

## 비선형왜곡된 형광안저화상의 보정

高 昌 林

### Correction of Ocular Fundus Fluorescein Angiogram in Nonlinear Distortion

Chang Rim Koh

- Abstract -

Image correction of the fluorescein angiogram with the low contrast and geometrically distorted is studied. The procedure is divided into two steps : A template matching step and a geometrical transformation step. Based on the sequential similarity detection algorithm, more improved matching results are obtained with edge enhanced image. For the reference points and the corresponding matching points, the geometrical transformations by the use of the average value of the X, Y translational shifts and a pair of these points, respectively are described. Then the corrected images are obtained using bilinear interpolation. It is proven that the usefulness of this study for the image correction of the ocular fundus fluorescein angiogram with low contrast and geometrically distorted mainly due to the eye movements.

#### 1. 서 론

형광안저사진(ocular fundus fluorescein angiogram)은 안과영역의 임상적 응용뿐만 아니라 당뇨병, 고혈압 등 성인병의 조기발견의 수단으로도 이용된다.<sup>1, 2)</sup> 정맥에 주입한 형광물질에 의한 안저내의 형광의 위치는 여러가지 안저조직과 형광물질의 친

화성에 관계되며 각종 질병의 진단에 이용된다. 형광안저사진을 이용한 질병의 진단은 결국 관심영역에 대한 특징추출과정이다.<sup>3~5)</sup>

여러장의 안저사진을 평가하는 가장 효과적인 방법은 여러장의 사진을 비교하는 방법이며 진단에 유용한 정보를 추출하기 위해서는 관심영역에 대한 등록(registration)과정이 필수적이다. 그러나 형광안저사진(이하 안저상으로 표현함)들은 형광농도가 시간에 따라 변화하는 점과 연속적인 촬영시 눈의 운동으로 인한 움직임 장애(motion artifacts), 그리고 촬영 및 표시장치 등 광학계의 찌꺼기어짐과 비틀어짐 등 비선형성 왜곡요인을 가지므로<sup>6)</sup> 전 화상에 대한 보정은 대단히 어렵다. 이 분야의 연구로 M. Zingirian<sup>7)</sup> 등은 첫번째 화상의 관심영역에 대응하는

〈접수 : 1990년 3월 9일〉

慶北産業大學 電子工學科

Dept. of Electronic Eng., Kyungpook Sanup Univ.

(본 연구는 1989년도 문교부 학술연구 조성비에 의해 연구된 것임.)

두번째 화상의 관심영역을 아핀변환 (affine transform)을 이용하여 만족스런 매칭을 이루어질때까지 반복적으로 조정하였다. 그리고 J. S Read 등<sup>8)</sup>은 혈관의 교차점이나 분기점 등을 표시점 (land mark)으로 사용하여 수동적이고 반복시행방법으로 두 화상간의 상관에 의해 화면을 맞추었다. 그리고 富岡芳文 등<sup>9)</sup>은 안저상의 혈관구조를 도출하고 화상간 부분적으로 상관을 취해서 화상들을 맞추는 위치를 결정하였으나 문턱값의 자동결정, 기하학적 비뚤어짐의 사전보정 등의 과제가 남아있고, 河合秀夫 등<sup>10)</sup>은 템플리트 매칭 (template matching)에 의해 여러장의 사진에 대해 안구의 수평, 수직방향의 운동량을 구하였다.

이상의 연구들은 대개 X선 사진 또는 적외선 사진에 관한 연구가 대부분이었고 보정의 과정도 수동적인 방법과 시행착오방법을 사용하고 있다.

본 논문에서는 기하학적 왜곡과 명암도의 변화가 심한 안저상에 대해서 관심영역들의 매칭과 이 결과를 이용한 기하학적 변환<sup>11)</sup>에 의해 병진이동 (translational shift)의 경우에 대한 보정화상 (corrected image)을 자동적으로 구하는 방법에 관해서 연구하였다. 본 연구의 결과를 당뇨병성 형광안저사진들에 실제로 응용하여 보았으며 이 사진들로부터 다양한 진단정보의 추출에 이용가능함을 보였다.

## 2. 관심영역의 템플리트매칭

두 화상간의 국부유사도 (local similarity)의 자동결정은 화상처리와 인식에 필수적이며 유사도 검출에 가장 많이 사용되는 방법은 상관 (correlation)이다. 여기서는 Barnea 등<sup>12)</sup>이 제안한 SSDA (sequential similarity detection algorithm)을 이용한 안저상의 템플리트 매칭에 관해서 살펴보기로 한다.

그림 1은 형광불질을 주입하고 88초 후에 찍은 당뇨병 환자의 안저상이고, 그림 2는 98초 후에 찍은 사진이다.

본 연구에서는 이 화상들의 작은 사각형 내부를 관심영역들로 정하였으며 편의상, 그림 1의 사각형 내부를 제1화상, 그림 2의 사각형 내부를 제2화상으로 표현한다. 이 영역들을 살펴보면 혈관, 출혈부위

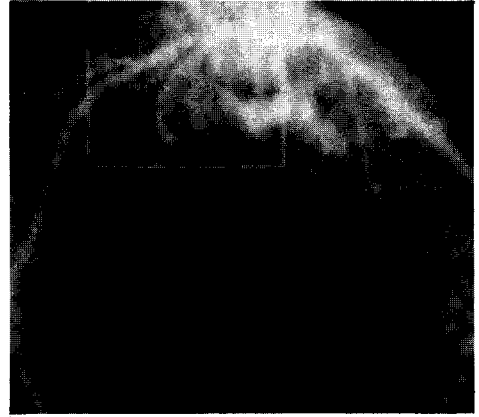


그림 1 형광안저화상(250×250)

Fig. 1 Ocular fundus fluorescein angiogram(250×250)

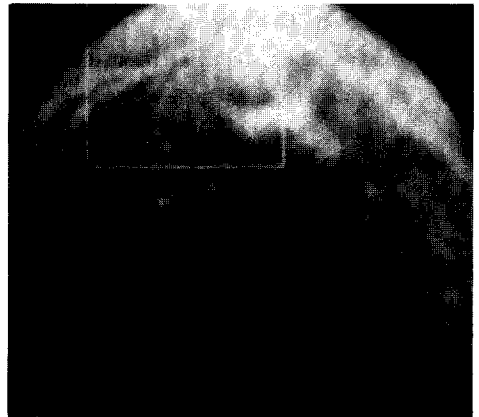


그림 2 형광안저화상(250×250)

Fig. 2 Ocular fundus fluorescein angiogram(250×250)

등 특징영역들의 명암도 범위가 서로 겹치고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우 SSDA에 의한 템플리트 매칭은 양호한 결과를 얻을 수 없다. 본 연구에서는 (3×3) Sobel연산자를 이용하여 화상의 에지를 강조함으로써 매칭의 결과를 개선하였다.

그림 3은 관심영역들의 매칭점을 찾는 순서도이다.

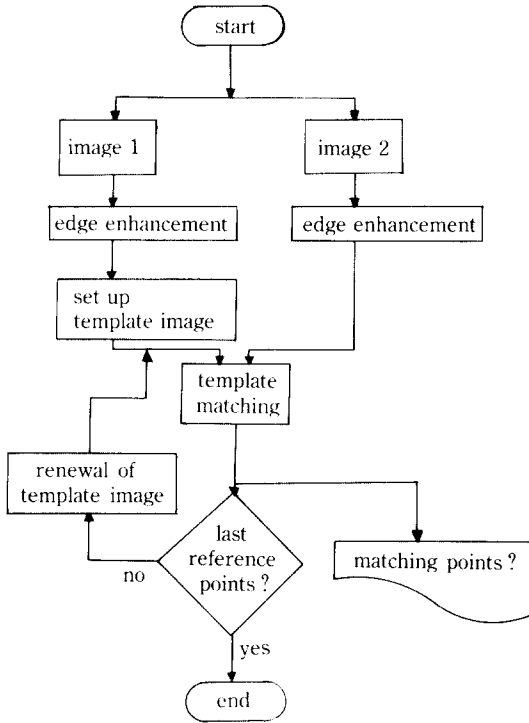


그림 3 템플릿 매칭의 순서도

Fig. 3 Flow chart of the template matching

화상의 전 영역을 보정하기 위하여 화상의 크기가  $100 \times 100$ 인 제1화상에서 균등간격을 갖는 N개의 참고점(reference point)들을 선정한다. 각 참고점에서  $M \times M$ 크기인 화상 IT를 취하고 제2화상에서 같은 크기의 화상을 IP라 하면 두 화상간 대응하는 각 화상들의 명암도의 차의 합  $E(i, j)$ 는

$$E(i, j) = \sum_{l=1}^M \sum_{m=1}^M |IP(i+l-1, j+m+1) - IT(l, m)| \quad (1)$$

제1화상과 제2화상간의 매칭점은 식(1)의  $E(i, j)$ 가 최소가 되는 위치이다. 템플릿 화상의 참고점 N개의 좌상점좌표들과 N개의 매칭점들의 좌표들은 아핀 변환의 변환행렬의 요소를 결정하는데 이용된다.

### 3. 좌표변환에 의한 화상의 보정

형광안저사진은 연속적으로 안저 (ocular fundus) 부분을 촬영한 사진이며 주로 안구의 운동으로 인하여 사진들간에 기하학적 어긋남 (geometrical mismatch) 문제가 발생한다. 따라서 이러한 화상들의 등록의 전처리과정으로 화상의 보정이 필요하다. 그림 4는 좌표변환과 선형보간을 이용하여 보정화상을 구하는 순서도이다.

화상의 기하학적 변환은

$$x' = h_1(x, y), \quad y' = h_2(x, y) \quad (2)$$

로 정의된다.<sup>13)</sup> 여기서  $x, y$ 는 변환전 좌표이고,  $x', y'$ 는 변환후 좌표이며  $h$ 는 변환함수이다. 자주 사용되는 변환방법으로 에르미트(hermite)변환, 아핀(affine)변환, 등각사상변환, 사영변환등이 있으며 본 연구에서는 좌표변환에 의한 직선성과 직선상에 있는 점의 비는 보존되는 아핀변환을 이용한다. 아핀변환은

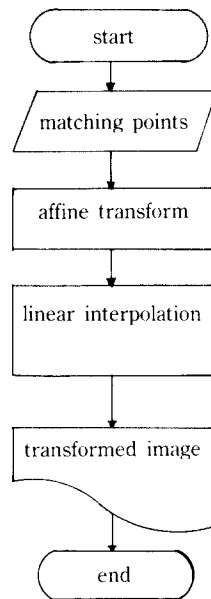


그림 4 화상보정의 순서도

Fig. 4 Flow chart of the image correction

$$\begin{pmatrix} x_2^k \\ y_2^k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^k \\ y_1^k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_{13} \\ t_{23} \end{pmatrix} \quad (3)$$

로 표현된다. 여기서  $(x_1^k, y_1^k)$ 는 변환전 k번째 좌표이며,  $(x_2^k, y_2^k)$ 는 변환후 k번째 좌표이고  $t_{ij}$ 는 변환행렬의 요소이다.

제1화상의 N개의 참고점의 좌표들과 이에 대응하는 제2화상의 N개의 매칭점의 좌표와의 자승오차가 최소가 되게 하는 변환행렬[T]를 다음과 같이 구한다.  $(x_1^k, y_1^k)$ 와  $(x_2^k, y_2^k)$ 의 x와 y좌표에 대한 분산(variance)의 합은 각각

$$S_x = \sum_{k=1}^N (x_2^k - x_1^k)^2, \quad S_y = \sum_{k=1}^N (y_2^k - y_1^k)^2 \quad (4)$$

이다. 식(4)의  $S_x$ 와  $S_y$ 는 행렬[T]의 함수이므로 이 값들이 최소로 될 필요조건은

$$\frac{\partial S_x}{\partial t_{ij}} = 0, \quad \frac{\partial S_y}{\partial t_{ij}} = 0 \quad i=1,2, \quad j=1,2,3 \quad (5)$$

이다. 식(5)로부터 구한 연립방정식의 해가 아핀변환의 변환행렬요소  $t_{ij}$ 이다.

화상에 좌표변환의 결과를 적용시키려면 재표본화(resampling)되거나, 보간(interpolation)이 필요하다. 본 연구에서는 양선정보간(bilinear interpolation)을 이용하여 변환된 좌표점에 새로운 명암도를 지정한다. 점  $(x, y)$ ,  $(x+1, y)$ ,  $(x, y+1)$ ,  $(x+1, y+1)$ 로 이루어지는 영역내의 임의의 점  $(x'', y'')$ 에 지정할 명암도  $G(x'', y'')$ 은

$$G(x'', y'') = (1-\alpha)(1-\beta) f(x, y) + (1-\alpha)\beta f(x, y+1) + \alpha(1-\beta) f(x+1, y) + \alpha\beta f(x+1, y+1) \quad (6)$$

이다. 여기서  $\alpha = x'' - [x'']$ ,  $\beta = y'' - [y'']$ ,  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ 이며  $[x''] = x$ ,  $[y''] = y$ 이다. 식(3)에 의해 좌표변환을 실행하고 변환된 새로운 좌표에 식(6)을 이용한 양선정보간에 의해서 보정된 화상을 얻게 된다.

## 4. 실험결과 및 검토

### 4.1 관심영역의 템플리트 매칭

그림 5의 상단좌측은 제1화상에  $3 \times 3$  Sobel연산자를 이용하여 에지를 강조한 후 좌표 (25, 25)에서  $20 \times 20$ 크기의 템플리트 화상을 표시한 그림이다. 그리고 상단우측은 제2화상에서 같은 방법으로 에지를 강조하고 SSDA를 이용한 템플리트 매칭의 결과를 나타낸 그림이며 매칭이 이루어진 점의 좌표는 (22, 32)이고 또한 하단의 그림은  $20 \times 20$ 크기의 템플리트 화상이다.

SSDA를 이용한 템플리트 매칭은 식(1)에 표시한 바와 같이 템플리트 화상과 같은 크기의 탐색영역(search area)내의 명암도 차이에 의해 매칭이 이루어진다. 그러나 형광안저화상의 경우는 전 화상의 명도대비(contrast)가 낮은 경우이므로 양호한 매칭 결과를 얻을 수 없다. 실험을 통하여 매칭의 결과가 불량함을 확인하였고 이러한 문제점은 화상의 에지를 강조함으로써 개선하였다.

표 1은 9개 참고점에 대해서 SSDA를 이용한 제1



그림 5 SSDA를 이용한 템플리트 매칭  
Fig. 5 Template matching using SSDA

표 1 템플릿 매칭의 결과표

Table 1 Results of template matching

Reference points	Upper left corner of template		Template size	Matching points	
	X	Y		X	Y
P <sub>1</sub>	25	25	20×20	22	32
P <sub>2</sub>	50	25	20×20	47	31
P <sub>3</sub>	75	25	20×20	71	31
P <sub>4</sub>	25	50	20×20	22	57
P <sub>5</sub>	50	50	20×20	47	56
P <sub>6</sub>	75	50	20×20	72	55
P <sub>7</sub>	25	75	20×20	23	81
P <sub>8</sub>	50	75	20×20	47	79
P <sub>9</sub>	75	75	20×20	72	79

화상과 제2화상의 매칭결과표이다.

제1화상의 템플릿 화상의 좌상점 좌표들과 이에 대응되는 제2화상의 매칭점의 좌표들은 아핀변환의 변환행렬의 요소를 계산하는데 이용된다.

#### 4.2 기하학적 변환에 의한 화상의 보정

본 연구에서는 왜곡된 화상의 보정방법으로 제1화상의 9개 참고점들과 이러한 점들에 대응하는 각 매칭점들의 x 및 y 방향의 평균변이량을 적용한 경우와 개별적인 변이량을 적용하는 방법에 관해서 연구하였다. 그리고 좌표변환 과정에서 X 또는 y 좌표가 음수이거나 실험화상의 최대값보다 큰 경우는 이 좌표에 해당되는 명암도를 0으로 부여하였다.

그림 6의 왼쪽은 제1화상이고, 오른쪽 화상은 제1화상의 9개 참고점들에 대해서 각 매칭점들의 X 및



그림 6 제1화상과 보정된 화상(x 및 y의 평균변이량을 적용한 경우)

Fig. 6 First image and the corrected image(Using the average value of x, y translational shifts)



그림 7 제1화상과 보정된 화상(x 및 y의 개별적 변이량을 적용한 경우)

Fig. 7 First image and the corrected image(using the each value of x, y translational shift)

y방향의 평균변이량을 적용한 경우의 보정된 화상이 다.

그림 7의 왼쪽은 제1화상이고, 오른쪽 화상은 제1화상의 9개 참고점에 대해서 각 매칭점들의 개별적인 변이량을 적용한 경우의 보정된 화상이다.

그림 6의 보정된 화상의 왼쪽과 아래쪽 영역이 검게 보이는 부분은 9개 참고점들에 대응하는 정합점들의 x 및 y방향의 평균변이량만큼 화상이 x 및 y방향으로 변이되었음을 보여주는 부분이며 표1로부터 평균변이량은 x와 y값이 각각 -3.00과 5.60임을 알 수 있다.

그림7의 보정된 화상의 외곽에 보이는 톱날같은 모양은 9개의 참고점들과 이에 대응하는 각 매칭점의 x 및 y좌표의 편이량이 국부적으로 다르기 때문이다. 결국 이러한 모양은 제1화상과 제2화상간 비선형왜곡과 기하학적 어긋남의 정도가 국부적으로 다르기 때문에 나타난다고 생각된다.

본 연구의 결과는 여러장의 형광안저 사진들로부터 각종 진단정보의 추출과정에 충분히 이용가능하다고 판단되며, 화상의 회전을 고려한 경우의 보정은 앞으로의 연구과제이다.

## 5. 결 론

명도대비가 낮고 기하학적으로 왜곡된 형광안저화상의 관심영역들의 템플릿매칭과 매칭결과를 이용한 왜곡된 화상의 보정화상을 구하는 방법에 관해서 연구하였다.

템플릿 매칭과정에서 SSDA방법은 화상의 전영역이 낮은 명도대비를 갖는 경우는 매칭결과가 불량함을 확인하였고, 이러한 문제점은 화상의 에지를 강조하여 개선하였다. 그리고 기하학적 변환과정에서는 템플릿 매칭의 결과를 이용하여 다음 두가지 방법에 의해 좌표변환을 실행하고 양선형보간에 의해 보정된 화상을 구하였다. 좌표변환의 방법으로 9개 참고점에 대한 매칭의 결과를 이용하여 각 매칭점들에 대한 x 및 y방향의 평균변이량을 이용한 경우의 변환과 9개 참고점에 대한 각 매칭점의 x 및 y방향의 변이량을 별개로 적용시킨 경우의 변환에 관하여 연구하였다.

본 연구의 결과는 명도대비가 낮고 비선형 왜곡요인과 눈의 운동으로 인하여 움직임 장애 등이 내포된 형광안저사진으로부터 각종 질병과 이에 관련되는 다양한 진단정보의 추출에 이용가능할것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- 1) A. E. Krill, "Hereditary retinal and choroidal diseases", Vol. 1. Evaluation, Harper & Row, Inc. pp. 73-187, 1972.
- 2) 尹東浩, et al., "眼科學", 一潮閣 pp. 154-167, 1986.
- 3) 可兒一孝, 三村 治, "赤外線ナレゼツヨン眼底カメラウにする眼球運動の記録, 眼科臨床醫報, pp. 186-189, 1980.
- 4) 山本 眞司, "眼底寫眞の自動解析", 朝倉書店, pp. 420-429, 1982.
- 5) 河合 秀夫, et al., "赤外線眼底ナレゼツヨン畫像お用にた網膜感度圖の自動作成", 日本エムイー學會, 第23卷, 6, pp. 361-367, 1985.
- 6) B. H. McCormick, et al., "image processing in television ophthalmoscopy", Preston & Onoe, eds., pp. 399-424, 1976.
- 7) M. Zingirian, et al., "A processing system oriented to the management of images acquired by different ophthalmological diagnosis method", Computers in ophthalmology, pp. 111-122. April, 1979.
- 8) J. S. Read, et al., "The television ophthalmoscope image processor", Methods and applications, Proc. Computers in ophthalmology, pp. 123-144, 1979.
- 9) 富岡 芳文, et al., "血管構造につく眼底寫眞の貼合せ", 情報處理, 19, pp. 135-144, 1987.
- 10) 河合 秀夫, et al., "眼底畫像による眼球運動解析システム", 電子通信學會, J 67D, 2, 1984.
- 11) 高昌林, et al., "아파인 변환을 이용한 螢光眼底畫像의 幾何學的 變換", 大韓電子工學會 秋季學術大會 論文集, pp. 738-741, 1986.

- 12) D. I. Barnea, et al., "A class of algorithms for fast digital image registration", IEEE Trans, on Computers, Vol. C-21, No. 2, pp. 179-186, Feb., 1972.
- 13) A. Rosenfeld and A. C. Kak, "Digital picture processing", 2nd eds, Vol. 2, Academic Press, 1982.