

논문 2004-41SP-3-14

# Gabor 필터를 이용한 온라인 서명 검증 기법

(On-line signature verification method using Gabor filter)

이 중 현\*, 김 성 훈\*\*, 김 재 희\*\*\*

(Jonghyon Yi, Sunghoon Kim, and Jaihie Kim)

## 요 약

이 논문은 Gabor 필터를 이용하여 두 서명 사이의 유사도를 계산하는 온라인 서명 검증 방법을 제안한다. 온라인 서명들의 유사도를 계산하기 위해서는 두 입력 서명의 각 위치 사이의 시간적인 대응 관계를 정확하게 구하는 것이 중요하다. 그러나 DP(dynamic programming) 매칭을 이용하는 기존의 포인트 매칭 방법은 시간이 많이 소요되는 단점이 있었다. 이 논문에서는 Gabor 필터의 위상 출력을 이용하여 두 서명 사이의 시간적인 대응 관계를 빠르게 추정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 서명의 상이도로서 두 가지 척도를 정의한다. 첫째, 추정된 지역적 시간 변이로부터 두 서명사이의 시간적 상이도를 구하고, 둘째, 두 서명 특징 프로파일의 시간적 대응 관계를 이용하여 시간 정보가 보정된 특징 프로파일 상이도를 구한다. 제안된 방법은 고정된 길이의 코드로 코드화되어 기존의 DP 매칭을 사용하는 시간적 변이 추정 방법보다 30배 이상 빠른 속도로 서명을 비교할 수 있다.

## Abstract

This paper presents a signature verification method that uses Gabor filter in computing similarity between signatures. In computing similarity to compare two on-line signatures, the temporal relationship between two signatures should be computed in advance. However, conventional point matching method using DP(dynamic programming) matching consumes much computation. In this paper, we propose a fast method for computing the temporal relationship between two on-line signatures by using the phase output of Gabor filter applied on the on-line signature signals. Two similarity measures are defined in the method: Temporal Similarity and Temporally Arranged Feature Profile Similarity. With the proposed method, we could compare signatures 30 times faster than conventional method using DP matching.

**Keywords**: 온라인 서명 검증, Gabor 필터, 위상, 특징 프로파일

## I. 서 론

인터넷 기술의 발전과 온라인 거래의 활성화로 개인 인증 수단으로서의 생체 인식에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 많은 종류의 생체 특징들은 정적인 특성을 가지며, 따라서 복제될 수 있다는 가능성을 가진다. 반면 어떤 생체 특징이 동적인 특성을 가진다면, 이러

한 복제 가능성 문제를 피할 수 있을 것이다. 온라인 서명은 입력할 때 시간에 따른 전자펜의 위치, 압력, 펜의 기울기 등을 취득하게 된다. 한 사용자의 서명을 비슷한 모양으로 흉내내기는 쉬워도, 그 사용자가 서명을 작성하는 필기 습관의 동적인 측면까지 흉내내기는 매우 어려운 일이 될 것이다.

서명의 이러한 동적인 특성은 복제 가능성이라는 측면에서는 유리한 점이지만, 한 사용자에게 의해 작성되는 서명이라 하더라도 매번 다소간의 변화가 존재하기 때문에 두 개의 서명을 단순한 방법으로 비교할 수 없다. 인식이나 검증 문제에서 생체 특징을 비교하기 위한 가장 간단하고 직관적인 방법은 동일한 위치에서 두 신호의 차이를 제공하여 합한 RMS(root mean square) 에

\* 정희원, 삼성전자 디지털 프린팅 사업부  
(Digital Printing Division, Samsung Electronics)

\*\* 정희원, 영동대학교 컴퓨터공학과  
(Department of Computer Science, Youngdong Univ.)

\*\*\* 정희원, 연세대학교 전기전자공학부  
(School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ.)

접수일자: 2002년5월28일, 수정완료일: 2004년3월5일

리를 사용하는 것이다. 그러나, 서명은 동적인 특성을 가지고 있어서 동일한 획이 서로 다른 시간 위치에 작성되는 비선형적인 시간적 위치 이동이 존재하므로 두 서명 신호의 유사도를 계산할 때 이러한 직관적인 방법을 사용할 수 없다. 그러나, 만약 두 서명 신호간의 시간적인 연관 관계를 정확하게 추정하여 서명의 각 위치의 대응 관계를 구할 수 있다면, 동일한 위치라고 판단된 두 특징값의 차이를 반영한 RMS 에러를 구할 수 있을 것이다.

입력된 온라인 서명이 등록된 사용자의 서명인지의 여부를 판단하기 위한 온라인 서명 검증 분야의 많은 연구들은 사용하는 특징의 종류에 따라 크게 매개변수적 방법과 함수적 방법으로 구분된다. 매개변수적인 방법에 의한 서명검증<sup>[1][2][3]</sup>에서는 평균 속도, 평균 가속도, 서명의 가로-세로 비율 등 서명의 비선형적 시간적 위치 이동에 의해 크게 영향을 받지 않는 전역적인 특징을 사용한다. 선택된 몇 가지 종류의 전역적 특징만을 사용하기 때문에 서명을 비교하는 속도가 매우 빠른 장점을 가지는 반면, 에러율이 비교적 높고, 많은 수의 훈련 샘플을 사용해야만 통계적으로 정확한 특징값을 프로토타입으로 결정할 수 있다는 단점을 갖는다.

함수적 서명 검증 방법<sup>[4][5][6]</sup>에서는 입력된 서명의 x 및 y 방향 좌표를 시간에 대한 특징 함수로 표현하고, 두 특징 함수의 차이를 시간에 대해서 누적하여 두 서명 사이의 유사도를 계산한다. 두 특징 함수 사이의 각 지점이 시간적으로 어떻게 매핑되는 관계는 DP (dynamic programming) 매칭 등의 방법에 의해 구한다<sup>[4]</sup>. 두 서명 사이의 정확한 대응 위치를 탐색에 의해 찾는 DP 매칭은 많은 연산량을 요구하는 단점이 있다. 최근에는 획 단위로 심볼을 설정하여 Hidden Markov 모델을 이용하여 서명의 유사도를 비교하는 방법<sup>[7]</sup>도 제안되었다.

이 논문에서는 온라인으로 입력된 두 서명 신호의 비선형적인 시간적 대응 관계를 구하기 위해 Gabor 필터의 위상 성분을 이용하는 방법을 제안한다. 제안 방법에서는 첫 단계로서 입력된 온라인 서명으로부터 그림 1과 같은 특징 프로파일을 구하여 1차원 Gabor 필터를 적용한다. 빠르고 일정한 검증 속도를 위해 1차원 Gabor 필터의 위상 출력 결과는 고정된 길이로 정규화되고, 양자화되어 저장된다. 두번째 단계로 Gabor 필터의 위상 출력의 차이를 이용하여 두 서명사이의 지역적인 시간 변이를 계산하고, 두 서명의 각 위치에서의 시간적 대응 관계를 구한다. 마지막 단계로서, 계산된 시

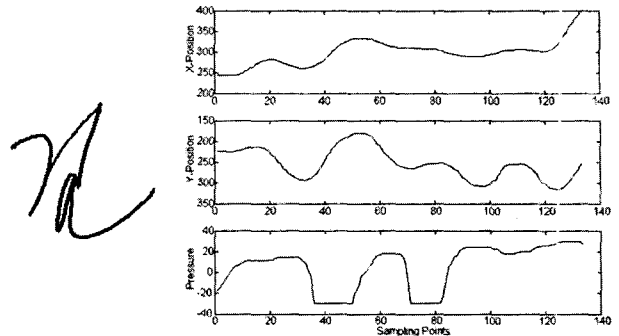


그림 1. 서명의 예와 x-, y- 좌표, 압력 특징 프로파일  
Fig. 1. An example of signature and x-, y- position and pressure feature profile

간적 대응 관계를 이용하여, 두 특징 프로파일의 각 위치에서의 상이도를 계산한다. 본 논문에서는 두 서명 사이의 상이도로써 다음과 같은 두 가지 척도를 제안한다. 첫째로, 두 서명사이의 추정된 지역적 시간 변이로부터 계산되는 시간적 상이도와, 둘째로, 두 서명 특징 프로파일을 시간적으로 대응시켜, 대응된 각 위치에서의 특징 프로파일의 차이로부터 계산된 시간 정보가 보정된 특징 프로파일 상이도를 구한다.

## II. 서명의 특징 프로파일 모델

본 장에서는 제안하는 서명 검증 방법을 유도하기 위하여 서명을 작성하는 과정에 대한 단순한 모델링을 시도한다. Plamondon<sup>[8]</sup>은 서명이 작성되는 과정을 생물물리학(biophysics)적으로 설명하면서, 서명은 대뇌에 획 단위로 기억된 정보를 이용하여 미리 정해진 순서에 의해 미리 정해진 속도와 압력, 그리고 미리 정해진 방향으로 작성되는 획들로써 구성된다고 하였다. 이렇게 작성된 서명에서 획단위로 일관성을 발견할 수 있다면, 그림 1과 같은 x-, y- 방향 속력, 압력 등의 서명 신호들은 서명의 각 획들과 밀접하게 관련되어 있다고 할 수 있다<sup>[3]</sup>. 따라서 입력 서명 신호를 특징 프로파일  $f(n)$ 로 정의하면,  $P$  개의 획으로 구성된 서명의 특징 프로파일  $f(n)$ 은 식 (1)과 같이 표현될 수 있다:

$$f(n) = \sum_{i=1}^P f_i(n) \tag{1}$$

$$\text{단, } f_i(n) = \begin{cases} f(n) & ts_i \leq n \leq te_i \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

여기서  $f_i(n)$ 는 서명의  $i$ 번째 획과 연관된 특징 프로파일의 부분이고,  $ts_i$ 와  $te_i$ 는 각각  $i$ 번째 획이 시

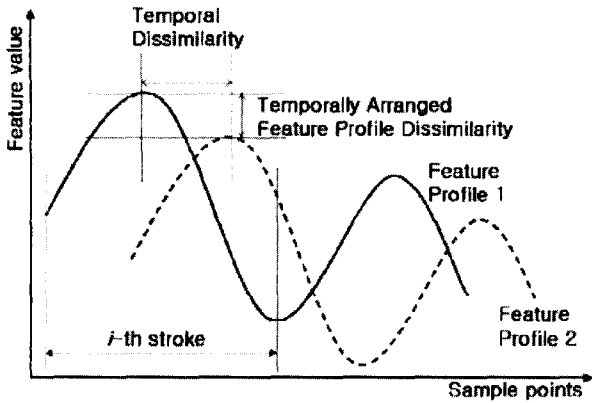


그림 2. 특정 위치에서의 시간적 상이도와 시간적 성분이 보정된 특징 프로파일의 상이도

Fig. 2. Temporal dissimilarity and temporally arranged feature profile dissimilarity

작되고 끝나는 시각이다. 이때, 각 획은 독립적으로 작성되는 것이 아니므로, 각 획에 연관된 특징 프로파일의 부분들은 서로 중첩되어 있다고 가정할 수 있다.

이제, 동일한 서명자에 의해 작성된 다른 서명을 입력받았다고 가정한다. 입력된 서명은 등록된 서명과 같은  $P$  개의 획을 가지고 있다고 가정할 수 있다. 새롭게 입력된 서명은 전체적인 형태나 부분적인 형태가 이전에 작성된 서명과 비슷하게 작성되었지만, 이전에 입력된 서명과 형태적으로 약간의 변형되었을 뿐만 아니라 각 획이 작성된 시각도 조금씩 다르게 작성된다. 따라서 입력된 서명의 변화를 시간적 변이와 형태적 변이로 단순화하여 두번째 입력된 서명의 특징 프로파일을 식 (2) 와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 g(n) &= \sum_{i=1}^P g_i(n) = g_1(n) + g_2(n) + \dots + g_P(n) \\
 &\approx s_1 f_1(n - n_1) + s_2 f_2(n - n_2) + \dots + s_P f_P(n - n_P) \\
 &= \sum_{i=1}^P s_i f_i(n - n_i)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서 서명의 형태적 변이는 각 획에 해당하는 특징 프로파일의 부분이  $s_i$  만큼 크기가 변화되는 것으로 모델링하고, 시간변이는 특징 프로파일의 부분이 시간적으로  $n_i$  만큼 이동하는 것으로 모델링한다. 따라서 그림 2와 같이 만약  $i$  번째 획에서의 시간적인 이동  $n_i$  를 계산할 수 있다면, 계산된  $n_i$ 를 오프셋으로 사용하여  $s_i$ 에 의한 두 획 사이의 상이도를 계산할 수 있다.

### III. 시간적 상이도 추정

본 논문에서 제안하는 서명 검증 방법은 1차원 Gabor 필터<sup>[9]</sup>의 위상(Phase) 성분을 이용하여 등록된 서명과 입력 서명 사이의 지역적인 시간적 변이를 계산한다. 1차원 Gabor 필터를 1차원 시퀀스  $h(n)$ 에 적용하면 식 (3)과 같은 출력을 얻는다.

$$\begin{aligned}
 G_{g_a} h(n, \omega) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m) \overline{g_a(m-n)} e^{-j\omega m} \\
 &= \frac{1}{2\alpha\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m) e^{-\frac{-(m-n)^2}{4\alpha}} e^{-j\omega m}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

마찬가지로 식 (2)의 입력 서명의 특징 프로파일  $g(n)$ 에 1차원 Gabor 필터를 적용하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 G_{g_a} g(n, \omega) &= \sum_{i=1}^P G_{g_a} g_i(n, \omega) \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^P g_i(m) g_a(m-n) e^{-j\omega m} \\
 &\approx \sum_{i=1}^P s_i \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_i(m-n_i) g_a(m-n) e^{-j\omega m} \\
 &\approx \sum_{i=1}^P s_i \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_i(m) g_a(m-(n-n_i)) e^{-j\omega(m+n)} \\
 &\approx \sum_{i=1}^P s_i e^{-j\omega n_i} G_{g_a} f_i(n-n_i, \omega)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

위 식에서 확인할 수 있는 것은 입력 서명의 특징 프로파일  $g(n)$ 의 Gabor 필터링 결과는 등록 서명의 특징 프로파일  $f(n)$ 에 Gabor 필터를 적용한 결과와 시간적 변이와 형태적 변이에 의한 차이를 보이며, 두 서명 특징 프로파일 사이의 지역적 시간적 변이  $n_i$ 는 위상 차이인  $\arg(e^{-j\omega n_i})$ 에 포함되어 있다는 것이다.

두 서명 사이의 지역적인 시간적 변이를 구하기 위해서 두 서명으로부터  $p$ 번째 획에서  $j$ 번째 샘플 위치를 선택하여 정리하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 G_{g_a} g_p(j, \omega) &\approx s_p e^{-j\omega n_p} G_{g_a} f_p(j, \omega) \\
 \arg(G_{g_a} g_p(j, \omega)) &\approx \arg(s_p e^{-j\omega n_p} G_{g_a} f_p(j, \omega)) \\
 n_p &\approx \frac{1}{\omega} \arg\left(\frac{G_{g_a} f_p(j, \omega)}{G_{g_a} g_p(j, \omega)}\right)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

즉, 두 서명 특징 프로파일 사이의 특정한 획에서의 시간적 변이는 두 서명 특징 프로파일에 Gabor 필터를 적용하여 위상 차이를 구하고, 그 중심주파수로 나누어

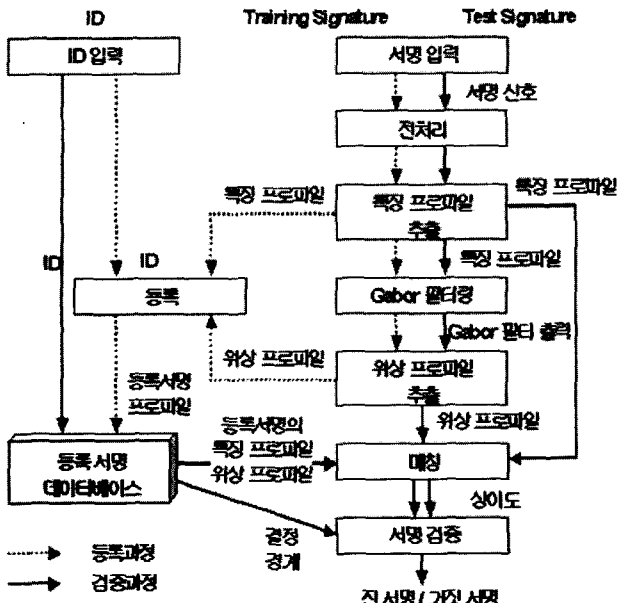


그림 3. Gabor필터를 이용한 서명 검증 방법의 흐름도  
 Fig. 3. Flowchart of signature verification system using Gabor filter

중으로써 추정할 수 있다. 위상 성분은  $-\pi$ 와  $\pi$  사이의 값을 가지므로, 제안한 방법으로 추정할 수 있는 지역적 시간적 변이값의 범위는  $\pm\pi/\omega$ 이다.

$$-\pi < \omega \times n_i < \pi \Rightarrow -\frac{\pi}{\omega} < n_i < \frac{\pi}{\omega} \quad (6)$$

#### IV. 서명 검증 과정

본 논문에서 제안한 서명 검증 방법의 흐름도는 그림 3과 같다. 서명 등록 과정에서는 점선으로 표시된 경로를 따라서 ID(identification)와 함께 미리 정해진 갯수의 서명을 입력하고, 전처리를 적용한 후 특징 프로파일 및 위상 프로파일을 추출하고 등록 단계에서 각각을 비교함으로써 기준 서명을 선택하고 임계값 혹은 판단 경계를 계산한다. 서명 검증 과정에서는 ID와 함께 하나의 서명을 입력받아 전처리를 거쳐 특징 프로파일과 위상 프로파일을 추출한 다음 입력된 ID에 의해 지시된 기준 서명의 특징 프로파일 및 위상 프로파일과 매칭하여 상이도를 계산하고 저장된 결정 경계에 의해 진위 여부를 판단한다.

##### 1. 서명 입력 및 전처리 과정

사용자의 서명은 전자펜과 태블릿을 이용하여 입력

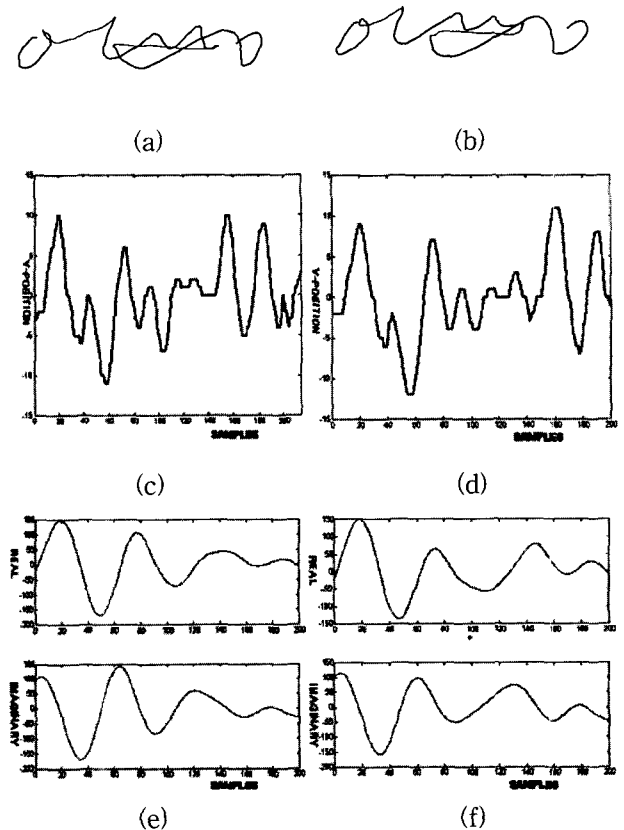


그림 4. 두 입력 서명과 그들의 Y-방향 위치 특징 프로파일, Gabor 필터 출력 프로파일  
 Fig. 4. Examples of signatures and their Y-position feature profiles and outputs of Gabor filter

된다. 본 논문의 실험에 사용된 장치는 1초당 150개의 샘플링이 가능하며, 가로 및 세로 위치와 압력을 입력 받는다. 입력된 서명 신호는 손의 떨림에 의한 노이즈를 포함하고 있고, 입력 서명의 크기와 방향, 그리고 태블릿에서의 위치가 달라지게 된다. 전처리 단계에서는 노이즈 제거, 크기 및 방향 정규화를 실시함으로써, 이러한 요인들이 서명 검증 결과에 영향을 주지 않도록 한다. 전처리를 거친 입력 서명 신호로부터 여러가지 특징 프로파일을 추출할 수 있다. 본 논문에서는 전자펜의 Y-축 위치를 특징으로 사용하였다.

##### 2. 상이도 계산

서명의 특징 프로파일에 대하여 1차원 Gabor 필터를 적용한다. 앞에서 설명한 바와 같이 Gabor 필터의 중심 주파수에 따라서 추정 가능한 지역적 시간적 변이값의 범위가 달라진다. 본 논문의 실험에서는 중심주파수가  $\chi/32$ 인 Gabor 필터를 사용하여, 시간적으로 좌우 32 샘플 포인트만큼의 변이를 추정할 수 있도록 설계한

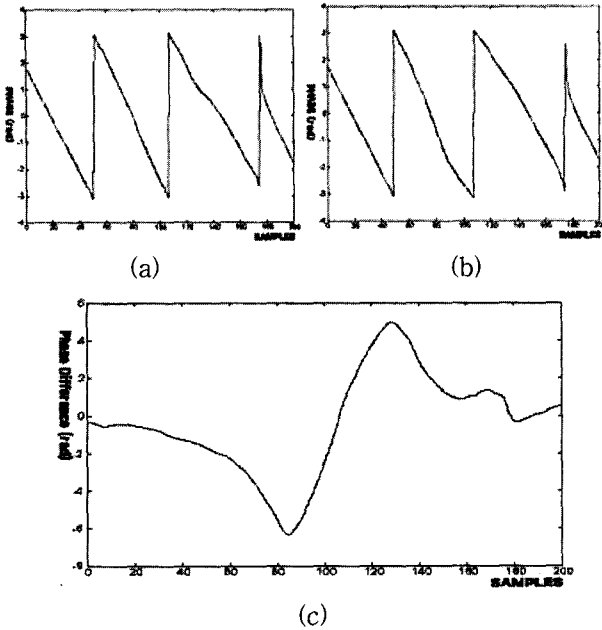


그림 5. 두 서명의 Gabor 필터 위상 출력과 그 차이  
 Fig. 5. Phase outputs of Gabor filter applied on two signatures and the difference between them

Gabor 필터를 사용하였다.

그림 4는 입력 서명 A와 B에 대하여(그림 4(a),(b)) Y-방향 위치 특징 프로파일을 추출하고(그림 4(c),(d)), Gabor 필터를 적용한 결과이다(그림 4(e),(f)). 그 후, 위상 성분을 추출하면 그림 5(a)와 (b)를 얻는다. 이 두 위상 성분을 산술적으로 뺄셈을 해주면 그 결과는 그림 5(c)와 같다. 이 결과를 Gabor 필터의 중심주파수  $\omega$ 로 나누면 두 서명 프로파일의 각 위치에서의 시간적 위치 이동의 추정값이 되어, 그 값을 이용하여 두 서명 신호 간의 포인트 매칭 정보를 추출할 수 있다. 그림 6은 두 서명과 그들의 특징 프로파일 사이의 시간적인 변이를 계산하여 동일한 위치라고 추측된 부분을 대응시킨 결과이다.

서명을 검증하기 위해서는 두 가지의 척도를 사용하였다. 첫 번째는 식 (7)에서 보인 바와 같이 지역적인 시간적 변이 절대값의 평균이고, 두 번째는 식 (8)에서 보인 바와 같이 시간적인 변이가 보정된 상태에서 계산한 특징 프로파일 사이의 RMS 에러이다.

$$d_s = \frac{1}{\omega} \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \left| \arg \left( \frac{G_{g_s} f(n, \omega)}{G_{g_s} g(n, \omega)} \right) \right| \quad (7)$$

$$d_E = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M [f(n) - g(n - d(n))]^2 \quad (8)$$

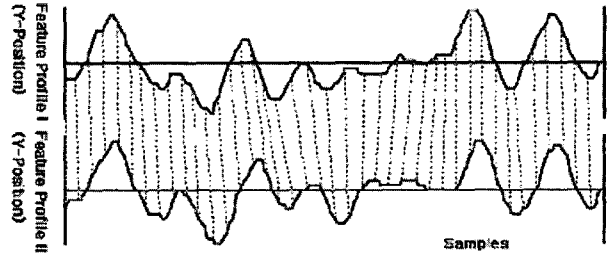


그림 6. 추정된 시간적 변이에 의한 두 서명 특징 프로파일 사이의 시간적 관계 매핑  
 Fig. 6. Temporal mapping between two feature profiles using the estimated temporal shifts

$$d(n) = \frac{1}{\omega} \arg \left( \frac{G_{g_s} f(n, \omega)}{G_{g_s} g(n, \omega)} \right)$$

식 (7)에서  $d(n)$ 은 각 위치에서 추정된 부분적인 시간적 변이값의 시퀀스이고,  $M$ 은 서명 특징 프로파일 시퀀스의 길이이다. 서명 특징 프로파일의 길이는 서명마다 달라지므로, 두 서명을 비교하는 단계에서 길이 정규화를 통해 동일한 길이  $M$ 으로 정규화시킨다. 특징 프로파일  $f(n)$ 과  $g(n)$  사이의 RMS 에러값은 추정된 부분적 시간적 변이값  $d(n)$ 을 각 위치의 오프셋으로 사용하여 계산한다. 추정된 시간적 변이 평균  $d_s$ 와 시간적 변이가 보정된 특징 프로파일의 RMS 에러의 평균  $d_E$ 가 함께 서명 검증을 위한 유사도 판단에 사용된다.

입력 서명의 두 특징 프로파일에 대하여 시간적인 대응 관계를 구하면, 동일한 위치의 특징값의 차이를 계산할 수 있다. 즉 두 특징 프로파일의 동일한 위치로 결정된 두 특징값의 차이로부터 시간이 보정된 특징 프로파일의 유사도를 구한다. 본 논문에서는 이것을 서명의 유사도 계산을 위한 두번째 척도로 사용한다.

### 3. 서명 코드 작성

서명 검증을 위해 저장해야 하는 데이터를 일정한 크기로 고정시키고, 빠른 속도로 두 서명을 비교하기 위해서 입력된 서명 신호를 서명 코드로 제작한다. 본 논문에서 제안하는 서명 검증 방법에서 저장되어야 할 정보는 두 가지이다: 첫 번째는 서명 신호의 특징 프로파일이고, 두 번째는 Gabor 필터의 위상 출력이다.

입력된 서명 특징 프로파일은 Gabor 필터를 거친 다음 일정한 길이  $M$ 으로 정규화된다. 본 논문의 실험에

서는  $M=256$ 을 사용하였다. 특징 프로파일과 위상 출력은 각각  $2^8$  즉 256 레벨로 양자화하여, 각 샘플 포인트의 값을 1 Byte로 표현할 수 있도록 하였다. 이러한 방법으로 하나의 서명 데이터를 코드화하여, 서명의 특징 프로파일을 256 Byte의 특징 코드  $F(n)$ , 서명의 위상 출력을 256 Byte의 위상 코드  $P(n)$ 으로 표현하게 된다. 서명을 코드로 표현함으로써, 고정된 크기로 서명을 표현할 수 있을 뿐 아니라, 정수 연산을 통해 보다 빠른 서명 검증이 가능하도록 하였다.

4. 기준 서명 선택

한 서명자에 대한 기준 서명을 설정하기 위해서 우선  $N$ 개의 서명을 반복적으로 입력받는다. 가장 기본적으로는 그  $N$ 개의 서명 중에서 가상적인 특징 공간상의 중심에 있는 서명을 기준 서명으로 선택할 수 있다. 즉,  $d_{Sij}$ 와  $d_{Eij}$ 를  $i$ 번째 입력 서명과  $j$ 번째 입력 서명 사이의 시간적 유사도와 시간적으로 보상된 특징 프로파일의 유사도라 할 때, 식 (9)를 최소로 하는 서명을 기준 서명으로 설정할 수 있다.

$$d_i = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq i}^N (d_{Sij} + d_{Eij}) \quad (9)$$

위와 같은 방법은  $N$ 이 충분히 큰 경우에는 비교적 양호한 기준 서명을 선택할 수 있지만,  $N$ 이 작아짐에 따라 서명자의 서명을 대표하는 서명을 선택하지 못할 가능성이 커진다. 본 논문에서는 ISODATA 알고리즘<sup>[10]</sup>을 이용하여, 입력된 서명에 대하여 군집화를 시도하여, 각 군집의 중심에 존재하는 서명들을 기준서명으로 선택하도록 하였다.

5. 서명의 진위 판단

서명 검증 분야에서는 모조에 대한 데이터를 수집하기가 매우 어려우므로 사용자가 입력한 진서명만으로 진서명과 모조서명을 구분하기 위한 판단 경계를 구해야 한다. 진서명과 모조서명을 구분하기 위한 판단 경계는 유사도 척도  $d_S$ 와  $d_E$ 를 두 축으로 하는 2차원 유사도 평면에 직선으로 표현될 수 있다(그림 7).  $N$ 개의 입력 서명으로부터  $p$ 번째 서명을 기준 서명을 설정한 다음, 나머지 서명들과의 유사도의 평균과 분산을 다음과 같이 구할 수 있다.

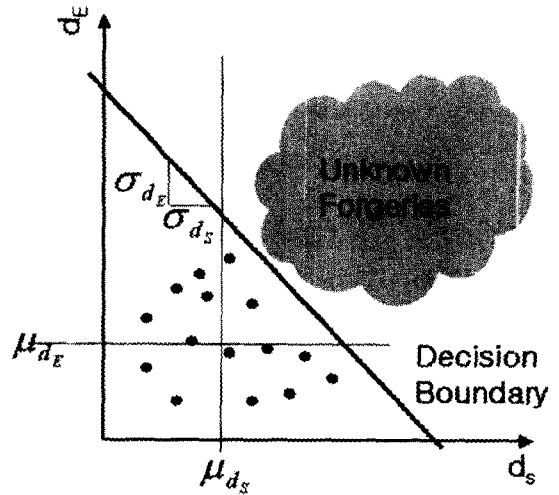


그림 7. 상이도 평면과 판단 경계  
Fig. 7. A decision boundary on dissimilarity surface

$$\begin{aligned} \mu_{d_s} &= \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq p}^N d_{Sij} \\ \mu_{d_E} &= \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq p}^N d_{Eij} \\ \sigma_{d_s}^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq p}^N (d_{Sij} - \mu_{d_s})^2 \\ \sigma_{d_E}^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq p}^N (d_{Eij} - \mu_{d_E})^2 \end{aligned} \quad (10)$$

이러한 네 값을 이용하여 2차원 유사도 평면에 판단 경계를 직선으로 표현할 수 있다. 즉,  $\sigma_{d_s}$ 와  $\sigma_{d_E}$ 를 이용하여 직선의 기울기를 구하고,  $\mu_{d_s}$ 와  $\mu_{d_E}$ 를 이용하여 직선의 절편을 구할 수 있다.

$$d_E = -\frac{\sigma_{d_E}}{\sigma_{d_s}}(d_S - c \times \mu_{d_s}) + c \times \mu_{d_E} \quad (11)$$

여기서,  $c$ 는 독립 상수로서 그 값이 변함에 따라 판단 경계 직선의 위치가 움직이게 된다. 만약  $c$ 값이 작아지면, 진서명을 모조서명으로 잘못 판단하게 되는 FRR가 증가하게 되고, 만약  $c$ 값이 커지면, 모조 서명을 진서명으로 잘못 판단하게 되는 FAR가 증가한다.

V. 실험 및 결과

본 논문에서 실험에 사용한 서명 데이터베이스는 10명의 서명자가 서명한 1500개의 서명과 10명의 숙련된 위조 서명자가 작성한 500개의 서명으로 구성되어 있다. 실험을 위한 장비는 Pentium III 850MHz이며,

표 1. 제안 방법과 기존 함수적 방법의 서명 검증 시간 및 데이터 길이

Table 1. Comparisons on signature verification time and data size between proposed approach and conventional functional approach

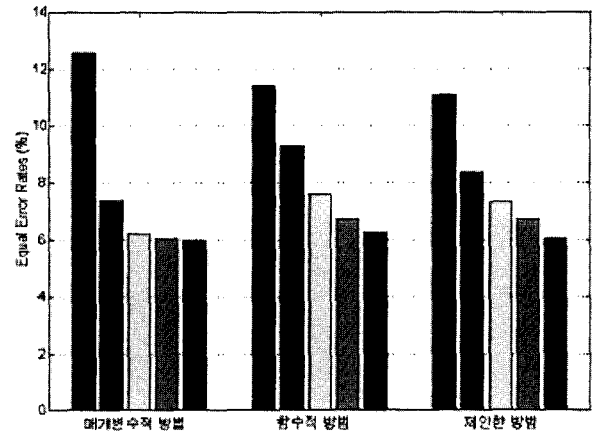
	DP 매칭	제안 방법
전처리	-	초당 540 서명
서명 비교 속도	초당 15 쌍의 서명	초당 6563 쌍의 서명
서명 검증 속도	초당 15 서명	초당 499 서명
서명 데이터 길이	가변	512 Byte (고정)

256MByte의 메모리를 장착하였다. 제안한 서명 검증 방법의 성능을 평가하기 위하여, 서명을 검증하는 속도와 검증 오류를 사용하였다.

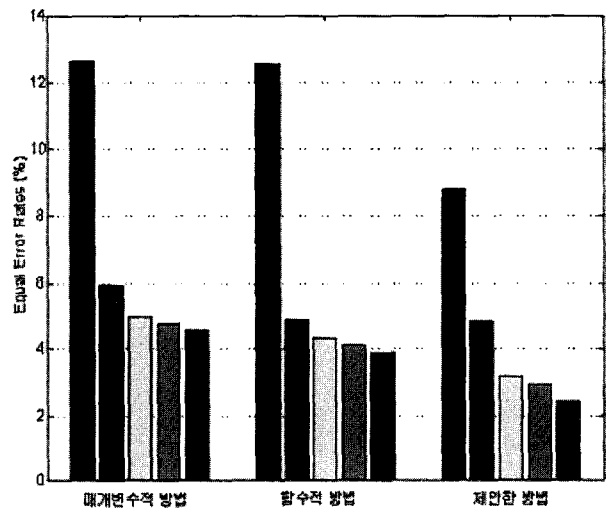
1. 계산 속도와 서명 데이터의 크기

표 1은 제안한 방법의 서명 비교 속도를 함수적인 방법과 비교하였다. 기존의 DP 매칭 방법에서는 서명의 특징 프로파일을 그대로 사용하므로 전처리 과정에 거의 시간을 소모하지 않는다. 따라서, 두 서명 특징 프로파일을 비교하는 시간을 서명을 검증하는 시간으로 간주할 수 있다. 제안한 방법은 초당 540개의 서명 특징 프로파일로부터 서명 코드를 제작하고, 초당 6563쌍의 서명 코드를 비교하였다. 기존 서명은 미리 코드화되어 있고, 입력 서명의 특징 프로파일을 서명 코드로 제작하여 기존 서명 코드와 비교하면, 서명 검증 속도는 초당 499개의 서명을 검증할 수 있다.

서명을 검증하기 위해 저장해야 할 데이터의 길이를 고정화하는 것은, 서명 검증 기술을 실용화하는데 매우 중요하다. 즉, IC카드 등의 매체를 통해 서명을 기록하기 위해서는 최대한 작은 크기로 서명 데이터를 저장하는 것이 요구된다. 그러나, 기존의 DP 매칭을 이용하는 방법에서는 서명 데이터의 최대 길이가 가변적이라는 단점을 가지고 있다. 제안한 방법에서는 하나의 서명 데이터를 512 Byte로 코드화시킴으로써 고정된 길이로 서명을 저장할 수 있다. 또한, ISODATA를 이용하여 1 개 이상의 기준 서명을 설정하는 경우에도, 설정할 수 있는 기준 서명의 갯수를 제한함으로써 저장해야 할 서명 데이터의 최대 크기를 미리 결정할 수 있다. 군집화 방법 ISODATA를 이용하여 두 개 이상의 기준 서명이 설정된 경우는 서명을 비교하는 시간이 기준 서명 갯수만큼 더 소요된다. 따라서, 두 개의 기준 서명이 설정되



(a)



(b)

그림 8. 단일 기준 서명(a)과 하나 이상의 기준 서명을 선택한 경우(b)의 매개변수적 방법, 함수적 방법, 제안 방법에서의 EER. (등록서명의 갯수 3, 6, 9, 12, 20개)

Fig. 8. Equal error rates of a parametric approach, a functional approach and the proposed approach on the cases of single prototype selection (a) and multiple prototype selection(b). The number of prototype signatures are 3, 6, 9, 12 and 20

면, 초당 463 개의 서명을 검증할 수 있다.

2. 검증률

앞에서 설명한 데이터베이스를 이용하여 제안 방법의 검증 어려움을 비교하였다. 검증 어려는 진서명을 모조 서명으로 잘못 판단하는 경우와 모조 서명을 진서명으로 잘못 판단하는 경우가 같아지는 EER을 기준으로 하였다. 제안 방법의 성능을 비교하기 위한 대상으로서, 서명 신호의 전역적 특징을 이용하는 매개변수적 방법

과 DP 매칭을 이용한 함수적 방법을 선정하여, 동일한 서명 데이터 베이스에 대하여 실험하였다.

먼저 하나의 서명을 기준 서명으로 선택할 때, 기존의 서명 검증 방법과의 성능을 비교하였다. 서명 검증 시스템의 성능은 기준 서명을 등록하기 위해 사용된 서명의 갯수에 따라 성능이 크게 좌우된다. 그것은 등록에 사용된 서명이 많아질수록 적합한 기준 서명을 선택할 가능성이 많아지고, 또한 정확한 판단 경계를 설정할 수 있게 되기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 기준 서명을 선택하는 서명 등록 과정에 참여한 입력 서명의 갯수를 3, 6, 9, 12, 20개로 변화시켜가면서 실험하였다. 그림 8(a)에 그 결과를 그래프로 표시하였다. 제안 방법은 매개변수적 방법보다는 약간 성능이 낮았지만, DP 매칭을 이용하는 함수적 방법에 비해서는 더 좋은 성능을 보였다.

그림 8(b)에서는 각각의 방법에서 모두 1개 이상의 서명을 기준 서명으로 선택하기 위하여 ISODATA를 적용하여 실험하였다. 그림에서 보는 바와 같이 등록 서명이 20개일때, 2.41%의 에러율을 얻을 수 있었으며, 기존의 방법보다 월등한 성능 향상을 확인할 수 있었다.

제안 방법은 기준 서명을 1개로 제한했을 때, 기존의 방법과 비슷한 성능을 보였지만, ISODATA를 이용하여 1개 이상의 서명을 기준 서명으로 설정할 때, 기존 방법보다 좋은 성능을 보였다. 그 이유는 각 서명에 존재하는 변화를 시간적인 변화에 의한 것과 형태적인 변화로 구분함으로써, ISODATA에 의해 기준 서명을 선택할 때, 좀더 적절한 기준 서명을 선택할 수 있었던 것으로 판단된다.

## VI. 결 론

서명 검증 문제를 어렵게 만드는 여러 요인들 중 하나인 지역적인 시간적 변이를 보상하기 위해, 기존의 방법보다 훨씬 빠르고 간단한 계산을 요구하는 방법을 제안하였다. 제안 방법은 서명의 유사도를 계산하기 위하여, 시간적인 유사도와 시간적인 변이가 보정된 특징 프로파일의 유사도를 제안하였다. 또한 고정된 크기의 서명 데이터만을 저장할 수 있도록 서명 코드를 제작함으로써 빠른 서명 검증이 가능하도록 하였다.

제안 방법의 실험 결과, 기존의 DP 매칭에 의한 방법보다 30배 이상 빠른 검증 속도를 보이며, 검증률에

서도 큰 개선을 보이는 방법임을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Chao-Chih Hsu, Ling-Fan Chen, Pao-Chung Chang and Bor-Shenn Jeng, "On-Line Chinese Signature Verification based on Multi-Expert Strategy", *Proceedings of 32nd Intl. Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 169-173, 1998.
- [2] Luan L. Lee, Toby Berger and Erez Aviczer, "Reliable on-line human signature verification systems", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, pp. 643-647, June 1996.
- [3] S. H. Kim et al., "Applying personalized weights to a feature set for on-line signature verification," *Proceedings of the International Conference on Document Analysis and Recognition*, vol. 2, pp. 882-885, 1995.
- [4] B. Wirtz, "Stroke-based time warping for signature verification", *Proceedings of the Intl. Conference on Document Analysis and Recognition*, vol. 1, pp. 179-182, 1995.
- [5] G. Gupta and R. Joyce, "A study of shape in dynamic handwritten signature verification", Technical Report, James Cook University of North Queensland, Computer Science Dept., 1997.
- [6] Friederike Dorothea Griess, *Project Report : On-line Signature Verification*, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, May, 2000.
- [7] J. G. A. Dolfing, *Handwriting Recognition and Verification : A Hidden Markov Approach*, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 1998.
- [8] R. Plamondon and G. Lorette, "Designing an automatic signature verifier: problem definition and system description", *Computer Processing of Handwriting*, R. Plamondon and C. G. Leedham, Eds., World Scientific Publishing Co., pp. 3-20, 1990.
- [9] D. Gabor, "Theory of communication", *Journal of IEE*, vol. 93, Part III, No. 26, pp. 429-457, 1946.
- [10] R. O. Duda, P. E. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, pp. 210, Stanford Research Institute, Menlo Park, California. 1973.



저 자 소 개



이 종 현(정회원)  
 1994년 연세대학교 전자공학과  
 공학사  
 1996년 연세대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2002년 연세대학교 전기컴퓨터공  
 학과 공학박사

2002년 1월~현재 삼성전자 프린팅 사업부  
 <주관심분야: 생체인식, 영상처리>



김 재 희(정회원)  
 1979년 연세대학교 전자공학과  
 공학사  
 1982년 Case Western Reserve  
 Univ. Electrical Eng. 공학석사  
 1984년 Case Western Reserve  
 Univ. Electrical Eng. 공학박사

2002년 8월~현재 연세대학교 전기전자공학부 교  
 수, 생체인식 연구센터 소장  
 <주관심분야: 생체인식, 컴퓨터비전, 인공지능>



김 성 훈(정회원)  
 1988년 서강대학교 전자공학과  
 공학사  
 1990년 연세대학교 전자공학과  
 공학석사  
 1996년 연세대학교 전자공학과  
 공학박사

1996년 3월~현재 영동대학교 컴퓨터공학과 교수  
 <주관심분야: 패턴인식, 서명검증, 생체인증>

