 분석된다. ARToolkit의 인식률은 마커가 놓인 평면과 카메라 사이의 각이 클수록 인식률도 같이 증가되지만 작은 각도에서는 인식률이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 각도별 인식 결과

각도		15도	30도	45도	60도	75도	90도
인식률 (%)	ARToolkit	70	93	95	93	95	100
	본 논문	96	95	100	99	100	100

〈표 2〉 명암도별 인식 결과

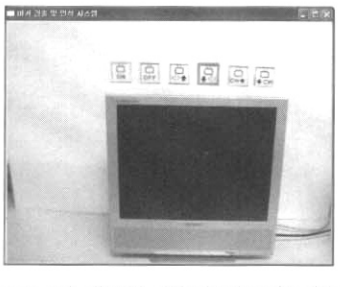
명암변화율(%)		-44.1	-37.0	-29.9	-22.8	-15.7	0	15.9	23.8	31.7	39.6	47.6
인식률 (%)	ARToolkit	0	0	0	91	95	95	95	95	95	95	95
	본 논문	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100

<표 2>에는 명암도의 변화에 따른 ARToolkit과 본 논문의 마커 인식 시스템의 인식 실험 결과가 나타나 있다. <표 2>에서 명암 변화율은 조명을 달리하면서 촬영한 각 실험 집합에 대하여 평균 명암도를 구하고 기준 값에서 얼마나 벗어나는지를 비율로 표시한 것이다. 실험 결과 본 논문의

마커 인식 시스템은 명암의 변화가 인식률에는 큰 영향이 주지 않는다는 것을 알 수 있다. ARToolkit은 밝은 명암도에서는 비슷한 인식률을 보이다가 어두운 명암도에서는 인식률이 떨어지다가 전혀 인식을 못하는 것을 볼 수 있다. 이는 ARToolkit의 경우 조명 변화가 인식률에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 본 논문에서 제안하는 마커 인식 시스템은 흑백 영상이 가질 수 있는 명암도 값을 일정 간격의 여러 임계값으로 지정하여 사용하였기 때문에 조명의 변화에도 불구하고 안정적인 인식률을 얻을 수 있었다. 이와 같이 본 논문에서 제안하는 마커 인식 시스템은 각도의 변화와 명암도의 변화에 안정적인 인식률을 보임을 알 수 있다.

정지영상에 대한 인식 실험 다음에는 USB 타입 카메라의 실시간 입력 영상으로부터 마커를 검출하고 인식하는 실험을 수행하였다. Pentium IV 3.2GHz CPU, 1GB의 메인메모리를 가진 컴퓨터의 윈도우즈 환경에서 입력 영상의 크기를 320×240 픽셀로 사용한 경우에 본 논문의 시스템은 평균적으로 마커 검출에 0.081초가 소요되었고 마커 인식에는 0.075초가 소요되었다. 이에 반하여 ARToolkit은 마커 검출과 인식에 0.036초가 소요되었다. 본 논문의 시스템에서는 마커 검출은 매 프레임마다 수행되고 마커 인식은 사용자가 원할 때에만 수행되므로 사용자가 느끼는 동작 시간은 마커 검출 시간에 의해 결정된다. 따라서, ARToolkit은 초당 30 프레임의 속도록 동작할 수 있는 반면에, 본 논문의 시스템은 초당 12프레임의 속도로 동작할 수 있다. 본 논문의 시스템이 ARToolkit보다 느리기는 하지만 사용자가 실시간으로 마커를 검출하고 인식하는 데에는 문제가 없는 속도이다. 실험을 위해서 (그림 16)은 EOG 측정을 위해 전극을 부착한 다음 소형 카메라와 HMD를 착용한 모습이다.

(그림 16) EOG 전극, 카메라, HMD 착용 모습



(그림 17) 카메라 영상으로부터의 마커 검출 예

(그림 17)에는 TV에 대한 마커가 검출된 모습이 나타나 있다. 모두 6개의 마커가 검출되었으며 왼쪽에서 4번째 마커가 현재의 마커로 선택된 상태이다. 안구를 좌우로 움직이면 현재 마커가 그에 따라 변경되게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 중증 환자를 위하여 주변 환경에 놓여 있는 기기들에 대한 제어와 간호사를 호출하는 간단한 의사소통 등을 위한 몇 가지 사각형 형태의 마커를 제시하고 이 마커들을 카메라 영상으로부터 검출하고 인식하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 다양한 조명하에서 안정적인 마커 검출을 위하여 다중 임계값을 이용하여 입력 영상을 이진 영상으로 변환하고 선분 근사화와 기하학적 특징을 이용하여 마커를 검출하였다. 마커를 검출한 다음에는 워핑 기법을 이용하여 사각형 마커 영상을 정사각형 형태로 정규화하고 여러 각도에서 촬영된 영상을 사용한 주성분 분석을 통하여 인식을 수행함으로써 다양한 각도에서도 안정적으로 마커를 인식할 수 있도록 하였다. 실험결과 본 논문에서 제안된 방법은 ARToolkit 보다 속도는 느리지만 실시간으로 동작할 수 있고 조명의 변화나 촬영 각도의 변화에 있어서 보다 더 신뢰할만한 인식률을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안된 방법은 향후에 장애자나 누워 있는 환자, 지체부자유자에 대해서 주변 환경과 의사소통 할 수 있는 보다 더 다양한 마커를 개발하고 인식함으로써 의사를 표현하는 방법의 하나로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[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] Y. Kishino, M. Tsukamoto, Y. Sakane, S. Nishio, "Realizing a visual marker using LEDs for wearable computing environment," In Proc. of International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp. 314-319, 2003.

[3] I. Poupyrev H. Kato, M. Billinghurst. ARToolkit User Manual, Version 2.33. Human Interface Technology Lab, University of Washington, 2000.

[4] Fiala, M., "ARTag, a fiducial marker system using digital techniques," In Proc. of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.590-596, 2005.

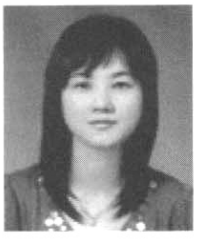
[5] X. Zhang, Y.Genc, and N.Navab, "Mobile computing and industrial augmented reality for real-time data access," In Proc. of IEEE Int'l Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2001.

[6] M. Appel and N. Navab, "Registration of technical drawings

and calibrated images for industrial augmented reality," In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2000.
[7] N. Osawa, K. Asai, "Distributed automatic camera control system tracking markers for distance education," In Proc. of International Conference on Information Technology: Research and Education, pp. 377-381, 2005.
[8] G. Adorni, G. Destri, M. Mordonini, F. Zanichelli, "Robot self-localization by means of vision", In Proc. of Euromicro Workshop on Advanced Mobile Robot, , pp. 160-165, 1996.
[9] H. Slay, B. Thomas, R. Vernik, "Using ARToolkit for passive tracking and presentation in ubiquitous workspaces," In Proc. of International Augmented Reality Toolkit Workshop, pp. 46-53, 2003.
[10] A. Woolard, V. Lalioti, N. Hedley, J. Julien, M. Hammond, N. Carrigan, "Using ARToolKit to prototype future entertainment scenarios," In Proc. of International Augmented Reality Toolkit Workshop, pp. 69-70, 2003.
[11] W. Piekarski, B.H. Thomas, "Using ART1oolKit for 3D hand position tracking in mobile outdoor environments", In Proc. of International Augmented Reality Toolkit, 2002.
[12] 이준배, 백성욱, "ARToolkit을 이용한 비젼 기반 게임 컨트롤 인터페이스", 2006차세대컴퓨팅컨퍼런스 학술발표논문집, pp.145-149, 2006.
[13] 강선경, 정성태, 이상설, "착용형 컴퓨팅 환경을 위한 안구 움직임 측정회로 및 얼굴인식시스템", 한국차세대PC학회 논문지, 제2권 1호, pp.7-16, 2006.
[14] 이의철, 박강령, "눈동자 시선 추적에 의한 3차원 1인칭 슈팅 게임", 정보처리학회논문지B, 제12-B권 제4호, pp.465-472, 2005.
[15] 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.
[16] R. Crane, "A simplified approach to image processing," Prentice Hall, 1997.
[17] D.S. Watkins, "Fundamentals of Matrix Computation," A John Wiley and Sons, Inc. 2002.

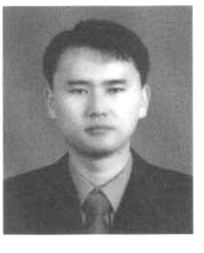
소 인 미

e-mail : s0301@wku.ac.kr
1994년 2월 원광대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2002년 8월 원광대학교 정보컴퓨터교육전공 (교육학석사)
2004년 3월~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야 : 영상인식, 컴퓨터 비젼, 영상처리



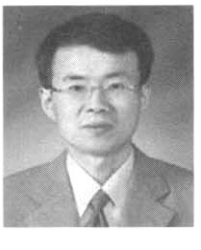
강 선 경

e-mail : doctor10@wku.ac.kr
2000년 2월 원광대학교 전기전자및정보공학부 (공학사)
2004년 2월 원광대학교 정보컴퓨터교육전공 (교육학석사)
2006년 3월~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야: 휴먼 컴퓨터 인터페이스, 영상처리, 영상인식, 임베디드시스템



김 영 운

e-mail : kyw1007@wku.ac.kr
2003년 2월 원광대학교 전기전자및 정보공학부(공학사)
2005년 8월 원광대학교 컴퓨터 공학과 (공학 석사)
2006년 3월~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정
1994~1999 영원한친구 개발팀장
2000~현재 파라(PARA) 대표
2003~현재 원광보건대학 정보컨텐츠과 겸임교수
관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 영상처리, EAI, XML



정 성 태

e-mail : stjung@wku.ac.kr
1987년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1989년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
1995년 3월~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부교수
관심분야 : 영상인식, 영상처리, 컴퓨터 그래픽스