

PCB 영상의 스테레오 정합

최춘호*, 문철홍

광주대학교 전자공학과

광주광역시 남구 진월동 592-1

e-mail : chmoon@elec.kwangju.ac.kr

Stereo Matching for PCB Image

Choon-Ho Choi*, Cheol-Hong Moon

Dept. of Electronic Eng, Kwangju University

592-1 Jinwoldong, Namgu Kwangju

Abstract

In this paper, we applied FFT to PCB Images, cutting unnecessary signals and noise, moving the starting point to center of image and used rotation transform. From the detected edge Hough Transform identify the length, but not the angle, so we matched PCB images with using rotation transform to identify length and angle. After rotation transform we employ Least Squared Method to exact stereo matching.

I. 서론

3차원 정보 인식에 있어 2차원 영상으로부터 3차원 영상정보를 추출하는 과정은 매우 중요한 과정의 하나인 스테레오 비전에서 stereo vision system은 카메라의 공간적인 보형설정, 스테레오 영상정합(stereo image matching), 깊이정보의 보간(interpolation of depth)등의 과정으로 구성된다. 이 중에서 가장 많은 오차를 발생하는 스테레오 영상정합은 좌우 두 영상에서 얻은 두 점이 3차원 공간상에서 같은 점임을 밝혀내는 일치성 문제(correspondence problem)를 해결해야만 한다. 거리 영상을 얻기 위한 스테레오 시각의 기본 단계는 영상의 획득, 특징추출, 스테레오 정합, 변위의 추정, 변위로부터의 거리 계산 등으로 이루어지는데 가장 중요한 사항은 특징으로 사용될 정합요소의 선택과 그 요소의 적절한 정합방법을 구하는 것이라 할 수 있다.

본 논문에서는 특징기반 정합법을 사용하였는데 이는 좌측 영상의 특징과 우측영상의 특징들 사이의 대응관계를 확인하는 것이다.

대표적인 특징기반 정합의 연구로 Marr와 Poggio^[1]은 인간의 시각구조를 근거로 스테레오 계산구조(computation structure)에 대한 이론적 기반을 수립하였고 Terzopoulos^[2]는 Grimson^[3] 방법의 단점을 해결하기

위한 방법을 제시하였다. Ohta와 Kanade^[4] 에지 화소의 수직 연속성을 고려한 알고리즘을 발표하였고 Medioni와 Nevatia^[5]는 연결된 에지들로부터 선소들을 추출하고 각 선소에 대해 정합 가능한 범위 안에 존재하는 이웃 선소들로부터 구한 변위들간의 관계를 이용하여 정합하였다.

본 논문에서는 입력된 PCB 영상에 대하여 FFT를 한 후 필터링 하였다. LoG 연산자를 이용하여 에지를 검출하고 회전변환을 사용하여 길이와 각도로서 정합을 하였고 후처리 과정으로 최소제곱법을 사용하여 정합의 효율을 높였다.

II. 본론

영상을 처리하는데는 크게 공간영역처리와 주파수 영역처리로 나눌 수 있다. 이는 모두 잡음을 제거하고 윤곽선 등을 강조하여 보다 정확하게 처리하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 주파수 영역처리 방법을 이용하였다.

1. 에지 검출

에지검출은 잡음에 덜 민감한 2차 미분 에지 검출기인 LoG (Laplacian of Gaussian) 필터를 사용하였다. LoG 에지 검출기는 Laplacian을 적용하기 전에 Gaussian smoothing을 수행한다. Laplacian과 Gaussian 연산은 마스크 형태를 이용하여 회전함으로써 수행될 수 있다.

2. FFT

$N \times N$ 이 크기를 가진 영상에 대한 불연속 Fourier 변환을 256×256 영상을 적용하였다.

주파수 영역에서의 필터처리는 원하는 주파수 특성의 필터를 이 주파수 영역의 신호에 곱하여 그 결과를 역 DFT하면 된다.

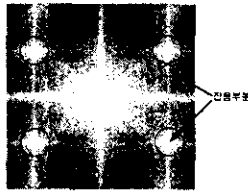


그림1. FFT한 PCB 영상

그림1은 FFT 처리 결과이다. 여기서 영상중심을 제외한 잡음부분은 저주파 통과 필터를 사용하여 제거하였다.

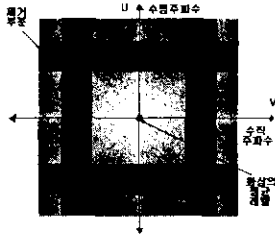


그림2. 필터의 주파수 특성

그림2는 화상의 평균레벨을 중심으로 잡음을 제거한 것이다.

3. Hough 변환

Hough 변환은 이진영상에서 그들 탐색의 계산의 복잡성을 감소시키기 위해 간단한 기하학적인 모양(곡선)의 매개변수 표현을 사용한다.

Hough 변환 방법에서는 영상의 한 픽셀을 (x_i, y_i) 라 하면 이 점을 통과하는 일반적인 직선의 식은

$$y_i = ax_i + b \quad (1)$$

이다. 다른 한 픽셀 (x_j, y_j) 을 지나는 일반적인 식도

$$y_j = ax_j + b \quad (2)$$

라 할 수 있고, 식(1)과 (2)에서 a 와 b 값을 구하면, 두 점을 지나는 직선의 식을 알 수 있다. 세 번째 점 (x_k, y_k) 가 결정된 a, b 로

$$y_k = ax_k + b \quad (3)$$

를 만족하면 세 번째 점은 처음 두 픽셀로 결정된 직선에 있다는 점을 알게된다.

이러한 원리로부터 a 와 b 를 변수로 한 좌표계를 고려하여

$$b = -x_i a + y_i \quad (4)$$

를 고려하면, a 변수 값의 변화에 따라 b 가 같은 픽셀들을 선택할 수 있고 또한 계수할 수 있다. 식 $b = -ax + y$ 를 사용하는 Hough 변환에서 관련한 점은 직선이 y 대에 평행하려고 할 때 a 나 b 가 무한대에 가까워지기 때문이다. 이 문제를 벗어나기 위한 직선의 식을 다음과 같이 바꾸어 생각한다면

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (5)$$

로 표현할 수 있으며 그림3에 나타내었다.

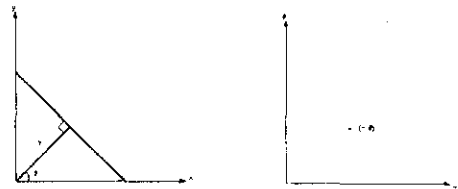


그림3. 직선의 극 표현

점 (x_i, y_i) 을 지나는 직선은 매개변수 공간 (r, θ) 에서 주기적인 곡선 $r = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$ 를 표현한다. 동일 선상의 점 (x_j, y_j) 는 이진영상 공간에서 매개변수에 대한 사인곡선의 교차점과 일치한다. 따라서, 비슷한 알고리즘이 그림3에서 설명된 것에서 식(4)대신에 식(5)을 이용하여 사용될 수 있고 사용되는 매개변수 (r, θ) 의 범위는 크기 $N_1 \times N_2$ 인 이진영상에 대해 다음과 같다.

$$-\sqrt{N_1^2 + N_2^2} \leq r \leq \sqrt{N_1^2 + N_2^2} \quad (6)$$

$$-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$$

Hough 변환의 알고리즘 표현을 식(5)에서 보여준다. 확실한 에지 검출자는 에지 크기뿐만 아니라 에지방향 $\phi(x, y)$ 도 생성할 수 있다. 방향정보는 일차원 탐색에서 이차원 탐색 감소에 의한 Hough 변환을 이용하여 수월하게 사용된다. 만약에 식(6)의 양면이 x 로 구분되었다면 다음의 방정식은 선 기울기를 제공한다.

$$\frac{dy}{dx} = -\cot \theta = \tan(\pi/2 + \theta) \quad (7)$$

유도한 dy/dx 는 또한 $\tan \phi$ 와 같다. 선분 방위 θ 는 에지 검출자 출력으로부터 계산될 수 있다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \phi \quad (8)$$

4. 회전변환

3차원 물체의 공간상의 회전은 이동이나 확대 또는 축소보다 훨씬 복잡하다. 여러 가지 회전중요 가장 간단한 것은 좌표축 주위의 회전이다. x 축 주위로 회전시키기 위한 변환 매트릭스를 R_x , y 축 주위로 회전시키기 위한 변환 매트릭스를 R_y , z 축 주위로 회전시키기 위한 변환 매트릭스를 R_z 라 하자. $x-y$ 평면에서 원점으로부터의 거리가 ρ 인 한 점 (x, y) 를 원점을 중심으로 회전시켰을 때 다음과 같은 식이 성립된다.

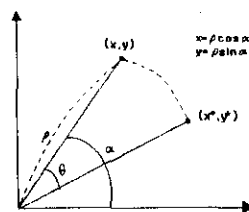


그림4. 점의 회전

$$\begin{aligned}
 x^* &= \rho \cos(-\theta + \alpha) \\
 &= \rho(\cos \theta \cos \alpha + \sin \theta \sin \alpha) \\
 &= x \cos \theta + y \sin \theta \\
 y^* &= \rho \sin(-\theta + \alpha) \\
 &= \rho(-\sin \theta \cos \alpha + \cos \theta \sin \alpha) \\
 &= -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (9)
 \end{aligned}$$

z축 주위에 대한 회전에 의하여 점 p는 z축 주위로 회전시키므로써 z축 좌표는 변동이 없고 x 좌표값과 y 좌표값만이 변동을 받는다. p점을 (x, y, z)라 하고 회전에 의하여 얻은 점 q를 (x*, y*, z*)라 하면

$$q = R_z(\theta)p \quad (10)$$

와 같이 표기할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 회전에 대하여 0°, 45°, 90°, 135°에 각각 적용하였다.

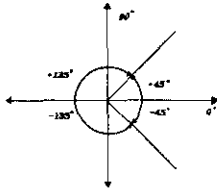


그림5. 회전 변환의 적용

선분은 Mahan, Medio&Nevatia가 제안한 스테레오 에러 교정방식을 사용하였다.

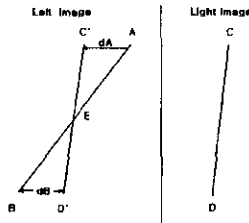


그림6. 직선의 정합

그림6은 왼쪽 영상의 직선선분 AB와 오른쪽 영상에서의 직선선분 CD를 보여준다. C'D'는 두 영상이 영 변위를 갖는 에지들이 발생하는 경우 CD의 위치이다. A에서 변위(왼쪽 영상)는 dA이고 B의 변위는 -dB이다.

$$\triangle AC'E = \triangle EBD'$$

$$\frac{dA}{|AE|} = \frac{dB}{|EB|} = \sin \theta \quad (12)$$

5. 최소 제곱법

각 분점 x_i 에서 주어진 함수치 $f(x_i)$ 의 정확도가 서로 다를 때에 최소제곱법은

$$E = \sum_{i=0}^n w_i \delta_i^2 = \sum_{i=0}^n w_i (f(x_i) - p(x_i))^2 \quad (13)$$

와 같이 δ_i^2 에 가중인자 $w_i (\geq 0)$ 를 곱하여 계산한 E'을

최소가 되게 하는 $p(x)$ 를 찾는 문제로 수정할 수 있는데 이를 가중최소제곱법(Weighted Least Squared Method)이라 한다.

최소제곱법은 $f(x)$ 가 구간 $[a, b]$ 에서 정의된 연속함수일 경우에도 확대 적용할 수 있다. 이 경우 최소제곱법은

$$E = \int_a^b w(x)(f(x) - p(x))^2 dx \quad (14)$$

를 최소 되게 하는 $p(x)$ 를 구하는 문제이며, 여기서 $w(x)$ 는 구간 $[a, b]$ 에서 $w(\geq 0)$ 인 가중함수이다. 많은 경우 $w(x)=1$ 을 취한다.

III. 실험결과

실험에 사용된 카메라는 삼성 CCS-724 카메라로 768(H)×494(V)의 픽셀로 구성되어 있으며, 1픽셀의 크기는 6.35μm×7.4μm이며, 영상처리보드는 IC-PCI를 사용하였고 1/3" 16mm C 마운트 렌즈를 사용하였다. 또한 컴퓨터는 Pentium II-266이며 C-Program을 사용하여 정합하였다.

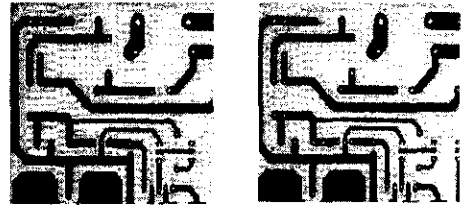


그림7. PCB의 스테레오 영상

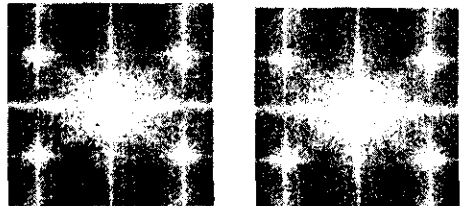


그림8. FFT를 처리한 결과

본 논문에서는 수직선분, 수평선분 그리고 대각선 선분을 이용하여 정합하기 때문에 불필요한 성분을 제거하기 위해 그림9와 같이 필터링하여 이들 성분을 제거하였다.



그림9. FFT처리 후 필터링

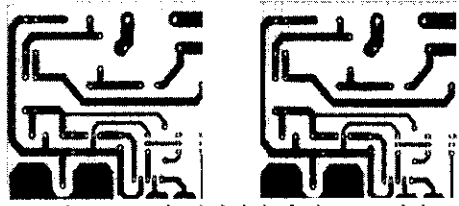


그림10. FFT와 필터링한 후의 PCB 영상

필터링한 PCB 영상에 대해 LoG 연산자를 사용하여 에지를 검출하였다. LoG 연산자는 영상내 잡음이 감소하고 또한 더 많은 에지를 검출하고 잘못 검출된 에지의 수가 감소할 수 있어 비교적 정확한 에지를 검출할 수 있었다.

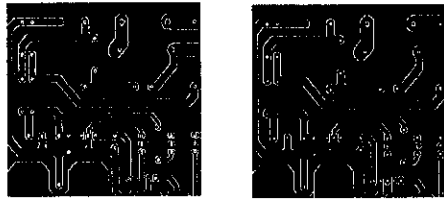


그림11. LoG를 사용한 에지 검출

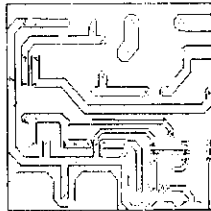


그림12. 후처리진의 정합 영상

그림12는 영상의 원점을 중심으로 이동시킨 후 길이와 각도 성분을 이용한 회전 변환을 적용하여 정합한 결과이다. Hough 변환은 시작점은 인식하지만 끝점을 인식하지 못하고 이웃하는 픽셀 성분을 인식하거나 가까운 이웃의 픽셀들을 인식하였다. 또한 Hole 성분까지도 인식하여 오차가 상당히 많이 발생하였다. 이를 교정하기 위해 식(14)의 최소제곱법을 사용하였는데 끊어진 선분이나 직선에서 한 픽셀이나 두 픽셀 정도의 오차를 제거하기 위해 각각 x축과 y축에 대하여 +3, -4 픽셀의 여유를 두어 정합하였다. 최소제곱법은 회전변환의 단점을 어느 정도 보완할 수 있으며 이에 따른 결과는 그림 13과 같다. 여기서 선분사이의 거리는 5픽셀로 그리고 선분의 길이는 7픽셀로 하여 정합하였다.

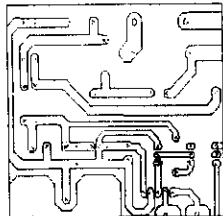


그림13. 최소제곱법을 사용한 정합 영상

제안하는 방법과 비교를 위해 FFT를 사용하는 대신 다음 식을 사용한 경계특성에 기반한 threshold를 이용하여 정합하였다.

$$S(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } \nabla < T \\ + & \text{if } \nabla \geq T \text{ and } \nabla^2 f \geq 0 \\ - & \text{if } \nabla \leq T \text{ and } \nabla^2 f \leq 0 \end{cases} \quad (15)$$

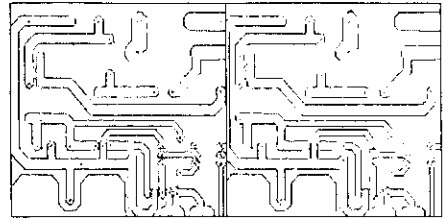


그림14. 영역처리방법의 PCB영상 정합

영역처리방법에 의한 정합은 수평이나 수직선분에서는 비교적 정합이 잘 되었으나 대각선 선분에 대해서는 거의 정합되지 않았다. 이는 원래의 영상에 대해서 경계특성에 기반한 threshold만을 적용하였기에 제거하고자 했던 잡음이나 불필요한 성분이 제대로 제거되지 않았기 때문이다. PCB 영상 정합에 대해서 본 논문에서 제안하는 방법과 영역처리방법을 표1에서 비교하였다.

표1. 정합방법에 따른 정합률

	제한한 방법	최소제곱법 사용전	영역처리 방법
총 선소수	119	113	83
수평선소 (0°)	44	43	34
수직선소 (90°)	38	37	30
대각선 (45°)	17	15	9
대각선 (135°)	20	18	15
정합률	94.96%	69.75%	84.87%

IV. 결론

본 논문에서는 스테레오 PCB 영상에 대해 길이와 각도를 이용한 회전변환을 사용하여 정합하였고 이에 따른 오차를 교정하기 위해 최소제곱법을 사용하였다. 최소제곱법의 사용은 수직이나 수평 선분의 한 픽셀이나 두 픽셀 정도의 오차에 의해서 발생하는 선분의 끊어짐이나 엇갈림을 교정할 수 있었다. 다만 대각선에서 약간의 부정합이 발생하였다. 또한 Hole이나 사선성분에 대해서는 대부분 정합이 이루어지지 않았다. 앞으로 이들 성분에 대한 정합이 필요하며 다만 다른 정합방법들, 예를 들면 이완법이나 동적 계획법 등과 비교하지 못함이 아쉬운 점이다. 또한 사선부분과 수직선분과 수평선분에서 픽셀의 오차를 교정할 수 있는 연구와 더 나아가 실장 PCB에 대한 정합 방법의 연구도 필요하다 하겠다.

[참고문헌]

- [1] D.Marr and T.Poggio, "A computational theory of human stereo vision," Proc. Roy. Soc. London. Vol. B204,pp 301-328,1979
- [2] D.Terzopoulos, "Multilevel computational processes for visual surface reconstruction," Comp. Vision and Graphic Image Processing, Vol.24,pp 52-96,1983
- [3] W.E.L.Grimson, Form Image to Surfaces. MITPress, Cambridge ,MA,1981
- [4] Y.Ohta and T.Kanade, "Stereo by intra- and inter_scanline search," IEEE Trans on Pattern Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-7, no.2, pp139-154,1985
- [5] G.Medioni and R.Nevitia, "Segment-based stereo matching," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol.31, pp.2-18, 1985