

위상회전에 의한 필기체 한글의 자동인식 (Automatic Recognition of Hand-written Hangeul by the Phase Rotation)

이 주 근* · 김 홍 기**

(Joo K. Lee and Hong K. Kim)

요 약

이 논문에서는 위상회전에 의한 오목구조의 검출로서 필기체 한글을 인식하는 한 방법을 검토한다. 문자 pattern를 오목구조적인 기본 Segment로 분해하여 집합으로 분류하고, 그들 집합에 대한 각 Segment의 폐상태와 위상특징을 logic으로 표현한다. 다음 그들 logic pattern의 위상회전으로서 오목구조의 topological 성질과 위상특징을 검출하여 문자를 판정한다. 이 방법은 필기체의 변화와 문자의 대소, 경사 및 위치변위에 대한 식별의 유연성을 가지며, 인식율이 높다.

Abstract

In this paper, a method is proposed for the recognition of hand-written Hangeul. This is performed by extraction of the concave structural segments by phase rotation.

Character patterns can be decomposed into the fundamental concave structural segments which are also categorized into segment sets, and the closure and phase features of each segment in set is represented by logics. By rotating the logic pattern, the topological and phase features of segment are extracted for the reliable recognition of the character.

It is also evaluated that this method applies to a wide variety of shape, position and declination of the character.

1. 서 론

정보처리의 자동화의 일환으로서 문자 pattern의 인식에 대한 관심은 기초적인 연구단계를 벗어나서 고성능 실용화의 연구에 집중되고 있다.

그러나, 한글이나 한자와 같이 그 수가 방대하고 또 한 문자가 서구의 한 단어에 해당되기 때문에, 공간적인 복잡성으로 인하여 기계적인 식별이 극히 어렵다.

이와 같은 문자의 인식으로서는 R. Casey⁽¹⁾ 등에 의하여 인쇄체 한자 1,000자를 수개의 mask로서 식별하는 방법을 제안했고, K. Fukushima⁽²⁾ 등은 공간 pattern의 연상기억(associative memory)에 의한 방식을 제시

한 다음, computer simulation에 의한 결과를 발표하였다. 또 Yoshida⁽³⁾ 등은 필점운동 model을 stroke 합성 model로 하여 analysis by synthesis법에 의한 필기체 한자의 인식을 시도하는 등 많은 연구가 발표되었다.^{(4), (5), (6)}

그러나 한자에 있어서는 장치가 방대해지며 아직 획기적인 성과가 보이지 않고 있다.

인쇄체의 한글에 대해서는 저자의 일인이 이미 약 삼천자의 문자를 pattern공간의 가변부분 분리에 의한 인식방식을 제안하고, simulation에 의한 결과를 발표한바 있으며⁽⁷⁾, 필기체의 한글에 대해서는 아직 발표가 없다. 그런데 한글은 조합문자이거나, 기본 문자 어느것이든 구조적으로는 특이한 조직으로 되어 있지만, 기계적인 인식에 있어서는 가장 난점인 특수한 유사성을 가지고 있기 때문에 일반적인 방법으로서의 식

*正會員, 인하대학교 공대전자공학과
Dept of Electronic Engineering, In ha University
接受日字 : 1976年 3月 13日

별이 극히 어렵다.

본 논문에서는 computer의 입력을 전체로 할 때 반듯이 모아쓸 필요없이 풀어쓰기로 기록된 card를 판독하고, 앞서 발표한 조합문자 generator^{(8),(9)}를 중단한다면, 구태여 불가능에 가까운 필기체조합문자를 식별할 필요없이 같은 효과를 낼 수 있다는 점에 착목하고, 또 앞서 발표한 한글의 구조에 대한 연구⁽¹⁰⁾에서, 한글은 위상에 크게 영향을 받는다는 점을 고려에 넣어, 기본 문자 pattern을 오목구조의 기본 segment로 분해하여 몇개의 집합으로 체계화 한다. 다음 그들 segment의 폐상태와 위상특성을 논리화 하므로써, 다상구조에 의한 회전변환으로서, 입력 pattern의 topological 성질과 위상특징을 접목하여 문자를 판별하는 한 방법을 검토한다.

이 새로운 방법은 한글의 특이한 구조로 인한 인식에서의 난점을 해결할 수 있는 가능성을 부여하는 동시에, 필기체의 변화, image pattern의 회전 및 위치변위에 대한 유연성을 갖는 한 방법임을 결과로부터 확인하였다.

II. 기본문자의 구조상의 문제점

1) 모음의 구조적 특징

모음은 그 구조가 극히 단순롭고, 또 그의 topological 성질이 같으며, 위상에서만 차이가 나온다.

예를들면 (ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ)가 그것이다. 즉 그림 1에서 한 문자를 기준으로 연속회전 하면 4개의 문자가 연속회전 변화군 속에서 생성되는 특이한 성질이 존재한다.

이와같은 성질은 (ㅗ, ㅛ, ㅜ, ㅠ), (ㅡ, ㅣ)에서도 똑같은 규칙으로 나타나며, 그들은 똑같이 연속 90°의

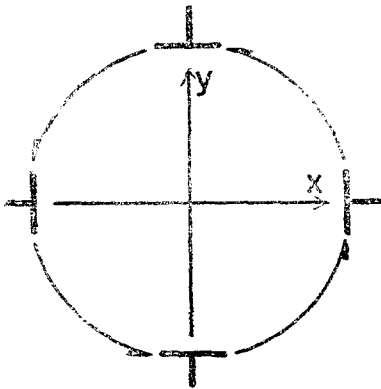


그림 1. 모음의 위상 관계
Fig. 1. Phase relation of the fundamental elements(vowels).

위상차를 가진다. 이것은 대단히 흥미있는 것으로서, 한개의 문자를 일정한 규칙으로 회전 할 때, 연속 90° 선상에 나타나는 image로서 다른 문자를 정한 것과 같은 개념이 강력하게 부과된다는 점이다. 이 점, 저자의 견해로서는 한글이 가지고 있는 기묘한 구조의 하나라고 생각된다. 그러나, 그것이 문자의 자동인식에 있어서는 동치관계가 존재⁽¹⁰⁾하기 때문에 가장 많이 사용되고 있는 mesh에 의한 bit pattern의 다수결 판정이 극히 어려운 원인이 된다.

2) Similarity

문자의 similarity는 인식에 있어서 극히 어려운 요인의 하나이다. 즉, 기본문자(ㅏ, ㅑ)등은 그의 topological 성질이 같고, 또 Arabia 숫자와 혼용할때는, 문자 “1”와 숫자 “1”은 같으며, “2”와 “ㄷ”도 같다. 또 숫자 (0)와 문자(ㅇ, ㅓ)등은 3이상의 문자가 같을 때는 일반적인 방법으로서 판별할 수 없게된다.

3) 한 문자속에 다른 문자의 특징이 거이 포함되었다는 점이다.

이들 문제는 table 1에 표시 하였으며, 방식에 따라서는 “ㅈ”을 판독할때 “ㅉ”, “ㅊ”이 동시에 판정이 내려져서 오관정의 원인이 된다.

Table 1.

ㄱ	ㅋ	
ㄴ	ㄷ	ㅇ
ㄷ	ㅈ	ㅊ
ㄹ	ㄴ	ㄷ
ㅌ	ㅍ	ㅍ
ㅍ	ㅑ	
ㅑ	ㅋ	

(a) Including and excluding characters.

Table. 1

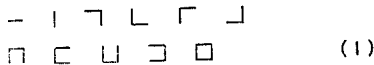
Numerais	Fundamental elements	
0	○	□
1		
2	ㄷ	

(b) Similar characters.

Ⅲ. 기본문자의 오목구조적 최소 Segment 화와 논리 Pattern의 Rotation

1) 최소 Segment화

일반적으로 선분에 의하여 폐상태를 이루는 오목구조의 기본성분인



로서 한글 기본문자를 합성하는 한방법을 앞서 발표한 바 있다⁽¹⁰⁾. 종래의 문자인식에 있어서는 일반적으로 문자의 기하학적인 특징을 검출하는 방법을 널리 쓰고 있다. 그러나, 그것이 어떤 체계적인 것도 아니고, 또 어떤 특징을 검출하는 것이 인식에 가장 유효한가는 아직 이론적으로는 구명되어있지 않은채로 장치가 간단해진다는 점에서 대부분의 연구에서 도입하고 있다.

이 논문에서는 그것을 조직화 하고자 한다. 기본문자를 그림 2와 같이 (1)식의 오목구조의 기본성분을 생성원으로 하는 최소 segment로 분해하고, 계층별로 분류하여 몇개의 집합으로 분리한다.

segment의 계층이 3이상인 문자에서는 그것을 하나 또는 몇개 제거해도 문자의 구별이 가능함을 볼 수 있다.

예로서 “ㄷ”은 수직으로 계층이 3인(一, ㄷ, ㄷ)의 성분중에서 (ㄷ)를 제거한(一, ㄷ)만으로도 다른 문자와의 구별이 가능하다. 따라서 그림 2의 제 3열과 같이 불요 기본성분을 제거하고 최소 segment와 합수 있다.

또 계층이 1인 기본문자 “一 | ㄷ ㄷ ㄷ” 혹은 (ㄷ, ㄷ)도 상하로 2등분하면, 다음과 같은 segment의 추가정의를 필요하다.

	Degree	Fundamental elements	Concave structural analysis.	Minimal segments
Vertical	2	ㄷ	ㄷ	ㄷ
		ㅅ	ㅅ	ㅅ
		ㅈ	ㅈ	ㅈ
		ㅊ	ㅊ	ㅊ
		ㅌ	ㅌ	ㅌ
		ㅍ	ㅍ	ㅍ
	3	ㅊ	ㅊ	ㅊ
		ㅎ	ㅎ	ㅎ
		ㅍ	ㅍ	ㅍ
		ㄷ	ㄷ	ㄷ
Horizontal	2	ㅏ	ㅏ	ㅏ
		ㅑ	ㅑ	ㅑ
	3	ㅓ	ㅓ	ㅓ
		ㅕ	ㅕ	ㅕ
Shape	1	一 ㄷ ㄷ ㄷ		

그림 2. 오목구조적 분석과 최소화 segment

Fig. 2. Concave structural analysis and minimized segments

$$D = \{11\} \quad (2)$$

(단, 문자 pattern을 두 channel상에서 분리한다는 전제)

이상으로 부터 모든 기본문자를 상하로 두개 channel에 분리하고, 그들 segment의 집합을 {A,B,C,D,E,F}로 표시하면, 모든 기본문자 구조는 (3)식의 집합으로 분류조직화 된다.

이들 집합으로부터 오목구조를 기초로 한 한글의 인식에 있어서의 정보가 되는 특징은 (3)식의 4개 열의 어느열을 특징으로해도 무방하다는 결론이 나온다. 그것은 이들 어느 열을 기준으로 하여 회전해도, 모든 기본오목구조가 생성되기 때문이다.

$$\begin{aligned}
 A &= \{ \square \} \\
 B &= \{ \sqcap, \sqcup, \sqcup, \sqcap \} \\
 C &= \{ \lrcorner, \llcorner, \llcorner, \lrcorner \} \\
 D &= \{ \text{||}, \text{=}, \text{||}, \text{=} \} \\
 E &= \{ |, -, |, - \} \\
 F &= \{ \emptyset \}
 \end{aligned} \tag{3}$$

또 (3)식에 대칭되는 집합 {M,N,P,.....S}가 존재한다.

2) 논리 Pattern의 Rotation

(3)식의 6개의 집합으로 부터 일정한 규칙이 나온다. 그것은 한 열을 기준으로 하고, 연속 90°씩 회전하면, 나머지 segment가 생성되는 것을 볼 수 있다. 이것은 대단히 중요한 point를 제시해 준다. 즉, 제 1열의 segmet(□, □, ∟, ||, |, ∅)만 판정하고, 다른 나머지는 위상만 결정해 주면 일의적으로 결정지어진다는 점이 매우 흥미롭고, 유익한 것이라 생각된다. 그러나, 문자 pattern을 여하히 고속으로 회전시키면서, 소정의 각도상에서 그들의 위상특징을 간결하게 검토할 것인가 하는 문제가 제기된다. 이 문제의 해결을 위해서 본 연구에서는 (3)식의 각 집합의 segment를 폐상태와 위상을 논리화 하는 한 방법을 고려했다. 그림 3과 같이 중심(*)을 기준으로 할때, x,y 좌표상에서의 선분의 특징점을 가지는 동시에 위상 특징을 가짐으로 이들 선분의 유무로서 논리표현이 가능하다.

그런데, 위에서 모든문자는 수직으로 계층이 2인

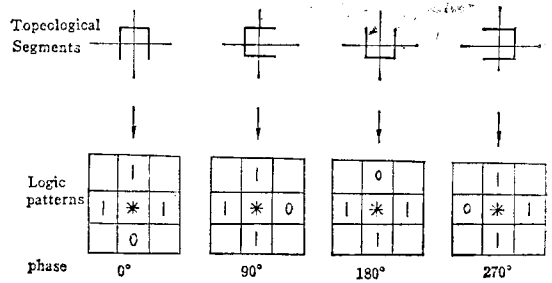


그림 3. 논리 Segment와 위상특징

Fig. 3. Logical segments and its phase feature

segment로 분리되었으므로, 이들 논리 pattern 또한 대칭으로 분포하게 된다. 이때 각 channel에서의 논리 group은 {A,B,C,D,E,F}와 {M,N,P,Q,R,S}로 표시된다. 그런데, 그림 3에서와 같이 segment에 대한 논리 pattern을 회전하기 위해서는 기준 phase의 설정이 필요하다.

즉 (3)식의 제 1열의 segment(□, ∟, ||, |)를 그림 4와같이 기준위상 (0°)의 논리 pattern으로하고 (단, □, ∅는 위상에 무관), 그것을 90°씩 계속 회전할때 회전변환군 속에서 생성되는 논리 pattern의 기호를 집자 1, 2, 3, 4(0°→1, 90°→2, 180°→3, 270°→4)로 표시하면, 각 집합에서 4가지 상태가 존재하여 (3)식에 대응하는 다음 (4)식으로 일반화된다.

$$\begin{aligned}
 A &= \{A\} & E &= \{E_1, E_2, E_3, E_4\} \\
 B &= \{B_1, B_2, B_3, B_4\} & F &= \{F\} \\
 C &= \{C_1, C_2, C_3, C_4\} \\
 D &= \{D_1, D_2, D_3, D_4\}
 \end{aligned}$$

Detection logics		$\begin{matrix} & & \\ & * & \\ & & \end{matrix}$	$\begin{matrix} & & \\ & * & \\ & & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} & & \\ 0 & * & \\ & & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & & 0 \\ - & * & - \\ 0 & & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & & 0 \end{matrix}$
Phase		\emptyset	0°	0°	0°	0°	\emptyset
Logics	Upper	A	Bi	CI	DI	Ei	F
	Low	M	Ni	Pi	Qi	Ri	S

그림 4. 기준 검출 논리와 위상

Fig. 4. Standard detection logic and its phase feature

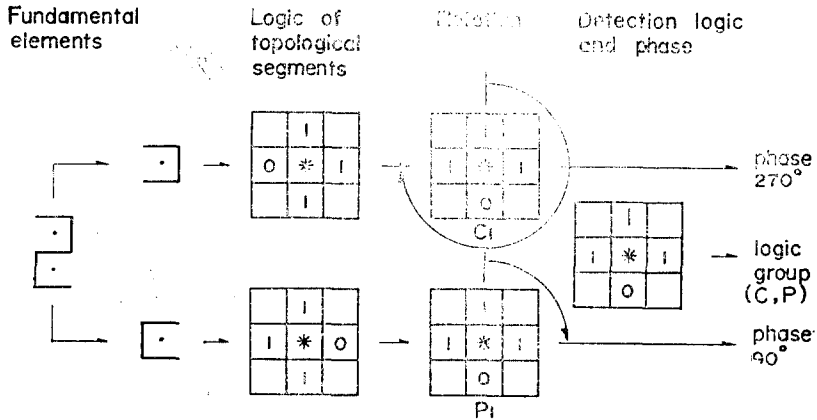


그림 5. logic pattern의 회전에 대한 예
 Fig. 5. An example of logic patterns and its rotation

또 {M,N,P,Q,R,S}도 같은 방법으로 표시된다.
 따라서, 이들 segment에 대한 논리 pattern은 위상 특성이 중요한 역할을 하므로 그것을 식별하기 위하여 (4)식에서의 같이 임의의 논리 pattern을 90°씩 360° 회전시켜 그것이 집합 {A, B, C, ……}의 어느집에 속하는가를 판정하고, 다시 위상각에 matching시키면 문자의 각 segment가 판정된다. 예를들면 그림 5에서 문자 “ㄱ”을 두개의 segment로 분리하고, 그것에 대한 논리 pattern을 각각 360° 회전하면 270°와 90°에서 그들의 각각은 기준위상(0°)의 segment(ㄷ)에 대한 논리 pattern과 일치한다.
 이것은 동시에 segment (ㄱ, ㄷ)에 대한 논리집합 C와 P를 의미한다. 따라서 이들 집합 (C,P)를 위상

(270°→4, 90°→2)에 matching시키면, 논리 pattern (C, P)가 판정된다. 그러므로 이들 (C, P)는 segment(ㄱ, ㄷ)의 논리특성이 되는 동시에 문자 “ㄱ”의 특징이 되므로 문자를 식별할 수 있다.

4. Recognition System

i) 방식

앞에서 기술한 생각을 실현하기 위하여 그림 6과 같이 system을 구성하였다.
 입력문자를 광학적으로 검출하여 양자화한 다음, 그것을 두개의 논리 pattern으로 등분하여 매칭 channel의 rotation unit에 각각 기억시킨다.

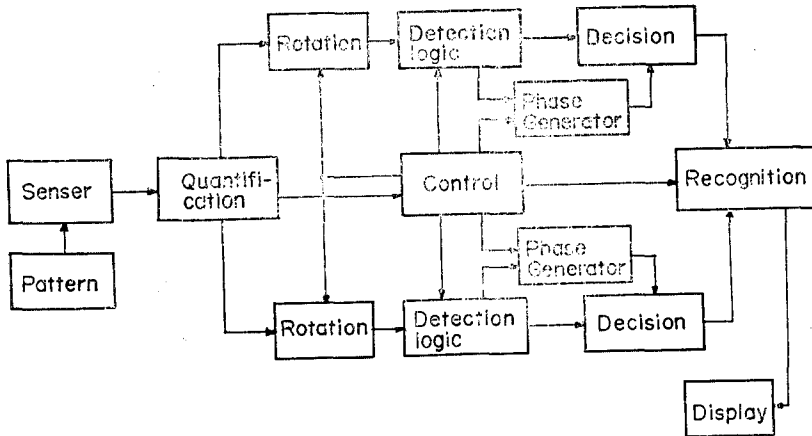


그림 6. 인식 System의 구성도
 Fig. 6. Block diagram for recognition of handprinted Hangeul

일반적으로 회전운동에서 위상각은 시간에 비례한다는 것은 잘 알려져 있다. 즉, 각 $\theta = Kt$ 의 극히 초보적인 개념을 도입하여, 논리 pattern의 회전 각 $0^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 270^\circ \rightarrow$ 를 time slot $t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3 \rightarrow t_4$ 에 순서대로 응시하던 시간의 측정은 위상 각의 측정에 귀착하게 될 것이다.

따라서 임의의 논리 pattern을 그림 7의 S.R에서 4 step shift시키면서, 각 step에서 회전논리 집합(A, B, C, ... F)을 검출하고, 그것을 다시 위상각 $0^\circ \sim 270^\circ$ 에 대응되는 시각 $t_1 \sim t_4$ 의 순서로 분리해 내면 각 위상특성이 검출된다. 즉 논리 pattern의 집합 B가 회전 측상에서 B₁, B₂, B₃, B₄로 분리 구별되어 나온다. 종래의 회전각의 특징은 일반적으로 회전기계의 의존하는 것이 통례이지만, 본연구에서 그것을 논리결정하므로써 잡치가 극히 간결해지고 속도가 빠른 점과 또 문자 pattern을 회전시켜서 위상을 결정하는 방법은 아직 발표가 없는 것으로 안다.

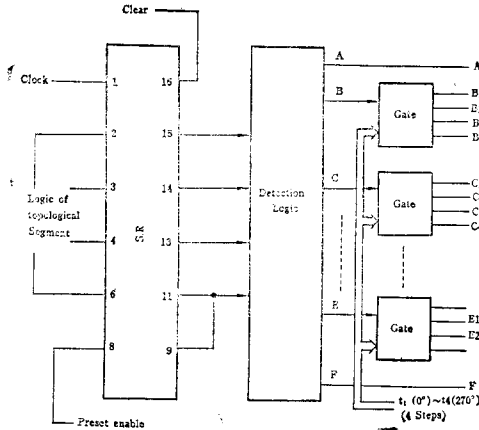


그림 7. 다상논리 구조의 block도

Fig. 7. Block diagram of the multipbase logic structure

이상에서 검출된 특징 pattern과 문자와의 관계를 table 2에 표시하였다.

table 2로 부터 recognition unit는 일반적 방법으로도 간단히 논리 구성되며, 문자가 판독된다.

임의의 필기체는 사람의 습관에 따라 크기, 형태, 위치등이 다양으로 변하기 때문에 이상적인 특징만을 가지지 않는다. 따라서 필기체 문자의 인식율을 높이기 위하여 40명의 학생에게 두점이 주어진 용지에 두 점을 피해 쓰도록 권하고, 그들의 필기문자를 평균한 표본을 그림 8에 표시하였다.

이 방법은 지정된 두점으로 부터 x, y축상에 분포되

Table. 2

AND	A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	D ₁	D ₂	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	F
M	8	6	4	3			6	6	5						0	
N ₁		스	니	즈			스	스	즈						π	
N ₂	2	π		π			π	π	π						π	
N ₃	3	π				π	π			π	π				π	π
N ₄	9		5	4	3				5						π	
P ₁	9	9	5	4	3			4	4	즈					1.7	
P ₂	9.		π	4	7.7			π	π	즈					π	
P ₃		π					π					π	π		π	π
P ₄		π					π					π	π	π	π	π
Q ₂		π				π	π					π				
R ₁	0		π	π	π			π	π	π					π	
R ₂		π				π	π								π	π
R ₃					π									π	π	π
R ₄	7					π	π								π	π
S		π				π	π							π	π	π



표본문자

Fig. 8. Samples of the fundamental elements and arabic numerals.

는 오목구조의 패장태의 유부로서 특징을 판정하기 때문에 입력 문자의 기울기와 크기에 실질적인 영향을 받지 않은 유연성이 있다.

그러나 두 문자가 똑같은 구조(2, π)일때는 일반적 규칙이 적용되지만, 세문자(스, 口, 0(수자)) 위상이 동일하므로 특별한 규칙을 부여해야 한다.

본 연구에서 입력문자의 image경사는 그림 9에서 보는 바와같이 0~36°의 광범위까지(보통 5° 정도) 허용되며, 그들 범위는 지정된 두점의 거리에 비례한다.

실험 결과는 그림 10에 표시하였으며 좋은 결과를 얻었다.

그러나 두점이 주어진 program card보다는 두 점이 없는편이 더욱 좋을 것이다. 따라서 임의의 문자의 중심을 결정하는 문제는 근후의 연구 과제로 남겠으며, 또 전처리 과정에서 잡음, 농도, debug 문제를 더욱 검토할 여지가 남아있다.

5. 총괄 및 결론

기본문자에 관한 분석과 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 기본문자를 오목구조적인 성분으로 분해하여 문자구조의 특이점을 관측하고, 분해된 segment의 수를 최소로 하는 minimized segment를 설정하였다.

2) 이들 기본 segment는 문자 pattern의 최소특징 구조이며, 24개 한글기본문자와 10개 Arabia숫자중에서 26개의 segment를 추출한다음, 그것을 6개 집합으로 조직화하였고, 또 다시 4개의 위상특징으로 논리화 함으로써 문자의 인식율을 향상시키고 redundancy를 제거하여 system을 간소화하였다.

3) 40명의 학생이 쓴 임의의 필기체에 대한 평균치를 표본으로 하여 실험한 결과 100%에 가까운 인식율을 보였다. 단, 동일한 유사문자는 필기방법에 제한을 가하였고, negative 표본을 사용하였기 때문에 noise를 생각할 필요가 없었다.

4) 본 방식에서의 system기능은 가칭 다상구조에 의한 회전논리의 3 단인식방식이며, 회전은 일반 circulator와는 다르다.

첫째로 입력 문자 pattern에서 위상특징을 고려한 논리 집합을 검출하고, 그것을 다시 위상각에 대응시킨 Timing pulse로서 특징 pattern을 분리하여 문자를 판정한다.

5) 기본문자에 대한 최소화 segment의 폐상태의 유무로서 논리 pattern의 특징을 식별하기 때문에 문자의 크기의 변화, 회전 image의 영향을 배제할수 있다.

6) 이 방식에서는 인식문자의 대상이 증가하던 반비례하여 장치가 감소하는 경향이 있다.

7) 6개의 logic pattern과 4개의 위상 특징으로서 모든 기본문자를 식별하였고, 또 이 system을 조합문자 generator^(8,9)에 결합하는 경우, 수천자의 복잡한 필기체 조합문자를 식별하는것과동일한 효과를 가져오게 된다.

그러나 필기체 문자의 인식에는 많은 문제 점이 있었으며, 특히 실험에 사용한 photo device는 소형의 것을 구하지 못하여 4mm의 직경을 갖는 것으로 실험할 수 밖에 없었다.

따라서 실험에 사용한 sample문자의 획의 굵기는 photo device를 충분히 cover할 수 있도록 굵게 확대하여 실험할 수 밖에 없었다. 그러나 photo device가 소형일 경우 sample문자 역시 비례하여 적어지므로 문제가 없다고 본다.

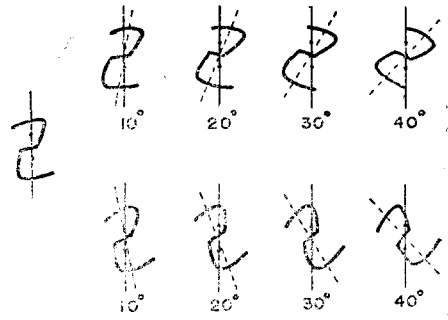


그림 9. 경사각도
Fig. 9. Direction range

	ㄱ	ㅋ	ㆁ	ㄴ	ㄷ	ㄹ	ㅁ	ㅂ	ㅅ	ㅇ	ㅈ	ㅊ	ㅌ	ㅍ	ㅑ	ㅓ	ㅕ	ㅗ	ㅛ	ㅜ	ㅠ	ㅡ	ㅣ	/	2	7	
ㄱ	40																										
ㅋ		40																									
ㆁ			40																								
ㄴ				40																							
ㄷ					40																						
ㄹ						40																					
ㅁ							40																				
ㅂ								40																			
ㅅ									40																		
ㅇ										40																	
ㅈ											40																
ㅊ												40															
ㅌ													40														
ㅍ														40													
ㅑ															40												
ㅓ																40											
ㅕ																	40										
ㅗ																		40									
ㅛ																			40								
ㅜ																				40							
ㅠ																					40						
ㅡ																						40					
ㅣ																							40				
/																								1	39		
2																										38	
7																											39

그림 10. 실험결과
Fig 10. Recognition errors in 40 samples of each of the input characters

8) 유사문자인 “ㅇ, ㅁ”과 숫자 “0”의 식별은 구조적 특징만으로서 식별이 어려우며, 이들 문자에 대해서는 특별한 규칙을 첨가하든가 숫자와 문자가 섞여 쓰일 경우는 숫자와 문자를 떼어 쓴다면, 앞뒤 문자의 관계로부터 식별할 수 있다.

이상에서 비교적 양호한 결과를 얻었으며, 필기체 한글을 computer에 자동입력하기 위한 연구에서 다소나마 자료가 된다면 다행이겠다.

이 연구는 인하대학교 산업과학 연구소의 지원에 의한 것이다.

Reference

1. R. Casey and G. Nagy: Recognition of Printed Chinese Characters. IEEE. Tran. Vol. 15, Fed' 1966.
2. K. Fukushima: Association Memory for Spatio Temporal pattern. IPSJ. Vol 56-D. No7. July.

- 1973.
3. Yoshida, Eden: Handwritten Chinese Character recognition by ah analsis by synthesis method. Proc. 1st IJC. p.197. Oct. 1973.
 4. B. Braunecker and A. Lohman: Character Recognition by digital Holography. Opt. Comm. 11, 2. pp.141~143. June 1974.
 5. Special Issue on Digital Pattern Recegntion. Proc. IEEE. 60. pp.1117. Oct. 1972.
 6. T. Morie et al: Recognition of Handprinted Characters Proc. 2nd USA-Japan Computer conterence. Aug. 1975.
 7. Joo Keun Lee: Korean Character Display by Variable Combination Method and its Reco- gnition by Decomposition Method. ph. D. disse- rtation in Keio Univesity. Japan.
 8. Joo Keun Lee: Korean Character Display by Variable Combination Method. Keio Engineering Reports, Vol. 26, No.10, 1973.
 9. 이주근, 이균하 : 가변조합방식의 character gen- erator. 전자공학회지. Vol. 11, No.1, 1974-2.
 10. 이주근, 주훈 : 한글의 인식을 위한 대수적 구조 전자공학회지 Vol. 12, No. 2, 1975-4.