Stereo image를 이용한 Skin furrows에 대한 연구

안혜정*, 김민기*, 문종섭*, 오칠환**
고려대학교 자연과학대학 전자및정보공학부*, 고려대학교 의과대학 피부과**

Evaluation of Skin Furrows using Stereo image

H.J.Ahn*, M.G. Kim*, J.S.Moon*, and Ch.H.Oh**
Department of Electronic and Information Eng., College of Science and Tech., Korea University*
Department of Dermatology, College of Medicine, Korea University**

I. Abstract

There are two prevailing techniques, mechanical and optical profilometers, to measure 3-dimensional configurations of the human skin furrows.

The methods have some limitations such as, accuracies or resolutions of the acquired 3-dimensional data and consistencies according to the repeated experiments.

We devised an optical profilometer that is called stereo image optical profilometer (SOP) based on stereo image processing techniques.

A stereo image is a pair of images that obtained from two cameras which have different angles.

From the digital stereo images, the clinical informations for skin can be obtained by some signal processing techniques.

In this paper, we focused on the 3-dimensional graphical visualizations of the structures and state of the skin furrows by solving the corresponding problem from the left and right pairs of the stereo images.

II. 서론

피부 주름(skin furrows)의 상태와 구조의 변화에 대한 연구는 각종 피부 질환의 진단 및 병리 연구에 중요하며 각종 피부 극소 도포 약제나 화장품의 효능을 객관적이고 정량적인 판정을 위해 피부 과학 및 화장품 공학 분야에서 적용하는 매우 중요한 연구이다. 그러나 현재 피부 주름에 대한 연구 방법으로 이용되는 기계적 표면 계측기나 광학적 표면 계측기는 매우 고가일 뿐만 아니라 연구자마다 각기 다른 결과가 보고되는 등의 단점이 있다.

본 연구에서는 현재 선진 각국에서 사용하는 이러한 측정기기들의 단점을 극복하고 경제적이고 보다 정확하게 피부 주름을 직접적인 방법으로 측정할 수 있는 Stereo image Optical Profilometer(SOP)의 개발이 목적이다.

SOP는 피부 주름에 관한 3차원적 stereo 영상을 이용하여 정보를 측정하기 위한 계측 장비이다.
Stereo image는 두 대의 다른 각도에 위치한 카메라로부터 얻는 한 쌍의 영상을 말한다. 두 대의 CCD 카메라로부터의 출력을 영상 데이타 취득기 (image data acquisition board)에 의해 한 쌍의 디지탈 영상을 취득하고 이들로 부터 컴퓨터에서 3차원적인 정보를 취득한다. 이 때의 한 쌍의 stereo image로부터 3차원적 정보를 얻는 방법을 stereo matching (stereo 정합) 또는 대응점 문제라고 한다.

본 연구에서 SOP를 이용한 연구 방법은 3차원적 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 각각의 카메라로부터 얻은 영상은 물체의 모양을 그대로 간직하고 있는 장점이 있다. 또한 CCD 카메라로 가시광선을 이용하므로 피실험자들로부터 거부감을 일으키지 않을 뿐만 아니라, 향후 물체의 3차원적 거리를 필요로 하거나 3차원적 형상화가 필요한 모든 산업분야, 특히 로보틱스 분야 등에 활용 가능성이 높다.

본 연구에서는 SOP를 위한 시스템을 구현하고 stereo image로부터 stereo matching 문제를 disparity 라고 하는 물체 각 위치의 3차원적인 상대적 거리를 계산하여 이를 3차원적으로 형상화 하고자 한다.

SOP의 개발이 완성된 후에는 이러한 피부 과학에서의 적용 이외에도 각종 내시경 검사시 mass의 크

기나 표면의 상태, 궤양의 모양, 크기, 높이 등을 수치와 또는 정량화 할 수 있어 각종 종양이나 염증성 질환이 진단이나 예후 판정 등에 활용할 수 있어 새로운 진단 의학의 영역으로 발전될 가능성이 있다.

Ⅲ. 시스템의 구성 및 정합 알고리즘

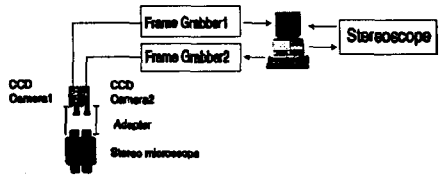


그림 1. SOP 시스템 구성도

그림 1과 같이 좌우 2개의 CCD 카메라로 부터 data acquisition board에 의해 1쌍의 stereo image를 digital 데이타로 취득 할 수 있다. 이 한 쌍의 스테레오 영상으로부터 한쪽의 영상을 중심으로 하여 다른 나머지 영상의 대응점을 찾는 것이 스테레오 정합의 목적이다. 이 때 두 영상에서 발생하는 변위 정도를 disparity라 하고 이 정보가 3차원적 깊이(depth)를 나타낸다.

1) 대응점 탐색 범위의 제한

스테레오 정합은 좌우 영상의 동일점을 찾는 작업으로 단순화 될 수 있으며, 이 때 가능한 해의 범위를 줄임으로서 계산 오차를 줄이고 시간을 상당히 줄일 수 있다. 해의 범위를 줄이는 방법은 그림 2와 같이 극상선(epipolar line)이 수평 주사선과 평행하게 두 카메라를 설치함으로써 대응점 탐색의 범위를 영상 전체에서 수평 주사선 내로 제한 할 수 있다.

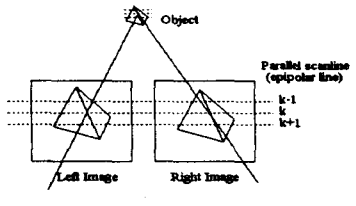


그림 2. 스테레오 정합을 위한 제한 조건

2) 스테레오 정합 모델

정합 오류를 배제하고 변이의 연속성을 유지하면서 신뢰성 있는 정합을 위해 위에서 언급된 두 가지의 제한 조건과 두 영상의 변이축 상에 위치하는 노드들의 양방향 정합 일치성을 이용한 정합 회로망 모델을 제안한다. 첫 번째 제한 조건으로부터 정합 회로망 모델의 기하학적 좌표계는 그림 3 와 같다. 그림 3 에서 K축과 I축이 이루는 면이 좌영상이고 K축과 J축이 이루는 면이 우영상이며, 각 영상은 아래의 함수로서 표현된다.

$$g_L(k,j) = f_L(k,i) + n_L(k,i)$$
$$g_R(k,j) = f_R(k,j) + n_R(k,j) \qquad \text{식(1)}$$

여기서 f_L과 f_R은 3차원 공간상의 잡음이 없는 한 점의 명암도이며 k는 좌·우영상의 행, i및 j는 각 영상의 열을 나타낸다. 그리고 n_L과 n_R는 각 영상에 존재하는 잡음을 나타낸다.

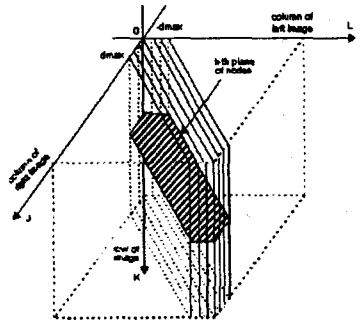


그림 3. 정합 회로망 모델

i, j : 좌 우 영상의 열(column)
$(1 \le i,j \le NCOL)$
k : 좌 우 영상의 행(row)
$(1 \le k \le NROW)$
d (disparity) = j-i ($|d| \le dmax$)

$$N_{k,j,d} = N_{k,j-d,d} \qquad \text{식(2)}$$

3) 초기 정합 가능도

① NCC Algorithm
(Normalized Cross-Correlation)

노드 $N_{k,i,d}$의 정합가능도는 인접 화소간의 변이의 연속성으로부터 갱신될 수 있으며, 식(1)에 존재하는 잡음으로 인한 오정합의 결과는 주위의 정합가능도를 고려한 반복적인 이완에 의해 감소하게 된다.

좌영상의 한 화소와 대응되는 우영상의 화소들간의 상호 상관도 값을 가지는 노드들은 좌영상에서의 변이축을 따라 위치하며, 각 노드에서의 초기 정합가능도는 식(3)과 같이 정합 창틀 내에 위치하는 평균과 분산으로 정규화한 NCC(Normalized Cross-Correlation)함수로서 구해 낸다.

$$P_{k,i,d}(0) = \frac{\sum(g_L(k,i)-\mu_L)(g_R(k,i+d)-\mu_R)}{\sqrt{\sum((g_L(k,i)-\mu_L)^2\sum((g_R(k,i+d)-\mu_R)^2}}$$

(μ_L과 μ_R은 좌·우영상의 상관관계 창틀 내 화소들의 평균값 , 0은 초기 값) 식(3)

② Hamming Distance Algorithm

Hamming Distance Algorithm은 NCC Algorithm과 변이축및 변화하는 d의 범위 또한 같으나, 본 논문에서 제안하는 Hamming Distance Algorithm은 NCC Algorithm에서 문제시 되는 분모와 분자 모두 모두 0이 되는 경우를 배제한 알고리즘으로서, 평균값과 분산을 사용하지 않으므로 계산속도가 훨씬 감소되는 고속 정합 알고리즘이라 할 수 있다. Hamming method를 이용한 경우의 초기치는 그 계산 과정의 단순함에도 불구하고 NCC에서 얻어지는 초기치와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있다.

각 노드에서의 초기 정합가능도는 식(4)와 같이 정합 창틀 내에 위치하는 각각의 화소들 간의 연산으로써 행해진다.

$$P_{k,i,d}(0) = \frac{\sum\{g_L(k,i)XNOR(g_R(k,i+d)\}}{\text{정합에 사용된 } (MaskSize)^2} \quad \text{식(4)}$$

4) 정합 가능도의 갱신

초기 정합 가능도가 가질 수 있는 오류를 제거하기 위한 알고리즘으로, 참고문헌 (2)에서 제시한 방법인 반복 이완 정합 알고리즘(Self-Reliant Relaxation Algorithm)과 협동 경쟁 이완 알고리즘 (Cooperative-Competitive Relaxation Algorithm)을 사용하였다.

반복 이완 정합 알고리즘(Self-Reliant Relaxation Algorithm)에서 제안한 방법은 무작위로 선택된 노드 $N_{k,i,d}$에서 교차되는 좌영상 및 우영상의 변이축을 따라 -dmax ~ dmax내에 위치하는 노드들의 정합가능도를 노드 $N_{k,i,d}$의 값과 비교하여 정합가능도의 갱신 여부를 결정한 후 인접하는 노드의 정합가능도를 고려한 이완 과정을 거치며, 반복 과정은 미리 설정된 반복 회수에 도달하거나 정합가능도가 수렴할 때까지 수행된다. 이와 같은 이완 과정을 반복함으로써 초기 정합가능도가 가지는 오류를 제거할 두 영상의 변이축 상에 위치하는 노드들에 대한 정합의 일치성을 동시에 고려하므로 정합 결과의 신뢰성을 향상시킨다

그리고 협동 경쟁 이완 알고리즘(Cooperative-Competitive Relaxation Algorithm)은 반복이완정합 알고리즘(SRR Algorithm)에서 일어날 수 있는 불확실한 정합 가능도를 갱신하는 것으로써, 마치 영상에 있어서 잡음처럼 나타나는 정합의 결과를 개선시킬 수 있는 알고리즘이다.

5) 변이값 결정

최대 정합 가능도를 가지는 노드가 위치하는 d를 변이값으로 선택

$$d_L(k,i) = \arg\max_d [\ P^I_{k,i,d}(T+1),\ (k,i,d)\in E_1] \quad \text{식(5)}$$

$$d_R(k,j) = \arg\max_d [\ P^I_{k,i,d}(T+1),\ (k,j,d)\in E_2] \quad \text{식(6)}$$

6) disparity의 실측 높이 계산

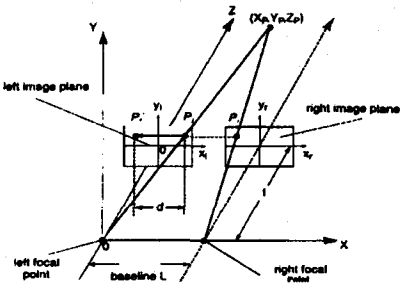


그림 4. 3차원 공간에서 좌 우 영상으로의 투영

그림 4에서 (X_{pl}, Y_{pl}), d, f, L과 (X_{pr}, Y_{pr})이 구해지면 다음 식에 의해 (X_p, Y_p, Z_p)가 구해진다.

$$\frac{d}{L} = \frac{f}{Z_p}$$

$$\frac{X_{pl}}{f} = \frac{X_p}{Z_p}$$

$$\frac{Y_{pl}}{f} = \frac{Y_p}{Z_p}$$

$$\frac{X_{pr}}{f} = \frac{X_p}{Z_p}$$

$$\frac{Y_{pr}}{f} = \frac{Y_p}{Z_p} \quad \text{식(7)}$$

그러나 이 때 카메라의 초점거리 f를 정확히 알고 있어야 한다.

본 연구에서는 위의 단점을 없애기 위해 실제의 실측된 scale을 사용하여 한 pixel 단위의 disparity의 실측 높이를 실험에 의하여 찾고자 한다.

이 실험 결과의 disparity map을 실측 높이로 변환하는 표를 형성하면 보다 정확히, 그리고 빨리 disparity map으로부터 3차원적 위치좌표 (X_p, Y_p, Z_p)를 구할 수 있다.

Ⅳ. 연구 결과

1) Random dot stereogram에 의한 실험

다음 그림 5는 stereo image를 연구하기 위한 기본적인 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 생성된 한 쌍의 stereo 영상이다.

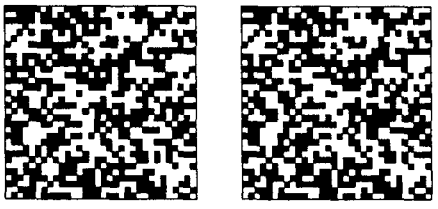
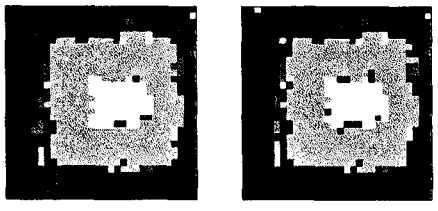
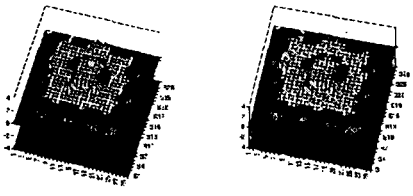


그림 5. 한 쌍의 random dot stereogram

이 한 쌍의 영상은 스테레오 영상의 monocular 정보는 없이 binocular 정보 중의 disparity 만을 포함한 경우라고 볼 수 있다. 전 절에서 설명된 정합 문제를 해결하면 그림 6과 같이 disparity를 구할 수 있고 이를 3차원적으로 형상화 하면 그림 7과 같이 된다.



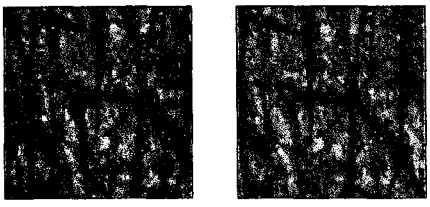
(a) Hamming Distance (b) NCC
그림 6. Disparity map



(a) Hamming Distance (b) NCC
그림 7. 3차원적 형상화

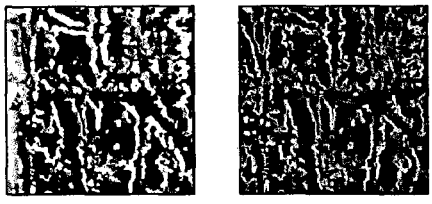
2) skin furrow에의 적용

그림 1과 같은 SOP에서 부터 주름 한 쌍의 skin furrow stereo image는 그림 8과 같다.



(a) 좌측 영상 (b) 우측 영상
그림 8. 한 쌍의 skin furrow stereo image

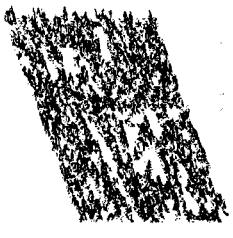
본 연구에서는 문제를 단순화 시키기 위하여 thresholding 기법에 의하여 그림 8의 영상을 이진화 영상으로 만든 후 정합 알고리즘을 적용시키면 그림 9와 같이 disparity map을 구할 수 있다.



(a) Hamming Distance (b)NCC
그림 9. disparity map

그림 9의 결과를 3차원적으로 형상화 하면 그림 10과 같은 주름의 모양을 얻을 수 있다

(a) Hamming Distance



(b) NCC
그림 10. skin furrow의 3차원적 형상화

V. 참고 문헌

(1) Alireza Khotanzad, Amol Bokil, and Ying-Wung Lee : "Stereopsis by Constraint Learning Feed-Forward Neural Networks." IEEE Trans. on Neural Networks. vol. 4, no. 2, pp. 332-342. March 1993

(2) W.G.Lee, Y.S.Kim, K.H.Do, and Y.H.Ha, "정합일치성을 이용한 반복 이완 정합 알고리즘" 전자공학회논문지 제32권 B편 제1호, 1995

(3) S. D. Cochran and G. Medioni, :3D surface description from binocular stereo." IEEE Trans. on PAMI. vol.14, no.10, pp.981-994, Oct 1992

(4) Nasser M. Nasrabadi, and Chang Y. Choo, " Hopfield Network for Stereo Vision Correspondence." IEEE Trans. on Neural Networks. vol. 3, no. 1, pp. 5-13. Jan. 1992

(5) D. Marr and T. Poggio, "A Computational theory of human stereo vision." Proc. Royal Society of London. B.204, pp.301-328, 1979

(6) Oliver Faugeras "Three-Dimensional Computer Vision A Geometric Viewpoint." The MIT Press, 1993

(7) Gösta H. Granlund and Hans Knutsson "Signal Processing for Computer Vision" Kluwer Academic Publishers, 1995

(8) Y. Ohta and T. Kanade. "Stereo by Intra and Inter-Scanline Search Usi Dynamic Programming." IEEE Trans. on PAMI. vol.7, no. 2, pp.139-154, 1985

(9) Y. H. Zhou and R. Cellappa. "Stereo matching using a neural network." in Proc. Intl. conf. on ASSP. New York, B.204, 1988

(10) D. Marr, "Vision",W. H. Freeman and Company New York, 1982

본 연구는 보건복지부에서 시행한 '95년도 보건의료기술연구 개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임