

## 3차원 얼굴정보 획득을 위한 가버필터를 이용한 세로줄무늬 패턴 추출

김인범 (金仁範), 김재희(金在熹)  
연세대학교 전기전자공학과  
전화 : (02) 2123-4537 / 팩스 : (02) 312-4584

### Vertical Stripes Extraction By Using The Gabor Filter for 3D Face Acquisition

InBeom Kim, Jaihie Kim  
Dept. of Electrical and Electronic Eng. Yonsei Univ.  
E-mail : jumpand@freechal.com

#### Abstract

In this paper, we propose a method to extract vertical stripes projected on human face using Gabor filter. Previous work cannot extract continuous vertical stripes in the eye and mouth region due to their horizontal lines. Proposed method use Gabor filter adaptively according to main frequencies and directions of stripes in each block. Experimental results show that proposed method can extract continuous vertical stripes in the eye and mouth region.

#### I. 서론

얼굴인식기술은 다른 생체인식기술과는 달리 생체정보의 획득이 비접촉식이므로 사용자의 거부감과 불편함이 적다는 장점이 있다. 얼굴인식의 이러한 비접촉성, 편리성으로 인해 얼굴인식기술은 신원 확인 분야 이외에도, 신분확인 대상자가 모르는 사이에 자연스럽게 정보를 획득해야 하는 지능형 무인감시 등

여러 응용분야를 가진다. 그러나, 2차원 영상을 이용한 얼굴인식은 주변의 조명, 얼굴의 회전 방향(pitch, yaw, roll)에 강인하지 않다는 문제점이 있다. 따라서, 최근에는 3차원 기반의 얼굴인식 시스템에 대한 관심이 커지고 있다.

3차원 기반의 얼굴인식은 2차원 얼굴에서와 같이 화소값의 비교가 아니라 얼굴 표면의 곡면정보를 이용하여 사람을 인식하므로 조명과 회전에 대해 강인하다. 이러한 얼굴의 곡면정보를 획득하기 위한 대표적인 방법으로 레이저스캐닝(Laser Scanning) 방식[3], 두 대의 카메라를 이용하는 방식(Stereo Vision System)[4], 줄무늬 패턴 투영 방식(Structured Light System)[1][2]등이 있다.

레이저스캐닝 방식은 높은 정확도를 갖지만 고가의 특수장비가 필요하다는 단점이 있다. 두 대의 카메라를 이용하는 방식은 매끄러운 얼굴 표면상에서 눈, 코, 입 이외에는 특징으로 사용될 수 있는 점이 거의 없기 때문에 상세한 얼굴 곡면 정보를 얻기 어렵다는 문제점이 있다.

줄무늬패턴 투영 방식은 세로줄무늬패턴이 투영된 얼굴을 한 대의 카메라로 입력받고, 얼굴의 굴곡에 따라

휘어진 세로 줄무늬를 추출하여, 얼굴의 곡면정보를 획득하는 방식이다. 이 방식은 특수 장비 없이 하나의 일반 CCD 카메라와 세로줄무늬패턴이 부착된 조명환경에서 컴퓨터비전 기술에 의해 3차원 얼굴정보를 획득할 수 있다.

Tibbalds가 제안한 방식[1]은 DoG(Difference of Gaussian) 필터를 사용하여 얼굴 표면에 투영된 세로줄무늬의 에지를 찾아내고, 다시 에지의 기울기 및 주변 에지와와의 관계를 고려하여 세로줄무늬를 추출한다. 그 때문에 눈이나 눈썹 등과 같이 줄무늬패턴과 비슷한 계조도(Gray Level)의 가로줄이 있는 영역이 존재할 경우 세로줄무늬의 끊김 현상이 발생하여 그 부분의 곡면정보를 잃게 된다. 이는 3차원 얼굴 인식의 성능저하를 가져오게 되므로 세로줄 무늬의 끊김 현상을 최소화하는 추출 방법이 필요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 눈과 입 주변에서 세로줄무늬패턴의 불연속영역을 줄이기 위한 방법으로 가버필터(gabor filter)를 이용한 세로줄무늬 패턴 추출방법을 제안한다. 제안한 세로줄무늬 추출 방법은 블록단위로 방향과 주파수에 따라 적용적인 가버필터를 적용함으로써 눈 영역 등에서의 가로줄무늬성분을 제거하여 세로줄무늬의 불연속 점들을 제거한 얼굴 표면정보를 추출할 수 있다.

## II. 얼굴 정보 획득

그림 1은 세로줄무늬 패턴 투영방식의 3차원 얼굴 인식의 개요를 나타낸 것이다. 세로줄무늬를 얼굴에 투영할 때 얼굴 표면의 굴곡에 따라 변형되어 나타난 세로줄무늬 패턴을 추출하여 3D얼굴 정보를 구하고 인식을 사용한다.

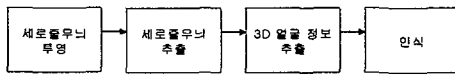
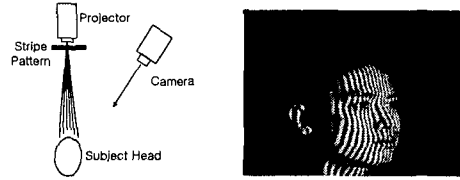


그림 1. 세로줄무늬 패턴 투영방식 3D 얼굴인식 개요

얼굴표면은 눈, 코, 입을 제외하면 부드러운 곡면이므로 뚜렷한 특징점이 거의 없다. 따라서 인위적으로 세로줄무늬 패턴을 얼굴에 투영하고, 투영된 세로줄무늬의 변화모양을 관찰하여 곡면정보를 얻는 방식을 사용한다.

그림 2(a)와 같이 세로줄무늬패턴 획득 장치를 구성하고 얼굴의 정면에서 세로줄무늬의 패턴을 투영하면 CCD 카메라로 입력받은 영상에서는 그림 2(b)와 같이

얼굴상의 곡면을 따라 휘어진 세로줄무늬가 관측된다. 세로줄무늬 패턴이 카메라로부터의 거리(깊이)가 모두 같은 평판 위에 투영되었다면 굴곡이 없는 수직의 직선이어야 하지만, 줄무늬가 얼굴표면에 투영되면 카메라로부터의 거리(깊이)에 따라 휘어지는 정도가 다르게 나타나게 될 것이다. 따라서, 변형된 세로줄무늬 패턴을 얻어내면 투영한 원래 줄무늬 패턴과 얼굴에 투영된 줄무늬 패턴간의 형태 변화에 의해 얼굴표면의 곡면 정보를 얻어낼 수 있다.



(a) 영상입력장치 구성 (b) 획득 영상  
그림 2. 얼굴 영상입력 장치 구성 및 취득영상

## III. 표면 특징 정보 추출

### 3.1 기존의 차분 가우시안 방법

Tibbalds[1]는 원 영상에 대해 각기 다른 분산을 갖는 다섯 개의 DoG(Difference of Gaussian)[6] 필터를 적용하여 세로줄무늬의 에지를 각각 추출하고, 다섯 장의 에지 영상에서 얻어진 세로줄무늬 에지 후보들을 이용하여 실제 세로줄무늬패턴의 위치를 구하였다. DoG 필터는 서로 다른 분산을 갖는 두 개의 가우시안 필터의 차로써 LoG(Laplacian of Gaussian)필터를 근사화한 필터로 식(1)과 같이 표현된다.[1]

$$\nabla^2 g(\sigma, x, y) = \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^5 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

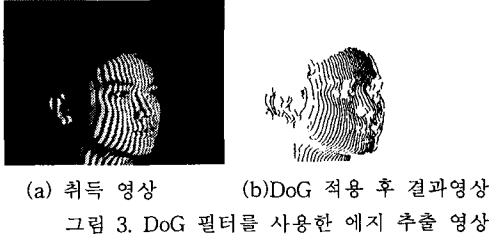
$$\sigma = \sqrt{\sigma_{n+1}^2 - \sigma_n^2} = \sigma_n \sqrt{1.6^2 - 1}$$

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot 1.6^{n-1}$$

단, x, y: 좌표  $\sigma$ : DoG 필터의 표준편차  
 $\sigma_n$ :  $\delta_1$ 에 대한 n 번째 필터의 표준편차

DoG필터는 단순히 영상에 존재하는 화소 경계인 에지를 추출한다. 따라서, 그림 3(a)와 같이 세로줄무늬와 계조도가 비슷한 눈썹, 눈, 입 등이 투영된 세로줄무늬와 겹치는 경우에 세로줄무늬의 에지는 추출하지 못하고 가로방향의 에지를 찾는 경우가 발생한다. 그림 3(b)은 DoG필터를 적용하여 눈썹과 눈 영역에서 세로줄무늬가

끊어진 결과를 나타낸 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 DoG필터와 같이 단순히 에지연산을 수행하는 것이 아니라 영상에서 세로줄무늬의 방향정보를 이용하여 세로줄무늬의 끊어짐을 줄일 수 있는 알고리즘이 필요하다.



### 3.2 제안한 적응적 가버필터를 이용한 방법

본 논문에서는 DoG 필터를 사용하여 세로줄무늬의 에지를 추출할 때, 눈썹, 눈, 입 영역에서 에지가 끊어지는 문제점을 해결하기 위해 적응적인 가버필터(Gabor filter)[5][7]에 의한 세로줄무늬 추출방법을 제안하였다.

가버필터는 필터의 주파수와 방향성분이 일치하는 줄무늬에 대해서는 강조를 해주고 성분이 일치하지 않는 줄무늬나 그 외의 잡음은 제거해주는 특징을 가지고 있다. 그러므로, 세로줄무늬패턴과 같은 주파수와 방향성분을 갖는 가버필터를 사용하면 눈썹과 같이 세로줄무늬와 방향성분이 같지 않은 에지들을 제거함으로써 DoG 필터를 사용한 방법에서 추출되지 않았던 눈 영역에서의 줄무늬 패턴을 추출할 수 있다.

가버필터는 주파수와 방향에 따라 식(2)와 같이 구할 수 있으며 그림 4와 같은 모양의 형태를 갖게 된다.

$$g_{\text{even}}(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_\theta^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi fx_\theta) \quad (2)$$

$$x_\theta = x \cos \theta + y \sin \theta \quad \text{단,}$$

$$y_\theta = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

$\theta$ ; 가버필터의 방향

$f$ ; 가버필터의 주파수

$\delta_x, \delta_y$ ;  $x, y$ 방향으로의 가우시안 포락선의 표준편차

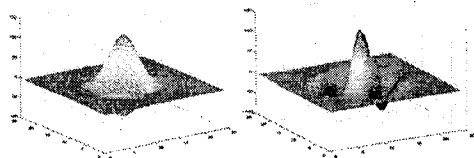


그림 4. 주파수와 방향에 따른 가버필터 방향성을 가진 가버필터를 적용하기 위해서는 추출될 줄무늬의 방향성분을 알고 있어야 한다. 또한 얼굴 곡면에 따라 보여지는 줄무늬의 주파수가 다르므로 가버필터의 주파수 역시 적응적으로 변화시켜주어야 한다. 각 지역의 방향성분을 조사하기 위해서는 화소단위의 방향성을 조사한 후에 인접한 주변화소들의 방향성분을 고려하여 블록단위의 주된 방향성분을 찾음으로서 필터가 적용할 방향을 구한다[8]. 필터에 적용될 줄무늬패턴의 주파수는 그림 5와 같이 세로줄무늬의 융선을 추출하고 융선이 존재하는 지역의 줄무늬의 방향성분과 수직인 방향으로 인근지역의 융선간 거리를 계산함으로써 구할 수 있다.[9]

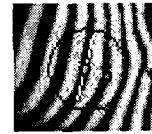


그림 5. 주파수를 구하기 위한 융선 추출

가버필터를 사용하면 눈 영역 등에서는 강인함을 보이지만 우(even)가버필터를 사용하는 경우 세로줄무늬의 중심선만을 찾아내므로 세로줄무늬패턴의 양쪽 에지를 추출하는 DoG필터를 적용할 때에 비해 정보량이 반으로 줄어드는 단점을 갖고 있다. 따라서 식 (3)과 (4)로 표현되는 기(odd)가버필터를 사용하여 세로줄무늬의 양쪽 에지를 따로 찾음으로서 우(even)가버필터를 사용할 때 감소하는 정보량을 기존의 방법과 같은 정보량으로 유지할 수 있다.

$$g_{\text{odd1}}(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_\theta^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \sin(2\pi fx_\theta) \quad (3)$$

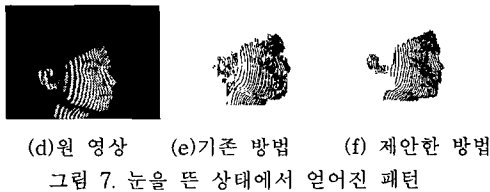
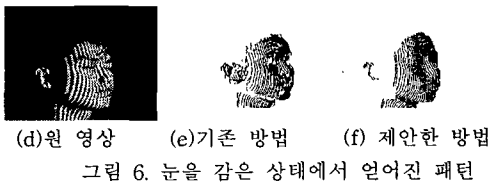
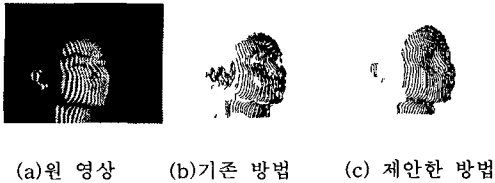
$$g_{\text{odd2}}(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_\theta^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\delta_y^2}\right]\right\} (-\sin(2\pi fx_\theta)) \quad (4)$$

## IV. 실험 결과

실험은 그림2(a)와 같은 장비를 이용하여 배경이 단순하고 영상취득시 세로줄무늬패턴을 영사해주는 프로젝터 이외의 다른 조명은 없는 상태에서 사람이 눈을 감은 상태와 뜬 상태의 영상을 취득하여 수행하였다.

기존의 DoG를 사용한 결과 영상은 그림 6(b), 6(e) 이고, 본 논문에서 제안된 적응적 가버필터를 사용한 결과가 그림 6(c), 6(f) 이다. 그림에서와 같이 제안된 방법에서는 눈 영역의 세로줄무늬패턴이 끊김 없이 추출되고

있음을 볼 수 있다.



눈을 감은 경우와 뜬 경우에도 모두에서 기존의 방법 은 세로줄무늬가 끊기는 현상이 발생하였지만 제안한 방법으로는 모두 세로줄무늬의 끊김이 발생하지 않았다. 그러나, 코 영역에서는 서로 다른 줄무늬들이 겹치는 문제가 발생하였다.

### V. 결론

줄무늬 패턴 투영에 의한 3차원 얼굴인식에서 얼굴에 투영된 세로줄무늬를 정확히 추출하면 보다 정확한 3차원 얼굴 곡면 정보를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 눈과 입 주변에서 세로줄무늬패턴의 불연속영역을 줄이기 위한 방법으로 가버필터(gabor filter)를 이용한 세로줄무늬 패턴 추출방법을 제안하였다. 제안한 세로줄무늬 추출 방법은 블록단위로 방향과 주파수에 따라 적응적인 가버필터를 적용함으로써 눈 영역 등에서의 가로줄무늬성분을 제거하여 세로줄무늬의 불연속 점들을 제거하였다.

실험 결과 눈과 입 영역에서 세로줄무늬패턴의 끊김 현상이 줄어든 반면 코 영역에서는 서로 다른 줄무늬들이 겹치는 문제가 발생하였다. 향후에는 코 영역에서 세로 줄무늬가 겹치지 않으면서 눈과 입 영역에서 세로줄무늬의 끊김을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

[1] Adam D. Tibbalds, "Three Dimensional Human Face Acquisition for Recognition", Ph.D thesis University of Cambridge, 1998.  
 [2] Emmanuel Garcia, Jean-Luc Dugelay, "Low Cost 3D Face Acquisition and Modeling", Information Technology: Coding and Computing, pp. 657 -661, 2001.  
 [3] Yan Xu, Chang Sheng Xu, Ying Li Tian, Song De Ma and Man Li Lou, "3-D Face Image Acquisition and Reconstruction System", IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology pp. 18-21, 1998.  
 [4] Matthew J. Clarkson, Daniel Rueckert L.G. Hill, and David J. Hawkes "Using Photo-Consistency to Register 2D Optical Images of the Human Face to a 3D Surface Model", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol. 23, No.11, Nov., 2001.  
 [5] Wonchurl Jang, "Adaptive Feature Extraction Algorithm For Fingerprint Recognition", 석사학위논문, 연세대학교, 2002.  
 [6] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle, Image Processing, Analysis, and Machine Vision, pp.83-88, 1998.  
 [7] Y. Hamamoto, "Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition", pp.137-151  
 [8] Anil K. Jain "Filter-Based Fingerprint Matching", IEEE Transactions on Image Processing, pp.846 -859, 2000.  
 [9] Jeng-Horng Chang, Kuo-Chin Fan, "Fingerprint ridge allocation in direct gray-scale domain", Pattern Recognition, vol.34, pp.1907-1925, 2001.