

붙어 있는 손가락을 가진 손에서 손가락 개수 알고리즘

오정수*

Finger Counting Algorithm in the Hand with Stuck Fingers

Jeong-su Oh*

Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan, 48508, Korea

요약

본 논문은 붙어 있는 손가락들을 가진 손을 대상으로 한 손가락 개수 알고리즘을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘은 손가락 사이에 필연적으로 직선형 그림자가 발생한다는 사실을 기반으로 한다. 이 알고리즘은 효율적인 그림자 검출을 위해 손 영역을 엄지손가락 영역과 네 손가락 영역으로 구분하고, 각 영역에서 경계 영상을 생성한다. 각 경계 영상에 직선 검출과 투영 기법을 적용하므로 투영 곡선들이 생성되고, 곡선들의 피크들은 손가락 그림자의 후보들로 검출된다. 그리고는 검출된 피크들에서 손가락 그림자에 의한 피크들만 추출되고 개수된다. 붙어 있는 손가락으로 다양한 형상을 표현하는 손 영상들을 대상으로 한 손가락 개수 실험에서 손가락 수에 따른 개수 성공률이 83.3%에서 100%이고, 전체적으로 93.1%이다. 또한 통제된 조건하에서 손 영상이 생성된다면 실패한 경우들이 충분히 개선될 수 있음을 보여주고 있다.

ABSTRACT

This paper proposes a finger counting algorithm for a hand with stuck fingers. The proposed algorithm is based on the fact that straight line type shadows are inevitably generated between fingers. It divides the hand region into the thumb region and the four fingers region for effective shadow detection, and generates an edge image in each region. Projection curves are generated by applying a line detection and a projection technique to each edge image, and the peaks of the curves are detected as candidates for finger shadows. And then peaks due to finger shadows are extracted from them and counted. In the finger counting experiment on hand images expressing various shapes with stuck fingers, the counting success rate is from 83.3% to 100% according to the number of fingers, and 93.1% on the whole. It also shows that if hand images are generated under controlled conditions, the failure cases can be sufficiently improved.

키워드 : 손가락 개수, 손동작 인식, 손 검출, 직선 검출, 경계 투영

Key word : Finger Counting, Hand Gesture Recognition, Hand Detection, Straight Line Detection, Edge Projection

Received 28 June 2017, Revised 07 July 2017, Accepted 21 July 2017

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

Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan 48508, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1892>

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

전자 산업이 발전하면서 사람과 시스템들 사이에 다양한 상호작용이 요구되고 있고, 손은 손가락의 다양한 변화를 통해 시스템과 상호작용할 수 있는 유용한 도구이다. 그래서 영상 기반 손동작 인식 알고리즘들이 지속적으로 연구되고 있다[1]. 영상 기반 손동작 인식 알고리즘은 RGB 카메라로 취득된 컬러 영상[2,3]을 많이 사용하였으나 최근에 키넥트(KINECT) 같은 저가 깊이 카메라(depth camera)가 개발되면서 주로 깊이 영상[4-6]을 사용하고 있다. 그런데 기존 알고리즘들은 손가락이 펼쳐진 손 영상을 대상으로 연구되어 손가락이 붙어있는 손 영상에서는 손동작 인식의 중요 기능인 손가락 개수가 불가능하다.

본 논문은 손가락이 붙어있는 손 영상에서 손동작 인식을 위한 손가락 개수 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 키넥트 기반에서 취득된 컬러 손 영상을 대상으로 붙어있는 손가락 경계에서 필연적으로 직선 형태의 그림자가 발생한다는 사실에 기반하고 있다. 먼저 손 영역을 엄지손가락 영역과 네 손가락 영역으로 구분하고, 각 영역에서 그림자를 검출하기 위해 Sobel 마스크를 이용해 경계 영상(edge image)을 생성한다. 그리고 네 손가락 영역의 경계 영상, 경계 영상에서 검출된 직선 영상, 엄지손가락 영역의 경계 영상에 대해 수직 투영을 수행해 투영 곡선들을 생성한다. 각 투영 곡선에서 피크는 손가락 그림자를 의미하고 한 그림자에서 발생하는 다수의 피크는 국부 최대(local maximum) 검출을 통해 실제 피크를 찾는다. 그리고 각 영역의 피크들을 같은 공간에 배열하여 실제 피크를 다시 검출한다. 투영 기법은 기울어져 제외된 직선, 잡음 경계에 의한 의사 직선, 이중으로 검출된 직선 등 단순히 직선 검출에 의한 직선 그림자 검출의 문제를 보완해 준다.

붙어 있는 손가락으로 다양한 형상을 표현된 손 영상들을 대상으로 손가락 개수 실험을 통해 제안된 알고리즘의 유효함을 보일 것이다.

II. 기존 손가락 개수 알고리즘

손가락 개수 알고리즘은 손동작 인식 시스템에서 중요 기능으로 자주 활용되고 있다. 대상 영상은 깊이 카

메라로 취득된 깊이 영상이나 RGB 카메라로 취득된 컬러 영상이 이용되고 있다. 하지만 컬러 영상이 깊이 영상에 비해 배경 영향을 더 받는 경향이 있어 최근에는 깊이 영상이 주로 활용되고 있다.

깊이 영상을 이용한 알고리즘은 깊이 정보를 이용해 손 영역을 검출하여 그림 1의 algorithm1처럼 손 영역 경계의 굴곡 변화를 이용해 손가락 끝을 인식해 개수[5]하거나 algorithm2처럼 손바닥 중심에서 360도 회전하면서 손 영역 경계까지 거리를 그래프(상단)로 그리고 그래프 변화량(하단)의 제로크로싱을 이용해 그래프 피크(손가락 끝)를 개수[6]하여 손동작을 인식한다. 두 알고리즘은 그림 1의 상단처럼 손가락이 펼쳐진 경우는 손동작 인식을 적절하게 수행할 수 있으나 하단처럼 손가락이 붙어있는 경우는 정상적으로 수행되지 않는다.

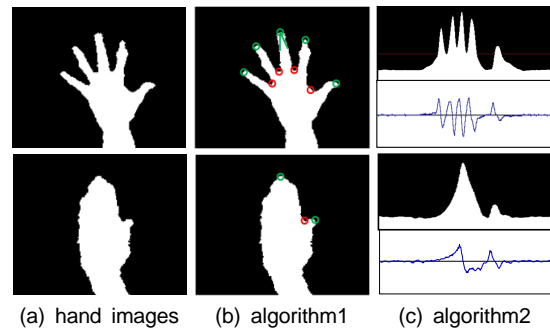


Fig. 1 Conventional algorithms

컬러 영상을 이용하는 알고리즘은 깊이 정보 대신 피부색 정보를 이용해 손 영역을 검출하는 것이 다를 뿐 손가락 개수는 앞에서 기술한 알고리즘과 비슷하여 손 영역이 적절하게 검출되면 유사한 결과를 보인다. 한편 그림 2처럼 손가락 끝 주변에서 영역 경계의 급격한 곡률 변화(▲)를 이용해 붙어있는 손가락의 개수를 수행한 알고리즘[3]이 있었으나 해상도 낮은 컬러 영상에서는 그림 1의 하단 손 영상처럼 곡률 변화가 분명하지 않아 활용이 어렵다.



Fig. 2 Hand region with stuck fingers

III. 제안된 손가락 개수 알고리즘

본 장에서는 손 영상의 취득 과정을 기술하고, 손가락이 붙어 있는 손 영상에서 퍼진 손가락의 수를 세는 손가락 개수 알고리즘을 기술한다.

3.1. 손 영상 취득

본 논문에서 손 영상 취득은 깊이 영상과 컬러 영상을 취득할 수 있는 마이크로소프트사의 키넥트(ver. 1)을 이용하고 있다. 깊이 영상을 위한 키넥트 SDK 중 사람의 인체 골격 위치를 제공하는 Skeletal Viewer로 손 위치(HAND point)를 찾아 손 영역을 지정한다. 그리고 카메라의 위치와 해상도가 다른 컬러 영상을 위해 calibration SDK를 이용해 손 영역을 보정하여 컬러 영상에서 손 영역을 얻는다[7]. 손 영상 크기는 200×160이고 보정을 통해 얻은 손 영역은 calibration SDK 성능의 한계로 일부 손실되므로 모폴로지 팽창 연산[8]으로 손 영역을 확장한다. 그림 3의 (a)는 취득된 손 영상, (b)는 검출 및 보정된 손 영역, (c)는 (b)의 손 영역에 완전한 손을 포함하는 것을 보여주고 있다.



(a) hand image (b) hand region (c) detected hand
Fig. 3 Hand image acquisition

3.2. 손가락 그림자를 이용한 손가락 개수

손가락 그림자가 표현된 경계 영상에서 직선 검출과 투영 기법을 이용해 퍼진 손가락의 수를 세는 알고리즘을 제안하고 있다. 그림 4는 제안된 알고리즘의 블록도를 보여주고 있다.

Hand Image 블록과 ROI 블록은 각각 그림 3의 (a)와 (b)에서 결정되고, Information of Hand 블록은 손 모양의 ROI에서 그림 5(a)와 같은 손에 대한 정보를 검출한다. HC는 거리 변환[9,10]으로 검출되는 손바닥 중심이고, maxD와 minD는 각각 손바닥 중심에서 가장 먼 손 경계와 가장 가까운 손 경계의 거리와 위치이고, θ 는 maxD를 이용해 검출된 손의 기울기이다. Rotation of Hand 블록은 기울어진 손을 바르게 세우기 위해 그림

5(b)와 같이 HC를 회전축으로 θ 만큼 회전시킨다.

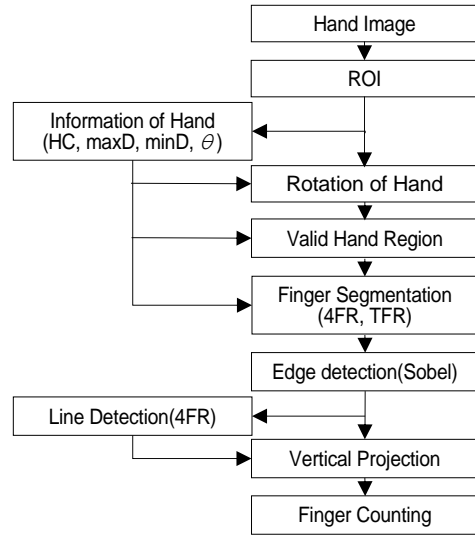


Fig. 4 Flowchart for the finger counting

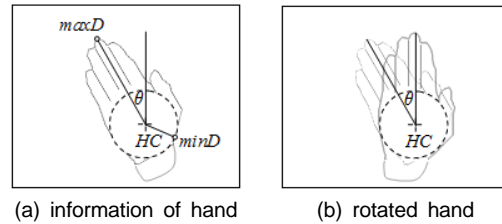


Fig. 5 Rotation of Hand

Valid Hand Region 블록은 취득된 손 영역에서 손가락 개수에 이용될 유효 손 영역(VHR)만을 분리한다. 그림 6(a)처럼 유효 영역의 좌, 우, 상단은 ROI의 좌, 우, 상단의 경계이고 하단 위치(BT_{VHR})는 HC의 위치(손 영역을 3등분(점선) 영역)에 따라 식 (1)을 이용해 계산한다. Finger Segmentation 블록은 그림 6(a)처럼 효율적으로 손가락을 셀 수 있도록 유효 손 영역에서 불필요한 영역을 제거하고 나서 그림 6(b)처럼 엄지손가락 영역(TFR)과 네 손가락 영역(4FR)을 분할한다. 네 손가락 영역의 상단은 손끝의 구부러진 경계가 하단은 손금의 불규칙적인 경계가 직선 형태의 손가락 경계를 검출하는 것을 방해하여 네 손가락 영역에서 제외되고 있다. 네 손가락 영역의 상단과 하단 경계인 TP_{4FR} 와 BT_{4FR} 는 식 (2)로 계산되고 엄지손가락 영역의 좌측 경계인

LT_{TFR} 는 식 (3)으로 계산된다. 여기서 VHR_v 는 VHR의 높이이고, $RmostEdge(x)$ 는 x 행의 최우측 경계를 의미한다.

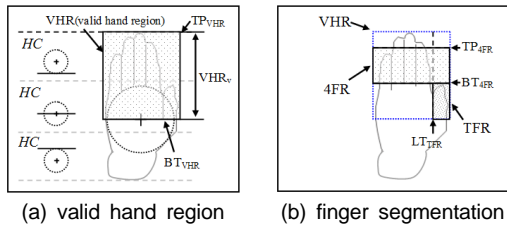


Fig. 6 Region segmentation

$$BT_{VHR} = \begin{cases} HC + \min D/2, & \text{if } HC < \frac{VHR_v}{3} \\ HC, & \text{if } \frac{VHR_v}{3} \leq HC < \frac{2VHR_v}{3} \\ HC - \min D/2, & \text{if } HC \geq \frac{2VHR_v}{3} \end{cases} \quad (1)$$

$$BT_{AFR} = 30 + \frac{(VHR - 30)}{2}, \quad TP_{AFR} = 0.4 \times BT_{AFR} \quad (2)$$

$$LT_{TFR} = RmostEdge \left(\frac{TP_{AFR} + BT_{AFR}}{2} \right) + 5 \quad (3)$$

Edge detection(Sobel) 블록은 각 손가락 영역들에서 Sobel 마스크를 이용해 손가락 그림자에 의한 경계 영상을 생성한다. Line Detection(4FR) 블록은 네 손가락 영역의 경계 영상에 허프변환[8]을 적용해 직선 영상을 생성한다. 이때 직선의 길이는 15 화소이상이면서 최대 직선 길이의 1/2이상이고, 허용 각도는 수직 방향에 대해 ± 10 도 이내이다. Vertical Projection 블록은 검출된 경계 영상들과 직선 영상을 수직 방향으로 투영시킨다. 이때 손가락 경계에 의한 그림자에서 피크가 생성된다. Finger Counting 블록은 각 영역의 투영 곡선을 이용해 그림 7처럼 손가락 개수를 수행한다. 첫 번째 과정은 투영 곡선에서 피크들을 찾고 있다. 각 영역에서는 잡음 경계 영향으로 생긴 의사 피크(●, 잘못된 손가락 그림자)를 발생시킬 수 있다. 이들은 인접한 실제 피크(○)로 제거된다. 실제 피크(RealPeak)는 식 (4)와 같이 4FR 영역 투영 곡선의 임의 피크점이 인접 영역($< \pm 5$)에서 최대 피크이면서 그 크기가 4FL 영역 투영에서 최소 피크보다 크면 인정된다. 직선 검출에서 잡음 영향을 줄이기 위한 각도 제한은 종종 기술어진 손가락 경계를 검출하지 못하게 한다. 그래서 손가락 개수의 두 번째

과정은 각 영역들의 피크를 한 공간에 배열한다. 그리고 세 번째 단계로 배열된 피크들에 대해 다시 실제 피크를 검출한다. 피크의 수는 손가락의 수와 같다.

$$RealPeak = \{4FR_{max} = \max(4FR(-5 < x < 5))\} \& \{4FR_{max} > \min(4FL)\}, \quad x : peakpoint \quad (4)$$

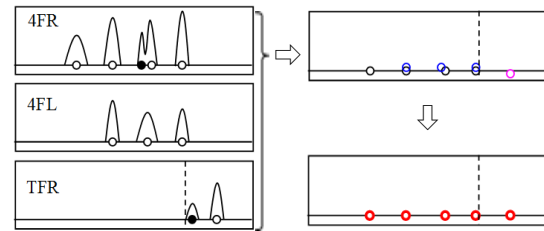


Fig. 7 Finger counting process

IV. 실험 및 검토

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 2개의 손 영상 그룹을 생성하여 손가락 개수 알고리즘을 수행하였다. 첫 번째 그룹 G1은 피실험자들에게 최소한의 손가락 동작 방법만을 제공하여 생성된 일반적인 손 영상들로 그림 8에 일부 보여주고 있다. 두 번째 그룹 G2는 G1을 이용한 실험을 통해 성공적인 손가락 개수를 위한 영상 취득 환경과 손가락 동작 방법을 제어하여 생성된 이상적인 손 영상들로 그림 9에 일부 보여주고 있다.

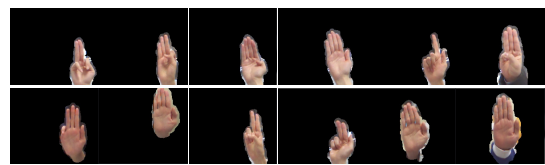


Fig. 8 Examples of test image group G1



Fig. 9 Examples of test image group G2

표 1은 G1을 대상으로 한 실험중 성공한 경우와 실패한 경우의 손가락 개수 과정을 보여주고 있다. Hand image와 VHR는 각각 취득된 손 영상과 손 영상에서

추출된 유효 손 영역이고, 4FR와 4FL는 각각 네 손가락 영역의 경계 영상과 경계 영상에서 추출된 직선 영상이고, TFR는 엄지손가락 영역의 경계 영상이다. Projections & peaks는 4FR(실선), 4FL(점선), TFR(연한 실선)의 수직 투영되어 저역 통과된 곡선들 그리고 각 영역의 피크들(연한 원)과 최종적으로 결정된 피크들(진한 원)을 보여주고 있다. 성공한 실험에서는 손가락 그림자에 의한 경계는 분명하고 서로 완전히 분리되어 있어 투영 곡선에 굴곡이 선명히 나타난다. 반면 실패한 실험에서는 손가락 그림자 영역이 아닌 곳에 잡음 경계가 많이 포함되고 있어 투영 곡선에 다수의 피크들이 발생하는 것을 보여주고 있다. 실험 결과 느슨하게 구부린 손가락이나 강한 반사가 있는 손가락에 의한 잡음 경계와 반듯이 퍼지 않은 손가락에 의한 꺾인 경계는 손가락 개수를 어렵게 만들고 있다. 또한 불완전한 기울기 보정은 투영 곡선의 피크의 크기를 떨어뜨려 불안한 요소이다. 이런 문제들을 보완해 생성된 G2의 손 영상은 펼친 손가락은 반듯이 펴고 구부린 손가락은 손바닥 안쪽으로 단단히 접도록 하였고 배경을 단순화하여 손 영역 경계에서 배경 영향을 없앴다.

표 2는 그림자 검출을 위해 직선 검출뿐만 아니라 경계 영상과 직선 영상의 투영을 사용한 필요성 보여주고 있다. 첫 번째 예는 Pseudo straight line의 첫 번째 직선처럼 잡음 경계에 의해 검출된 의사 직선으로 경계 투영이 작아 실제 피크에서 제거되었다. 두 번째 예는 Out of valid slope의 세 번째 피크처럼 유효 기울기 밖의 직선으로 제거되었으나 경계 투영으로 다시 검출되었다. 세 번째 예는 Double straight line의 첫 번째 꺾친 이중 직선처럼 한 그림자에서 두 직선이 검출되었지만 투영에 의해 한 피크만 생성된다.

표 3은 일반적인 영상 그룹 G1과 이상적인 영상 그룹 G2에서 손가락 개수 실험 결과를 보여주고 있다. 일반적인 손 영상에서 전체적인 인식 성공률은 93.1%이고, 손가락이 개수(NoF)에 따라 다른 결과를 보이고 있다. 다섯 손가락의 경우 100%의 성공률을 보인 반면 두 손가락의 경우는 83.3%로 다소 낮다. 이는 잡음 경계가 많이 발생시키는 구부러진 손가락의 수가 많아 발생되고 있다. 한편 이상적인 손 영상에서는 모든 종류의 손가락들에서 완벽한 개수 성공률을 보이고 있는데 이는 손 영상 취득 과정을 제어한다면 실패한 개수를 충분히 개선할 수 있음을 의미한다.

Table. 1 Finger counting test

	Hand image/ VHR /4FR / 4FL/ TFR	Projection & peak detection
Success		
Failure		

Table. 2 Effect of projection

	4FR / 4FL	Projection & peak detection
Pseudo straight line		
Out of valid slope		
Double straight line		

Table. 3 Counting success rate(%)

NoF	2	3	4	5	Total
G1	83.3	94.4	94.4	100	93.1
G2	100	100	100	100	100

V. 결론

본 논문은 손가락들이 붙어 있는 손 영상을 대상으로 한 손가락 개수 알고리즘을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘은 손가락 사이에 필연적으로 그림자가 발생한다는 사실을 기반으로 한다. 효율적인 그림자 검출을 위해 손 영역을 엄지손가락 영역과 네 손가락 영역으로 구분하였고, 영역의 경계 영상에 대해 직선 검출과 투영 기법을 적용하여 유효 그림자를 검출하며 손가락 개수를 수행하였다. 붙어 있는 손가락으로 다양하게 표현된 일반 손 영상들을 대상으로 한 손가락 개수 실험에서 전체적으로 93.1%의 개수 성공률을 보이고, 손가락의 수에 따라 두 손가락에서 최소 83.3%에서 다섯 손가락에서 최대 100% 개수 성공률을 보이고 있다. 또한 이상적인 손 영상들에 대한 실험을 통해 실패한 손가락 개수에 대해서도 손 영상 취득 과정을 규격화 한다면 충분히 개선될 것이라는 것을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] S. Mitra and T. Acharya, "Gesture Recognition: A survey," *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics*, vol. 37, no. 3, pp.311-324, May 2007.
- [2] Y. Xu and G. Pok, "Identification of Hand Region Based on YCgCr Color Representation," *International Journal of Applied Engineering Research* vol. 12. no. 6, pp.1031-1034, Jun. 2017.
- [3] H. C. Yoon and J. S. Cho, "Hand feature Extraction Algorithm Using Curvature Analysis for Recognition of Various Hand Gestures," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 20. no. 5, pp. 13-20, May 2015.
- [4] G. Marin, F. Dominio, and P. Zanuttigh. "Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices," in *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, Paris, pp. 1565-1569, 2014.
- [5] M.Z.A. Barker, R. Samad, D. Pebrianti, M. Mustafa, and N.R.H. Abdullah, "Finger application using K-Curvature method and Kinect sensor in real-time," in *Proceedings of International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies*, Lankawai Island, pp.218-222, 2015.
- [6] J. W. Song and J. S. Oh, "Finger Detection Using a Distance Graph," *Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 10, pp.1967- 1972, Oct. 2015.
- [7] Microsoft, Developer resources, Meet Kinect for Windows, [Internet]. Available: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/Kinect>.
- [8] R. C. Gonzalez and E. W. Richard, *Digital Image Processing*, 3rd ed. New Jersey, NJ:Prentice Hall, 2008.
- [9] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, "Distance Transforms of Sampled Functions," *Theory of Computing*, vol. 8, no. 19, pp. 415-428, Sep. 2012.
- [10] C. R. Maurer, R. Qi. and V. Raghavan, "A Linear Time Algorithm for Computing Exact Euclidean Distance Transforms of Binary Images in Arbitrary Dimensions," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 2, pp. 265-270, Feb. 2003.



오정수(Jeong-su Oh)

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