

螢光眼底畫像에 관한 特徵 領域의 抽出 및 模樣 描寫

高昌林* · 河永浩** · 金秀重**

= Abstract =

Extraction and Shape Description of Feature Region on Ocular Fundus Fluorescein Angiogram

Chang-Rim Koh* · Yeong-Ho Ha* · Soo-Joong Kim*

An image feature extraction method for the low contrast fluorescein angiogram in diabetes was studied. To obtain effective image segmentation, an adaptive local difference image is generated and relaxation process are applied to this difference image. By the use of distance transformed data with segmented image, shape and location of feature regions were obtained. It was shown that the location and shape descriptions of impaired blood vessel networks and retinal regions are can be utilized for the diagnosis of diabetes and other disease.

1. 序 論

各種 眼科疾患과 成人病은 증가추세에 있으며, 特別 糖尿病은 治療법이 向上됨에 따라 患者의 壽命은 延長되어 이 病으로 인한 合併症의 發生빈도는 그전보다 증가하였다. 血管造影術인 螢光眼底寫眞은 眼科臨床學에서 이러한 各種疾患의 진단에 使用된다. 糖尿病性 網膜炎은 結局 失明을 초래하게되며 治療법도 단순치 않다.^[1] 따라서 질병의 部位를 事前에 豫測하고 藥物 및 光凝固術(photocoagulation) 등의 대책을 강구하여 失明을 事前에 防止할 必要가 있다. 眼底畫像에 나타나는 各種 疾病은 工學的側面에서 血管系와 關聯된 線狀패턴과 損傷된 網膜에 나타나는 斑狀패턴으로 크게 나눌 수 있다.^[2] 그러므로 형광안저화상의 特徵認識에는 이들 패턴의 抽出 및 模樣描寫(shape description)過程이 必要하다.

Blum은 生體의 模樣(biological shape)의 描寫(description)에 適合한 中心軸變換(medial axis transform)을 提案하였고,^[3] 이를 應用한 研究도 많다.^[4]

本 論文은 低解像度 螢光眼底畫像에 對해서 血管系의 構造 및 損傷된 網膜部位의 모양과 진단에 필요한 有用한 情報를 찾는 方法에 關한 研究이다. 解像도가 낮은 螢光眼底畫像의 效果的인 畫像分割을 爲한 前處理 過程으로 局所適應差畫像(local adaptive difference image)을 生成하고 弛緩法(relaxation process)을 利用하여 特徵領域을 抽出하였다. 分割된 畫像에 對해 距離變換(distance transform)을 試行하고 거리변환 資料를 使用하여 特徵領域의 骨格(skeleton)을 찾았다. 또한 이 骨格으로부터 連結性(connectivity)을 考慮한 領域擴張에 依해 識別이 容易한 損傷된 血管系(blood vessel networks) 및 網膜部位의 畫像을 얻었다.

2. 本 論

低解像度 螢光眼底畫像으로부터 질병의 症勢와 關聯된 特徵領域을 效果의 으로 抽出하기 爲해 다음과 같은 方法으로 畫像을 分割하였다.^[1]

(접수: 1987년 5월 25일)

* 慶北開放大學 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Kyungpook Open Univ.
** 慶北大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Kyungpook National Univ.

2-1. 局所特徵의 抽出과 畫像分割

糖尿病과 관련된 診斷情報은 血管系의 構造, 螢光物質의 漏泄部位 및 時間變化 等이며 이러한 特徵領域은 解像度가 特히 낮아 진단에 필요한 情報抽出이 매우 곤란하다. 이 경우 全 畫像의 히스토그램으로부터 求한 문턱값(threshold value)을 使用하게되면 畫像으로부터 局所特徵抽出이 不良하다. 이러한 問題點을 解決하기 위한 方法으로 局部傾斜(local gradient) 크기에 比例하는 明暗度를 갖는 局部適應差畫像(以下 差畫像으로 表現함)을 生成하였다. 그리고 이 差畫像에 對해 畫像分割誤差의 減小와 雜音除去效果 等の 장점을 가진 弛緩法을 利用하여 畫像을 分割하였고 그림 1은 이러한 過程의 順序圖이다.

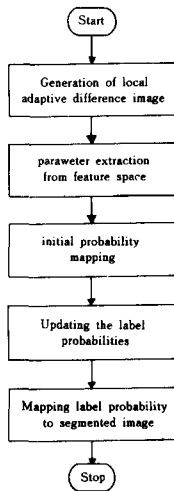


그림 1. 化상분할 알고리즘의 順序도

Fig. 1. Flow chart of image segmentation algorithm.

式(1)은 差畫像을 生成하는 式이다.

$$D(i, j) = A(i, j) - E(i, j) \quad (1)$$

여기서 $A(i, j)$ 는 原畫像의 明暗度, $E(i, j)$ 는 點(i, j)를 中心으로하는 $n \times n$ 크기의 averaging window 內에 屬하는 $A(i, j)$ 의 明暗度平均이고, $D(i, j)$ 는 差畫像의 明暗度이다.

그림 2는 螢光物質을 注入하고 77秒後에 찍은 糖尿病 患者의 형광안저사진이며, 이 사진을 살펴보면 糖尿病 症狀이 나타나는 血管모양과 網膜部分의 解像度가 매우 낮아 診斷에 必要한 情報抽出이 매우 困難함을 알 수 있다.

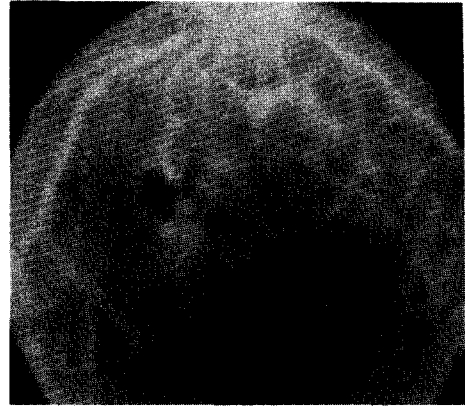
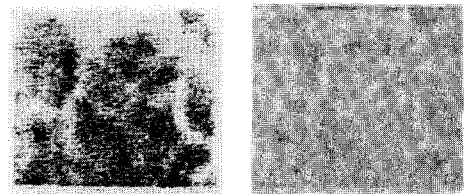


그림 2. 형광안저화상 (256×256)

Fig. 2. Ocular fundus fluorescein angiogram (256×256 pels)

그림 3(a)는 그림 2의 (100, 60) 위치에서 크기 80×80 으로 取한 部分畫像이고, 그림 3 (b)는 이 畫像에 對해서 式(1)에 依해 生成된 局所適應差畫像이다.



(a) (b)

그림 3. (a) 그림 2의 部分화상 (80×80) (b) (a)의 국소적용 차화상 (평균=130.2, 표준편차=16.6)

Fig. 3. (a) Subimage of Fig. 2. (80×80) (b) local adaptive difference image of Fig. 3. (a) (mean = 130.2, SD = 16.6)

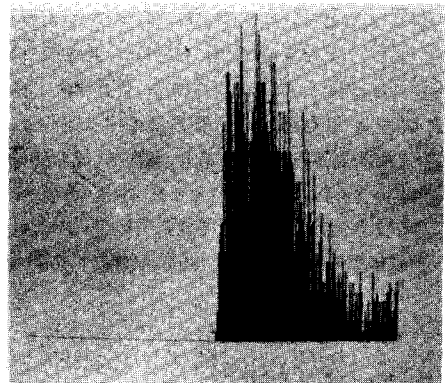


그림 4. 그림 3. (a)의 히스토그램
Fig. 4. Histogram of Fig. 3.(a)

그림4는 그림3(a)의 部分畫像에 對한 히스토그램으로 單一모드 分布를 갖고있어 畫像分割을 爲한 문턱치 決定이 容易하지 않음을 알 수 있다. 그림5는그림3(b)의 국소적응차화상에 對한 히스토그램이다.



그림 5. 그림 3. (b)의 히스토그램
Fig. 5. Histogram of Fig. 3.(b)

그림5로 부터 差畫像의 히스토그램分布는 正規分布에 近似하며 式(2)로 近似化할 수 있다.

$$H(i) = e \times p \left[\frac{-(i-E)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2)$$

여기서 E는 差畫像의 平均이고 σ 는 標準偏差 그리고 i는 區間(0, 255)內의 明暗度이다.

一般的으로 差信號의 히스토그램은 正規分布에 近似하며, 그림5의 差畫像의 히스토그램에서 正規分布로부터 特別히 큰 偏差를 보이는 差畫像의 明暗度を 弛緩法을 利用한 畫像分割의 初期基準值로 利用할 수 있음을 알 수 있다.

本 研究에서는 特徵領域의 背景에 해당되는 部分을 平均明暗度로, 平均明暗度에서 偏差가 두번째와 세번째 되는 明暗度を 갖는 領域을 特徵領域에 各各 對應시켰다. 特히 averaging window의 크기는 差畫像의 히스토그램分布모양과 關係되는 重要한 要因이며, 히스토그램 분포 모양이 數學的모델링이 可能하도록 定해져야 한다. 그림3(b)는 averaging window size가 7×7 일때의 差畫像이고, 그림5로부터 이러한 條件을 滿足하고 있음을 알 수 있다.

2-2. 弛緩法을 利用한 畫像分割

損傷된 血管系 및 網膜의 모양과 位置를 찾기위한 過程의 入力畫像은 差畫像에 對해 畫像의 分割誤差를 줄

이며 雜音除去效果를 가진 弛緩法을 基礎로한 畫像分割에 依해 얻을 수 있다. [4]

差畫像에서 畫素i의 明暗度偏差가 라벨入를 가질 初期確率을 다음과 같이 定義한다.

$$P_i(\lambda) = \frac{e \times p \{ [E - |de(\lambda) - D(m,n)|]^2 / 2\sigma^2 \}}{\sum_{i=1}^3 e \times p \{ [E - |de(\lambda) - D(m,n)|]^2 / 2\sigma^2 \}} \quad (3)$$

여기서 σ 는 差畫像의 標準偏差이며 라벨의 數는 特徵領域의 數를 나타내고, D(m,n)는 式(1)에서 求한 差明暗度이다. 또한 對象物의 라벨작끼리 適合의 정도를 나타내는 適合係數(compatibility coefficient)를 式(4)로 表現한다.

$$r(\lambda, \lambda') = \begin{cases} 1 - \frac{|2 \times de(l) - de(l')|}{dl} \\ -1 \end{cases} \quad (4)$$

; if $0 \leq de(\lambda) - de(\lambda') \leq dl$
; otherwise

단, $dl = \frac{de(\lambda) - de(\lambda')}{\max \min}$

여기서 de(·)는 各라벨에 해당되는 差畫像 한 畫素의 明暗度和 平均明暗度の 偏差범위이다.

弛緩法은 式(3)의 初期라벨確率을 推定의 기초로하여 다음 式에 依해 各 라벨確率을 更新(update)한다.

$$P_i^{(k+1)}(\lambda) = \frac{P_i^{(k)}(\lambda) [1 + g_i^{(k)}(\lambda)]}{\sum_{\lambda'} P_i^{(k)}(\lambda') [1 + g_i^{(k)}(\lambda')]} \quad (5)$$

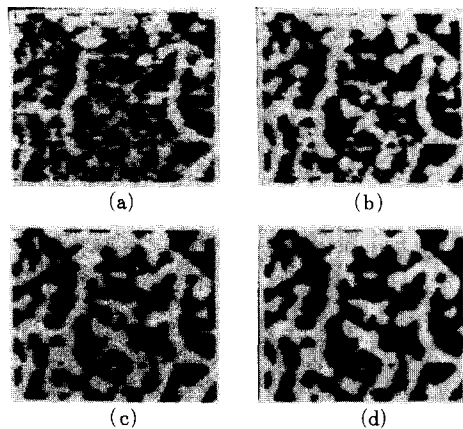


그림 6. 그림 3(b)의 畫像에 弛緩法을 (a) 1 (b) 4 (c) 7 (d) 10회 反復適用後 分割된 畫像

Fig. 6. Segmented images(a)1(b)4 (c)7(d)10 iterations of the relaxation process applied to Fig. 3.(b)

단, $g_i^{(k)}(\lambda) = \sum_{\lambda'} r(\lambda, \lambda') \sum_j w_{ij} P_j^{(k)}(\lambda')$
 여기서 $P_i^{(k)}(\lambda)$ 는 k번째 確率更新後에 畫素 i가 라벨 λ 를 가진 確率이고, $g_i^{(k)}(\lambda)$ 는 隣接 畫素로부터의 寄與度 (contribution)이다. 또한 w_{ij} 는 畫素 i를 中心으로 하는 隣接 8개 畫素들의 영향을 나타내는 荷重(weight)이다.

그림 6의 (a) ~ (d)는 그림 3 (b)의 差畫像에 對해서 式(5)에 依해 라벨 確率을 各各 1, 4, 7, 10回 更新한 後의 分割된 畫像이다.

2-3. 損傷된 血管系 및 網膜의 模樣描寫 및 部位檢出

診斷에 必要한 情報은 血管系와 關聯되는 線狀 패턴과 出血(hemorrhage), 滲透(exudates)等 網膜에 나타나는 斑狀 패턴으로 眼底部分에 分布하므로, 이들 特徵領域의 模樣描寫 및 部位檢出이 必要하다. 이러한 研究目的을 達成하기 爲한 過程으로 그림 6 (d)의 分割된 畫像에 對한 距離變換, 距離變換資料에 依한 骨格(skeleton)抽出, 그리고 骨格으로부터 方向性을 考慮한 領域擴張을 試行하였다.

1) 距離 變換

特徵領域에 해당되는 畫像의 副分集合을 S라 하면 S의 餘集合 \bar{S} 는 特徵領域의 背景에 對應된다. 集合 S 내의 各點에 對해서 背景 \bar{S} 로부터 最小距離로의 置換을 距離變換이라 한다.^[7] 距離函數로는 Euclidian, City block, Chessboard 距離 등이 있다.

그림 7은 어떤 點(i, j)를 中心으로 하는 8-隣接要素이다. 이들 8-隣接要素는 點(i, j)에서 보면 8-方向性을 갖는다.

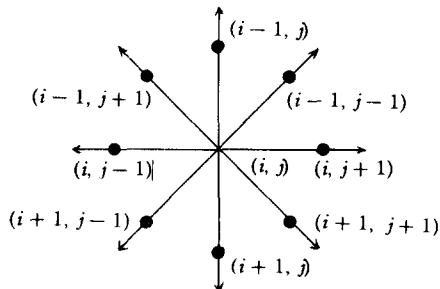


그림 7. 8-인접요소
 Fig. 7. 8-Neighboring points

距離函數로서 明暗度荷重(gray weighted) 값을 사용하고 8-連結性(connectivity)을 考慮하여 分割된 畫像에 對해 다음 式(6)을 使用하여 距離變換을 試行한다.

$$g(i, j)^k = \min \{h(i, j)^{k-1}, d(p^L) + f_{ij}\} \quad (6. a)$$

$$h(i, j)^k = \min \{g(i, j)^k, d(p^R) + f_{ij}\} \quad (6. b)$$

여기서 $g(i, j)^k$ 은 k번째 順方向 raster scan後 距離變換값이고, $h(i, j)^k$ 은 k번째 逆方向走査後 距離變換값이다. 그리고 $d(p^L)$ 은 點(i, j)를 中心으로 左半部 4-인접요소이고, $d(p^R)$ 은 右半部 4-隣接要素이다. 또한 f_{ij} 는 그림 6 (d) 化상을 $R(i, j)$ 라 할 때 式(7)로 生成되는 特性畫像이다.

$$f(i, j) = \begin{cases} \text{Max.} & ; \text{if } R(i, j) \neq 0 \\ 0 & ; \text{if } R(i, j) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서 Max값은 任意로 주어지는 큰 整数이다.

2) 特徵 領域의 骨格 抽出

集合 S^* 를 背景 \bar{S} 로부터의 距離가 局所最大(local maxima)인 點들의 集合이라 하면 領域 S 내의 모든 點(i, j)의 8-인접요소 (u, v)에 對해서

$$DT\{(i, j), \bar{S}\} \geq DT\{(u, v), \bar{S}\} \quad (8)$$

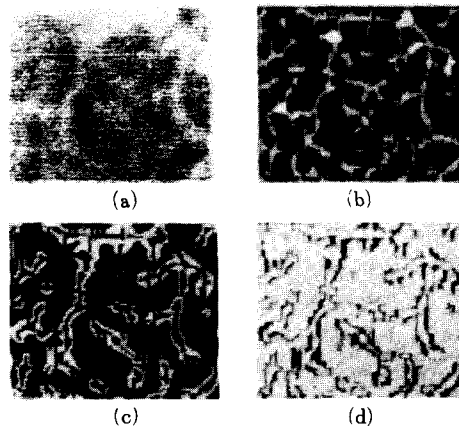


그림 8. (a) 原畫像, (b) 그림 6 (d)의 骨격화상, (c) 그림 6 (d)의 化상과 그림 8 (b)의 차화상, (d) 특정영역 그림 8 (c)를 원화상에 표시한 化상.

Fig. 8. (a) original image (b)skeletal image of Fig. 6.(d)(c) difference image of Fig. 6.(d)

을 滿足하는 集合 S^* 를 集合 S 의 骨格 (skeleton) 이라 한다.¹⁾ 여기서 $DT(P_1, P_2)$ 는 点 P_1 과 P_2 간의 距離이다. 特徵領域의 骨格은 이 領域의 代表的 그래프(representative graph)이나 式(6)과 式(8)에 依해서 求한 骨格은 連結性이 保障되지 않는다.

그림 8의 (a)는 그림 3. (a)의 原화상, (b)는 그림 6. (d)의 骨格畫像, (c)는 그림 6. (d)의 畫像과 그림 8 (b)의 差畫像이고, (d)는 그림 8(a)의 原畫像에 特徵領域 그림 8(c)를 表示한 畫像이다.

그림 8 (b)의 骨格畫像을 살펴보면 血管의 狹細(narrowing)部分의 骨格은 斷絶되어 있다. 따라서 式(6)과 式(8)에 依해서 求한 骨格은 連結性이 保障되지 못하여 診斷의 滿足한 識別基準이 되지 못하므로 骨格으로부터 領域을 擴張할 必要가 있다.

3) 骨格으로부터 連結性을 考慮한 領域 擴張

集合 S^* 內的 点 (i, j) 에 對해서 8-方向連結性을 考慮한 8-인접요소 (u, v) 에 對해서 아래의 式(9)가 滿足하는 点 (u, v) 를 S^* 領域에 合併(merging)시킨다. 시

$$DT[(i, j), 3] > DT[u, v], 3 \wedge DT[u, v], 3 \neq 0 \quad (9)$$

여기서 \wedge 는 論理 AND 記號이다. 또한 式(9)에 依의 8-인접요소들의 各 方向으로 任意距離만큼 領域擴張이 可能하다.

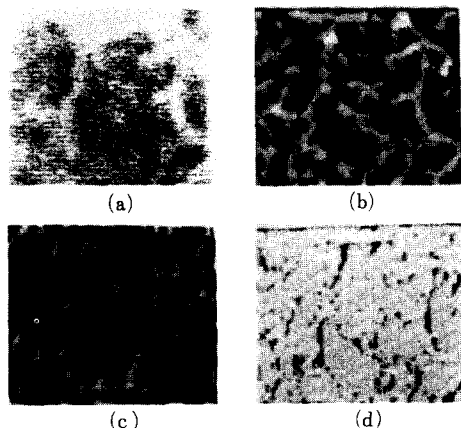


그림 9. (a)원화상(그림 3.(a)), (b)골격(그림 8.(b)) 으로부터 영역확장된 화상, (c)그림 6.(d)와 그림 9(b)의 차 화상, (d)그림 9(b)를 원화상에 표시된 화상.

Fig. 9. (a) original image(Fig. 3(a)) (b) region expanded image from Fig. 8(b) (c) difference image of Fig. 6. (d) and Fig. 9(b) (d)image display of feature region of Fig. 9(c)on Fig. 9(a)

그림 9 (a)-(b)는 骨格으로부터 領域擴張과 特徵領域의 模樣描寫 및 位置抽出에 關한 實驗結果의 畫像이다.

本 研究의 最終目的은 血管주위와 網膜部分에서 螢光物質이 漏出된 領域의 位置와 模樣을 찾는 데 있다. 따라서 우선 血管系에서는 혈관부분만 추출할 必要가 있다. 糖尿病性 網膜症(diabetic retinopathy)의 主된 症勢는 新生血管(neovasculation)과 網膜出血(retinal hemorrhage)이고, 特히 新生血管은 형광물질의 不透過層(blood retina barrier)을 상실하여 신속한 형광색소透過를 나타낸다. 螢光眼底畫像의 明暗度는 血流內的 螢光物質의 濃度에 比例하므로 出血이 있는 경우 螢光物質이 漏出된 領域과 血管部를 分離檢出 하는 것은 容易하지 않다. 따라서 本 研究에서는 혈관의 골격으로부터 8 方向으로 연결성을 考慮하여 隣接畫素間 單位길이의 두배만큼 領域을 확장하였다. 이 擴張된 領域을 血管領域으로 看做하고, 이 領域과 分割된 畫像(그림 6. (d))의 差에 해당되는 領域을 螢光物質이 漏泄된 領域으로 判定하였다. 各 領域의 骨格으로부터 領域擴張에 依해 網膜出血로 推定되는 領域은 境界의 一部만 남는다. 實驗結果의 畫像 그림 9.(b)는 그림 8.(b)보다 血管의 狹細部分의 連結性이 改善되었음을 볼 수 있다. 血管部分을 除外한 領域은 網膜出血이 있는 것으로 判斷되는 領域이다. 그림 9 (c)는 螢光物質이 漏出되었다고 推定되는 혈관과 망막部分이다. 그림 9 (d)는 特徵領域 그림 9 (c)를 그림 9.(a)에 그 模樣과 位置를 表示한 畫像이다.

3. 結 論

低解像度 螢光眼底畫像에 對해서 血管系의 構造 및 損傷된 網膜部位의 模樣描寫와 位置를 效果의으로 찾는 方法에 關해서 研究하였다. 解像도가 낮은 螢光眼底畫像의 局所特徵을 抽出하기 爲해 局所適應差畫像을 生成하고 弛緩法을 利用하여 特徵領域을 效果의으로 分割하였다. 分割된 畫像에 對해 距離變換을 試行하고 이 變換資料를 利用하여 特徵領域의 骨格을 찾았다. 特히 이 骨格으로부터 連結性을 考慮한 領域擴張에 依해 診斷識別이 容易한 損傷된 血管系 및 網膜部位의 畫像을 얻었다.

研究된 特徵抽出方法은 解像도가 낮은 螢光眼底畫像에서 다른 疾病의 경우에도 疾病의 症勢와 關聯되는 領域의 模樣과 位置 等 診斷에 必要한 情報를 有效하게 抽出할 수 있을 것이다.

앞으로의 研究課題는 病變이 나타나는 血管部分과 網

膜部位를 分離하는 일과 이 部分에서 螢光濃度の 時間 變化 等이다.

参 考 文 献

- (1) 尹東浩, et al, “眼科學”, -潮閣 pp. 154 - 162, 1986.
- (2) 横内久猛, et al, “眼底寫眞の 自動認識”, 医用電子と 生体工學, pp. 123 - 130, June, 1974.
- (3) H. Blum, “A transformation for extracting new descriptors of Shape”, MIT Press pp. 205 - 287 1967.
- (4) K. Akita and H. kuga, “A computer method of understanding ocular fundus images,” Pattern Recognition Vol. 15, No. 6, pp 431-443, DEC., 1982.
- (5) 高昌林, et al, “弛緩法을 利用한 螢光眼底畫像의 局所特徵 檢出,” 電子工學會 投稿 May, 1987.
- (6) A. Lev, et al, “Iterative enhancement of noisy images,” IEEE Trans. SMC, Vol. SMC-7, No. 6, pp 435-442, June, 1977.
- (7) M.D. Levine, “Vision in man and machine,” Mcgraw-Hill, Inc., pp. 480-532, 1985.
- (8) A. Rosenfeld and A.C Kak “Digital picture processing,” Academic Press, pp. 333-382, 1976.