

거리 그래프를 이용한 손가락 검출

송지우 · 오정수*

Finger Detection using a Distance Graph

Ji-woo Song · Jeong-su Oh*

Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan, 48513, Korea

요 약

본 논문은 깊이 영상의 손 영역을 위해 거리 그래프를 정의하고 그것을 이용해 손가락을 검출하는 알고리즘을 제안한다. 거리 그래프는 손바닥 중심과 손 윤곽선 사이의 각과 유클리디안 거리로 손 윤곽선을 표현한 그래프이다. 거리 그래프는 손끝들의 위치에서 국부 최댓값을 갖고 있어 손가락 위치를 검출할 수 있고 손가락 개수를 인식할 수 있다. 윤곽선은 항상 360 개의 각으로 나누어지고 그들은 손목 중심을 기준으로 정렬된다. 그래서 제안된 알고리즘은 손의 크기와 방향에 대해 영향을 받지 않으며 손가락을 잘 검출한다. 다소 제한된 인식 실험 조건에서 손가락 개수 인식 실험은 1~3 개의 손가락은 100% 인식율과 4~5 개 손가락은 98% 인식율을 보여주었고, 또한 실패한 경우도 추가 가능한 단순한 조건에 의해 인식이 가능할 수 있음을 보여주었다.

ABSTRACT

This paper defines a distance graph for a hand region in a depth image and proposes an algorithm detecting finger using it. The distance graph is a graph expressing the hand contour with angles and Euclidean distances between the center of palm and the hand contour. Since the distance graph has local maximum at fingertips' position, we can detect finger points and recognize the number of them. The hand contours are always divided into 360 angles and the angles are aligned with the center of the wrist as a starting point. And then the proposed algorithm can well detect fingers without influence of the size and orientation of the hand. Under some limited recognition test conditions, the recognition test's results show that the recognition rate is 100% under 1~3 fingers and 98% under 4~5 fingers and that the failure case can also be recognized by simple conditions to be available to add.

키워드 : 손가락 검출, 손가락 인식, 거리 그래프, 키넥트, 깊이 영상

Key word : Finger Detection, Finger Recognition, Distance Graph, Kinect, Depth Image

Received 15 June 2016, Revised 20 June 2016, Accepted 05 July 2016

* Corresponding Author Jeong-su Oh(E-mail:ojs@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6414)

Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan 48513, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.10.1967>

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/licenses/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

IT 산업이 급속도로 발전하면서 컴퓨터를 포함한 IT 시스템과 사람 사이에 상호작용이 요구되고 이를 위한 기술들이 개발되고 있다. 사람의 손은 손가락의 변화를 이용해 다양한 모양을 생성할 수 있어 IT 시스템과 사람 사이에 상호작용을 위한 유용한 도구이고, 이를 위한 손/손가락 인식 시스템들이 개발되고 있다.

손 인식 시스템 구현을 위한 손 영상 취득은 2D 컬러 영상에서 피부색을 이용하는 방법[1-3]이 많이 사용되어 왔으나 최근에 저가의 3D 깊이 영상 취득 장치가 개발되면서 깊이 영상[4,5]을 이용하거나 컬러 영상과 깊이 영상을 동시에[6]에 이용하고 있다. 컬러 영상에서는 피부색을 갖는 다른 신체 영역이나 조명 같은 외부 환경 변화는 인식에 문제가 될 수 있고, 깊이 영상에서는 낮은 해상도와 짧은 인식 거리가 문제가 될 수 있다. 손가락 검출 및 인식은 손의 중심에서 원을 그리는 방법[2], 템플릿 정합(Template matching)을 이용한 방법[5], 손 형태의 특징점을 이용한 방법[1,3,4,6] 등 많이 소개되어왔다. 그러나 이들은 손의 크기가 달라지거나 손 자세가 변화되거나 손목이 유동적으로 포함되면 인식률에 영향을 크게 준다.

본 논문은 기존 알고리즘들의 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 마이크로소프트(Microsoft)사의 키넥트(Kinect) 기반에서 생성된 깊이 영상을 대상으로 수행된다. 키넥트 개발 툴인 키넥트 SDK를 이용해 손 영역을 설정하고 분명한 손바닥과 손가락 영역에 convex hull 알고리즘을 적용하여 손목이 제거된 유효 손 영역을 검출한다. 그리고 유효 손 영역에서 손바닥 중심과 손 윤곽선 사이 관계를 각에 대한 거리로 표현되는 거리 그래프로 변환하고, 그래프의 극대들로 나타나는 손가락의 위치를 검출한다. 거리 그래프는 어떤 손 윤곽선에 대해서도 360 개의 각에 대한 거리로 표현되고 손목 중심을 시작점으로 정렬되어 손의 크기나 방향에 대해 영향을 받지 않는다.

다양한 실험들을 통해 제안된 알고리즘의 거리 그래프가 손의 크기와 방향에 대해 거의 영향을 받지 않음을 보이고, 제안된 알고리즘이 다양한 사람들의 다양한 손 형태들에서 적절하게 손가락을 검출하고 인식하는 것을 보일 것이다.

II. 키넥트 기반 손 영역 검출

손가락 인식을 위해서는 적절한 손 영역 검출이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 마이크로소프트사의 키넥트 버전 1에 의해 생성된 320x240 깊이 영상에 키넥트 SDK를 적용해 손 영역 검출을 수행한다.

키넥트를 개발한 마이크로소프트사는 키넥트의 다양한 활용을 위해 개발 툴인 키넥트 SDK를 제공하고 있다. 제공되는 키넥트 SDK 중 Skeletal Viewer는 사람의 인체를 인식하여 골격으로 표현하며 총 20 개의 골격 위치를 그림 1(a)와 같이 제공하고 있다[7]. 제공되는 골격 위치 중 HAND point는 인체의 손 영역에 표시되는 위치를 나타낸다. 본 논문에서는 깊이 영상에서 그림 1(a)처럼 HAND point의 주변 영역에 85x70 사각형을 손 영역으로 검출한다. 그림 1(b)는 검출된 손 영역을 포함한 영상(I_H)으로 손가락 인식에 불필요한 손목도 포함하고 있다.

깊이 영상은 컬러 영상을 이용하는 것에 비해 부가적인 연산이 덜 필요하고, 적외선 센서를 이용하므로 조명 영향을 받지 않는다. 또한 깊이 정보에 의해 배경과도 쉽게 분명히 구분된다.

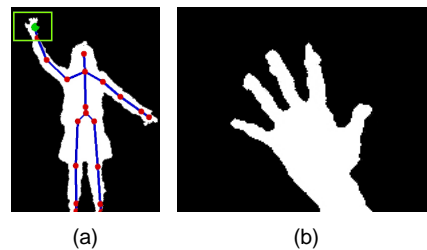


Fig. 1 Human body skeleton and hand region (a) Skeleton image (b) Hand image(I_H)

III. 유효 손 영역 검출

키넥트 기반으로 검출된 손 영역은 손목과 같은 손 이외의 영역을 포함하고 있고 이는 손가락 검출 및 인식에 장애가 될 수 있다. 보다 정확한 손가락 검출 및 인식을 위해서는 손목이 제거된 유효 손 영역(VHR)이 필요하다. 유효 손 영역 검출은 분명한 손바닥과 손가락 영역의 검출을 통해 수행된다.

3.1. 분명한 손바닥 영역 검출

분명한 손바닥 영역(CPR)은 손바닥의 중심부에 위치한다. 그래서 물체의 한 점에서 가장 가까이 위치한 물체의 경계선까지 거리를 구하는 거리 변환(distance transform)[8,9]을 이용해 손바닥 중심(PC)을 찾고 이를 중심으로 하는 최대 내접원을 분명한 손바닥 영역으로 사용한다. 그림 2는 그림 1(b)의 검출된 손 영역 영상에 대해 수행된 (a) 거리 변환과 (b) 분명한 손바닥 영역의 영상을 보여주고 있다. 각 영상에서 검은 점은 거리 변환의 최댓값 위치이면서 손바닥 중심이고 흰 원 영역은 분명한 손바닥 영역이다.

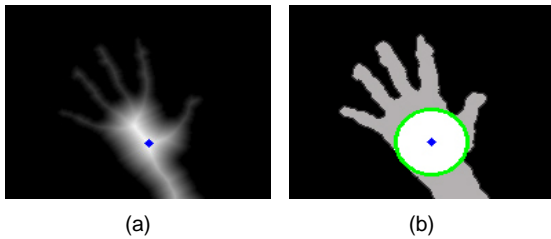


Fig. 2 Detection of clear palm region (a) Distance transform (b) I_{CPR}

3.2. 분명한 손가락 영역 검출

손가락은 손바닥에 비해 얇기 때문에 모폴로지 열기(morphology open) 연산[9]을 반복 수행하면 그림 3(a)와 같이 손가락 영역이 제거된 영상(I_F)을 생성할 수 있다. 그리고 식 (1)처럼 원래 손 영상(I_H)과 손가락 제거된 영상의 차영상으로 그림 3(b)와 같이 분명한 손가락 영역(CFR)만 갖는 영상(I_{CFR})을 얻을 수 있다.

$$I_{CFR} = I_H - I_F \quad (1)$$



Fig. 3 Detection of clear finger region (a) I_F (b) I_{CFR}

여기서 손가락을 제거하기 위한 열기 연산은 9x9 구

조요소를 사용해 2회 반복되었고 차영상에 생기는 잡음은 3x3 구조요소를 사용해 열기 연산으로 제거되었다.

3.3. 유효 손 영역 검출

유효 손 영역은 원래 손 영역에서 손가락 인식에 불필요한 손목이 제거된 영역이다. 그래서 그림 4(a)에 보여준 분명한 손바닥과 손가락 영역을 가지고 이들을 포함하는 후보 손 영역(CHR)을 convex hull 알고리즘[10]을 이용해 그림 4(b)처럼 설정한다. convex hull 알고리즘은 주어진 점들 중 일부 점들만을 이용해 전체 점들을 포함하는 영역을 형성하는 알고리즘이다. 유효 손 영역은 원래 손 영역과 후보 손 영역이 겹치는 영역으로 식 (2)와 같이 원 영상과 후보 손 영역 영상의 AND 연산으로 얻을 수 있다. 그림 4(c)는 검출된 유효 손 영역 영상이다.

$$I_{VHR} = I_H \cap I_{CHR} \quad (2)$$

같은 원리로 원래 손 영역에서 유효 손 영역을 제거하면 손목 영역을 얻을 수 있다. 손목 영역의 무게 중심은 추후 정의되는 거리 그래프 생성을 위한 정렬 기준(시작점)이 될 것이다.

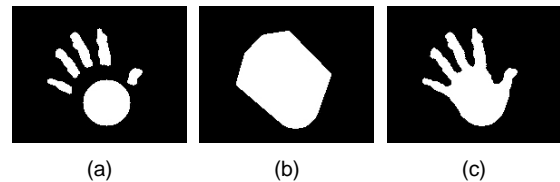


Fig. 4 Detection of a valid hand region (a) $I_{CPR+CFR}$ (b) I_{CHR} (c) I_{VHR}

IV. 거리 그래프를 이용한 손가락 검출

본 논문에서 손가락 검출을 위해 유효 손 영역의 윤곽선을 거리 그래프로 변환하고 거리 그래프에서 손가락 위치를 검출한다.

4.1. 거리 그래프

거리 그래프는 그림 5와 같이 손바닥 중심(PC)과 검출된 유효 손 영역의 윤곽선(Hc) 위 점사이의 거리를 각의 변수로 표현한 것이다. 여기서 손바닥 중심과 윤곽

선 상의 점(p)의 좌표는 각각 (PC.x, PC.y)와 (Hc(p).x, Hc(p).y)로 표현된다. 먼저 윤곽선 상의 점(p)에서 손바닥 중심 사이의 각(θ)와 거리(d)를 식 (3)과 (4)에 의해 계산된다.

$$\theta(p) = 360 - \theta_{WC} - \theta'(p), \theta'(p) = \tan^{-1}\left(\frac{Y(p)}{X(p)}\right) \quad (3)$$

$$d(p) = \sqrt{X(p)^2 + Y(p)^2} \quad (4)$$

여기서 $X(p)$ 와 $Y(p)$ 는 각각 $Hc(p).x - PC.x$ 와 $Hc(p).y - PC.y$ 이다. 윤곽선을 따라 계산된 각과 거리를 각에 따른 거리 함수로 변환하고 손목 중심을 기준 각(0°)으로 반시계 방향으로 정렬하여 그림 6과 같은 거리 그래프 $f(\theta)$ 를 생성한다. 새끼손가락부터 손가락들은 그래프에 극대를 발생시킨다. 여기서 θ 는 $0^\circ \sim 359^\circ$ 를 갖고 같은 각이 다수 존재할 때 마지막에 계산된 거리를 선택한다. 거리 그래프는 각이 360으로 정규화되고 손목 중심으로 정렬되어 손의 크기와 방향에 대해 영향을 받지 않는다.

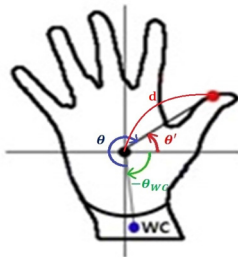


Fig. 5 Angles and a distance for distance graph



Fig. 6 Distance graph

4.2. 손가락 검출

거리 그래프에서 손가락 검출은 거리 그래프의 변화를 표현하는 거리 변화 함수($F(\theta)$)를 이용해 수행된다. 거리 변화 함수 계산에 앞서 식 (5)와 같은 평균 필터를 이용해 잡음의 영향을 없앤다. 여기서 n 은 2이고, 손가락 경계가 매끄럽지 못해 필터링을 2회 수행하고 있다.

$$g(\theta) = \frac{f(\theta - n) + \dots + f(\theta) + \dots + f(\theta + n)}{2n + 1} \quad (5)$$

그리고 거리 변화 함수는 잡음이 제거된 함수 $g(\theta)$ 를 이용해 식 (6)에 의해 계산된다.

$$F(\theta) = g(\theta + 1) - g(\theta) \quad (6)$$

손가락 끝에서 거리 그래프가 증가하다 감소하므로 $F(\theta)$ 는 그림 7처럼 제로크로싱(zero crossing)이 발생한다. 따라서 제로크로싱은 손가락의 위치임을 의미한다. 미세한 제로크로싱은 거리 값에 의해 제거된다.

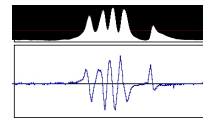


Fig. 7 Detection of fingers

제로크로싱의 수와 위치를 확인하면 손가락의 수와 위치를 확인할 수 있다. 이들에 의미를 부여하면 IT 시스템과 사람 사이에 상호작용할 수 있는 수단이 된다.

V. 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 손 크기와 손 방향에 따른 영향을 기술하고 다수의 다양한 손가락 형태들에서 손가락을 검출하고 그 개수를 인식한다.

표 1은 키넥트와 손 사이의 거리에 따른 손 크기가 변하는 모습과 그들의 거리 그래프를 보여주고 있다. 표에서 거리 1.0은 손가락 인식에 적정 거리이고 거리가 1보다 작으면 손 영상이 커 불필요하게 많은 계산이 요구된다. 거리 2.0에서는 손 크기가 너무 작아 손가락이 분명히 구분되지 않아 손가락 인식이 불가능하다. 손가락 형태가 유지되는 한 거리 그래프의 각이 360로 정규화 되어 손 영상 크기에 대해 영향을 받지 않고 있다.

표 2는 손이 상하좌우 방향으로 향했을 때의 손 영상과 거리 그래프를 보여주고 있다. 손 방향이 다르지만 거리 그래프는 거의 일치하고 있다. 거리 그래프가 손목 기준으로 정렬되어 손 방향에 대해 영향을 받지 않는다. 단 손목이 꺾이는 경우와 손가락 펼침폭이 다른 경우 거리 그래프의 손가락 위치가 다소 이동된다.

표 3은 손가락의 개수를 인식한 결과를 보여주기 위해 손가락 개수에 따른 손 영상, 거리 그래프, 거리 변화 그래프를 보여주고 있다. 거리 변화 그래프에서 손가락 위치에서 제로크로싱이 발생하고 있어 손가락 개수 인식을 가능하게 한다.

이가 다르게 표현되어 손목이 가늘어져 이를 손가락으로 인식해 발생하였고, 두 번째 경우는 엄지손가락이 접혀 낮은 극대로 표현되어 잡음으로 판단되어 실패한 경우이다. 그러나 이들은 손가락 표현 시 조금만 주의하면 해결될 수 있는 문제들이다.

Table. 1 Effects on hand sizes

distance	0.8	1.0
image		
distance graph		
distance	1.5	2.0
image		
distance graph		

Table. 2 Effects on hand orientations

orientation	UP	DOWN
image		
distance graph		
orientation	RIGHT	LEFT
image		
distance graph		

손 형태들에 대한 인식 실험에 앞서 왜곡된 손 영상이 생성되는 것을 방지하기 위해 실험자에게 손의 위치, 팬, 틸트를 각각 거리 1.5 이내, $\pm 70^\circ$, $\pm 45^\circ$ 로 제한하였고 손가락 형태는 편안하게 펼쳐진 자세를 요구하였다. 표 4는 10명의 실험자에게 각 손가락 개수의 서로 다른 5가지 표현을 통해 전체 50회의 인식 실험에서 인식율을 보여주고 있다. 손가락 수가 1~3의 경우 실패하는 경우가 없으나 4와 5에서는 1회씩 실패하였고 표 5에 보여주고 있다. 첫 번째 경우는 튀어 나온 옷소매의 깊

Table. 3 Recognition test for finger counting

#	0	1	2
example 1			
example 2			
#	3	4	5
example 1			
example 2			

Table. 4 Recognition rate for finger counting(%)

#	1	2	3	4	5
recognition rate	100	100	100	98	98

Table. 5 Examples of recognition failure

real > recognition	4 > 5	5 > 4
Image		

VI. 결 론

손가락 인식은 손의 크기가 달라지거나 손 자세가 변화되거나 손목이 유동적으로 포함되거나 하면 인식을에 영향을 크게 준다. 본 논문은 이런 문제들을 해결할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 깊이 영상을 사용하여 조명 변화의 영향을 최소화하였고, 손목이 제거된 유효 손 영역을 지정하여 손목의 영향을 없앴고, 손 형태를 거리 그래프로 표현하여 손의 크기나 방향에 대해 거의 영향을 받지 않는다.

다양한 손 형태들에 따른 실험을 통해 제안된 알고리즘이 적정 거리의 1.5배 이내에서 손 크기의 영향을 받지 않고, 손 펼침에 따라 손가락 위치가 다소 차이가 있지만 손 방향에 따른 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있었다. 주어진 실험 조건에서 손가락 개수 인식 실험은 1~3 개의 손가락은 100% 인식, 4~5 개 손가락은 98% 인식을 보여주었고, 또한 실패한 인식도 추가 가능한 단순한 조건에 의해 완벽한 인식이 가능할 것이다.

REFERENCES

[1] F. S. Chen, C .M. Fu, and C. L. Huang. "Hand gesture recognition using a real-time tracking method and hidden Markov models," *Image and vision computing*, vol. 21, no. 8, pp. 745-758, Aug. 2003.

[2] A. Malima, E. Ozgur, and M. Cetin, "A Fast Algorithm for

Vision-based Hand Gesture Recognition for Robot Control," *in Proceeding of 2006 IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications*, Antalya, pp. 1-4, 2006.

[3] P. Sykora, P. Kamencay, and R. Hudec, "Comparison of SIFT and SURF Methods for Use on Hand Gesture Recognition based on Depth Map," *in Proceeding of AASRI Procedia*, vol. 9, pp. 19-24, 2014.

[4] L. Yi. "Hand gesture recognition using Kinect," *in Proceeding of 2012 IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science*, Beijing, pp. 196-199, 2012.

[5] Z. Ren, J. Yuan, J. Meng, and Z. Zhang, "Robust part-based hand gesture recognition using kinect sensor," *IEEE Transactions on Multimedia* vol. 15, no. 5, pp.1110-1120, Aug. 2013.

[6] M. Van den Bergh and L. Van Gool, "Combining RGB and ToF cameras for real-time 3D hand gesture interaction," *in Proceedings of the 2011 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Hawai, pp. 66-72, 2011.

[7] Microsoft. Developer resources, Meet Kinect for Windows [Internet]. Available: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/Kinect>.

[8] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, "Distance Transforms of Sampled Functions," *Theory of Computing*, vol. 8, no. 19, pp. 415-428, Sep. 2012.

[9] R. C. Gonzalez and E. W. Richard, *Digital image processing*, 3rd ed. New Jersey, Prentice Hall, 2008.

[10] R. L. Graham, "An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Planar Set," *Information Processing Letters*, vol. 1, no. 4, pp. 132-133, Jan. 1972.



송지우(Ji-woo Song)

부경대학교 융합디스플레이공학과 재학
※관심분야 : 디지털영상처리, 비디오영상처리



오정수(Jeong-su Oh)

중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학박사
현재 부경대학교 융합디스플레이공학과
※관심분야 : 디지털영상처리, 비디오영상처리, 적외선 신호처리