

결정값 발생기를 이용한 무제약 필기체 숫자 열의 인식

(Unconstrained Handwritten Numeral String Recognition by Using Decision Value Generator)

김 계경* 김 진호** 박 희주***
(Kye-Kyung Kim Jin-Ho Kim Hee-Joo Park)

요약 본 논문에서는 독립문자 식별기 및 인식기를 바탕으로 한 결정값 발생기를 도입하여 무제약 필기체 숫자 열을 효과적으로 인식하는 방안을 제안하였다. 필기체 숫자 열의 인식을 위해 사전 분할 모듈, 최종 분할 모듈 그리고 인식 모듈 등의 세 개의 모듈을 설계 구현하였다. 사전 분할 모듈에서는 결정값 발생기를 이용하여 독립 숫자, 접촉 숫자 그리고 끊어진 숫자 등을 구분하였다. 최종 분할 모듈에서도 결정값 발생기의 결과를 이용하여 접촉 숫자들을 분할하는 과정을 수행하고 인식 모듈에서 각각 분할된 숫자들을 인식하였다. 분할 기반 방식과 무 분할 방식을 혼용하여 필기체 숫자열을 인식 함으로서 기존의 오 인식을 최소화 시키도록 하였다. 제안된 방식을 이용하여 NIST SD19 필기체 숫자 열 데이터베이스의 인식을 한 결과 기존의 연구결과에 비해 높은 96.7%의 인식률을 얻을 수 있었다.

Abstract This paper presents recognition of unconstrained handwritten numeral strings using decision value generator, which is combined with both isolated digit identifier and recognizer designed with structural characteristic of digits. Numeral string recognition system is composed of three modules, which are pre-segmentation, segmentation and recognition. Pre-segmentation module classifies a numeral string into sub-images, which are isolated digit, touched digits or broken digit, using confidence value of decision value generator. Segmentation module segments touched digits using reliability value of decision value generator that will separate the leftmost digit from touched string of digits. Segmentation-based and segmentation-free methods have used for classification and segmentation, respectively. To evaluate proposed method, experiments have carried out with handwritten numeral strings of NIST SD19 and higher recognition performance than previous works has obtained with 96.7%.

1. 서론

필기체 숫자 열(handwritten numeral string)의 인식은 그 응용 분야가 다양함으로 인해 최근까지 활발히 연구되고 있다[1-13]. 숫자열의 인식은 독립된 개별 숫자(isolated individual digit)의 인식과는 달리 숫자 열안에 포함된 개별 숫자, 붙은

숫자들(touched digits) 및 끊어진 숫자(broken digits)들의 인식 과정을 모두 포함해야 한다. 숫자 열에 대한 인식 가운데 붙은 숫자 및 끊어진 숫자들의 인식은 여

전히 어려운 과제로 남아 있으며, 더구나 숫자 열 속에 포함된 숫자의 개수(string length)를 모르는 경우 그 인식은 더욱 어렵다.

필기체 숫자 열은 분할기반 인식(segmentation-based recognition) [1-8] 과 무 분할 기반 인식(segmentation-free recognition) 방법 [9,10]에 의해 인식되어 왔다. 분할 기반 인식 방법은 숫자 열을 구성하고 있는 개체를 각각 분할 한 다음 인식을 시도한다. 반면, 무 분할 기반 인식 방법은 숫자 열을 각 개체로 분할하지 않고 숫자 열 자체를 인식하는 것이다.

분할 기반 인식 방법에서는 사전 분할(pre-segmentation) 단계를 도입하여 숫자 열에 포함된 각 개체를 개별 숫자들로 미리 분할하거나 또는 개별 숫자 및 붙은 숫자 그룹으로 분류하여 인식하는 방법이 채택되어 왔다. 붙은 숫자들은 분할 기반 및 무 분할 기반 방법

* 한국전자통신연구원 영상처리연구부신인원연구원
** 경일대학교 전자정보공학과 부교수
*** 경일대학교 컴퓨터공학과 교수

에 의해 인식되어 왔다. 붙은 숫자들은 이진, 윤곽 및 세선화된 영상들로부터 검은 화소의 수직투영, 굴곡점, 끝점, 교차점, T-연결점 등의 특징들에 의해 분할되어져 왔다. 분할 기반 방법에서는 인식결과를 반영하지 않고 최고의 가능성을 가진 분할 특징 점을 찾아 개별 숫자로의 분할을 시도해 왔으나 흔히 숫자의 일부분을 잘라 버리는 문제점이 발생하였다. 이 방법의 문제점을 개선하기 위해 무분할 기반 방법이 제안되었으며 이는 인식을 기반으로 하여 여러 후보 분할 점들을 평가한 후 최종 분할 점을 선택하도록 하는 것이다. 그러나 붙은 숫자의 개수가 증가할수록 계산 과정의 복잡성 및 분할 오류가 커지는 단점을 가지고 있다. 이상의 두 가지 분할 방법은 오 분할을 통한 오 인식의 문제점을 발생시켰다. 특히 겹치거나 여러 점에서 접촉(multi-touching)되어 있는 숫자나 해상도가 낮은 숫자의 경우는 더욱 분할하기가 어렵다.

분할 기반 인식 방법을 이용하여 숫자 열을 분할 및 인식하기 위해 이상의 두 가지 분할 방법의 단점을 서로 보완할 수 있도록 하는 결합 분할(combined segmentation) 방법 [12]이 제시되었다. 이 방법에서는 분할 기반 방법을 이용하여 숫자 열 안에 있는 각각의 개체를 분류하였으며, 붙은 숫자들로부터 개별 숫자를 얻기 위해서는 무분할 기반 방법의 신뢰성 있는 후보 분할 점 선택 광범을 채택하도록 하였다. 그러나 분할 기반 방법의 휴리스틱 분할 기술 및 무분할 기반 방법의 복잡한 계산 과정과 숫자열의 길이에 따른 분할 오류에 대한 문제점은 여전히 남아 있다.

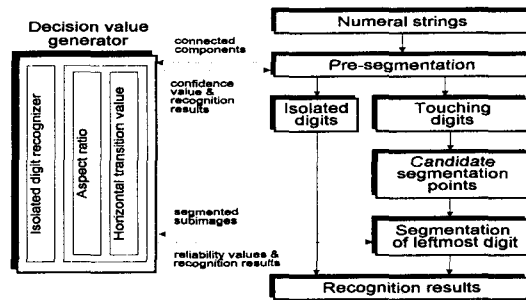
한편, 무 분할 기반 인식 방법은 분할 없이 숫자 열을 인식하는 방법으로 끊어진 숫자나 여러 점에서 접촉된 숫자에 대해 효과적인 인식 방법으로 알려져 있으며 전역적(holistic) 방법 [9] 이라고도 한다. 오 분할에 따른 오 인식을 줄이고자 제안된 이 방법은 숫자 열 전체를 인식하기 위한 피쳐 추출 및 인식이 요구되므로 숫자 열의 길이가 증가함에 따라 피쳐나 인식기의 복잡성(complexity)은 더욱 증가되어진다.

본 논문에서는 분할 기반 인식을 이용한 보다 효율적인 필기체 숫자 열 인식 방법을 제안하였다. 숫자 열 안의 개체 분류 및 붙은 숫자 분할을 위하여 결합 분할 방법이 이용되었다. 인식기의 결과 및 숫자의 구조적인 특성을 바탕으로 한 결정값 발생기를 이용하여 숫자열의 분류 및 분할을 시도하였다. 숫자 열 안의 개체 분류와 붙은 숫자의 분할은 결정값 발생기로부터 계산된 확신값 및 신뢰값에 의해 이루어졌다. 붙은 숫자들에 대해서는 최고 신뢰도를 가진 숫자 영역을 하나씩 분할해 가도록 하였다. 제안된 방법은 결정값 발생기를 이용함으로써 숫자열의 개체 분류뿐만 아니라 붙은 숫자들의 분할 과정에서 나타나는 기존 분할 방법의 문제점을 줄일 수 있도록 하였다. 또한 숫자

열의 길이를 알지 못하는 경우에 기존 방법이 가지는 분할 오류의 증가 및 계산 과정의 복잡성을 줄일 수 있도록 하였다. 제안된 방법의 타당성을 검토하기 위해 NIST SD19 숫자 열을 이용하여 시뮬레이션 해 보았다.

2. 숫자 열 인식 시스템

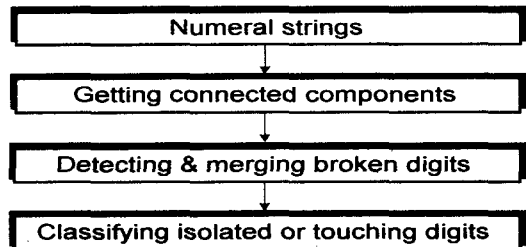
숫자 열 인식시스템은 그림 1에서 처럼 사전 분류, 분할 및 인식 단계들로 구분된다. 사전 분류 단계에서는 숫자 열 속에 포함되어 있는 개체 즉, 연결된 요소(connected component)들을 결정값 발생기의 확신 값을 이용하여 개별 숫자 및 붙은 숫자 그룹으로 분류한다. 또한 끊어진 숫자를 찾아서 합치는 과정도 포함되어 있다. 분할 단계에서는 붙은 숫자 그룹으로 분류된 연결 요소들에 대하여 후보 분할 점들을 찾아 해석한 다음 결정값 발생기의 신뢰 값을 이용하여 가능한 숫자 영역으로 하나씩 분할해 나간다.



<그림 1> 숫자 열 인식 시스템 구조

2.1 Pre-segmentation

사전 분할은 숫자 열을 개별 개체 즉 개별 숫자 및 붙은 숫자 그룹으로 분류하기 위한 것으로 그림 2에서와 같은 과정으로 진행된다.



<그림 2> 숫자열의 분류

숫자 열 내에 포함되어 있는 연결된 요소들을 찾기 위하여 입력 영상은 레이블링된다. 이는 숫자 열 내에 존재하는 끊어진 숫자, 개별 숫자 및 붙은 숫자들을 분류하기 위한 요소로 사용된다. 일반적으로 끊어진 숫자는 두 획으로 구성된 숫자 4와 5 또는 저해상도 영상 내에서 볼 수 있다. 끊어진 숫자 4와 5는 각각 수직 및 수평 방향으로 분리되어 있으며 저해상도 영상의 경우 그 규칙은 일정하지 않다. 본 논문에서는 숫자 4와 5 및 저해상도 영상에서 볼 수 있는 broken 획들을 다음의 과정을 통해서 찾아내고 수선(mending) 알고리즘[14]을 이용하여 결합(merging) 하도록 하였다.

(a) The CC does not intersect image median line.

$$y_{cc} \neq y_{I_{median}}$$

(b) The vertical height of the CC is less than half of image height.

$$H_{cc} < H_I / 2$$

여기서 y_{cc} 와 $y_{I_{median}}$ 는 연결된 요소와 I_{median} 의 y 위치를 나타내며, H_{cc} 와 H_I 는 연결된 요소와 숫자 열의 높이를 나타낸다. 첫번째 조건으로부터 끊어진 숫자 5의 조각난 수평 획을 찾을 수 있고, 두 번째 조건은 첫번째 조건을 만족하지 않는 끊어진 숫자 5 및 숫자 4 그리고 저해상도 영상에서 조각난 획을 찾기 위한 것이다. 이상의 두 조건 가운데 하나라도 만족되면 연결된 요소는 끊어진 숫자로 판명된다. 본 논문에서는 끊어진 숫자의 결합 방법으로 인식에 영향을 주지 않으면서도 쉽게 결합할 수 있는 방법으로 수선 알고리즘을[14] 사용하였다. 비록 연결된 요소가 끊어진 숫자로 오 분류 되어도 수선 알고리즘에 의한 결합 방법은 인식에 영향을 주지는 않는다. 끊어진 숫자를 가진 숫자 열의 예들과 이들이 결합된 후의 결과 영상들을 그림 3에 나타내었다. 개별 숫자나 붙은 숫자들은 결정값 발생기에서 구한 세 가지 값들에 의해 분류되어진다. 이는 개별 숫자의 구조적인 특성과 인식 결과값

을 이용하여 분할 기반 방법으로 분류한 것이다. 필기체 숫자 인식에서 사전 분할 과정을 도입하여 세분화된 클래스 내에서의 분할 및 인식을 시도할 수 있도록 하므로 전체 클래스에서 숫자를 분할하고 인식하는 것 보다 훨씬 효과적인 방법이라 볼 수 있다. 또한 이는 인식을 증가 및 속도면에서도 효과적이다.

결정값 발생기는 연결된 요소 k 의 평균 수평 전이 값(average horizontal transition)과 넓이와 높이에 대한 비(aspect ratio) 및 인식 결과로부터 다음과 같이 신뢰값 $C(k)$ 를 구하게 된다.

$$C(k) = P_r(k)(P_a(k) + P_t(k)) + P_a(k)P_t(k) \quad (1)$$

$$P_r(k) = \Gamma(r_k, T_r)$$

$$P_t(k) = \Gamma(t_k, T_t)$$

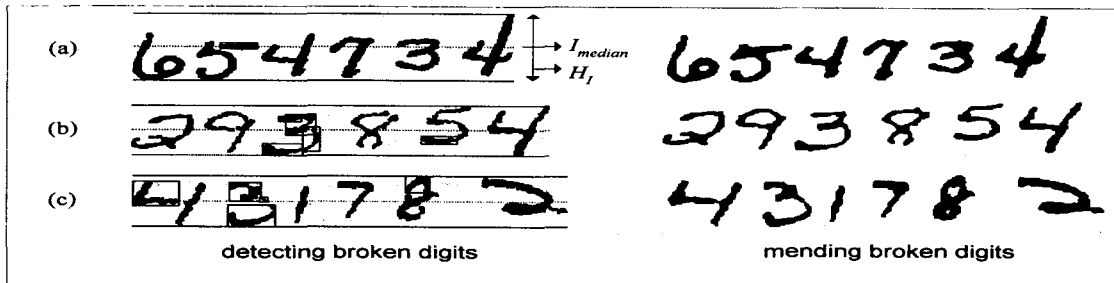
$$P_a(k) = \Gamma(a_k, T_a(i))$$

$$\text{where } \Gamma(a, b) = \begin{cases} \text{if } a \geq b & 1 \\ \text{o.w.} & 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$T_r = \frac{1}{N_s} \sum_{j=0}^{N_s} r_{ij}, \quad T_t = \frac{1}{N_s} \sum_{j=0}^{N_s} t_{ij}$$

$$T_a(i) = \frac{1}{N_d} \sum_{j=0}^{N_d} a_{ij} \quad (3)$$

식(2)에서 $P(\cdot)$ 는 신뢰값 $C(k)$ 의 구성 요소이며, 이는 연결된 요소 k 의 인식 결과값과 넓이와 높이에 대한 비 및 평균 수평 전이 값과 훈련 샘플들을 이용하여 계산된 각각의 기준치 T_r 와 T_a 및 T_t 를 이용하여 계산된다. 식(3)에서 N_s 와 N_d 는 10개의 숫자 클래스 및 각 숫자 클래스에 속해 있는 샘플의 개수를 나타낸다. r_{ij} 와 t_{ij} 및 a_{ij} 는 숫자 클래스 i 에 속해 있는 샘플 j 에 대해 각각 계산되어진 값이다. 식(1)에 의해 계산된 결과값에 따른 분류는 다음과 같다.



<그림 3> Broken 숫자들의 분류 및 결합된 영상

if $C(k)=1$, then the connected component k is an isolated digit else if $C(k)=0$, then the connected component k is a touching digits

(4) - (6)을 이용하여 분할을 시도하게 된다.

$$E(i) = \Gamma(err_r(i), err_a(i), err_t(i))$$

$$\text{where } \Gamma(a, b, c) = (a^2 + b^2 + c^2)$$

(4)

$$err_r(i) = r_i - T_r$$

(5)

numeral string	0123456789						
three factors of $C(k)$	$P_r(0)=1$ $P_a(0)=1$ $P_t(0)=1$	$P_r(1)=1$ $P_a(1)=1$ $P_t(1)=1$	$P_r(2)=1$ $P_a(2)=1$ $P_t(2)=0$	$P_r(3)=1$ $P_a(3)=1$ $P_t(3)=0$	$P_r(4)=1$ $P_a(4)=0$ $P_t(4)=0$	$P_r(5)=1$ $P_a(5)=1$ $P_t(5)=1$	$P_r(6)=0$ $P_a(6)=0$ $P_t(6)=0$
confidence value	$C(k)=1$	$C(k)=1$	$C(k)=1$	$C(k)=1$	$C(k)=0$	$C(k)=1$	$C(k)=0$

<그림 4> 연결된 요소들의 분류

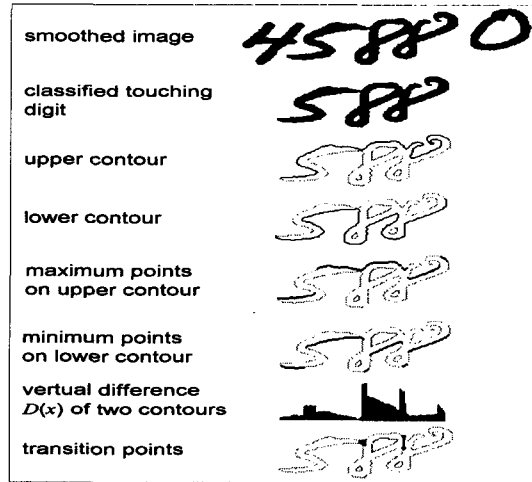
<그림 4>는 각 숫자 열 내에 존재하는 연결된 요소들 식 (1) 및 (2)의 결과 값들을 이용하여 분류시킨 것을 나타낸 것이다. 개별 숫자로 분류된 요소 k 는 인식 결과값 r_k 를 바로 얻게 되고 붙은 숫자로 분류된 요소는 개별 숫자로 분할하기 위해 분할 단계로 보내진다.

2.2 Segmentation

붙은 숫자로 분류된 연결 요소는 결정값 발생기에서 계산된 구조적인 특성과 인식 결과를 기반으로 하여 무 분할 방법에 의해서 처리되어진다. 붙은 숫자로 오 분류된 개별 문자는 후보 분할 점의 선택과 해석 과정을 통해 붙은 숫자로 오 분류된 개별 숫자임이 판정 되어질 수 있도록 하였다.

네 종류의 후보 분할 점들을 찾아내고 분할 점 해석을 통해 불필요한 분할 점들은 모두 제거시키고 최소화된 후보 분할 점을 얻어낸다 [11]. 두 종류의 후보 분할 점은 전이점으로 정의되며 상하위 윤곽선의 수직 차로부터 large-to-small 또는 small-to-large로 변하는 점들로 구성되며, 숫자의 일부분이 아닌 삽입 획에 의해 이웃하는 숫자들을 서로 접촉시키는 연결선 (ligature) 해석에 이용되기도 한다. 나머지 두 종류의 분할 점은 굴곡점으로 정의되며 각 윤곽선 내에 존재하는 언더 및 계곡 영역내의 국소 최대 점 및 최소 점들이다. <그림 5> 및 <그림 6>은 후보 분할 점을 얻어내는 과정들을 나타낸 것이다.

최소 후보 분할 점을 찾아낸 연결 요소에 대해서는 각각의 후보 분할 점을 이용하여 개별 숫자로서의 분할을 시도하게 된다. 본 논문에서의 분할 방법은 숫자 열 내에 존재하는 숫자열의 길이를 모른다는 가정하에서 다음의 식

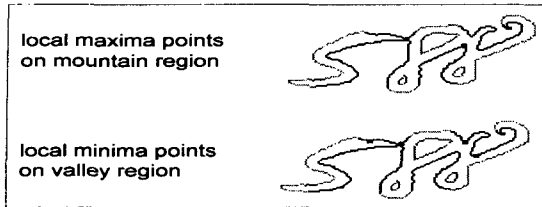


<그림 5> 전이점 추출을 위한 영상

$$err_a(i) = \frac{a_i - T_a(i)}{\max a_i}$$

$$err_t(i) = \frac{t_i - T_t(i)}{\max t_i} \quad i = 1, 2, \dots, s_n$$

식에서 $E(i)$ 와 $err(i)$ 는 각각 오차 함수 및 오차 값이고 $E(i)$ 는 세 종류의 오차 값 $err(i)$ 로 구성되어 있다.



<그림 6> 언덕과 계곡 영역에 존재하는 골꼭점

식 (4)에서 $err(i)$ 는 기준치와 후보 분할 점에 의해서 나뉘어진 부 영상 i 에 대해 각각 인식 결과와 가로 세로 비 및 평균 수평 전이 값을 구하여 얻어진 세 종류의 오차 값을 나타낸다. 식 (5)에서 T_r 은 전체 클래스에 대한 훈련 영상을 이용하여 구해진 인식 기준치이며 $T_a(i)$ 및 $T_r(i)$ 는 각각의 클래스에 대해서 얻어진 가로 세로 비 및 평균 수평 전이 기준치이다. 은 후보 분할 점에 의해서 분할된 부 영상의 수를 나타낸다. 각각의 분할된 부 영상이 가지는 분할 신뢰 값은 다음의 식 (6)과 같이 계산된다.

$$R(i) = 1 - E(i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, s_n \quad (6)$$

식 (4)의 오차 함수로부터 얻어진 오차를 가운데 최소 값을 가지는 부 영상이 가장 높은 신뢰

값을 가지고 개별 숫자로 분할되게 된다. 붙은 숫자 영상에서 개별 숫자 부 영상이 분리된 다음 나머지 부영상에 대해서도 후보 분할 점을 구해 보고 붙은 숫자로 판명 되면 이상의 과정을 반복하면서 개별 숫자를 분할하게 된다. <그림 7>은 위의 식들을 이용하여 분할한 영상의 예들을 나타낸 것이다.

3. 실험

제안된 방법의 타당성을 검토하기 위하여 NIST SD19 데이터 베이스 가운데 숫자열의 길이가 2-6까지의 표본 영상들을 가지고 실험하였다. 이는 특별히 f1800-1899 및 f2000-2099에서 추출된 표본들로서 이미 여러 연구자들에 의해 평가된 표본이다. 각 숫자열 길이별로 1,000개 (1,000/string length)의 표본들이 존재하므로 전체 6,000개의 표본들이 실험에 사용되었다. 본 연구에서는 표준 양식에서 잘못 분할되어진 숫자 열을 제외한 4,802 표본 영상에 대해 분할 및 인식을 시도하였다. 표 1은 실험 표본 영상의 인식 결과를 각 숫자 열에 따라 나타낸 것이다.

String length	Testing samples	Reject rate	Recognition rate(%)
2	957	0.0	96.9
3	956		97.0
4	969		96.4
5	959		96.7
6	961		96.7
2-6	4,802		96.7

<표 1> NIST SD19 실험영상의 인식 결과

무 분할 방법은 숫자 열의 길이에 따라 분할 오차율이 증가하여 인식율을 떨어뜨리는 문제점을 가진다. 표 1의 결과로 부터 제안된 방법은 숫자 열의 길이에 상관없이 인식률이 일정함을 알 수 있다. 그리고 숫자의 구조적인 특성 반영 및 신뢰값의 평가를 통해 기존의 무 분할 방법이 가지는 문제점들이 많이 개선 되었음을 알 수 있다. 따라서 제안된 방법은 숫자열의 길이가 제시되지 않는 무제약 필기체 숫자열 인식 분야에 매우 효과적으로 이용될 수 있음을 확인 할 수 있다.

<그림 8>과 <그림 9>는 붙은 숫자들의 분할 영상, 인식 결과, 오 분할 영상 및 인식 결과들을 나타낸 것이다. <그림 9>에 개별 숫자의 구조적인 특성 및 인식 결과가 비슷한 붙은 숫자들 사이에서 나타난 과 분할 및 저 분할 (over and under segmentation) 예를 도시하였다. 이러한 분할 오차 및 인식 오차는 세션화된 영상이나 이진 영상을 이용하여 개별 숫자가 존재할 수 있는 가상 숫자 영역을 구하여 그 영역 내에서 분할을 시도함으로써 줄일 수 있을 것이다. 또한 붙은 숫자들로부터 분할된 부 영상들을 훈련 샘플에 추가하여 훈련 가중치를 얻는 것도 다른 하나의 방법이 될 수 있다.

<표 2>는 같은 데이터 베이스에 대해 기존에 발표된 인식 결과들을 서로 비교한 것이다. <표 2>에서 모든 연구 결과들은 본 연구결과와는 달리 숫자열의 길이가 증가함에 따라 오 인식률도 같이 증가한다는 사실을 알 수 있다.

candidate segmentation points				
segmented subimages & error value of E(i)	5	$E(0)=\Gamma(0.000001, 0.249246, 0.137931)$	8	$E(0)=\Gamma(0.000000, 0.153173, 0.190000)$
	5	$E(1)=\Gamma(0.000000, 0.280196, 0.137931)$	8	$E(1)=\Gamma(0.000003, 0.195721, 0.190000)$
	58	$E(2)=\Gamma(0.521327, 0.420064, 0.344828)$	88	$E(2)=\Gamma(0.000276, 0.195721, 0.110000)$
	5	$E(3)=\Gamma(0.010742, 0.094499, 0.137931)$	8	$E(3)=\Gamma(0.000000, 0.138990, 0.190000)$
	5	$E(4)=\Gamma(0.000000, 0.269879, 0.137931)$	88	$E(4)=\Gamma(0.055426, 0.557500, 0.210000)$
	58	$E(5)=\Gamma(0.510843, 0.476709, 0.517241)$		
	58	$E(6)=\Gamma(0.429488, 0.411533, 0.344828)$		
	5	$E(7)=\Gamma(0.00001, 0.259563, 0.137931)$		
reliability of leftmost segmented digits	588	$E(8)=\Gamma(0.074064, 0.667293, 0.451724)$	8	$I-E(3)$
	5	$I-E(4)$		8

<그림 7> 분할과정의 예

touching digits	308	459	040	304	283		
segmented images							
recognition result	308	459	040	304	283		
touching digits	0835	036	456	653	959		
segmented images							
recognition result	0835	036	456	653	959		
touching digits	26	45	99	26	07	45	89
segmented images							
recognition result	26	45	99	26	07	45	89

<그림 8> 붙은 숫자 열에서 분할된 부 영상들 및 인식 결과

touching digits	000	54	209	530	328
segmented images					
recognition result	600	54	7551	920	325

<그림 9> 오 분할 및 오 인식 영상의 예

Authors	SL	Testing samples	Reject Rate	Error Rate	Recognition rate(%)
92 J. Keeler	2	1,000	-	0.9	87.1
	3	1,000	-	0.9	84.2
	4	1,000	-	0.8	76.2
	5	1,000	-	0.7	70.3
	6	1,000	-	0.6	62.4
95 S. W. Lee	2	1,000	-	1.0	95.2
	3	1,000	-	0.9	88.0
	4	1,000	-	0.8	80.7
	5	1,000	-	0.8	78.6
	6	1,000	-	0.7	70.5
95 A. Filatov	5	2,000	0.0	-	83.1
98 T. M. Ha	2	981	0.0	-	96.2
	3	986			92.7
	4	988			93.2
	5	988			91.1
	6	982			90.3
	2-6	4,925			92.7

<표 2> NIST 데이터 베이스에 대한 인식 결과 비교

4. 결 론

본 논문에서는 숫자 인식기와 숫자들의 구조적 특성을 반영하여 설계한 결정값 발생기를 이용한 무 제약 필기체 숫자 열 인식 방법을 제안하였다. 숫자 열 인식 시스템은 사전 분할, 최종 분할 및 인식 단계로 구성되었다. 사전 분할은 숫자 열의 구성 요소들에 대해 결정값 발생기의 확신 값을 구하여 독립된 개별 숫자나 붙은 숫자들 또는 끊어진 숫자들로 분류하였다. 분할 단계에서는 붙은 숫자들에 대해 후보 분할 점들을 찾고 결정값 발생기에서 계산된 신뢰도에 따라 가능 숫자 영역 분할을 시도하였다. 분할 기반과 무 분할 방법을 결합시킨 분할 방법이 숫자 열의 분류 및 붙은 숫자들 분할에 사용되었다. 제안된 방법을 이용하여 NIST SD19의 필기체 숫자 열의 인식에 적용한 결과 96.7%로 기존의 연구 결과들에 비해 높은 인식 성능을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] N. W. Strathy, C. Y. Suen, and A. Krzyzak, "Segmentation of handwritten digits using contour features," Proc. the 2nd ICDAR, pp. 577-580, 1993.
- [2] B. Zhao, H. Su, and S. Xia, "A new method for segmenting unconstrained handwritten numeral strings," ICDAR, vol. 2, pp. 524-527, 1997.
- [3] J. Hu, D. Yu, and H. Yan, "Algorithm for partitioning path construction of handwritten numeral strings," 14th ICPR, vol. 1, pp. 372-374, 1998.
- [4] Z. Lu, Z. Chi, W.-C. Siu, and P. Shi, "A background-thinning-based approach for separating and recognizing connected handwritten digit strings," Pattern Recognition 32, pp. 921-933, 1999.
- [5] H. Nishida and S. Mori, "A model-based split-and-merge method for character string recognition," International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, vol 8, pp. 1205-1222, 1994.
- [6] J. Zhou, A. Krzyzak, and C. Y. Suen, "Recognition and verification of touching handwritten numerals," Proc. of the 7th IWFHR, pp. 179-188, 2000.
- [7] S. W. Lee and S.Y. Kim, "Intergated

segmentation and recognition of handwritten numerals with cascade neural network, " IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, pp. 285-290, vol. 29, no. 2, Feb., 1999.

[8] D. Nishiwaki and K. Yamada, "A new numeral string recognition method using character touching type verification," Proc., of the sixth IWFHR, pp. 567-576, 1998.

[9] X. Wang, V. Govindarau, and S. Srihari, "Holistic recognition of handwritten character pairs," Pattern Recognition, 33, pp. 1967-1973, 2000.

[10] S. M. Choi and I. S. Oh, "A segmentation-free recognition of two touching numerals using neural network," ICDAR, pp. 253-256, 1999.

[11] K. K. Kim, J. H. Kim, and C. Y. Suen, "Recognition of unconstrained handwritten numeral strings by composite segmentation method," 15th ICPR, vol. 2, pp. 594-597, 2000.

[12] T. M. Ha, M. Zimmermann and H. Bunke, "Off-line handwritten numeral string recognition by combining segmentation-based and segmentation-free methods," Pattern Recognition, vol. 31, pp. 257-272, 1998.

[13] Z. Shi, A. N. Srihari, Y-C. Shin, and V. Ramanaprasad, "A system for segmentation and recognition of totally unconstrained handwritten numeral strings," 4th ICDAR, vol. II, pp. 455-458.

[14] D. Cheng and H. Yan, "Recognition of broken and noisy handwritten characters using statistical methods based on a broken-character-mending algorithm," Optical Engineering, vol. 36, no. 5, pp. 1465-1479, 1997.



김 계경 (Kye-Kyung Kim)

1989년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

현재 한국전자통신연구원 영상처리 연구부 컴퓨터비전팀 선임연구원

관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식



김 진호 (Jin-Ho Kim)

1986년 경북대학교 전자 공학과(공학사)
1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

현재 경일대학교 전자정보공학과 부교수

관심분야 : 패턴인식, 병렬처리



박 희주 (Hee-Joo Park)

1978년 영남대학교 전자 공학과 (공학사)
1981년 영남대학교 대학원 전자 공학과(공학석사)
1995년 대구가톨릭대학교 대학원 전산통계학과(이학박사)

현재 경일대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 신경회로망, 패턴인식