JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 3 : 636~642 Mar. 2017

동심원 확장 및 추적 알고리즘을 이용한 손동작 인식

황동현 · 장경식*

Hand-Gesture Recognition Using Concentric-Circle Expanding and Tracing Algorithm

Dong-Hyun Hwang · Kyung-Sik Jang*

School of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 31253, Korea

요 약

본 논문은 동심원 확장 및 추적 기법을 이용하여 손동작을 인식하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 웹 카메라로부터 영상을 입력받아 전처리 과정을 통해 손 영상에 대한 ROI를 추출한 뒤 동심원을 사용하여 펴진 손가락의 개수뿐만 아니라 손가락의 끝점, 손가락의 기저의 위치정보, 손가락 사이의 각도를 추출하여 HCI분야에서 활용할 수 있는 다양한 입력 방법을 제공한다. 또한 이 알고리즘은 이미지 전체의 화소를 참조하는 래스터 스캔방식과 비교하여 동심원을 구성하는 화소만을 참조함으로서 계산복잡도를 줄일 수 있다. 제안하는 알고리즘은 9가지의 손동작을 평균 90.7%의 인식률과 평균 78ms의 수행속도를 보여줌을 확인했고, 가상현실, 증강현실 및 혼합현실 그리고 HCI 분야 전반의 입력수단으로의 적용가능성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, We proposed a novel hand-gesture recognition algorithm using concentric-circle expanding and tracing. The proposed algorithm determines region of interest of hand image through preprocessing the original image acquired by web-camera and extracts the feature of hand gesture such as the number of stretched fingers, finger tips and finger bases, angle between the fingers which can be used as intuitive method for of human computer interaction. The proposed algorithm also reduces computational complexity compared with raster scan method through referencing only pixels of concentric-circles. The experimental result shows that the 9 hand gestures can be recognized with an average accuracy of 90.7% and an average algorithm execution time is 78ms. The algorithm is confirmed as a feasible way to a useful input method for virtual reality, augmented reality, mixed reality and perceptual interfaces of human computer interaction.

키워드 : 손동작 인식, 손 추적, 인간-컴퓨터 상호작용, 컴퓨터 비전

Key word : Hand Gesture Recognition, Hand Tracking, Human-Computer Interaction, Computer Vision

Received 11 October 2016, **Revised** 25 October 2016, **Accepted** 31 October 2016

* **Corresponding Author** Kyung-Sik Jang(E-mail:ksjang@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1352)
School of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 31253, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.636 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 가상현실, 증강현실 기술이 발달함에 따라 기존의 키보드와 마우스를 대체하는 새로운 입력 인터페이스에 관련된 기술이 요구되어지고 있다. 이중 손동작은 언어적 의사소통 수단인 음성에 준할 정도로 의사전달력이 큰 것으로 알려져 있다. 또한 동작이 자연스럽고 직관적이며 사용자의 학습이 용이한 장점이 있다. 이에 따라 최근 손동작 인식을 위한 다양한 연구가 수행되어지고 있다. 이중 비전 기반의 손동작 인식 방식은 데이터 글로브와 같이 사용자에게 별도의 장치의 착용을 요구하지 않음으로서 사용자가 장치의 착용에 따른 불편함과 부자연스러움을 느끼지 않기 때문에 최근의 연구는 주로 비전을 이용한 손동작 인식이 주가 되고 있다. 대표적으로 템플릿 매칭을 이용하여 손가락 끝점을 인식하는 방법과 Convex Hull과 Convexity Defects를 이용한 방법, 그리고 1D Sequence를 이용하여 외곽선을 분석하여 손가락의 개수를 측정하는 방법 등이 있다.

본 논문에서 기존에 진행하였던 동심원 추적 알고리즘을 개선시킨 동심원 확장 및 추적 알고리즘을 제안한다. 기존의 동심원 추적을 이용한 손가락 동작 인식 연구에서 두 개의 동심원을 이용해 완전히 접힌 손가락의 개수 및 반만 접힌 손가락의 개수를 특징으로 추출하여 손가락의 동작을 인식할 수 있었다[1]. 제안하는 알고리즘은 여러 개의 동심원을 확장시키며 기존의 알고리즘에서 측정할 수 없었던 손가락의 끝점과 펼쳐진 손가락의 개수를 정확하게 측정한다. 또한 손가락의 기저를 찾아내는 방법을 제안하여 어떤 손가락이 펼쳐져 있는지 추후의 연구에서 찾아낼 수 있는 단서를 제공한다. 그리고 펼쳐진 손가락 사이의 각도를 측정하여 펼쳐진 손가락의 개수가 같더라도 서로 다른 손동작을 구별할 수 있도록 하였다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1. 템플릿 매칭을 이용하는 방법

Oka[2]는 손가락의 끝점을 원 모양의 템플릿을 이용하여 검출하고 손동작을 인식하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 간단하게 손 끝 부분을 찾을 수 있는 장점이 있다. 하지만 이 방법은 많은 연산을 요구하고 손의 회전에 의해 잘못된 매칭이 발생할 수 있다[3].

2.2. Convex Hull과 Convexity Defects를 이용하는 방법

Nagarajan[4]은 손의 외곽선에 대한 Convex Hull과 Convexity Defects를 구하여 손가락의 개수와 손가락의 끝점을 구하는 방법을 제안하였다. HSV 색공간을 이용해 피부색을 추출하는 방식으로 손 영역을 인식하였고 특징점으로 손가락의 개수만을 사용하여 다양한 손동작을 인식하기에는 어려움이 있다.

2.3. 1D Sequence를 이용하는 방법

Malima[5]는 손의 COG(Center of Gravity)를 중심으로 그린 한 개의 동심원을 이용하여 손의 외곽선을 분석하는 방법으로 펼쳐진 손가락의 개수를 측정하여 손동작을 인식하는 방법을 제안했다. 이 방법은 알고리즘 수행 속도가 매우 빠르지만 2.2.의 방법과 같이 매우 제한된 손가락 동작을 인식한다[6]. 다른 방법으로는 COG로부터의 손의 외곽선의 거리를 구한 뒤 미분을 통해 값이 음수에서 양수로 변하는 점을 손가락 끝점으로 인식하여 손동작을 인식하는 방법이 있다. 일반적으로 손가락 끝점 부근의 외곽선이 손상되면 미분된 거리 값 또한 손상되기 때문에 인식률에 문제가 생기지만 이 연구에서는 평균 필터를 적용하여 손상된 외곽선에 의한 미분 값의 오류를 최소화 시켰다[7].

Ⅲ. 동심원 확장 및 추적 알고리즘

제안하는 손동작 인식 시스템의 구조도는 다음의 그림 1과 같다.

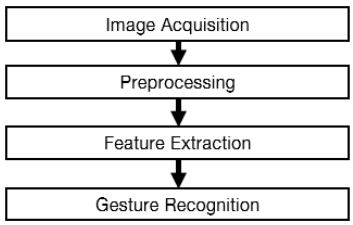


Fig. 1 System structure of gesture recognition

본 시스템은 카메라로부터 입력받은 영상의 노이즈를 제거하고 손 영역을 추출하여 ROI를 설정하는 전처

리 과정과 제안하는 알고리즘을 통해 손동작의 인식에 필요한 특징을 추출하는 과정 그리고 추출된 특징을 통해 손동작을 식별하는 손동작 인식 과정으로 구성되어 있다.

3.1. 전처리

전처리 과정에서는 입력받은 영상에서 손 영역의 ROI를 추출하며 과정은 그림 2와 같다.

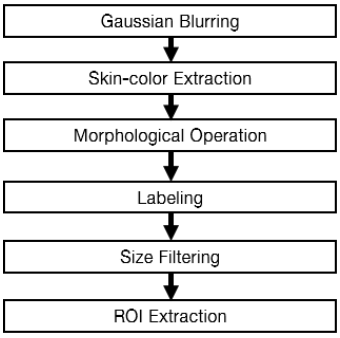


Fig. 2 Procedure of preprocessing

카메라로부터 입력받은 영상의 가우시안 노이즈를 제거하기 위해 가우시안 블러를 적용하였다. 사용한 가우시안 커널은 σ가 1이고 크기가 7×7이다.

영상에서 손 영역의 ROI를 정하기 위해 피부색 추출 기법을 사용하였고 피부색 추출률이 높은 YCbCr 색공간을 이용하여 피부색을 추출하였다[8].

피부색 추출 기법을 통해 얻은 이진영상에는 노이즈 및 홀이 존재할 수 있다. 이를 제거하기 위해서 모폴로지 연산을 수행하였다. 모폴로지 연산을 수행해도 노이즈의 크기가 크거나 영상 내에 피부색과 유사한 물체가 있어 실제 손 영역 외에 다른 부분이 이진영상에 남아 있을 수 있고 이 부분들은 인식 알고리즘의 수행 이전에 제거되어야만 한다. 이를 위해 이진영상에 레이블링을 수행한 후 사이즈 필터를 적용하여 레이블들 중 가장 큰 영역을 손으로 판정하고 나머지 레이블들은 영상에서 제거한다. 또한 최종적으로 남은 레이블의 영역의 크기가 지나치게 작은 경우 손이 아닌 다른 물체나 노이즈로 판단하여 레이블을 영상에서 제거한다. 이 과정들을 통해 최종적으로 남은 레이블을 손 영역의 ROI로 설정한다. 전처리 과정을 수행함에 따른 영상의 변화 및 손 영역의 ROI는 그림 3과 같다.

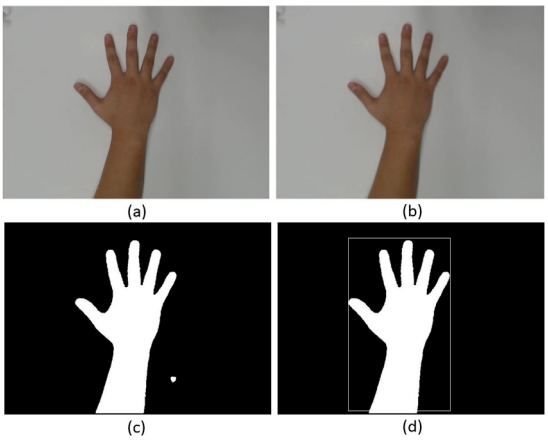


Fig. 3 Image preprocessing (a) Original image (b) Gaussian blurred image (c) Image after morphological operation (d) ROI definition

3.2. 특징점 추출 및 손동작 인식

특징점 추출 과정에서는 동심원 확장 및 추적 알고리즘을 사용하여 펼쳐진 손가락의 개수와 끝점 그리고 손가락의 기저 부분을 추출한다. 본 논문에서 제안하는 특징점 추출의 과정은 그림 4와 같다.

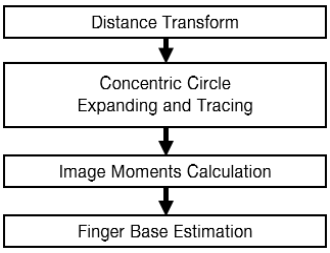


Fig. 4 Procedure of feature extraction

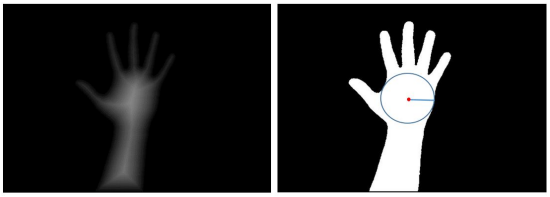
먼저 손바닥의 COG와 반지름을 구하기 위해 거리변환을 활용하고 COG로부터 동심원을 확장하여 특징점을 추출하는 동심원 추적 및 확장 알고리즘을 수행한다. 다음으로 앞서 구한 특징점과 이미지 모멘트를 이용하여 손가락의 기저를 추정하는 과정을 수행한다.

3.2.1. 거리변환

동심원 추적 및 확장 알고리즘을 수행하기 위해서는 손바닥의 COG과 반지름을 구해야 한다. 따라서 이진영상에 식 (1)의 거리변환행렬을 적용하여 유클리디안 거리 값을 갖는 거리변환영상을 구한다.

$$\begin{pmatrix} \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} \end{pmatrix} \tag{1}$$

거리변환영상에서 화소의 값이 최대로 되는 지점과 그 화소 값을 각각 손바닥의 중심점과 반지름으로 판단한다. 거리변환영상과 손바닥의 COG, 반지름을 이진영상에 표시한 결과는 그림 5와 같다.



(a) (b)

Fig. 5 Acquisition of COG of hand (a) Image after distance transform (b) COG, palm radius, palm area of hand image

3.2.2. 동심원 확장 및 추적 알고리즘

거리변환 단계에서 구한 COG를 중심으로 식 (2)과 같이 반지름을 증가시키면서 동심원을 그리고 추적하여 특징점을 추출한다.

$$\begin{aligned} &\triangle r = R_0 \times 0.2 \\ &R_k = R_0 + \triangle r \times k\,,\ 1 \le k \le n \end{aligned} \tag{2}$$

식에 정의된 R_0는 앞서 구한 손바닥의 반지름이고 $\triangle r$은 동심원의 반지름이 증가되는 정도로 R_0에 경험적 상수 0.2를 곱한 값이다. k는 알고리즘에서 그려지는 동심원의 단계를 의미하며 1부터 동심원이 더 이상 손가락을 찾지 못하는 시점인 n단계까지의 범위를 가진다. 예를 들어 R_k는 k번째 순서에 그려지는 동심원의 반지름이다.

다음단계는 동심원과 손가락의 교점을 이용하여 특징점을 찾는 과정이다. 반지름이 R_k 인 동심원을 구성하는 좌표를 시계방향으로 탐색하여 손가락과 만나는 교점을 $P_k^l(i,j), 1 \le l \le (2 \bullet F(k)),\ \ 1 \le F(k) \le 5$ 라 한다. i,j는 영상의 좌표이고 l은 시계방향으로 탐색하여 찾아지는 교점의 순서를 의미하며 손가락의 개수에 따라 최대 10까지 범위를 가질 수 있다. $F(k)$는 k번째에서 동심원에서 찾은 손가락의 개수이며 1에서부터 5까지의 범위를 가진다. $P_k^l(i,j)$를 구하기 위해서 해당 좌표의 이진영상의 화소 값이 0에서 255로 바뀌는 순간과 255에서 0으로 바뀌는 순간의 화소의 좌표들을 구하고 이들 중 COG의 좌표인 $COG(i,j)$의 i보다 큰 좌표들을 제외시킨다. 그리고 $P_k^l(i,j)$과 $P_k^{l+1}(i,j)$의 중심점의 좌표는 $C_k^s(i,j), 1 \le s \le F(k)$라 한다. s는 손가락의 교점의 중심점의 순서를 의미하며 손가락의 개수에 따라 1 부터 5까지의 범위를 갖는다.

손가락의 기저를 구할 때 각 손가락의 각도를 구하기 위하여 이전의 R_{k-1}크기의 반지름의 동심원에서 구한 $P_{k-1}^l(i,j)$, $C_{k-1}^s(i,j)$가 있다면 현재 구한 $P_k^l(i,j)$, $C_k^s(i,j)$와 동일한 손가락끼리 그룹화 시켜야 한다. 이를 위해 현재 찾은 $C_k^s(i,j)$와 이전에 구한 $C_{k-1}^s(i,j)$들과의 맨해튼 거리를 각각 구한 뒤 거리가 가장 짧은 $C_{k-1}^s(i,j)$가 $C_k^s(i,j)$와 같은 손가락임을 확인할 수 있고 이를 통해 현재 $P_k^l(i,j)$, $C_k^s(i,j)$와 이전 $P_{k-1}^l(i,j)$와 $C_{k-1}^s(i,j)$를 같은 손가락끼리 그룹화 시킬 수 있다. 다음으로 손가락의 정확한 끝점을 구하기 위해 두 개의 동심원 사이를 정밀하게 탐색하는 방법을 설명한다. $F(k)$가 만약 $F(k-1)$보다 작으면 R_{k-1}과 R_k사이의 동심원에 손가락의 끝점 $T_s(i,j)$가 존재함을 의미한다. 이 경우에는 두 동심원 사이를 정밀하게 탐색하여 두 동심원의 반지름 사이의 손가락의 끝점 $T_s(i,j)$가 위치하는 반지름 $R_T^{'}$을 구해야하고 이를 위한 식 (3)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\triangle r_0^{'} = \triangle r \times 0.5 \\ &\triangle r_{t+1}^{'} = \triangle r_t^{'} \times 0.5 \\ &R_0^{'} = R_k^{'} - \triangle r_t^{'} \end{aligned} \tag{3}$$

t는 R_{k-1}과 R_k사이의 반지름의 순서를 표시하는 새로운 변수이며 $\triangle r_t^{'}$은 $R_t^{'}$에 대한 반지름의 증가량을 의미한다. 만약 $F(t) = F(t-1)$이면 이전 $P_{t-1}^l(i,j)$, $C_{t-1}^s(i,j)$와의 손가락의 그룹을 갱신하고 식 (4)을 이용하여 새로운 $R_{t+1}^{'}$을 구하다. 반면 $F(t) < F(k)$인 경우 식 (5)을 이용하여 $R_{t+1}^{'}$을 구한다.

$$R_{t+1}^{'} = R_t^{'} + \triangle r_{t+1}^{'} \tag{4}$$

$$R'_{t+1} = R'_t - \triangle r'_{t+1} \tag{5}$$

이 과정은 $\triangle r'_t$값이 기준 값보다 작아질 때 까지 수행되고 이렇게 구한 최종적인 반지름을 R'_T이라고 한다. $C^s_T(i,j)$중 $C^s_k(i,j)$의 손가락 그룹에 포함되지 않은 $C^s_T(i,j)$를 손가락의 끝점인 $T_s(i,j)$로 판단한다. 그림 6은 동심원 확장 및 추적알고리즘을 통해 특징점을 구하는 과정을 도식화한 것이다.

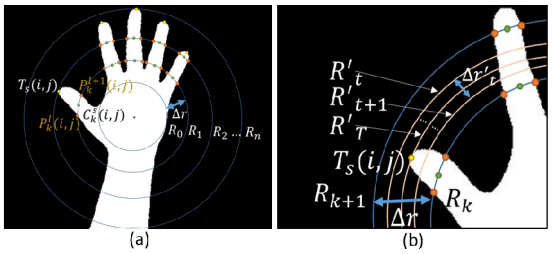


Fig. 6 Concentric-Circle Expanding and Tracing Algorithm (a) Feature and notations of algorithm (b) Finding a finger-tip

3.2.3. 손가락의 기저 추정

제안하는 알고리즘에서는 손가락의 움직임에도 각도의 변화가 적은 손가락의 기저를 추정하고자 하였다. 손가락의 기저는 그림 7과 같고 손바닥의 중심점을 기준으로 구한 손가락의 기저의 각도를 $\theta_b(s)$로 표현한다.

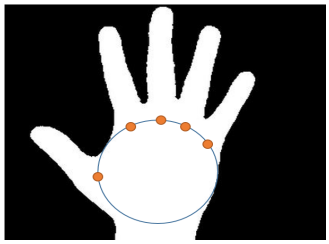


Fig. 7 Finger bases

기저를 구하기에 앞서 먼저 팔의 각도를 구해야 한다. 팔의 각도 θ_{arm}은 영상의 모멘트를 이용해 구할 수 있고 수식은 식 (6)과 같다[9].

$$\theta_{arm} = \frac{1}{2} tan^{-1}\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}\right) \times \frac{\pi}{180} \tag{6}$$

μ는 이미지 모멘트 중 central 모멘트이다. 손가락의 기저를 추정하기 위해서는 앞서구한 $T_s(i,j)$와 $C^s_1(i,j)$간의 각도 $\theta_f(s)$와 유클리디안 거리 $D_f(s)$를 구한다. 그 다음 손가락의 기저의 위치 $B_s(i,j)$를 추정하기 위해 다음의 식 (7)를 사용한다.

$$\begin{aligned} B_s(i) &= C^s_1(i) - (D_c(s) - (D_f(s) + R_0)) \times \cos(\theta_f(s)) \\ B_s(j) &= C^s_1(j) + (D_c(s) - (D_f(s) + R_0)) \times \sin(\theta_f(s)) \end{aligned} \tag{7}$$

$D_c(s)$는 $COG(i,j)$와 $T_s(i,j)$의 유클리디안 거리를 의미한다. $COG(i,j)$을 중심으로 하여 $B_s(i,j)$와의 각도 $\theta_c(s)$를 구하고 $\theta_c(s)$를 팔의 움직임에 따라 보상한 각도 $\theta_b(s)$를 구하기 위해 다음의 식 (8)을 사용한다.

$$\theta_b(s) = \theta_c(s) + \theta_{arm} \tag{8}$$

이렇게 구한 $\theta_b(s)$는 팔이 움직일 때마다 이전 프레임과 현재 프레임의 팔의 각도의 차이만큼을 보상해준다. 이를 통해 매 프레임마다 팔이 변화에 따른 $\theta_b(s)$의 오차를 최소화 할 수 있다. 그림 8은 손가락의 기저를 추정할 때 사용하는 특징점들에 대하여 도식화한 것이다.

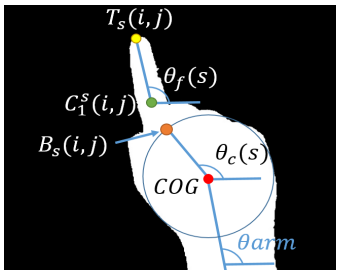


Fig. 8 Estimating a base of finger

3.2.4. 손동작 인식

앞서 구한 손가락의 끝점 및 손바닥의 중심점을 이용하여 펼쳐진 손가락의 개수 N를 식 (9)을 이용하여 측정한다.

$$\begin{aligned} D &= R_0 \times 1.8 \\ N(s) &= \begin{cases} 1 & \text{if } D_c(s) \geq D \\ 0 & \text{if } D_c(s) < D \end{cases} \\ N &= \sum_{1}^{MAX(F(k))} N(s) \end{aligned} \tag{9}$$

$MAX(F(k))$는 알고리즘을 통해 찾은 $F(k)$ 값 중 가장 큰 값이다. D는 손가락의 펼침 여부를 확인하는 기준 거리로서 손바닥의 반지름 R_0에 경험적 상수 1.8을 곱한 값이다. $N(s)$는 s번째 손가락의 접힘 유무를 1, 0으로 표현한다. 본 논문에서는 펼쳐진 손가락의 사이의 각도를 통해 손동작을 구분하는 방법을 제안한다. 손가락 사이의 각도구하기 위하여 먼저 $COG(i,j)$을 기준으로 펼쳐진 손가락의 $T_v(i,j)$의 각도를 나타내는 $\theta_t(v), 1 \le v \le N$을 구한다. v는 펼쳐진 손가락들의 순서이다. 그 다음 손가락 사이의 각도인 $\theta_g(u)$를 식 (10)을 이용하여 구한다.

$$\theta_g(u) = \theta_t(u+1) - \theta_t(u), 1 \le u \le (N-1) \quad (10)$$

u는 θ_t간의 각도를 구할 때 사용하는 변수이며 1부터 $N-1$까지의 범위를 갖는다. 상기한 알고리즘을 통해 구해진 특징점들을 분류하여 사용자가 취한 손동작을 판단한다.

Ⅳ. 실험 및 평가

알고리즘의 실험은 표 1과 같은 환경에서 실시하였다.

Table. 1 Experimental environments

CPU	Intel Core I7 2700 3.5GHz
RAM	8GB
Web-camera	2.0M, VGA(640X480)

실험에 사용한 샘플영상의 손동작은 제시하는 알고리즘이 인식할 수 있는 손동작 중 9개를 선정한 것이며 20명의 사람들로부터 각 손동작 별로 10장씩 총 1800장의 영상을 촬영하였다. 실험에 사용한 손동작은 그림 9와 같고 실험 결과는 표 2와 같다.

실험결과 모든 손동작에 대한 평균 인식률은 90.7%로 확인되었다. 단순히 손가락을 피는 동작의 G1 ~ G6 손동작의 평균 인식률은 95%를 달성하였으며 특정 손동작은 100% 인식률을 달성함을 확인할 수 있었다. 하지만 손가락 사이의 각도를 활용하는 G7 ~ G9의 경우 인식률이 평균 81%대에 그치고 있다.

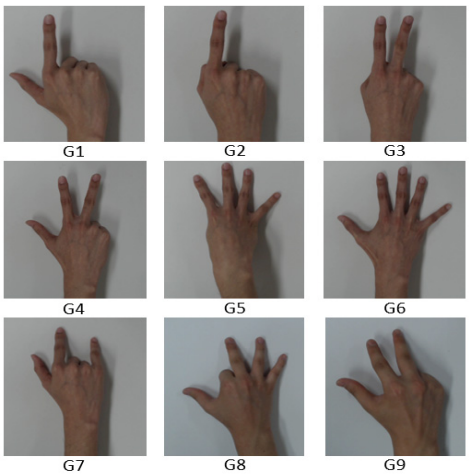


Fig. 9 Set of gestures

Table. 2 Experimental Result of Gesture Recognition

Gesture Type	Recognition Result	Accuracy (%)
G1	186 / 200	93
G2	200 / 200	100
G3	198 / 200	99
G4	186 / 200	93
G5	191 / 200	95.5
G6	180 / 200	90
G7	171 / 200	85.5
G8	151 / 200	75.5
G9	170 / 200	85

인식에 실패한 손동작의 영상에 대해 분석한 결과 피험자 마다 같은 손동작을 취하게 하여도 평소의 습관에 의해 제시한 샘플과 다른 손동작을 취한 경우가 대부분이었고 특히 손가락의 사이 각도를 사용한 G7 ~ G9 손동작에서 이 같은 두드러졌다. 나머지의 경우 피부색 추출, 알고리즘 수행 등의 과정에서 문제가 생긴 경우였다. 영상 1개당 알고리즘의 평균 처리속도는 78ms를 보였다.

Ⅴ. 결 론

이번 연구에서는 카메라로부터 영상을 입력받아 전처리과정을 수행 후 손의 영역을 추출한 뒤 동심원 확장 및 추적 알고리즘을 이용하여 특징점을 추출 후 손

동작을 인식하는 방법을 제안하였다. 그리고 실험을 통해 손동작의 평균 인식률이 90.7%이고 평균 수행속도가 78ms인 것을 확인할 수 있었다.

제안하는 알고리즘을 통해 추출되는 다양한 특징점들을 통해 인식할 수 있는 다양한 손동작들을 활용하여 증강현실 및 가상현실 시스템의 몰입도를 높일 수 있는 입력 인터페이스로 적용가능성을 확인할 수 있었다.

특징점 중 손가락 사이의 각도를 활용한 손동작의 인식률이 낮은 점은 추후 개선이 요구되고 알고리즘을 통해 추출되는 다양한 특징점을 활용하여 추후에는 특정 손가락의 접힘과 펴짐 및 손가락들의 붙임 여부를 인식할 수 있도록 하여 더욱 다양한 손동작을 인식할 수 있도록 알고리즘을 개선해야 할 것이다.

REFERENCES

[1] D. H. Hwang, K. S. Jang, "Finger-Gesture Recognition Using Concentric-Circle Tracing Algorithm," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 12, pp. 2956-2962, Dec. 2015.

[2] K. Oka, Y. Sato, and H. Koike, "Real-time fingertip tracking and gesture recognition," *IEEE Computer graphics and Applications*, vol. 22, no. 6, pp. 64-71, Nov. 2002.

[3] P, Singh, R. S. Lodhi, "Hand tracking and head movement detection: A State-of-Art Survey," *International Journal of Computer and Advanced Engineering Research*, vol. 1, no. 2, pp. 12-16, Aug. 2014.

[4] S. Nagarajan, T. S. Subashini, and V. Ramalingam, "Vision based real time finger counter for hand gesture recognition," *International Journal of Technology*, vol. 2. no. 2, pp. 1-5, Dec. 2012.

[5] A. Malima, E. Ozgur, and M. Çetin, "A fast algorithm for vision-based hand gesture recognition for robot control," in *Proceedings of the IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications*, Antalya: TR, 2006.

[6] A. R. Sarkar, G. Sanyal, and S. Majumder, "Hand gesture recognition systems: a survey," *International Journal of Computer Applications*, vol. 71, no. 15, pp. 26-37, May 2013.

[7] S. C. Ji, S. W. Kang, J. S. Kim and H. Joo, "The Development of a Real-Time Hand Gestures Recognition System Using Infrared Images," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 12, pp. 1100- 1108, Dec. 2015.

[8] S. K. Singh, D. S. Chauhan, M. Vasta, and R. Singh, "A robust skin color based face detection algorithm," *Tamkang Journal of Science and Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 227-234, Dec. 2003.

[9] W. T. Freeman, et al, "Computer vision for interactive computer graphics," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 18, no. 3, pp. 42-53, May 1998.

황동현(Dong-Hyun Hwang)

2010 ~ 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 학사과정
※관심분야 : Human Computer Interaction, Computer Vision, Computer Graphics

장경식(Kyung-Sik Jang)

1987 고려대학교 전자공학과 공학사
1989 KAIST 전기전자공학과 공학석사
1998 동경공업대학 전기전자공학 공학박사
1999 ~ 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수
※관심분야 : Sensor Network, Vision Sensor, Embedded System