

필기의 구조적 표현에 의한 온라인 자동 서명 검증 기법

김 성 훈[†] · 장 문 익^{††} · 김 재 희^{†††}

요 약

온라인 서명검증을 위해서는 서명의 국부적인 형태가 중요한 판단 근거가 된다. 함수적 접근이나 매개변수적 접근과 같은 지금까지의 접근방법은 서명을 시간에 대한 함수로 나타내거나, 특징집합으로 표현함으로써, 서명의 국부적인 모양을 무시한 채로 서명검증에서 유용한 요소로 사용될 수 있는 국부적인 모양에서의 다양한 특징, 국부적인 모양의 변화, 형태의 복잡성 등을 사용하지 않았다. 이 논문에서는 서명을 구성 형태에 근거한 구조적인 표현 방법으로 나타내어 서명의 국부적인 모양의 분석과 중요한 부분에 대한 선택적인 사용이 가능한 새로운 접근방식의 서명 검증 기법을 제시하였다. 즉, 서명의 구조적 표현에 근거하여 국부적 가치 적용방법과 진위판단을 위한 임계치의 개인별 차등화 방법을 고안하였고, 이에 대한 실험결과를 분석하였다.

A Technique for On-line Automatic Signature Verification based on a Structural Representation

Seong-Hoon Kim[†] · Mun-Ik Jang^{††} · Jai-Hie Kim^{†††}

ABSTRACT

For on-line signature verification, the local shape of a signature is an important information. The current approaches, in which signatures are represented into a function of time or a feature vector without regarding of local shape, have not used the various features of local shapes, for example, local variation of a signer, local complexity of signature or local difficulty of forger, and etc. In this paper, we propose a new technique for on-line signature verification based on a structural signature representation so as to analyze local shape and to make a selection of important local parts in matching process. That is, based on a structural representation of signature, a technique of local weighting and personalized decision threshold is newly introduced and its experimental results under different conditions are compared.

1. 서 론

자동 서명 검증의 문제는 그동안의 오랜 연구에도

불구하고 실용적인 측면에서 만족할만한 성과를 거두지 못하고 있다. 지금까지의 서명검증에 대한 접근은 크게 두가지로 함수적 접근(functional approach)와 매개변수적 접근(parametric approach)로 나뉘어진다[1, 2]. 서명 검증 연구의 초기단계에서 주로 행하여진 함수적 접근은 입력된 신호를 시간에 대한 특징함수로 나타내고 서명의 시작에서부터 끝까지 모든 함수값을 비교함으로써 입력된 서명의 진위를 판별한다[3, 4, 5].

* 이 논문은 97년도 정보통신부 대학기초연구사업의 지원에 의한 결과임.

† 정 회 원 : 영동대학교 컴퓨터공학과 교수

†† 정 회 원 : 연세대학교 대학원 전자공학과

††† 정 회 원 : 연세대학교 기계전자공학부 교수

논문접수 : 1998년 1월 21일, 심사완료 : 1998년 3월 3일

이에 반해 매개변수적 접근은 서명으로부터 서명의 특징이 될 매개변수를 추출하여 이를 매개변수 공간에 대응시켜 미리 등록된 서명을 대표하는 중심값과의 거리를 계산하여 진위여부를 판별한다[6, 7, 8].

함수적 접근방법의 단점은 특징의 사용에 있어서 제한을 받는다. 그리고 비교과정에 시간에 대한 모든 특징함수를 비교해야 하므로 많은 시간이 소비되며 비교되는 함수값이 모양과는 일치하지 않는 부분이 발생한다. 또한 참조패턴의 학습은 주어진 샘플들중에 하나 또는 그 이상의 샘플을 그대로 참조패턴으로 선택하여 사용해야 하므로 변형의 흡수에 한계를 가진다.

매개변수적 접근은 함수적 접근에 비해 보다 다양한 특징을 사용할 수 있으나 국부적인 부분의 변화를 특징으로 사용할 수 없다는 것이 매개변수적 접근의 단점이라 볼 수 있다. 참조패턴의 학습에 있어서도 선택된 특징들에 대한 평균값을 참조패턴으로 사용하므로 서명의 국부적인 부분에서의 중요도나 변화도는 사용할 수 없게 된다. 그러므로 국부적인 부분에서의 변형의 처리가 불가능하다. 진위판단 방법과 임계치 설정문제에 있어서도 두 접근방법은 공통적인 한계를 가진다.

두 접근방법의 이러한 한계는 서명을 구성하는 국부적인 형태를 고려하지 않고 단순히 특징함수 또는 특징집합의 평균치 벡터로 표현하여 서명에 존재하는 다양한 정보를 끌어내어 사용하지 못하였기 때문에 발생하는 문제들로 분석된다. 서명에 존재하는 정보로는 서명을 구성하는 기본적인 형태의 조합, 국부적인 부분에서의 변형 형태와 복잡한 정도, 검증에 유용한 정도, 등 다양한 정보들이 있다[9][10].

이 논문에서는 서명 검증에 대한 새로운 접근방법으로 서명으로부터 다양한 정보를 끌어내어 사용하기 위해 서명의 표현에 있어서 서명의 구성요소들로 나타내고, 서명검증에서 국부적으로 중요한 부분과 유용한 특징을 선택적으로 사용하는 구조적인 접근방법을 제안하고자 한다. 구조적인 방법을 위해서는 먼저 서명을 나타내는 불변적 원시 패턴(primitive)이 정의되어야 한다. 그리고 이들 원시 패턴을 조합하여 서명을 구조적으로 표현한다. 이 논문에서는 원시 패턴을 정의하는데 있어, 사람의 필기 생성 과정의 인지적 이론에 근거하여[11, 12] 최소 속력점을 분할점으로 하여 얻어지는 부분을 원시 패턴으로 정의하고, 방향 변화에 의해 얻어지는 단순 회전형 성분, 접형 성분, 중형

성분의 세 가지 종류를 서브패턴으로 정의하여 서명을 구조적으로 표현하였다. 그리고 구조적으로 표현된 두 서명을 비교하기 위해서는 서브패턴을 기본 단위로 한 동적 프로그래밍 정합 방법[13]에 병합(merging) 연산을 추가하여 국부적으로 존재하는 변형을 흡수할 수 있도록 하였다. 또한 서브패턴 단위로 국부적인 변화도와 복잡도를 추출하여 참조 패턴의 학습 방법과 진위 판단 임계치 설정방법을 제시하였다. 시스템의 성능평가를 위하여 기존의 방법과 제안된 방법의 비교실험을 통하여 구조적 서명 검증 방법의 유용성을 분석한다.

2. 필기의 구조적 표현과 정합 방법

일반적으로 점의 좌표들만으로 구성되는 온라인 필기 데이터를 문자 또는 기호, 서명 등의 의미를 가진 패턴으로 인식하기 위해서는, 인식 대상인 패턴을 적절한 크기의 서브 패턴(subpattern)으로 나누고, 이들 서브 패턴을 다시 최소 단위의 원시패턴(primitive pattern)들로 나누어 표현한다. 가령, 한글 문자의 경우 하나의 문자는 초성, 중성, 종성과 같은 자소 단위의 중간 패턴으로 구성되며, 자소 단위의 중간 패턴은 몇 개의 획들로 구성된다. 인식 방법에 따라서, 획 자체를 인식의 최소 단위인 원시 패턴으로 설정하는 경우[14]도 있고, 획을 더 작은 부분으로 분할한 부분획을 인식의 최소 단위인 원시 패턴으로 설정할 수도 있다[15]. 이처럼 패턴 인식에서 패턴(pattern)을 더 작은 단위의 서브패턴으로 축소시켜 표현하려는 이유는 주어진 패턴이 복잡하여 인식하려는 클래스가 많은 갯수로 되는 경우, 그만큼 더 많은 갯수의 특징들이 사용되어야 하며 인식기의 설계가 복잡해지기 때문이다[16].

2.1 원시 패턴의 정의

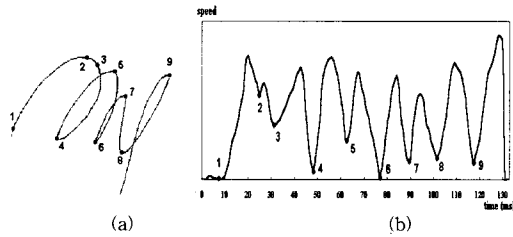
획을 보다 작은 단위의 부분획으로 표현하려는 연구는 Higgins[17, 18], Guy Lorette[19], 김재희[15] 등이 있다. 그러나, 이러한 방법들은 문자와 문자 또는 자소와 자소간의 연결이 하나의 획내에서 발생한 경우, 이를 분리하여 자소 또는 문자를 인식하기 위한 목적으로 고안된 것이다. 서명 검증에서 획을 부분획으로 분할하려는 목적은 문자 인식의 경우와는 달리, 획내에서 서명 검증에 중요한 부분을 찾아서 다른 부분과 차별하여 사용하고자 하는 것이다.

서명검증을 위하여 서명의 획을 부분획으로 분할하는데 있어 만족되어야 할 사항을 다음과 같이 설정한다

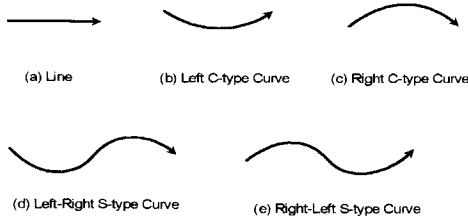
- 1) 분할되는 점이 서명의 위치이동(translation), 크기(size), 회전(rotation)의 변화에 불변이어야 한다.
- 2) 동일한 서명의 샘플들간에 국부적인 변화가 있더라도, 변화가 없는 동일부분에 대해서는 분할점의 위치가 서로 일치하는 분할이 일어나야 한다.
- 3) 분할되어 얻어지는 조각들의 모양은 일정 갯수의 원시 패턴으로 정의가 가능하여야 한다.

이러한 분할점을 얻기 위해 앞서 살펴본 필기 행동의 특성에 기초하여 최소 속력점(minimal speed point)을 분할점으로 하여 얻어지는 부분획을 원시 패턴으로 사용하였다(그림 1 참조). 최소 속력점은 필기 곡선에서 펜의 움직임이 잠시 머무는 지점이며, 손의 근육제어의 명확한 구분 시점이 된다.

국부 극소 속력점을 분할점의 기준으로 얻어지는 원시 패턴의 유형은 기본적으로 그림 2와 같이 5가지로 정의한다.



(그림 1) 속력 그래프에서의 극소점
(Fig. 1) Minimal speed points in speed graph

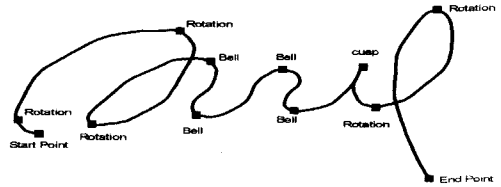


(그림 2) 5가지의 기본 원시 패턴
(Fig. 2) Five primitives of segmented stroke

2.2 서브패턴의 형성 및 구분

필기 곡선의 모양은 원시 패턴의 연결 모양에 따라 결정된다. 이전의 원시 패턴의 유형과 다음의 원시 패

턴의 유형, 그리고 연결되는 회전 각도가 국부 모양을 결정하는데 중요한 요소가 된다.



(그림 3) 서명에서의 연결 유형의 예
(Fig. 3) An example of connection types

서명에서의 원시 패턴들간의 연결 모양을 보면 그림 3에서 보인 것처럼 단순회전형(rotate), 첨형(cusp), 종형(bell) 중의 하나로 나타나는 것을 알 수 있다. 이 서명은 'rotate - rotate - rotate - bell - bell - bell - bell - cusp - rotate - rotate'의 연결 순서로 서명이 이루어진다.

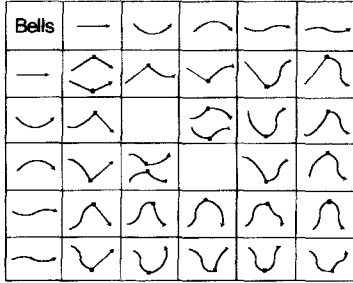
실제로 연결 형태는 보다 세분화되어 세가지 보다 더 많은 종류의 유형이 있다. 그림 4와 그림 5, 그림 6에서 가능한 모든 연결 형태를 보이고 있다. 이와 같이 두 원시 패턴이 연결되어 얻어지는 곡선을 필기 곡선의 서브 패턴으로 정의한다.

Rotate	—	∪	∩
—	∧	∨	∟
∪	∩	∪	
∩	∪		∩

(그림 4) 단순 회전 연결 형태의 서브패턴들
(Fig. 4) Various instances of type 'rotate'

Cusps	—	∪	∩	∪	∩
—	∧	∨	∟	∟	∟
∪	∩	∪	∩	∪	∩
∩	∪	∩	∪	∩	∪
∪	∩	∪	∩	∪	∩
∩	∪	∩	∪	∩	∪

(그림 5) 첨형 연결 형태의 서브 패턴들
(Fig. 5) Various instances of type 'cusp'



(그림 6) 종형 연결 형태의 서브 패턴들
(Fig. 6) Various instances of type 'bell'

2.3 서브 패턴의 정합 방법

패턴 인식에서 연속된 일련의 스트링을 비교하기 위한 방법으로 DP 정합 방법이 주로 사용된다. DP 정합은 두 스트링간에 추가 또는 삭제 등의 변형을 비선형적인 매핑에 의해 흡수하여 두 스트링간의 최소 차이값과 이때의 매핑 관계를 찾아준다[13].

비교해야 될 패턴 A, B가 다음과 같은 스트링으로 나타내어진다고 하자.

$$A : a_1, a_2, a_3, \dots, a_I \tag{1}$$

$$B : b_1, b_2, b_3, \dots, b_J \tag{2}$$

이 때, I, J 는 각 패턴의 구성요소의 갯수이다.

두 패턴을 비교하기 위해서는 각 구성요소들간에 적절한 대응 관계(mapping)가 주어져야 하는데, 이를 워핑 함수 F 라 하고 다음과 같이 표시한다.

$$F : c(1), c(2), c(3), \dots, c(k), \dots, c(K) \tag{3}$$

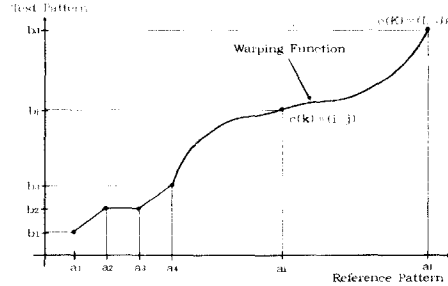
이 때, $c(k) = (i, j)$, i 와 j 는 패턴의 구성요소

그림 7은 두 패턴의 워핑 함수를 나타내는 그래프이다. 워핑 함수 F 의 임의의 구성 요소의 차이는 다음과 같이 표시한다.

$$d(c(k)) = d(i, j) = \|a_i - b_j\| \tag{4}$$

워핑 함수에 의해 패턴 A, B를 매칭시켜 구해지는 전체적인 차이는 가중치 거리 공식에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$D(A, B) = \text{Min}_F \left[\frac{\sum_{k=1}^K d(c(k))}{K} \right] \tag{5}$$



(그림 7) DP 정합에서의 워핑 함수
(Fig. 7) Warping function of DP-Matching

전체 차이 계산식은 중간 과정까지의 차이 계산식 $g(c(k))$ 에 의해 귀납적인 표현이 가능하다.

$$k = 1, g(c(k)) = g(1, 1) = d(c(1))$$

$$k \geq 2, g(c(k)) = g(i, j)$$

$$= \text{Min}_{c(k-1)} [g(c(k-1)) + d(c(k))] \tag{6}$$

이 때, $c(k-1)$ 은 $\{(i, j-1), (j-1, i), (i, j)\}$ 중의 하나이다.

전체 차이값은 다음과 같이 계산된다.

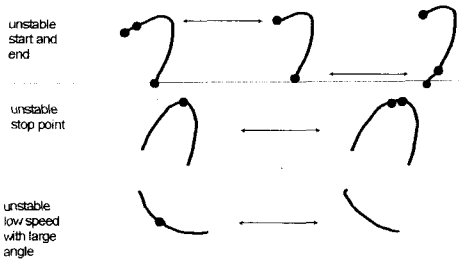
$$D(A, B) = \frac{1}{K} g(c(K)) \tag{7}$$

위 식에서 중간 정합 과정까지의 차이값의 계산에서 가상적인 구성 요소 (imaginary element)와 비교가 이루어지는 삽입 또는 삭제 연산은 바로 이전의 구성 요소를 가상적인 구성 요소로 사용한 경우이다. 워핑을 위해 추가적으로 삽입되는 구성 요소를 임의의 null point라 하는 경우, 식 6은 다음과 같이 달라진다.

$$g(c(k)) = \text{Min} \begin{bmatrix} g(i-1, j-1) + d(i, j), \\ g(i, j-1) + d(\text{null}, j), \\ g(i-1, j) + d(i, \text{null}) \end{bmatrix} \tag{8}$$

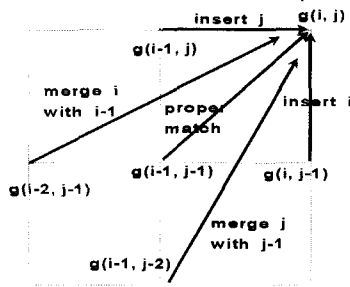
이 때, $d(\text{null}, j)$ 와 $d(i, \text{null})$ 은 임의의 null point와 의 차이값을 계산하는 식으로 별도로 정의한다.

DP 정합을 서브패턴 단위로 나타내어진 필기 곡선에 대해 적용하고자 하는 경우, 추가 및 삭제의 변형 처리와 함께 병합(merge) 연산이 필요하다. 원시 패턴의 곡선이 굴곡이 큰 경우에는 중간 부분이 두개로 나뉘어지는 경우가 종종 발생한다(그림 8 참조). 그러므로 두개의 원시 패턴이 하나의 원시 패턴으로 합쳐져서 비교가 이루어지는 경우 보다 작은 차이값을 얻을 수 있다.



(그림 8) 원시 패턴의 분리 변형
(Fig. 8) Deformed separation of primitives

추가와 삭제의 연산과 함께 병합 연산이 가능한 조건에서의 중간 워핑 경로는 그림 9에서 보인 것과는 다르다.

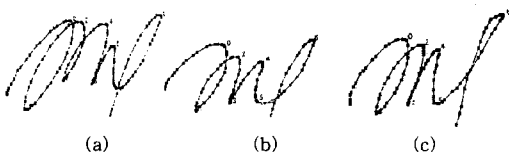


(그림 9) 병합연산이 추가된 중간 워핑 경로
(Fig. 9) Warping path inserted with merging

그리고 식 7에서의 중간 정합 과정까지의 누적차이 값의 계산식은 다음과 같이 정의된다.

$$g(c, h) = \text{Min} \left[\begin{array}{l} g(i-1, j-1) + d(i, j), \\ g(i, j-1) + d(\text{null}, j), \\ g(i-1, j) + d(i, \text{null}), \\ g(i-1, j-2) + d(i, m(j, j-1)), \\ g(i-2, j-1) + d(m(i, i-1), j) \end{array} \right] \quad (9)$$

여기서, $m(i, i-1)$ 또는 $m(j, j-1)$ 은 두 서브패턴을 하나의 서브패턴으로 병합하는 연산이다.



(그림 10) 변형이 존재하는 샘플들의 예
(Fig. 10) examples of deformed signatures

그림 10의 (a)와 (b)를 비교 대상 샘플이라 하고, 그림 10 (c)를 참조 샘플로 했을 때, 서브패턴 단위의 매칭 결과는 각각 다음과 같이 얻어진다.

Matching a test sample (a) with reference (c) :
 ref -> 0 1 2 2 3 4 5 6 7 8
 tst -> 0 1 3 4 5 6 7 8 9 10
 type -> + / # | / / / / / /

Matching a test sample (b) with reference (c) :
 ref -> 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 tst -> 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 type -> + / / / / / / / /

여기서, type이 '/'인 경우는 proper matching이고, '#'인 경우는 merged matching을 의미하며, '|'인 경우는 null point와의 matching을 의미한다.

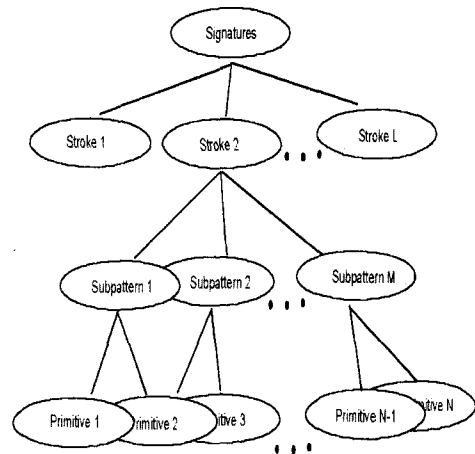
3. 자동 서명 검증 방법

이 장에서는 구조적인 접근에 의한 서명 검증 기법의 특성과 서명 검증 시스템의 구조 그리고 각 모듈에 서의 기능을 설명한다.

3.1 구조적 서명 검증 방법의 특성과 시스템 구성

구조적인 서명 검증은 기존의 서명 검증 방법에 비해 다음과 같은 특성을 갖는다.

1. 서명을 구조적으로 표현한다(그림 11 참조).

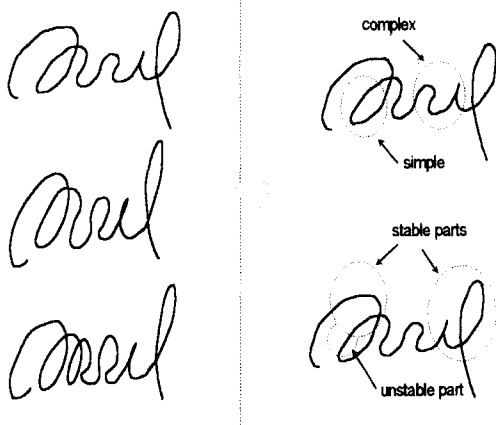


(그림 11) 서명의 구조적 표현
(Fig. 11) Structural representation of signature

서명을 최하위 단위의 기본 요소들로 분할하여 이 들로부터 서명을 재구성하면서 서명의 특징을 비교한다. 그러므로 비교시간이 감소된다. 또한 동일 부분의 매핑이 정확해지며, 모양의 분석이 가능하다. 그리고 국부적인 부분에서의 강조가 가능하다.

2. 서명의 구성 성분들에 대해 국부적으로 서명 검증에 중요한 부분과 유용한 특징을 선택적으로 사용할 수 있도록 참조 서명의 모델을 형성한다.

즉, 서명을 구성하는 세그먼트에 대해 진서명내의 변화가 심한 부분은 비교 과정에서 덜 중요하게 참여시키고 변화가 거의 없는 안정된 부분은 강조하여 비교되도록 한다. 또한 세그먼트가 단순하여 다른 사람이 모조하기 쉬운 부분에서는 중요도를 약화시키고, 반대로 서명이 복잡하여 상대방이 모조하기 어려운 부분에서는 강조하여 비교될 수 있도록 한다(그림 12 참조).



(그림 12) 서명의 국부적 변화성과 복잡성의 예
(Fig. 12) An example of local complexity and variation of signature

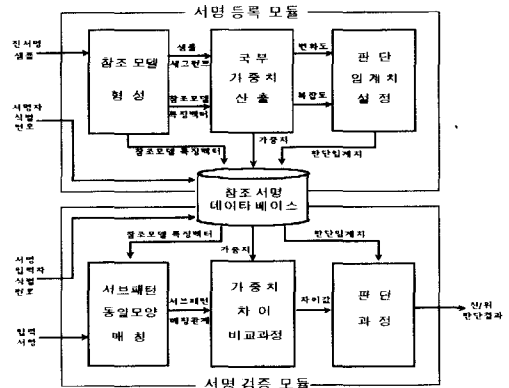
3. 최종 판단 임계치의 결정을 서명의 전체 변화도와 복잡도에 의해 결정함으로써 검증 오류율을 안정시킬 수 있다.

서명 검증 과정 중의 최종 진위 판단 단계에서 사용되는 판단 임계치는 서명 검증의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 된다. 지금까지의 서명 검증 방법에서는 판단 임계치의 설정을 모조서명의 샘플을 이용한 검증 오류율의 추정 실험을 통하여 각 사람별로 판단 임계치를 설정하거나[6, 8], 아니면 진서명들간의 비교를 통한 차이값의 변화의 정도에 따라 판단 임계치를

설정하였다[20, 21]. 모조서명 샘플들에 의한 검증률 추정 실험은 실제로 검증 시스템을 활용시 서명 등록자로부터 많은 갯수의 모조 서명 샘플을 확보해야 하므로 비실용적이다. 또한, 진서명들만의 변화 정도에 따라 임계치를 설정하는 방법은 모조 서명을 사용하지 않는다는 장점을 가지지만, 이 방법은 근본적으로 유형-I 에러율(진서명 거부 에러율)을 예측할 뿐이지 유형-II 에러율(모조서명 인정 에러율)은 고려하지 못한다는 점에서 바람직하지 못하다.

하지만, 진서명의 여러가지 속성들에 의해 서명의 복잡성을 산출할 수 있으며, 복잡한 서명은 일반적으로 상대방이 모조하기 어려운 정도를 나타낸다고 가정할 수 있다. 즉 모조가 어려운 서명의 경우 모조서명과의 차이값의 분포는 모조가 쉬운 서명에 비해 상대적으로 큰 차이값을 나타내게 된다. 서명에 대해 사람의 모조 능력의 수학적인 모델링은 필기 모델의 가설을 바탕으로 하여 Braut와 Plamodon에 의해 연구된 바 있다[22]. 이 논문에서는 이러한 관점에서 임계치의 결정에서 변화도 뿐만 아니라 서명의 복잡도와와의 상관관계를 구하여 활용하였다.

이와 같은 특성을 지닌 서명 검증 시스템의 구성을 그림 13에 보이고 있다. 서명 검증 시스템은 등록 모듈과 검증 모듈로 구성된다. 서명 등록 모듈은 몇개의 진서명 샘플을 입력받아서 참조 모델 형성, 국부 가중치 산출, 그리고 판단 임계치의 과정을 거쳐 참조 서명에 대한 정보를 생성하고 이를 데이터베이스에 저장한다. 서명 검증 모듈은 검증해야 될 서명을 입력받아 데이터베이스에 저장된 참조 모델과 비교하는 서브패



(그림 13) 서명검증시스템의 구성도
(Fig. 13) Signature Verification System Architecture

턴 동일 모양 매칭, 가중치 차이 비교과정, 그리고 판단 과정을 거쳐서 입력 서명의 진위를 판단한다.

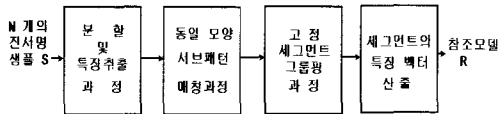
3.2 서명 등록 모델

서명을 등록하는 과정은 서명자의 식별 번호와 M개의 진서명 샘플(대개, M은 20개 내외)을 입력받아 진서명에 대한 참조 데이터를 만드는 과정이다.

3.2.1 참조 모델 형성

이 논문에서는 서명을 서브패턴 단위의 세그먼트로 구성하므로 서명에 대한 특징은 각 세그먼트에 대한 특징 벡터들로 구성된다. 샘플들로 부터 추출된 특징 벡터들로 표현된 세그먼트들의 나열(sequence)을 참조 모델이라 부른다. 참조 모델에 포함되는 각 세그먼트들은 샘플들로부터 모양이 가장 안정되게 나타난 부분들만을 추출하여 이들로부터 특징 벡터를 얻도록 한다. 각 세그먼트들에 대한 중요도를 반영하기 위해 국부적 가중치를 산출한다. 이 과정에서 국부적인 변화도와 복잡도를 사용한다. 그러므로 서명에 대한 참조 모델은 각 세그먼트의 특징 벡터와 국부적인 가중치, 그리고 판단임계치가 된다.

M개의 진서명 샘플들을 입력받아 참조 모델을 형성하는 과정은 그림 14과 같이 4단계의 과정을 거쳐서, 서명 샘플들에 대해 가장 안정된 세그먼트들의 특징 벡터를 구한다.



(그림 14) 참조모델 형성과정 (Fig. 14) Generation process of reference model

3.2.1.1 분할 및 특징 추출 과정

서명 샘플들의 집합을 S라 하자

$$S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_m, \dots, S_M\} \quad (10)$$

여기서, M은 샘플의 갯수이다.

서명 샘플 S_m 이 분할 과정을 거쳐 서브패턴 단위로 구성된 경우, 다음과 같이 표현한다.

$$S_m = [s_{1^m}, s_{2^m}, s_{3^m}, \dots, s_{n^m}, \dots, s_{N_m^m}] \quad (11)$$

여기서, N_m 은 서명 샘플 S_m 의 세그먼트의 갯수이다 s_n^m 은 m번째 샘플의 n번째 세그먼트를 나타내는 특징 벡터이다.

$$s_n^m = [\text{특징1}, \text{특징2}, \dots, \text{특징k}, \dots, \text{특징K}] \quad (12)$$

$$= [s_{n,1}^m, s_{n,2}^m, \dots, s_{n,k}^m, \dots, s_{n,K}^m]$$

여기서, K는 특징의 개수이다.

각각의 세그먼트를 묘사하는 특징들은 <표 1>과 같다.

<표 1> 세그먼트의 특징들 (Table 1) Feature set of a segment

특징들	설 명
특징 1	세그먼트의 폭
특징 2	길이
특징 3	첫번째 피크의 폭
특징 4	두번째 피크의 폭
특징 5	두 원시 패턴의 연결 각도
특징 6	세그먼트의 필기 시간
특징 7	최대 속력
특징 8	평균 속력
특징 9	최대속력 - 평균 속력
특징 10	최대 압력
특징 11	최소 압력
특징 12	평균 압력
특징 13	최대 압력 - 최소 압력
특징 14	최대 압력 - 평균 압력

3.2.1.2 동일 모양의 서브패턴 매칭 과정

M개의 서명 샘플들에 대해 임의의 기준 샘플을 지정하여 다른 샘플들과 서브 패턴 단위의 DP 매칭을 행하고, 이 과정을 기준 샘플을 다른 샘플로 바꾸어 반복 수행하여, DP 매칭의 차이값의 평균이 최소가 되는 기준 샘플을 찾는다. 즉, 기준 샘플은 식 13를 만족 하는 S_i 로 지정한다.

$$\min_{S_i \in S} \left[\sum_{S_j \in S} DX(S_i, S_j) \right] \quad (13)$$

여기서, $DX(S_i, S_j)$ 는 서브패턴 단위의 DP 정합의 차이 계산값이다.

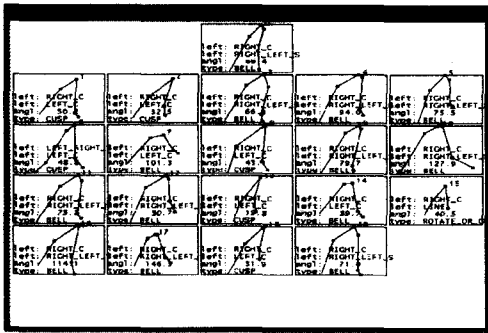
3.2.1.3 고정 세그먼트 그룹핑 과정

이 과정은 선택된 기준 샘플의 각 세그먼트들에 대해, 매칭 과정의 결과로 얻어진 워핑 함수로부터 매핑이 이루어진 다른 샘플들에서의 세그먼트를 그룹핑하는 과정이다. 이때, 그룹핑되는 세그먼트는 워핑함수가 proper matching이 이루어진 경우의 세그먼트만을 선택한다. 즉, 기준 서명의 세그먼트에 매핑된 다른 샘플의 세그먼트가 null point 이거나 병합된 세그먼트가 아닌 단일 세그먼트의 경우만을 선택한다.

$$G_n = \{g_1^n, g_2^n, g_3^n, \dots, g_{I_n}^n\}, \quad i \leq n \leq N, \quad (14)$$

여기서, I_n 은 n 번째 세그먼트와 proper matching된 샘플 세그먼트의 개수이다.

그림 15에서 동일 모양의 샘플 세그먼트를 그룹핑한 결과의 한 예를 보이고 있다.



(그림 15) 동일 모양의 서브패턴을 그룹핑한 결과 (Fig. 15) An example of grouping the same type of subpattern

3.2.1.4 세그먼트의 특징 벡터의 산출

참조 모델 R 의 각 세그먼트들의 특징 벡터는 그룹핑되는 고정 세그먼트들로부터 계산된다. 즉, 동일한 모양을 가지는 샘플 세그먼트들의 특징 벡터들로부터 특징 공간상의 중심값과 표준편차를 계산하여 참조 모델 R 의 n 번째 세그먼트의 특징 벡터 r_n 을 할당한다.

$$r_n = \langle m_n, \sigma_n \rangle, \quad 1 \leq n \leq N,$$

$$m_n = [m_1^n, m_2^n, \dots, m_k^n, \dots, m_K^n]$$

$$\sigma_n = [\sigma_1^n, \sigma_2^n, \dots, \sigma_k^n, \dots, \sigma_K^n] \quad (15)$$

여기서,

$$m_k^n = \frac{1}{I_n} \sum_{i=1}^{I_n} g_{i,k}^n \quad (16)$$

$$\sigma_k^n = \sqrt{\frac{1}{I_n} \sum_{i=1}^{I_n} (g_{i,k}^n - m_k^n)^2} \quad (17)$$

이며, $g_{i,k}^n$ 는 n 번째 세그먼트에 그룹핑된 고정 세그먼트 집합 G_n 에서의 i 번째 샘플 세그먼트 g_i^n 의 k 번째 특징값을 의미한다.

3.2.2 국부적 가중치 산출

세그먼트에 대한 가중치는 국부적인 변화도와 복잡도에 의해 산출된다. 국부적인 변화도는 다음과 같이 정의된다.

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_n, \dots, v_N]$$

$$v_n = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d(r_n, s_n^m) \quad (18)$$

$$\text{여기서, } d(r_n, s_n^m) = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left(\frac{s_{n,k}^m - m_k^n}{\sigma_k^n} \right)^2} \quad (19)$$

$d(r_n, s_n^m)$ 은 R 의 n 번째 세그먼트의 특징벡터와 m 번째 샘플의 n 번째 세그먼트의 특징벡터와의 가중치 거리(weighted Euclidean distance)이다. 그러므로, n 번째 세그먼트의 변화도 v_n 는 참조 모델의 세그먼트와 샘플들의 세그먼트간의 평균 차이값을 의미한다.

서명을 구성하는 세그먼트들에 대해 진서명내의 변화가 심한 부분에서는 비교 과정에서 덜 중요하게 참여시키고 변화가 거의 없는 안정된 부분은 강조하여 비교되도록 한다. 즉, 국부적인 가중치는 변화도에 대해서는 역(negative)의 관계이므로, 국부적 변화도에 의한 가중치의 효과는 다음과 같은 식에 의해 산출되며, 값의 범위는 0~1 사이의 값을 가지도록 변환한다.

$$W^v = [w_1^v, w_2^v, \dots, w_n^v, \dots, w_N^v]$$

$$w_n^v = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{m_v - v_n}{\sigma_v}\right)} \quad (20)$$

여기서 m_v 은 v_n 의 평균, σ_v 은 v_n 의 표준편차이다. 국부적인 복잡도는 Plamondon의 정의[22]에서 서브패턴유형의 반복에 의한 삼쇄효과를 추가하여 다음과 같이 설정한다.

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_n, \dots, c_N]$$

$$c_n = \left(1 + 0.9 \frac{\sum_{j=1}^{r(n)} \theta(n, j)}{L_{\min(n)} \frac{\pi}{2}} \right) \frac{|L(n+1) - L(n)|}{L(n+1) + L(n)} \frac{L(n)}{T(n)} * K^{r(n)} \quad (21)$$

단, $r(n)$: 세그먼트 n 의 같은 모양 반복횟수
 K : 반복시의 difficulty의 감쇄효과 상수(0.89).

서명을 구성하는 세그먼트가 단순하여 다른 사람이 모조하기 쉬운 부분에서는 중요도를 약화시키고, 반대로 서명이 복잡하여 상대방이 모조하기 어려운 부분에서는 강조하여 비교될 수 있도록 한다. 즉, 국부적인 가중치는 복잡도에 대해서는 순(positive) 관계이므로, 국부적 복잡도에 의한 가중치의 효과는 다음 식에 의해 산출되며, 값의 범위는 0~1 사이의 값을 가지도록 변환한다.

$$W = [w_1^c, w_2^c, \dots, w_n^c, \dots, w_N^c]$$

$$w_n^c = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{c_n - m_c}{\sigma_c}\right)} \quad (22)$$

여기서 m_c 은 c_n 의 평균, σ_c 은 c_n 의 표준편차이다.

변화도와 복잡도를 동시에 고려한 국부적 가중치는 다음과 같이 두 요소에 의해 결정되는 국부적 가중치의 기하 평균으로 설정한다.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n, \dots, w_N]$$

$$w_n = \sqrt{w_n^v \cdot w_n^c} \quad (23)$$

3.2.3. 판단 임계치의 설정

검증 문제에서 서명의 진·위 판정을 위해서는 적합한 참조 모델의 설정은 물론 이에 적절한 판단 임계치를 설정해야 한다. 서명 상호간의 상이도는 서명별로 상이도의 축에서 나타나는 위치와 이 값의 출현 범위가 달라진다.

진서명이 비교적 안정적일 때, 서명간의 상이도는 대체적으로 상당히 작고 이 값들의 범위도 좁다. 하지만, 불안정한 서명인 경우는 서명간의 상이도는 대체적으로 상당히 크고 이 값들이 나타나는 범위도 크다. 이 때, 샘플들 간의 상이도는 대체적으로 크거나 작다는 것은 상이도의 평균이 크거나 작다는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 상이도의 범위는 편차로 표현될 수 있다. 일반적으로 서명의 판단임계치는 이러한 변화를 수용할 수 있을 만큼 크게 설정하여야 함과 동시에 모조 서명이 진 패턴으로 오인되지 않도록 너무 크지 않게 설정하여야 한다. 이러한 두가지 조건이 모두 만족되려면, 진 서명간의 차이와 진 서명과 모조 서명들간의 차이에 대한 사전 지식이 있어야 한다. 그러나, 실제적으로 모든 진 서명의 샘플을 충분히 많이 얻을 수 없고, 더욱이 모조 서명이 어떠한 형태로 어느 정

도의 정교함으로 발생할 지 모조 서명의 샘플을 통하여 알 수가 없다.

그러므로, 판단 임계치를 얻는 과정은 진 서명의 일부 즉, 주어진 학습 샘플으로부터 서명의 변화정도를 나타내는 요소를 이용하여 판단 임계치를 설정하는 방법이 지금까지 사용되어 왔다[20, 21]. 변화도만에 의한 임계치 설정은 다음과 같다.

$$\theta = c \cdot \mu \quad (\text{여기서 } c \text{는 상수}) \quad (24)$$

위 식에서 c 값은 모든 서명들에 고정된 상수로 사용한다. 샘플 집합으로부터 진 서명의 변화도는 상이도의 평균으로 정의된다.

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \text{Diss}(R, S_m) \quad (25)$$

이때, $\text{Diss}(R, S_m)$ 는 참조 모델 R 과 서명 샘플 S_m 과의 전체 상이도로서 다음식에 의해 결정된다.

$$\text{Diss}(R, S_m) = \frac{\sum_{n=1}^N d(r_n, s_n^m) \cdot w_n}{\sum_{n=1}^N w_n} \quad (26)$$

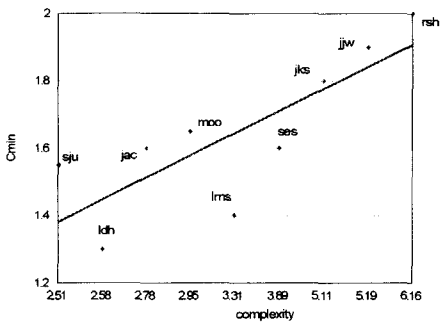
이 방법에 의해 판단 임계치를 설정하는 경우, 모든 사람에게 동일한 임계치를 사용하는 경우보다는 검증 오류율을 상당히 줄일 수 있다. 하지만, 이 방법은 유형-I 오류의 측면에서 검증 오류율을 낮춘 것이지, 모조 서명을 진 서명으로 오인하는 유형-II 오류는 고려하지 않은 것이다.

유형-II 오류를 고려한 임계치의 설정이 되기 위해서는 진 서명의 자체의 변화도뿐만 아니라 진 서명에 대한 모조 서명의 상이도의 분포가 어떻게 나타날지를 예측해야 한다. 그러나 주어진 서명에 대한 가능한 모든 모조 서명의 샘플을 얻는 것은 실제 응용의 경우 어려운 일이다. 다만, 모조 서명의 분포가 어떻게 나타날 지에 대한 예측으로 진서명의 복잡도를 예측하여 사용할 수 있다. 즉, 서명이 복잡하여 모조하기 어려운 경우에는 모조 서명의 분포가 진 서명의 분포에서 보다 큰 값의 범위에서 나타날 것이며, 반대로 서명이 단순하여 모조가 쉬운 경우, 모조 서명의 분포가 진 서명의 분포에 가깝게 나타날 것이라고 예측하는 것이다.

서명의 복잡도는 앞서 정의된 국부적 변화도의 합으로 다음과 같이 계산된다.

$$C_{total} = \sum_{n=1}^N C_n \quad (27)$$

기존의 방법을 사용하여 모든 사람에게 고정된 상수값으로 사용하였던 상수 c 값을 변화시킴에 따라 최소 검증 오류율을 나타내는 c 의 크기와 복잡도 c_{total} 의 상관 관계를 실험을 통하여 얻어낸 결과 그림 16과 같은 그래프로 나타났다. 그림 16에서 다소의 차이는 있지만 전체적으로 보면, 서명이 복잡한 경우에는 최소 오류율을 나타내는 c 값이 상대적으로 커지며, 서명이 단순한 경우 c 값이 작아지는 사실이 관찰된다.



(그림 16) 최소오류에서의 c 와 c_{total} 의 관계
(Fig. 16) Relation between minimum error constant c and complexity c_{total}

이를 서명의 복잡도에 대한 선형적인 관계로 모델링하면 다음과 같은 식으로 표현되며, 상수 p 와 q 는 9개 서명샘플에 대해 c 와 c_{total} 의 분포를 이용하여 최소자승법으로 계산된다.

$$c = p \cdot c_{total} + q \quad (28)$$

이때, c 와 c_{total} 의 관계를 이용하여 판단 임계치를 설정하는 산출식은 다음과 같다.

$$\theta = c' \cdot (p \cdot c_{total} + q) \cdot \mu \quad (\text{여기서, } c' \text{은 상수}) \quad (29)$$

3.3 서명 검증 모듈

입력된 서명 T 는 먼저 분할 과정을 거쳐 서브패턴 단위의 세그먼트로 표시된다.

$$T = [t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \dots, t_{N_t}] \quad (30)$$

여기서, N_t 는 입력 서명 샘플 T 의 세그먼트의 개수, t_n 은 n 번째 세그먼트를 나타내는 특징 벡터이다.

$$t_n = [t_{n,1}, t_{n,2}, t_{n,3}, \dots, t_{n,k}, \dots, t_{n,K}] \quad (31)$$

여기서, K 는 특징의 갯수이다.

입력된 서명 T 와 참조 모델 R 과의 동일한 형태를 갖는 세그먼트들끼리의 매핑관계를 얻기 위해 세그먼트 단위의 DP 정합을 행한다. 즉, 모양의 특징에 근거하여 동일 모양의 세그먼트들끼리의 대응관계를 얻어낸다.

비교과정에서는 다음 식에 의해 동일한 모양을 갖는 세그먼트들끼리 국부적 가중치를 적용하여 참조 모델과 입력 서명간의 가중치 거리를 구한다.

$$Diss(R, T) = \frac{\sum_{n=1}^{N_t} d(r_n, t_n) \cdot w_n}{\sum_{n=1}^{N_t} w_n} \quad (32)$$

판단 과정에서는 비교 차이값이 저장된 임계치보다 작으면 진서명으로, 그렇지 않으면 모조서명으로 판정한다.

$$\text{if } Diss(R, T) \leq \theta \text{ then } T \text{ is True} \\ \text{else } T \text{ is Forgery} \quad (33)$$

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 데이터

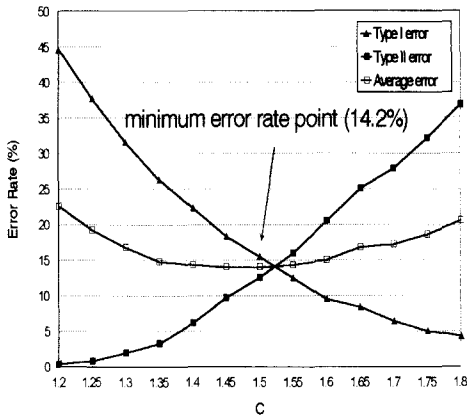
실험을 위한 샘플 서명은 그림 17과 같이 9사람의 서명을 대상으로 하였다. 이 때, 한사람당 120개의 진서명과 다른 사람들이 이를 위조한 100개의 모조서명으로 검증률 실험을 행하였다. 실험 방법은 한사람의 서명 내에서 진서명 집합으로부터 20개의 샘플을 추출하여 참조 모델을 구하는데 사용하였고, 이를 제외한 나머지 중에서 진서명 오인율을 구하기 위하여 100개의 진서명을 사용하였다. 또한, 그 사람의 모조서명 집합에서 모조서명 오인율을 구하기 위하여 100개의 모조서명을 한다.

4.2 국부가중치를 적용하지 않은 경우

제한된 구조적인 방법에서 국부적인 가중치를 주지 않고(모든 세그먼트에 대해, $w_n=1$), 판단 임계치는 기존의 방법인 변화도만에 의해 설정한 경우를 기본적인 방법이라 하고, 이에 대해 검증률을 구한다. 이 때, 그림 18과 같이 허용한계치를 계산하는데 사용되는 상수 c 값이 1.5일 때, 최소의 오류를 14.2%를 나타내었다.



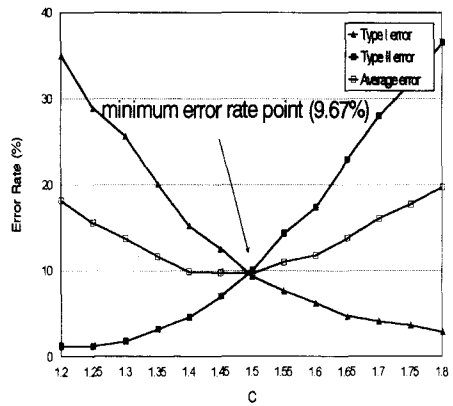
(그림 17) 실험에 사용된 진서명 샘플들
(Fig. 17) Signature samples used in experiments



(그림 18) 적용하지 않은 경우의 검증 오류율
(Fig. 18) Error rates without applying local weight

4.3 국부적인 가중치를 적용한 결과

국부적 변화도와 복잡도를 반영하는 국부적인 가중치를 적용하여 실험을 행한다. 임계치 설정은 $\theta = c \cdot \mu$ 의 방법을 사용한다. 이때, 그림 19과 같이 상수 c 값이 1.5일 때 최소오류율 9.67%를 나타내어 국부적인 가중치를 적용하지 않은 경우보다 검증률의 향상을 보였다.



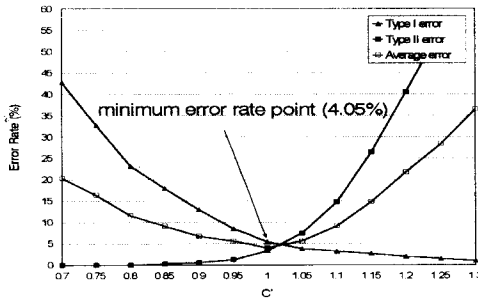
(그림 19) 국부가중치를 적용한 경우의 검증 오류율
(Fig. 9) Error rates with applying local weights

4.4 복잡도에 의한 임계치 설정공식을 사용한 실험 결과

국부가중치를 적용하는 동시에, 허용 임계치의 설정에서 전체복잡도의 산출값을 포함하는 다음과 같은 식에 의해 계산하는 경우의 실험을 행한다.

$$\text{임계치 설정공식: } (\theta = c' \cdot (0.15 \cdot c_{total} + 1.07) \cdot \mu) \quad (34)$$

이때, 그림 20과 같이 상수 c' 값이 1.0일 때 최소 오류를 4.05%를 나타내었다.



(그림 20) 복잡도에 의한 임계치 설정의 검증오류율 (Fig. 20) Error rates with applying total complexity in calculation of decision boundary

5. 결 론

이 논문에서는 서명을 서브패턴 단위의 기본적인 구성요소들로 표현하고, 이를 이용한 서명 검증에서 국부적으로 중요한 부분을 선택적으로 사용하는 구조적인 접근방법을 제시하였다.

서명의 구조적 표현을 위해서 최소속력점을 분할점으로 하여 얻어지는 부분을 원시 패턴으로 정의하였으며, 서브패턴으로써 방향변화에 의해 얻어지는 단순 회전형 성분, 침형 성분, 종형 성분의 세가지 종류를 정의하여 서명을 구조적으로 표현하였다. 그리고 구조적인 표현에 의한 동일부분 정합 방법으로 서브패턴을 기본단위로 한 동적 프로그래밍 정합 방법에 병합 연산을 추가하여 서브패턴의 변형을 흡수할 수 있도록 하였다. 이를 바탕으로 서명검증시스템의 구성에서, 국부적인 부분에서의 변화도와 복잡도를 추출하여 참조 패턴의 학습과정과 진위 판단 임계치의 설정과정에 사용되도록 하였다. 변화도의 추출은 학습샘플들간의 거리의 평균을 각 서브패턴별로 계산되며, 복잡도의 추출은 필기 생성모델에 의해 정의된 Plamondon의 복잡도 공식에 동일 패턴의 반복을 추가적으로 고려하여 계산되도록 하였다.

실험 결과, 제안된 국부적 가중치 적용방법에 의해 검증률의 향상을 얻을 수 있었으며, 또한 변화도와 복잡도를 동시에 사용한 임계치 설정 방법을 이용하여 검증률이 더욱 향상됨을 확인하였다.

앞으로의 연구과제로, 세그먼트 단위의 특징 추출 및 선택에 대한 보완을 통하여 서명검증의 오류률을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Plamondon and G. Lorette, "Designing an Automatic Signature Verifier: Problem Definition and System Description," in R. Plamondon and C. G. Leedham(eds.), Computer Processing of Handwriting, World Scientific Pub., pp.3-20, 1990.
- [2] R. Plamondon and G. Lorette, "Automatic signature verification and writer authentication - The state of art," Pattern Recognition, Vol.22, No.2, pp.107-131, 1989.
- [3] M. S. Revillet, "Signature Verification on Postal Cheques," Proc. of International Conference on Document Analysis and Recognition, pp.767-773, 1991.
- [4] Sukhan Lee and Jack C. Pan, "Offline Tracing and Representation of Signatures," IEEE Trans. on S.M.C., Vol.22, No.4, pp.755-771, July/Aug. 1992.
- [5] B. Boccignone, A. Chianese, L. P. Cordella and A. Marcelli, "Recovering Dynamic Information from Static Handwriting," Pattern Recognition, Vol.26, No.3, pp.409-418, 1993.
- [6] H. D. Crane and J. S. Ostrem, "Automatic Signature Verification using a three-axis-force-sensitive Pen," IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, SMC-13, No.3, pp.329-337, 1993.
- [7] M. Yasuhara and M. Oka, "Signature Verification Experiment Based on Nonlinear Time Alignment: A Feasibility Study," IEEE Trans. on SMC, Vol. 17, pp.212-216, Mar. 1977.
- [8] C. N. Liu, N. M. Herbst and N. J. Anthony, "Automatic Signature Verification: System Description and Field Test Results," IEEE Trans. on SMC, Vol.9, No.1, pp.35-38, Jan. 1979.
- [9] J. S. Lew, "An Improved Regional Correlation Algorithm for Signature Verification Which Permits Small Speed Changes Between Handwriting

Segments," IBM J. Res. Develop., Vol.27, No.2, pp.181-185, Mar. 1983.

[10] 김성훈, 장경식, 유재룡, 김재희, "On-line Signature Verification을 위한 특징선택에 관한 연구", 제 2 회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회 논문집, pp.200-209, 1992년 10월.

[11] Réjean Plamondon and Frans J. Maarse, "An Evaluation of Motor Models of Handwriting," IEEE Trans. on S.M.C., Vol.19, No.5, pp.1060-1072, Sep./Oct. 1989.

[12] Réjean Plamondon, Li-de Yu, George E. Stelmach and Bernard Clement, "On the Automatic Extraction of Biomechanical Information from Handwriting Signals," IEEE Trans. on S.M.C., Vol.21, No.1, pp.90-101, Jan./Feb. 1991

[13] 유재룡, 박명수, 김성훈, 김재희, "온라인 서명검증을 위한 전처리 및 Dynamic Programming 알고리즘의 결정요소들의 최적화", 제3회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회/전시회 논문집, pp. 459-463, 1993년 10월 18일-20일.

[14] 전병환, 김성훈, 김재희, "퍼지 결정 트리를 이용한 온라인 필기 문자의 계층적 인식", 대한 전자공학회 논문지, 제31권 B편 제3호, pp.132-140, 1994년 3월.

[15] B. H. Jun, M. Y. Kim, C. S. Kim, W. S. Kim and Jaihie Kim, "On-line Cursive Korean Character Recognition by Using Curvature Models," Proc. of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, pp.1051-1054, Montreal Canada, Aug. 1995.

[16] King Sun Fu, Syntactic Pattern Recognition and Application, Prentice-Hall Inc., pp.1-5, 1982.

[17] C. A. Higgins and D. M. Ford, "A New Segmentation Method for Cursive Script Recognition," in S. Impedovo and J. C. Simon(eds.), From Pixels to Feature III, Elsevier Science Pub., pp.75-86, 1992.

[18] C. A. Higgins and P. E. Bramall, "Pen-based Computers and Cursive Script Recognition," Proc. of InfoScience '93, Korea Information Science Society, pp.113-120, 1993.

[19] S. Bercu and Guy Lorette, "On-line Handwritten Word Recognition: An Approach based on Hidden Markov Models," Proc. of IWFHR '93, pp.385-

390, 1993.

[20] Seong Hoon Kim, Myeong Soo Park, Jaihie Kim, "Applying Personalized Weights to a Feature Set for On-line Signature Verification," Proc. of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, pp.882-885, Montreal Canada, Aug. 1995.

[21] Jaihie Kim, Jae Ryong Yu and Seong Hoon Kim, "Learning of Prototypes and Decision Boundaries for a Verification Problem having only Positive Samples," Pattern Recognition Letters, Vol.17, pp. 691-697, 1996.

[22] Jean-Jules Brault and Réjean Plamondon, "A Complexity Measure of Handwritten Curves: Modeling of Dynamic Signature Forgery," IEEE Trans. on S.M.C., Vol.23, No.2, pp.400-413, Mar./Apr. 1993.



김 성 훈

shkim@poseidon.yit.ac.kr

1988년 2월 서강대학교 전자공학과(공학사)

1990년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1996년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1996년 3월~현재 영동대학교 컴퓨터공학과 조교수
관심분야: 패턴인식, 사용자인터페이스

장 문 익

1971년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업

1976년 3월 미국 GEORGIA 주립대학원 공과대학 전기공학 졸업(MA)

현재 연세대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

관심분야: 패턴인식, 영상처리

김 재 희

1979년 연세대학교 전자공학과(학사)

1982년 미국 Case Western Reserve University 전기공학과(석사)

1984년 미국 Case Western Reserve University 전기공학과(박사)

1984년~현재 연세대학교 기계전자공학부 교수
관심분야: 인공지능, 패턴인식