

<https://doi.org/10.7236/IIIBC.2018.18.6.151>

IIBC 2018-6-20

## 구조적 특징기반 자유필기체 숫자인식 알고리즘

### A Recognition Algorithm of Handwritten Numerals based on Structure Features

송정영\*

Jeong-Young Song\*

**요약** 필기체 숫자인식은 일반적으로 높은 인식률과 문맥 독립이 요구되고 있고, 쓰는 사람에 따라서 많은 차이점이 있어서 자유 필기체 숫자는 인식이나 알고리즘작성에 아직도 어려운 문제점이 있다. 본 연구에서는, 필기체 숫자의 특성을 분석하고, 구조적 특징기반 자유 필기체 숫자인식 알고리즘을 새롭게 제안한다. 주어진 필기 숫자에 대하여, 끝점과 분기점, 수평선과 함께 숫자의 구조적 특징을 연구한다. 이 방법은 확장된 구조적 특징 알고리즘으로 제안되어 강인하며, 그리고 본 연구에서 제안한 구조적 특징에 기반 한 결정 트리(decision tree)는 필기체 숫자 자동인식방법에 구조적으로 기여한다. 본 알고리즘이 다른 방법과 비교하여 인식률과 강인성이 우수함을 실험결과로 보여주었다.

**Abstract** Because of its large differences in writing style, context-independency and high recognition accuracy requirement, free handwritten digital identification is still a very difficult problem. Analyzing the characteristic of handwritten digits, this paper proposes a new handwritten digital identification method based on combining structural features. Given a handwritten digit, a variety of structural features of the digit including end points, bifurcation points, horizontal lines and so on are identified automatically and robustly by a proposed extended structural features identification algorithm and a decision tree based on those structural features are constructed to support automatic recognition of the handwritten digit. Experimental result demonstrates that the proposed method is superior to other general methods in recognition rate and robustness.

**Key Words** : handwritten digital identification; combining structural feature; decision trees; pattern recognition

#### 1. 서론

패턴인식의 한 분야인 숫자인식은, 그 응용분야가 다양하여 현재 활발하게 연구되고 있고, 인식방법도 여러 가지 방법론이 보고되고 있다<sup>[1,2,3]</sup>. 일반적으로 숫자인식 알고리즘을 작성하기 위하여 손으로 쓴 숫자에 대하여 포괄적인 분석을 한 결과, 손으로 쓴 숫자는 다음과 같은 특징이 있다. (1) 필체는 여러 가지로 써 내려가는데 있어

서 여러 가지 모양으로 자유롭게 써 내려 갈 수 있다. 쓰는 사람에 따라서 그 숫자의 스타일이 매우 다르며 모양이 다양하다. 따라서 손으로 쓴 숫자의 인식률이 매우 높게 요구 되고 있지만, 그 인식 방법이 단순하지 않고, 그 인식방법 또한 한가지 방법으로 체계적으로 보고 되어 있지 않은게 현 실정이다. (2) 사용면에 있어서, 필기 숫자는 매우 높은 정확도를 필요로 한다. 실제 사용면에서 필기 숫자는 일반적으로 회계, 자금 조달 및 기타 여러

\*정회원, 배재대학교 컴퓨터공학과  
접수일자: 2018년 10월 1일, 수정완료: 2018년 11월 1일  
게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 1 October, 2018 / Revised: 1 November, 2018 /  
Accepted: 7 December, 2018

\*Corresponding Author: jysong@pcu.ac.kr

Dept. of Computer Engineering, Pai Chai University ,Korea

분야와 관련되어 있으므로 인식 정확도가 매우 높아야 할 필요가 있다. (3) 필기 숫자 인식은 매우 어렵다. 문장이나 단어인식방법과는 달리 일반적으로 숫자 사이에 문맥이 없으므로 문맥에서 정보를 받아 손으로 쓴 숫자를 자동으로 인식하기가 어렵다. 따라서 각 숫자를 독립적으로 인식해야한다<sup>[4,5,6,7]</sup>.

본 논문에서는 필기 숫자인식을 위하여 숫자가 가지고 있는 특징과 그 필요한 요구에 따라 알고리즘의 기존 문제를 분석하여, 결합된 구조적 특징을 기반으로 하는 새로운 필기 숫자 인식 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 확장된 문자 구조 기능을 통해 숫자를 인식할 수 있으며 손으로 쓴 숫자임에도 불구하고, 구조적 특징을 적합하게 표현하고 종단점, 분기점, 수평선 및 기타 기능을 포괄적으로 사용하여 의사 결정 트리를 만들고 필기 숫자의 자동 인식을 실현하고자 한다. 인식 알고리즘을 작성한 후, 실험을 통하여, 이 실험 결과가 기존의 다른 방법보다 훨씬 우수함을 보여주고 있다.

## II. 기본개념과 전처리, 구조특징

결합된 구조적 특징에 기반한 필기 숫자 인식 알고리즘은 이미지 픽셀 간의 관계를 분석하여 종단점, 분기점 및 기타 구조적 특징을 자동으로 추출하여 필기 숫자의 자동 인식을 행한다. 전체 알고리즘을 설명하기 전에 우선 기본 개념을 정의하면 다음과 같다.

### 1. 기본개념

(1) 끝점 : 이진 이미지에서 끝점은 연결 지점이 단 한 개뿐인 지점이다. 즉, 9\*9 마스크의 중심점에서 나머지 8개 점에 대한 주변에서 연결 지점이 한 개만 연결되어 있는 경우이다. 그림 1에 표시된 8개의 그림에서 각 그림의 가운데에 위치한 점은 끝점으로 한다. 본 연구에서는 그림1에 보여주는 것과 같이 총 8종류의 끝점이 있다.

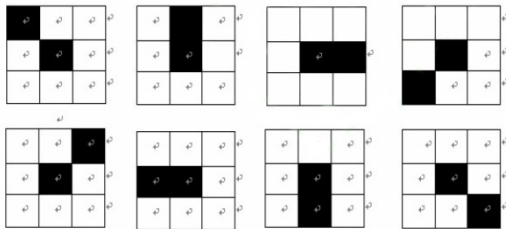


그림 1. 끝점  
Fig. 1. 9 Neighborhoods of endpoints

(2) 3 개 교차점 : 이진 이미지에서 3 개 교차점은 서로 다른 방향과 3 개의 연결선을 연결하는 역할을 한다. 3 개의 교차점이 있는 9 개의 이웃에서는 3 개의 픽셀이 특정 각도의 점에 연결된다. 그림 2에 표시된 16 개의 그림에서 각 이미지의 중앙에 위치한 점은 3 교차점이다. 본 연구에서의 3개 교차점의 종류는 16가지 이다.

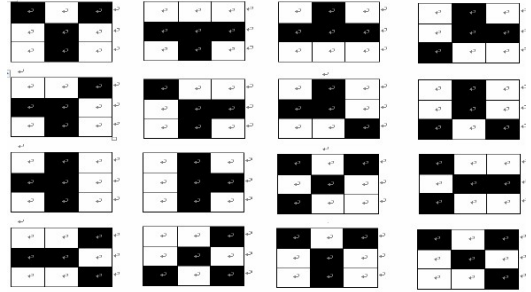


그림 2. 3개 교차점  
Fig. 2. 9 Neighborhoods of three-crossing point

(3) 4 개 교차점 : 이진 이미지에서 4 개 교차점은 서로 다른 방향의 선을 4 개의 연결로 연결하는 역할을 한다. 4 개의 교차점이 있는 9 개의 이웃에서는 4 개의 픽셀이 특정 각도의 점에 연결된다. 그림 3에 보여주는 바와 같이 2 개의 그림에서, 각 이미지의 중심에 위치한 포인트는 4 개의 교차점이다. 이 4개 교차점은 2가지 종류에 불과하다.

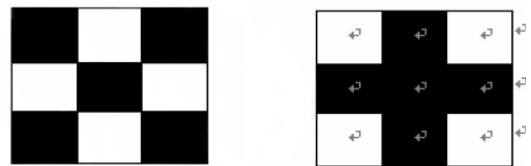


그림 3. 4개 교차점  
Fig. 3. 9 Neighborhoods of four-crossing point

### 2. 자동인식 흐름

- (1) 손으로 쓴 숫자 이미지의 전처리; 디지털데이터화 작업을 행한다.
- (2) 필기 숫자 이미지 구조 특징; 확장된 구조를 통해 필기 숫자 이미지에 포함된 구조적 특징을 결정해야 하고, 정확한 인식을 위하여는 이미지에 대하여 구조기반으로 얻어낸 특징이 무엇인지를 알아야 한다.

(3) 의사 결정 트리를 기반으로 하는 필기 숫자 자동 인식; 본 논문에서 얻어낸 구조적 특징들을 각각 결합하여, 이미 구축된 결정 트리를 통해 자유롭게 손으로 쓴 숫자 이미지를 자동으로 인식한다.

### 3. 전처리

전처리에서는, 랜덤 노이즈를 찾아내 다음 처리를 원만하게 할 수 있도록 필터를 사용한다. 그 구체적인 전처리는 그레이 처리, 이진화 및 다듬기, 수정 및 기타 단계를 수행한다.

#### (1) 그레이화

인식과정에 들어가기 전에 인식 정보와 무관 한 데이터를 희석하기 위해 이미지를 그레이화 한다.

#### (2) 이진화

데이터를 더 줄이고 이미지 인식을 용이하게하기 위해 전 과정에서 받은 그레이 이미지를 이진화한다.

#### (3) 스무딩

필기 이미지의 노이즈를 제거하기 위해 필기 이미지를 부드럽게 하고 노이즈를 줄이는 처리를 한다.

#### (4) 문자 분할

문자 인식의 기본 목표는 단일 문자이다. 문자 인식을 하기 전에 스무딩과 노이즈 감소로 처리 된 이미지를 분할하고, 멀티 라인 및 멀티 문자 이미지에서 단일 문자를 얻어 낸다. 본 논문에서는 투영과 분할을 통해 단일 문자를 얻어 낸다.

### 4. 숫자 구조특징

지금까지 우리는 전처리를 통하여 양질의 캐릭터 이미지를 획득하였다. 본 과정에서는 문자가 이미지로 생각하여, 쓰여지는 특징이 어떻게 쓰여지는지를 고려한다. 손으로 쓴 문자는 인쇄 문자만큼 규칙적이지 않으므로 템플릿 매칭 및 기타 방법은 효율성이 낮고 인식 효과가 떨어지기 때문에 필기 문자인식을 위해서는 더 많고, 템플릿 기반이 필요하다. 게다가 문자구조의 일부 기능은 써 내려가는 사람에 따라서 그 내용이나 습관이 다르다고 해도, 그 특징이 잘 변하지 않는다. 예를 들어, 필기 숫자 “1”은 내부를 교차하지 않고 두 끝점을 가지며, 숫자 문자 “2”는 일반적으로 하나의 교차점과 두 개의 끝점을 갖는다. 그러므로 우리는 무작위로 숫자가 쓰여지는 것으로 가정한다고 해도, 아주 특별하게 예외적인 것을 제

외하고는 위에 설명된 특징점에 대한 정보는 안정적으로 유지될 것으로 생각된다. 본 연구에서는 전처리 된 문자 이미지를 입력으로 하여 문자 구조의 특징을 찾아낸 후에, 그 숫자가 가지고 있는 문자 구조에 따라 주어진 숫자 문자를 인식한다.

#### (1) 구조적특징

서로 다른 숫자는 그 숫자의 구조적 특징이 서로 다르다. 예를 들어, 어떤 숫자는 두 개의 끝점, 3개의 교차점 및 4개의 교차점을 가지고 있다. 또한, 서로 다른 숫자는 그 특징점의 위치가 다르기 때문에, 끝점 및 교차점의 특징은 숫자 인식의 핵심 특징으로 간주 될 수 있다.

##### 1) 끝점 포인트 기능;

숫자 “1” 과 “7”의 경우에는, 각각 2 개의 끝점을 가지며, “0”과 “8”은 끝점이 없다. 따라서 끝점 기능은 간단하고 중요한 인식 기능이다. 끝점 정보를 효과적으로 인식하기 위해 8 가지 다른 끝점 형식을 기준으로 그림4에 보여주는 바와 같이 8 가지 분류하여 결정하였다. 8 개의 패턴을 사용하여 원본 이미지를 적당하게 잘 처리하면 문자 이미지의 끝점 정보를 쉽게 찾아 낼 수 있다. 한가지 실험 결과로 숫자 “2”에 대한 결과를 그림 5에 보여 주고 있다.

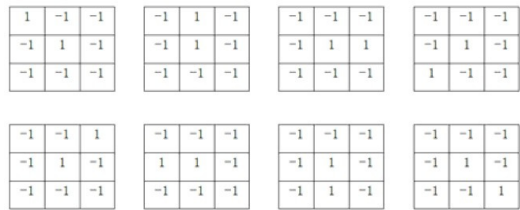


그림 4. 끝점구조의 8가지 분류  
 Fig. 4. 8 Probes for Recognition of Endpoint Structure

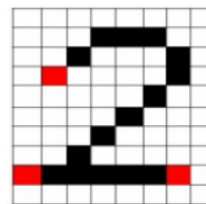


그림 5. 숫자 “2”의 끝점 결과  
 Fig. 5. Drawing of Endpoint Structure in Numeral Characters

2) 3 교차점 특징;

예를 들어, 숫자 “2”와 “3”은 각각 3 교차점을 가지고, “0”과 “1”은 3 교차점이 없다. 따라서 3 교차점은 중요한 인식 기능으로 사용할 수 있다. 3교차점 정보를 효과적으로 활용하기 위해 16 개의 서로 다른 3교차점 형식을 기반으로 16 개의 서로 다른 패턴을, 그림6에 보여주는 바와 같이 조사, 결정하였다. 여기에서 결정된 16 개의 패턴으로 입력 이미지에 적용하여 처리하면, 3 교차점 정보를 쉽게 찾아 낼 수 있다. 한 예로서 숫자 “2”의 적용 결과를 그림 7에 보여 주고 있다.



그림 6. 3교차점의 16가지 분류  
Fig. 6. 16 Probes for Recognition of Three-crossing Point Structure

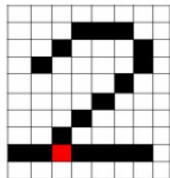


그림 7. 숫자 “2”의 3교차점 결과  
Fig. 7. Drawing of Three-crossing Structure in Numeral Characters

3) 4교차점 특징;

숫자 “4”의 경우에는, 4교차점을 가지고 있다. 그러나, 숫자 “2”와 “6”은 4교차점을 갖지 않는다. 따라서 4 교차점 특징 또한, 숫자 문자를 인식하는 또 다른 중요한 기능으로 볼 수 있다. 4교차점 정보를 효과적으로 적용하기 위해, 그림 8에 보여주는 바와 같이 2 가지 4교차점 패

턴을 조사, 결정하였다. 여기의 2 개의 패턴으로 입력문자에 대하여 존재 하는가 그렇지 않은가를 확인하여 4교차점정보를 쉽게 얻어 낼 수 있다. 그 결과를 그림 9에 보여 주고 있다.

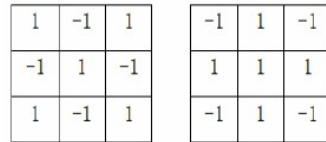


그림 8. 4교차점의 2가지 분류  
Fig. 8. 2 Probes for Recognition of Four-crossing Point Structure

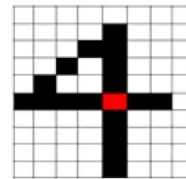


그림 9. 4교차점 결과  
Fig. 9. Drawing of Four-crossing Structure in Numeral Characters

5. 결정표 기반 필기 숫자의 자동인식

위에서 설명 한 문자의 구조적 특징을 기반으로, 본 연구에서는 손으로 쓴 숫자 문자를 인식하기 위해 결정 트리(tree)를 구축하였다. 전처리를 마친 입력 숫자에 대하여 특징점을 비교하여, 결정 트리에 적용하여 종합적으로 비교하여 인식결과를 도출한다. 본 논문에서 인식 할 숫자 문자는 끝점의 갯수가 한 개도 없는 것부터 4개인 5 개의 클래스로 나뉜다. 끝점이 없는 숫자는 “0”과 “8”이고, 끝점이 1개인 숫자는 “6”과 “9”이다. 끝점이 2개인 숫자는 “1”, “2”, “3”, “4”, “5”, 그리고 “7”이다. 또한, 끝점은 2개이지만, 그 끝점의 모양이 다른 숫자는 “5”이다. 끝점이 4개인 숫자는 “4” 이다. 그리고 이와 같은 끝점뿐만 아니라 위에서 설명한 3교차점정보와 4교차점정보, 수평선 정보, 수직선 정보를 사용하여 숫자인식을 행한다. 그림 10은 본 논문에서 구축한 결정 트리를 보여준다. 손으로 쓴 숫자 문자를 입력숫자로 하여 특징과 교차점의 항목을 각각 판단함으로써, 의사 결정 트리를 기준으로 숫자 문자를 효과적으로 인식한다.

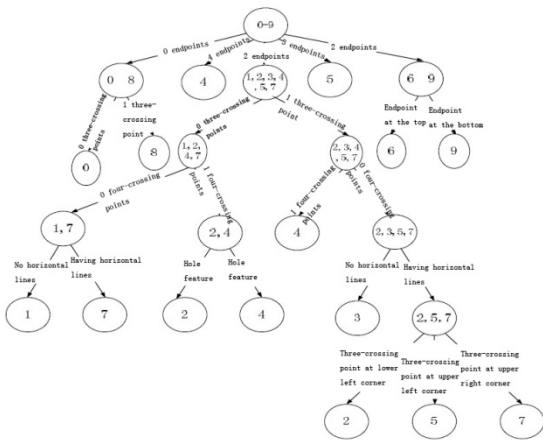


그림 10. 결정 트리  
 Fig. 10. Decision Tree

### III. 인식 판단 모듈

본 논문에서는 Matlab을 개발 플랫폼으로 사용하여 결합 된 구조를 기반으로 필기체 숫자 체계를 설계하고 구현하였다. 숫자인식용 시스템은 입력 모듈과 이미지 인식 모듈로 구성되어 있다.

숫자인식은, 입력 모듈을 통해 손으로 쓴 숫자 문자를 입력 할 수 있고, 시스템은 이미지를 전처리하여 구조적 특징을 찾아 낸 후, 이미지 인식 모듈을 통해 의사 결정 트리의 결정 판단을 기반으로 출력 결과를 도출한다.

표 1. 필기 숫자의 예  
 Table 1. Some examples adopted in handwritten numeral test

0	00000000	1	11111/111
2	22222222	3	33333333
4	44444444	5	55555555
6	66666666	7	77777777
8	88888888	9	99999999

본 논문의 테스트 데이터로 1000개의 자필 입력을 사용하여, 본 논문에서 언급 한 알고리즘을 적용하여 0-9의 10개 종류 숫자를 테스트 해 보았다. 인식용 훈련 데이터와는 별도로 다른 사람들이 손으로 쓴 숫자를 본 시스템에 적용한 결과, 인식률은 97%로 나타났다. 0과 7의 경

우, 알고리즘의 인식률은 100%에 이르렀고, 대부분의 숫자도 90% 이상으로 인식되었다. 이러한 결과를 볼 때, 결합 구조에 기반한 의사 결정 트리의 알고리즘은 높은 인식률과 견고함을 알 수 있다. 그러나, 본 알고리즘은 좀 더 포괄적이고, 심하게 흘려 쓴 숫자의 경우에는 그 인식 기능이 아직 부족하기 때문에 개선이 필요하다. 예를 들면, “3”, “4”, “5” 등은 인식이 낮아 개선이 필요한 것으로 나타났다.

### IV. 결론

본 논문에서는 결합 된 특징에 기반한 자유로운 필기 숫자 인식 알고리즘을 제안하고, 손으로 쓴 숫자 문자 이미지의 전처리 방법을 기술하고, 필기 문자의 구조적 특징을 분석하여 효과적인 인식 알고리즘을 구현하고, 구조적 특징을 기반으로 한 의사 결정 알고리즘을 구축하였다. 실험을 통한 알고리즘의 효율성을 확인 하였다.

제안 된 문자 구조 특징 생성 알고리즘은 자유롭게 손으로 쓴 숫자 문자의 구조적 특징을 정확하고 안정적으로 인식하는 방법을 제공하는 것 뿐만 아니라, 향후, 손으로 쓴 한글이나 또다른 문자의 인식에 활용하기 위한 기본적인 방법을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

구조적 특징을 기반으로 한 의사 결정 트리의 자동 인식 알고리즘은 다양한 종류의 구조 정보를 포괄적으로 손으로 쓴 문자를 자동으로 식별하여, 알고리즘의 정확성과 견고성을 보장한다. 실험 인식 결과에 따르면 알고리즘은 기존의 자유 필기 문자의 인식 알고리즘보다 훨씬 높은 97%로 나타났다. 자유로운 필기숫자의 인식 능력과 효율성을 더욱 향상시키기 위해 앞으로 다양한 필기 숫자 구조 기능을 확장하고 보다 더 넓게 포괄적으로 인식 할 수 있는 방법을 고안하고자 한다. 또한, 본 연구에서 일부 잘 못 적용된 숫자인, “3”, “4” 및 “5”와 같은 숫자를 인식할 수 있도록 알고리즘을 개선하고, 더 나아가 모든 필기체 숫자까지 인식 할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

### References

[1] Dadong Zhao, Jeong-Young Song, A Study on the Face Expressive Recognition based on the

- Skin Color and the Face Geometric Characteristics.  
Master Thesis, Dept. of Computer Engineering,  
PaiChai Univ. S. Korea, pp.42-48, 2010.
- [2] Dadong Zhao, Jeong-Young Song, A Study on the Face Recognition based on the Face Geometrical Characteristics[C]. Proceeding Conference, KyeongKi Univ. S. Korea,2010,pp.21-27.
- [3] Huchuan Lu,Pei Wu,Hui Lin,Deli Yang.Automatic Facial Expression Recognition[C]. Lecture Notes in Computer Science.2006,3972:63-68.
- [4] Li Sanping, Yue Zhenjun. Realization of handwritten numeral recognition system based on PNN with MATLAB[J].Journal of Military Communications Technology, 2005, 3 (26) :54- 57.
- [5] Laurence Likforman-Sulem, Marc Sigelle. Recognition of degraded handwritten digits using dynamic Bayesian networks [J]. Document recognition and retrieval XIV: Proceedings of SPIE, 2007.
- [6] JC P.W SA - JSR 172,J2M E W eb Services 1.0 [S- O L]. <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=172>, 2004.3.3.
- [7] N okia Forum . Introduction T o W eb Services In N okia D evices [EB /O L].<http://www.forum.nokia.com/main.html>. 2004.6.10.

#### 저자 소개

#### 송 정 영(정회원)



- 1984년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과 졸업
  - 1992년 3월 : 와세다대학 전기전자정보공학연구과 졸업(공학석사)
  - 1995년 3월 와세다대학 전기전자정보공학연구과 졸업(공학박사)
  - '95.3 - '97.2 청운대학교 전임강사
  - '11.9 - '12.8 아이다호주립대 방문교수
  - 1997.3 - 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
- <관심분야 : 영상처리, 문자처리, 음성처리>

※ 이 논문은 2018학년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임.