

논문 2004-41SP-6-27

# 보로노이 다이어그램을 이용한 지문정합 알고리즘

## (A Fingerprint Matching Algorithm Based on the Voronoi Diagram)

김 승 훈\*, 최 태 영\*

(Seung Hun Kim and Tae Young Choi)

본 논문에서는 검출된 특징점에 대해 보로노이 다이어그램을 사용하여 이동과 회전에 불변인 정합 알고리즘을 제안한다. 보로노이 다이어그램에 의해서 검출되는 각각의 특징점과 그에 인접한 특징점들 사이의 거리와 각도를 데이터베이스에 저장하고 인증을 요청한 지문의 정보를 같은 방법으로 변환 후 데이터베이스 내의 정보들과의 비교를 통해서 결과를 출력한다. 이는 기존의 인덱싱 기반 알고리즘에 비해 더욱 정확한 알고리즘이다.

### Abstract

This paper proposes a matching algorithm using Voronoi diagram for rotation and translation invariant fingerprint identification. The proposed algorithm extracts geometrical structures that are derived from Voronoi diagram of a fingerprint image. Then two features, distances and angles are extracted from the geometrical structures and saved as indexing form for fingerprint matching. This matching algorithm has a lower error rate than indexing based methods of old times.

**Keywords :** Voronoi diagram, geometrical structures

### I. 서 론

정보화 사회의 발전과 더불어 개인인증을 위한 방법으로 생체인식의 연구가 활발히 진행 중이다. 생체인식은 분실이나 위조 등에 의한 위험성을 배제하여 높은 신뢰성을 추구한다. 생체인식에는 서명, 얼굴인식, 홍채인식, 음성인식, 혈관인식, 장문인식, 지문인식 등이 있다. 이 중에서 지문인식은 사용자의 거부감이 낮고 낮은 비용으로 신뢰성과 속도 면에서 만족할만한 생체인식의 한 분야이다.

지문인식은 영상개선<sup>[1]</sup>, 지문의 특징점 검출<sup>[2]</sup>, 중심점 검출<sup>[3]</sup>, 지문의 분류<sup>[4]</sup>, 지문정합 등에 대한 연구 분야를 가진다. 영상개선은 입력된 지문영상에 대한 잡음을 제거하고 인식에 효율적인 지문영상을 획득하는데 목적이 있다. 지문의 특징점 연구는 대표적으로 단점과

분기점을 찾는 것이다. 중심점 검출은 지문의 분류나 지문 정합에 기준점을 이용하면 쉽고 빠르게 처리할 수 있기 때문에 이에 대한 연구를 하기도 한다. 지문의 분류는 대규모의 데이터베이스 내의 지문들과 요청지문을 비교할 때 시간을 단축시키기 위해 지문의 형태에 따라서 8가지로 나누어 진다. 지문정합은 검출된 특징들을 이용하여 저장된 지문과 요청된 지문 사이의 유사성을 따져서 결과를 출력하는 것이다.

지문인식에는 1:1 정합(verification)<sup>[5][6]</sup>과 1:N 정합(identification)<sup>[7]~[10]</sup>으로 나누어진다. 최근에는 1:1 정합보다는 1:N 정합에 대한 연구의 중요성이 대두되고 있다. 본 논문은 대규모의 데이터베이스 내의 지문들과 비교 하는데 효율적인 인덱싱을 활용하는 방법<sup>[9][10]</sup>을 이용한 1:N 정합을 위한 알고리즘의 하나이다.

본 논문에서는 빠른 시간 내에 인증 요청된 지문영상과 비교할 수 있도록 텍스트 파일로 지문영상에 대한 정보를 저장한다. 그리고 지문영상의 이동과 회전에 강인하면서 이에 대한 처리 시간을 단축시키기 위하여 보로노이 다이어그램<sup>[13]</sup>을 이용하여 특징점에 대한 인접한 특징점들을 검출한다. 그리고 검출된 특징점에 대한

\* 정회원, 아주대학교 대학원 전자공학부  
(Division of Electronics Engineering, Graduate School, Ajou University)

※ 본 논문은 BERC(KOSEF) 지원에 의해서 수행되었습니다.

접수일자: 2004년6월10일, 수정완료일: 2004년7월15일

정보를 연구하고 이를 이용하여 부여된 점수를 가지고 정합하는 연구를 수행한다. 지문영상의 개선을 방향필터를 이용하여 고속으로 영상을 개선하였다. 본 논문에서 사용한 방법은 인텍싱을 활용한 방법으로 기존의 인텍싱 기반 알고리즘<sup>[9][10]</sup>에 비해 더욱 정확한 알고리즘이다.

II. 지문 영상의 전처리 및 특징점 검출

지문영상은 압착, 습기, 상처 등에 의한 잡음에 의해서 특징 추출에 어려움이 따른다. 이를 해결하기 위해서 지문영상에 대해 전처리를 하게 된다. 전처리 과정에는 필터링을 이용한 지문영상의 개선과 특징점을 찾기 용이하게 하기 위해 이진화 및 세선화 과정이 있다. 전처리 과정을 거친 후 특징적인 단점 및 분기점을 검출한다.

1. 지문영상의 개선

획득한 지문 영상에 대해 메디안 필터, 평균 필터, 가우시안 필터 등을 이용하여 잡음을 제거하고 지문영상 개선을 위해 Gabor 필터, 방향 필터 등을 사용한다. 본 논문에서는 평균 필터링을 사용하여 잡음을 제거해 주었고, 방향 필드를 추정한 후 방향 필터를 이용하여 지문영상을 개선하였다.

2. 이진화 및 세선화

지문은 부분적인 특성이 강한 영상이므로 각 부분마다 임계값을 설정해 주어야 하는데 가장 많이 사용되어지는 방법으로 블록 이진화 기법을 살펴볼 수 있다. 본 논문에서도 이진화를 위해 블록이진화 기법을 사용하였다. 블록 이진화 기법은 원하는 크기의 블록을 설정하고 그 블록마다 명암값을 고려하여 임계값을 설정하는 방법으로 각 블록마다 특정한 임계값을 가질 수 있게 된다.

이진화 시킨 이후 지문영상의 가장자리에 있는 의사 특징점들을 제거하기 위해서 지문이 있는 부분을 남겨두고 지문의 가장자리의 지문이 없는 빈 공간을 제거해 준다. 이진화 된 지문영상을 세선화<sup>[12]</sup> 시키는 것은 특징점을 보다 쉽게 찾기 위함이다. 세선화란 두꺼운 선을 하나의 선으로 표현한다고 생각하면 된다. 기본적인 개념은 두꺼운 선을 최외각부터 한 겹씩 벗겨나가서 마지막에 남는 선 성분을 추출하는 것이다. 세선화에서는 선의 원래 형태를 유지하는 것이 중요하므로 현재 여러 가지의 방법이 제안되고 있다. 본 논문에서 사용한 알고리즘은 3×3의 이웃 윈도우 마스크 안에서 조사하여 각 영역이 세

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $p_8$ | $p_1$ | $p_2$ |
| $p_7$ | $c$   | $p_3$ |
| $p_6$ | $p_5$ | $p_4$ |

그림 1. 3×3 윈도우 마스크  
Fig. 1. 3×3 Window Mask.

선화 할 때까지 각 영역의 경계선을 한번에 한 픽셀 두께씩 벗겨내는 것이다. 이런 처리가 반복적으로 되풀이 된다. 세선화 할 때 가장 기본이 되는 조건으로 다음 두 가지가 있다. 첫째, 2개 이상, 6개 이하 이웃 픽셀이 있어야 한다. 이 조건은 끝점이나 영역 내부의 점은 지워서는 안 된다는 것을 의미한다. 둘째, 두 개 영역을 연결하는 픽셀은 지워서는 안 된다. 이 픽셀을 지운다면 영역 개수가 달라진다.

그림 1의 윈도우에서  $c = 1$ 이고 다음과 같은 조건을 모두 만족 시키면  $c$ 는 지워져서 0이 된다.

$$\left. \begin{aligned} & 2 \leq \sum_{i=1}^8 p_i \leq 6 \\ & Z(c) = 1 \\ & p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 \quad or \quad Z(p_2) \neq 1 \\ & p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 \quad or \quad Z(p_4) \neq 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

여기서  $Z(c)$ 는  $c$ 주변의 이웃 점들을  $p_1 \sim p_8$ 순서대로 늘어놓은 상태에서 0에서 1로의 천이가 몇 번인지를 나타낸다.

이러한 과정을 더 이상 지워질 것이 없을 때까지 반복하게 된다.

3. 특징점 검출

개선된 영상 지문을 이진화, 세선화 시킨 후 특징적인 끝점과 분기점들을 검출해 낸다. 이진화, 세선화 된 지문 영상에서 그림 1과 같은 3×3윈도우를 사용하여 중심  $c$ 의 값이 1이고  $\sum_{i=1}^8 p_i \leq 2$  이고  $\sum_{i=1}^7 p_{i+1} - p_i = 1$  이면  $c$ 는 단점  $\sum_{i=1}^8 p_i \geq 3$  이고  $\sum_{i=1}^7 p_{i+1} - p_i \geq 2$  이면 분기점으로 검출한다.

III. 보로노이 다이어그램과 델로니 삼각형

평면 패턴에 있는 점들의 공간적 분포에 관계하는 통

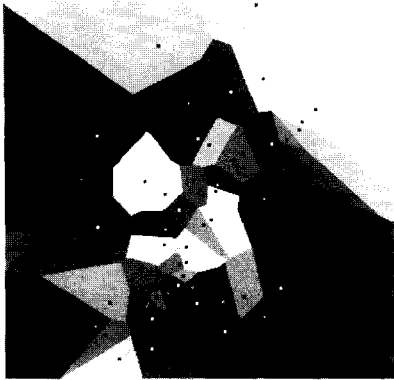


그림 2. 특징점들에 대한 보로노이 다이어그램  
Fig. 2. Voronoi diagram for minutiae points.

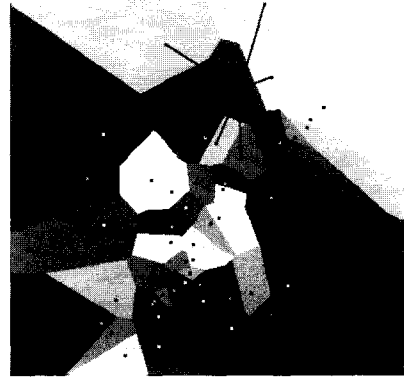


그림 3. 특징점들에 대한 델로니 삼각형들  
Fig. 3. Delaunay triangulations for minutiae points.

계적 정보를 추출하기 위한 주요한 해석적 도구로 보로노이 다이어그램<sup>[13]</sup>이 있다. 이는  $N$ 개의 점에 대해 다각형 모양의  $N$ 개의 보로노이 셀을 형성한다. 각각의 보로노이 셀은  $P \equiv \{P_i; 1 \leq i \leq N\}$ 의 한 원소  $P_i \in P$ 를 포함하며 유클리드 거리의 전지에서  $P$ 의 어떤 다른 원소보다  $P_i$ 에 더 가까운 평면에 있는 모든 점들의 위치를 묘사한다. 각 보로노이 셀의 다각형을 정의하는 모서리들의 집합은 실제로 어떤 한 점을  $P$ 에 속한 원소들의 수직 이등분선들의 교점으로부터 생성된다.

각 점에 대한 보로노이 다이어그램 생성 후 각 셀에 포함된 중심점들을 연결시켜서 델로니 삼각형을 생성할 수 있다. 그림 3과 같이 생성된 델로니 삼각형에서 임의의 특징점과 연결된 다른 특징점들에 대한 거리와 각을 이용해 지문의 정보를 추출한다.

#### IV. 정보추출과 정합

##### 1. 기존의 알고리즘

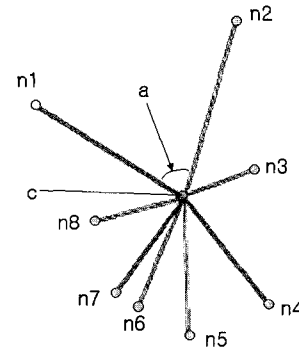


그림 4. 특징점에 대한 인접한 특징점들  
Fig. 4. Neighboring minutiae points for a minutiae point.

Wahab와 Chin 그리고 Tan<sup>[9]</sup>의 알고리즘에서는 검출된 특징점들 각각에 대해 임의의 특징점과 주변의 가장 가까운 특징점 5개와의 관계에 대한 정보를 바탕으로 지문 정합을 하는 알고리즘이다. 이 방법은 디지털 영상의 특성상 5번째로 가까운 점이 두개 이상 존재할 경우에 대한 처리가 힘들다. 그리고 인접한 특징점들 검색에 대한 유연성이 부족하다. 때문에 정합에 대한 정확도가 떨어진다.

##### 2. 제안된 알고리즘

###### 가. 특징점에 대한 인덱싱 형태의 정보

제안된 알고리즘에서는 보로노이 다이어그램에 의해 구분된 각 특징점들과 그에 대한 인접한 특징점들의 거리와 각을 계산한 정보를 저장한다.

이 정보는 그림 4에서처럼 임의의 특징점  $c$ 에 대한 인접한 점들을  $n_i$ 라고 한다. 그리고  $n_i, c, n_{i+1}$ 가 이루는 각을  $a_i$ 라고 하고  $n_i$ 와  $c$ 사이의 거리를  $d_i$ 라고 한다.  $n_i$ 와  $c$ 는 특징점이 단점인가 분기점인가에 대한 정보를 가지고  $a_i$ 와  $d_i$ 는 각각 각도와 거리에 대한 정보를 가진다. 이 정보들을 시계방향으로 순서대로 정렬하여 저장한다. 순서는 다음과 같다.

|     |     |       |       |       |       |       |       |         |       |       |       |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| $c$ | $i$ | $n_1$ | $d_1$ | $a_1$ | $n_2$ | $d_2$ | $a_2$ | $\dots$ | $n_i$ | $d_i$ | $a_i$ |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|

그림 5. 지문 정보의 인덱싱 형태

Fig. 5. Indexing form for fingerprint information.

표 1. 점수표

Table 1. Scoring table.

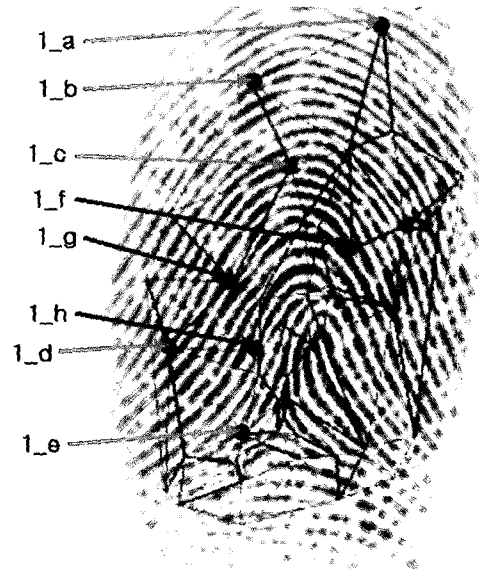
| 비교                                                                                                                                                                         | 점수 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| $c(A) = c(B)$ and $n_i(A) = n_i(B)$<br>and $d_i(A) = d_i(B)$ and $a_i(A) = a_i(B)$<br>for $i = 1$                                                                          | 2  |
| $c(A) = c(B)$ and $n_i(A) = n_i(B)$<br>and $d_i(A) = d_i(B)$ and $a_i(A) = a_i(B)$<br>for $i = 2$                                                                          | 2  |
| .                                                                                                                                                                          | .  |
| .                                                                                                                                                                          | .  |
| .                                                                                                                                                                          | .  |
| if [ $n_i(A) \neq n_i(B)$<br>or $d_i(A) \neq d_i(B)$ or $a_i(A) \neq a_i(B)$ ]<br>$n_{i+1}(A) = n_i(B)$<br>and $d_{i+1}(A) = d_i(B)$<br>and $a_{i+1}(A) = a_i(B)$          | 1  |
| if [ $n_i(A) \neq n_i(B)$<br>or $d_i(A) \neq d_i(B)$ or $a_i(A) \neq a_i(B)$ ]<br>$n_i(A) = n_{i+1}(B)$<br>and $d_i(A) = d_{i+1}(B)$<br>and $a_i(A) = a_i(B) + a_{i+1}(B)$ | 1  |

지문 영상의 모든 특징점에 대해 이와 같은 형태로 정보를 저장한다.

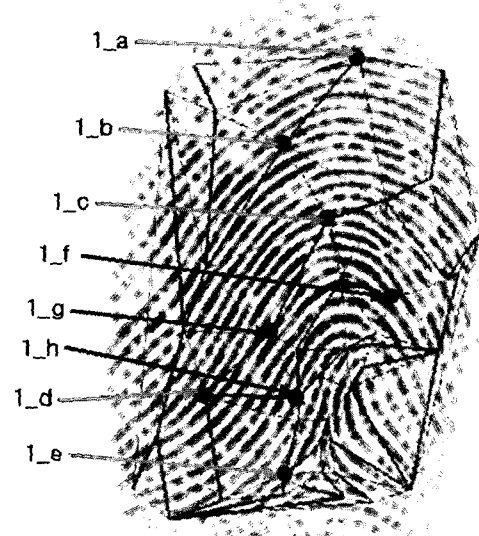
나. 두 지문 영상에 대한 비교 및 점수부여

인증 요청한 지문영상을 A라고 하고 데이터베이스 내의 지문영상을 B라고 한다. 이를 바탕으로 지문 영상 A와 B를 비교해 점수 P를 주게 되는데 점수 P는 표 1과 같이 주어진다. 여기서  $n_i$ 와  $c$ 에 대한 정보는 특징점의 종류에 관한 정보이지만  $d_i$ 와  $a_i$ 는 거리와 각에 대한 정보이므로 지문영상에 입력과정에서 생길 수 있는 오차를 고려하여 허용오차를 두고 비교한다.

그림 6에서 f, g, h 점들은 모든 정보들이 완전히 일치하는 점들이고, a, b, c, d, e 점들은 일부분이 일치하는 점이다. 각 점들은 표 1에서 제시한 조건에 따라 1 ~ 2의 점수들의 합으로 점수가 부여된다. 표 2에 그림 6의 특징



(a) DB\_A 1\_1지문



(b) DB\_A 1\_2지문

그림 6. 지문에 대한 정보의 비교

Fig. 6. Comparison of informations for fingerprints.

점의 일부인 d, g, h점에 대한 인덱싱 형태의 정보를 나타내었다. 표 2와 같은 형태의 정보들이 각 점들에 대해서 인덱싱 형태로 저장되어서 두개의 지문영상에 대한 정보들이 비교되고 이에 대한 점수를 계산해서 최종 점수 S가 구해진다. 표 2에서 보는 바와 같이 같은 점에 대한 정보는 매우 유사하다.

각 특징점들에 대한 전체적인 최종 점수 S는 다음과 같다.

$$S = \sum_{a=1}^p \text{MAX} \frac{\left( \sum_{c=1}^i P_{abc} \right)^2}{i} \quad (2)$$

표 2. 지문에 대한 인덱싱 형태의 정보  
Table 2. Informations indexing form for fingerprints.

(a) DB\_A 1\_1지문

| 특징점 | 이웃 점들과의 인덱싱 형태의 정보 |         |          |         |  |  |
|-----|--------------------|---------|----------|---------|--|--|
| 1_d | 2 7                | 1 88 22 | 2 68 69  | 2 23 36 |  |  |
|     | 1 50 70            | 2 64 45 | 2 63 42  | 2 65 75 |  |  |
| 1_g | 2 7                | 2 64 45 | 1 67 13  | 2 68 32 |  |  |
|     | 1 80 34            | 2 74 11 | 2 96 160 | 2 49 66 |  |  |
| 1_h | 1 6                | 1 24 93 | 2 27 55  | 2 15 88 |  |  |
|     | 2 67 65            | 2 50 23 | 2 34 36  |         |  |  |

(b) DB\_A 1\_2지문

| 특징점 | 이웃 점들과의 인덱싱 형태의 정보 |         |          |         |  |  |
|-----|--------------------|---------|----------|---------|--|--|
| 2_d | 2 7                | 1 89 26 | 1 64 63  | 2 22 38 |  |  |
|     | 1 49 73            | 2 62 45 | 2 61 41  | 2 64 74 |  |  |
| 2_g | 2 7                | 2 62 44 | 1 67 13  | 1 69 30 |  |  |
|     | 2 81 36            | 2 75 60 | 2 44 111 | 2 47 66 |  |  |
| 2_h | 1 6                | 1 21 83 | 2 26 54  | 1 16 92 |  |  |
|     | 2 67 63            | 2 49 24 | 2 34 45  |         |  |  |

여기서  $MAX[f(x)]_{x=n}^m$ 은  $f(n), f(n+1), \dots, f(m)$ 중 최대값이다.

입력된 지문영상과 데이터베이스 내의 지문영상들과의 비교 결과인 최종 점수 S로 정해진 경계값과 크기를 비교해서 동일지문인지 아닌지를 결정하게 된다.

### V. 실험

본 논문의 실험에서는 FVC(Fingerprint Verification Competition)2002 DB1\_A의 지문 영상을 사용하였다. FVC는 2년마다 개최되는 세계적인 지문 인식 콘테스트 대회이다. FVC2002는 2002년에 캐나다 퀘벡에서 개최된 제 2회 대회이고, 이 대회에서 사용된 지문영상 중 첫 번째 데이터베이스에 저장된 800장의 지문 영상이 FVC2002 DB\_1의 지문 영상이다. 지문은 동일 지문 8장씩 100가지 종류의 총 800장으로 구성되어 있다. 동일 지문 8장에 대한 각각의 비교를 수행한 28번의 실험을 100가지 종류의 지문에 대해 총 2800가지의 실험이 실행되었다. 다른 지문과는 1\_1번 지문부터 100\_1번 지문까지 총 100장에 대한 각각의 비교를 수행한 총 4950가지 실험이 실행되었다. 지문 정합에 대한 성능을 평가하는데 사용되는 항목에는 자기 동일인의 지문을 타인의 지문으로 인식하는 오류인 FNMR(False Non

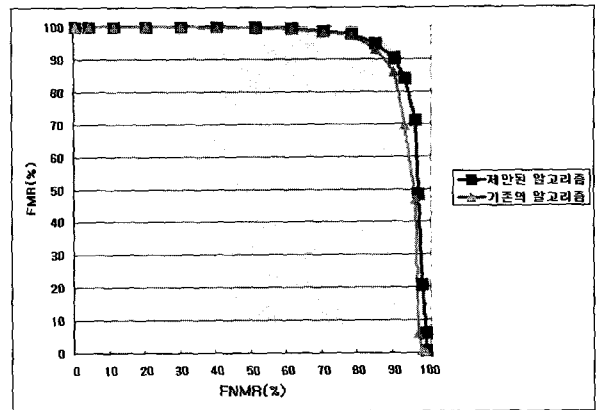


그림 7. 개별반응특성 곡선

Fig. 7. ROC Curve.

표 3. EER 비교

Table 3. Comparison of EER.

|           | EER    |
|-----------|--------|
| [9]의 알고리즘 | 14.38% |
| 제안된 알고리즘  | 9.86%  |

Match Rate)과 타인의 지문을 동일인의 지문으로 인식하는 오류인 FMR(False Match Rate)이 있다. 동일인의 지문들과의 비교 점수 분포를  $F_G(x)$ 라 하고, 타인의 지문들에 대한 비교 점수 분포를  $F_I(x)$ 라 하면, 경계값  $\tau$ 에 따른 FNMR과 FMR은 식 (3), (4)와 같다. ROC(Receiver Operating Characteristics) Curve는 지문인식 알고리즘에 대한 정확도에 대한 성능을 비교 평가를 할 때 사용되는 곡선이다. 이는 경계값에 따른 FNMR에 대한 FMR의 그래프이다. 즉 경계값  $\tau$ 에 따른 각각의 FNMR의 백분율이 가로축을 이루고 같은 경계값에서의 FMR의 백분율이 세로축을 이룬다. [9]의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 ROC Curve는 그림 7과 같다.

$$FNMR(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} F_G(x) dx = F_G(x)|_{\tau}^{\infty} = 1 - F_G(x)|_{\tau}^{\tau} \quad (3)$$

$$FMR(\tau) = \int_0^{\tau} F_I(x) dx = F_I(x)|_0^{\tau} \quad (4)$$

ROC 곡선에서  $FMR = FNMR$ 인 한 점을 EER (Equal Error Rate) 라고 한다. 표 (3)은 [9]의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 EER의 비교이다. [9]의 알고리즘에 비해서 제안된 알고리즘의 EER이 4.52% 낮다는 것을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘

이 더욱 정확하다는 것을 의미한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 보로노이 다이어그램을 이용하여 임의의 특징점에 대한 인접한 특징점들을 검출한다. 그리고 이들 간의 거리와 각을 바탕으로 정보를 검출한 후, 두장의 지문 영상에 대한 비교를 하여 점수를 부여한다. 이 점수를 바탕으로 인증을 하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 특징점의 종류와 특징점들 간의 거리와 각을 바탕으로 정합을 하므로 지문 영상의 회전과 이동에 대해 무관하게 정합을 할 수 있다. 앞으로 정합에 있어서 각 특징점들의 방향성에 대한 정보까지 추가하는 연구가 계속 진행 되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. Hong, Y. Wan and A. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, 1998.
- [2] D. Maio and D. Maltoni, "Neural Network Based Minutiae Filtering in Fingerprints", *Pattern Recognition, International Conference on*, vol. 2, pp. 1654-1658, 1998.
- [3] A. M. Bazen and S. H. Gerez, "Systematic Methods for the Computation of the Directional Fields and Singular Points of Fingerprints", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 7, pp. 905-919, 1998.
- [4] R. Cappelli, A. Lumini, D. Maio and D. Maltoni, "Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 5, pp. 402-421, 1999.
- [5] A. Jain, L. Hong and R.bole, "On-line fingerprint verification", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997.
- [6] Kovacs-Vajna, Z.M, "A Fingerprint Verification System Based on Triangular Matching and Dynamic Time Warping" *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1266-1276, 2000.
- [7] N. Ratha, K. s. Chen and A. Jain, "A real-time system for large fingerprint databases", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, no. 8, pp. 799-813, 1996.
- [8] Jain, A.K, Prabhakar, S., Lin Hong, "FingerCode: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching" *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on*, vol. 2, pp. 188-193, 1999.
- [9] A. Wahab, S.H. Chin, E.C. Tan, "Novel Approach to Automated Fingerprint Recognition" *Vision, Image and Signal Processing, IEEE Proceedings*, vol. 145, no. 3, pp. 160-166, 1998.
- [10] Bebis, G.,Deaconu, T., Georgiopoulos, M. "Fingerprint identification Using Delaunay triangulation" *Information Intelligence and Systems, Proceedings. International Conference on*, pp. 452-459, 1999.
- [11] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1992.
- [12] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, London, 1989.
- [13] Mark de Berg, Marc van Kreveld, Mark Overmars, *Computational geometry: algorithms and applications*, 2nd edition, Springer, Berlin, 2000.

## 저 자 소 개



김 승 훈(정회원)  
2002년 아주대학교 전자공학부 졸업(공학사).  
2004년 아주대학교 전자공학부 졸업(공학석사).  
<주관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터 비전>



최 태 영(정회원)  
1974년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사).  
1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사).  
1982년 L'Univ. d'Aix-marseille III, France(박사과정).  
1982년~현재 아주대학교 전자공학부 교수  
<주관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 패턴인식>