

지문자를 포함한 연속된 한글 수화의 실시간 인식 시스템 구현

(Implementation of Real-time Recognition System for Continuous Korean Sign Language(KSL) mixed with Korean Manual Alphabet(KMA))

李燦洙*, 金鍾成**, 朴奎泰***, 張源****, 卞增男***

(Chan-Su Lee, Jong-Sung Kim, Gyu-Tae Park, Won Jang, and Zeung-Nam Bien)

요약

본 논문에서는 동적 제스처인 수화와 정적 제스처인 지문자가 섞여 있으며 연속으로 수행하는 손 제스처를 실시간으로 인식하는 시스템을 구현하였다. 연속적인 손 제스처는 동작의 시작과 끝에 대한 명확한 표시가 없고 제스처의 형태가 복잡하다. 본 논문에서는 연속적인 손 제스처에서 개별 제스처를 구분하기 위하여 제스처의 속력과 속력 변화를 이용한 상태 오토마타를 구현하였으며, 다양한 손 제스처의 의미를 인식하면서도 확장이 쉬운 시스템을 구현하기 위하여 14가지 손운동, 23가지 손모양, 그리고 14가지 손방향의 기본 요소 인식을 구현하였다. 양손 사이버글러브와 자장 추적 장치를 이용하여, 구현된 시스템은 131개의 한글 수화와 31개의 지문자를 실시간으로 인식하며, 수화의 인식률은 각각인 경우를 제외한 경우 94.3%, 지문자의 인식률은 96.7%에 이른다.

Abstract

This paper deals with a system which recognizes dynamic hand gestures, Korean Sign Language(KSL), mixed with static hand gesture, Korean Manual Alphabet(KMA), continuously. Recognition of continuous hand gestures is very difficult for lack of explicit tokens indicating beginning and ending of signs and for complexity of each gesture. In this paper, state automata is used for segmenting sequential signs into individual ones, and basic elements of KSL and KMA, which consist of 14 hand directions, 23 hand postures and 14 hand orientations are used for recognition of complex gestures under consideration of expandability. Using a pair of CyberGlove and Polhemus sensor, this system recognizes 131 Korean signs and 31 KMA's in real-time with recognition rate 94.3% for KSL excluding no recognition case and 96.7% for KMA.

* 正會員, 大田 시스템공학연구소 假想現實 研究室

(Virtual Reality Lab. SERI)

** 正會員, 韓國 電子通信研究員 人工智能研究室

(Artificial Intelligence Sec. ETRI)

*** 正會員, 韓國科學技術員 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng. KAIST)

**** 正會員, 國防科學研究所

(ADD)

接受日字:1997年2月28日, 수정완료일:1998年5月25日

I. 서론

컴퓨터나 컴퓨터화된 기계가 일상 생활 속에 쓰이게 되면서 인터페이스 방법으로 이전에 쓰이던 키보드나 마우스와는 다른, 사람과 사람의 의사소통 방법과 같은 자연스러운 방법을 사람과 컴퓨터의 인터페이스 방법에 적용하려는 연구가 진행되고 있다^[1]. 사람들은 실세계의 대부분 작업들을 손을 사용하여 이루어지기 때문에, 이러한 연구들 중에서도 능숙하고 정교하며 자연스러운 손을 사용한 사람과 컴퓨터의 접속 장치에

대한 연구(HCI)가 활발히 진행되고 있다^[2]. 손 제스처 중에서 수화는 일상 생활에서 사용되는 다양하고 복잡한 의사를 전달할 수 있는 잘 정의되어 있고 체계화된 제스처로 상징적 의사 소통을 위한 언어적 정보를 전달하고 있으며, 자연 언어에 상응하는 동작들이 있어서 다양한 표현이 가능하다^[3]. 그러므로 수화 인식에 대한 연구는 인간의 다양한 손 제스처에 대한 체계적인 접근으로 컴퓨터와의 자연스런 인터페이스 개발에 활용될 수 있다. 또한 수화 인식 시스템을 이용하여 청각 장애인과 일반인 사이에 원활한 의사소통을 위한 수화 통역 시스템으로 개발될 수 있다.

청각 장애인이 의사 소통에 사용하는 손 제스처는 수화와 지화가 있다. 수화는 동적인 손 제스처로 손의 움직임과 손의 모양에 의하여 의미를 전달하며, 지화는 손의 형태(hand shape)에 의하여 한글 자모를 표현하는 지문자의 조합에 의하여 글자를 표현하는 정적인 제스처이다. 다양한 의사 전달을 위하여 청각 장애인은 수화와 지화를 섞어서 사용하며, 명확한 의사 전달을 위하여 한글 표준 수화^[4]에서는 조사나 어미 등을 지문자를 이용하여 표현한다. 그러므로 청각 장애인의 의사 소통 수단으로서 수화 인식 시스템을 개발하는데 있어서는 연속된 수화 제스처의 실시간 인식이 요구되며, 수화와 지화가 섞인 제스처에서 수화와 지화를 구분하여 적절한 의미를 해석할 수 있어야 한다.

수화를 포함한 손 제스처는 제스처의 시작과 끝에 대한 명확한 표시가 없어서 연속 제스처를 구분하는데 어려움이 있고, 손 제스처의 다양한 변화 요소로 인하여 손 제스처의 의미를 해석하는데 있어서도 어려움이 있다. 손 제스처의 의미를 해석하는데 있어서 손 제스처의 다양한 의미 요소를 고려하기 위하여 다양한 시도^[5-8,22]들이 있었지만 수화 언어 체계를 고려한 의미 확장이 고려되지는 못하고 있다. 또한 연속적인 제스처를 인식하기 위한 연구^[6,10-11,22]들이 다양하게 진행되고 있으나 의도적인 제스처와 단순히 이동을 위한 제스처를 구분하는데 어려움이 있고, 수화와 같은 동적인 제스처 인식과 지문자와 같은 정적인 제스처 인식이 동시에 고려되지 못하고 있다.

지문자를 포함한 한글 수화의 인식을 위하여 연속적인 제스처에서 개별 제스처를 구분해야 하며, 의도적인 제스처인지를 판별할 수 있어야 하며, 정적인 제스처와 동적인 제스처를 동시에 인식해야 한다. 본 논문

에서는 연속적인 제스처에서 개별 제스처를 분리하고, 의도적인 제스처와 의미 없는 이동 제스처를 구분하기 위하여 속력과 속력 변화를 이용하여 동작 위상(phase)을 나누고, 상태 오토마타(automata)^[12]를 이용하여 동작 상태를 구분한다. 다양하고 복잡한 수화와 지문자를 인식하기 위하여, 3가지의 의미 요소인 손운동(hand direction), 손모양(hand posture), 손방향(hand orientation)에 대한 기본 요소 인식을 구성하고, 동작 상태에 따라 적절한 인식과 해석을 통하여 수행된 개별 제스처의 의미를 인식한다. 본 논문에서는 지문자가 섞인 한글 문장에서 기본 수화 단어 131가지와 지문자 31가지를 연속적으로 인식하는 시스템을 구현하였다.

II장에서는 한글 수화에 대한 형태 분석을 통하여 지문자 요소를 고려한 의미해석을 위한 기본 요소를 설정한다. III장에서는 제스처의 운동 상태 구분을 위하여 동작 위상(phase)과 동작 상태(state)를 정의하고, 상태 오토마타를 이용하여 동작 상태를 구분하며, 기본 요소 인식 결과를 이용한 수화 해석기와 지화 해석기를 구현한다. IV장에서는 구현된 전체 시스템의 구성 및 실험 결과를 보인다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 한글 수화 분석 및 기본 요소 설정

수화를 사용한 의사 전달에 있어서 기본 요소는 수화 어휘(sign words), 지문자(finger spelling), 몸짓(gesture)의 세 가지로 볼 수 있으며^[13], 표준 한글 수화에서는 수화와 지문자 및 지숫자를 병용하여 사용하고 있다^[4]. 그리고 한글 수화는 손의 운동이나 손의 모양뿐 아니라 손의 방향이나 손의 위치에 따라 의미가 달라진다. 본 연구는 이러한 수화의 특성을 고려하여 새로운 수화 어휘의 확장이 용이하도록 기본 요소를 설정하였다.

1. 한글 수화의 형태적 분석

본 연구에서는 31가지 기본 지화와 문법적 수화인 '표준 한글 중학 수화 I'^[14]을 바탕으로 131가지의 기본 단어를 인식 대상으로 설정하였다. 여기서 문법적 수화란 1991년 표준화되어 발표된 것으로 한글 수화 문장은 수화 기호와 지문자를 병용하여 국어 문법에 맞게 표시하는 것을 원칙으로 하고 있다^[4]. 이 문법적 수화는 조사나 어미를 지문자로 표현하므로 전통

적 수화에 비하여 정확하게 의사를 표현할 수 있다. 수화 단어는 기본 단어, 유사 단어, 복합 단어로 나눌 수 있으며^[15] 본 논문에서 연구 대상으로 하는 수화 단어는 하나의 제스처에 의하여 하나의 의미를 전달하는 기본단어이다.

131단어는 '표준 중학 수화 I' 교과서에 나오는 600여 단어를 분석하여, 200여 개의 복합단어와 손운동이 없는 기본 단어, 그리고 유사 단어를 제외한 단어들 중에서 동작이 끝날 때 손모양이 일정하며, 손 제스처의 운동이 정면이나 수평 전후 운동인 제스처를 인식 대상으로 설정되었다.

지화는 그림 1와 같이 한글 자모를 바탕으로 정해진 고정된 손형태(hand shape)에 의하여 한글을 표현하는 것으로, 손모양(hand posture)과 손방향(hand orientation)에 의하여 구분할 수 있다. 기본 지문자는 14개의 단자음과 10개의 단모음, 그리고 7개의 복모음으로 구성되어 모두 31가지의 손형태로 이루어져 있다.

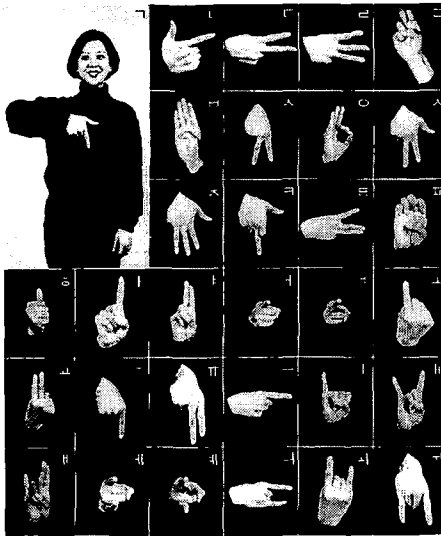


그림 1. 한글 지화^[21]
Fig. 1. Korean Manual Alphabet^[21].

2. 지화 요소를 고려한 기본 요소 설정

수화는 수화소(chereme)라는 의미 구분의 기본 요소로 이루어져 있다^[13]. 이 수화소는 구어에서 음소와 유사한 것으로, 임의의 수화는 수화소의 결합에 의하여 표현될 수 있으며, 수화소의 요소가 달라짐에 따라 다른 의미를 나타낸다. 수화를 구성하는 기본 요소는 연구자의 관점과 국가에 따라 다소의 차이가 있다.

한글 수화에 대해서는 석동일^[13]과 김승국^[16]에 의해 연구되었으며 공통적으로 사용된 기본 요소는 손운동, 손모양, 손방향, 그리고 손위치이다.

실제 수화 인식 시스템의 구현에 한글 수화를 분석하여 의미 요소를 정의하여 사용한 경우는 J. S. Kim^[6]에 의하여 시도되었으며, 표준 한글 수화를 분석하여 10가지 손운동과 14가지 손모양에 대한 인식기를 이용하여 25 단어를 인식하였다. 본 논문에서는 지화를 고려하여 손모양에 대한 유형을 확장하며, 손방향에 대한 기본 요소를 새롭게 설정하여 인식한다. 이로 인하여 수화와 지화를 동시에 인식할 수 있을 뿐 아니라, 다양한 수화를 구분하여 인식할 수 있다. 손위치에 대한 요소의 경우에는 손과 신체의 상대적인 위치로 손의 운동뿐 아니라, 신체에 대한 위치 정보도 필요하기 때문에 본 논문에서는 고려하지 않았다.

손운동 의미 요소는 수화에만 존재하는데, 손의 실제 이동이 있는 경우만 고려하여 J. S. Kim^[6]에 의하여 설정되었던 10가지의 기본 손운동에 수평 전후 운동을 추가한 14가지의 손운동^[22]을 기본 의미 요소로 한다. 설정된 손운동 중에서 D_1 부터 D_{10} 까지는 수화자의 정면에서의 운동이고, D_{11} 부터 D_{14} 까지는 수평 전후 운동이다.

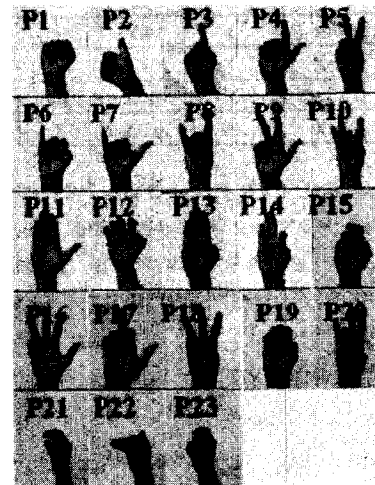


그림 2. 손모양 기본 요소(23가지)
Fig. 2. Basic elements of hand posture.

손모양에 대한 기본 요소는 J. S. Kim에 의하여 14가지가 설정^[6]^[22]되었는데, 이 요소는 수화의 기본 유형만을 대상으로 하고, 지문자나 수화 손모양의 확장된 요소에 대해서는 고려되고 있지 않다. 본 연구에

서는 지화와 수화가 섞인 손 제스처를 연속적으로 인식하기 위하여 지문자 인식을 위하여 6가지 기본 요소를 추가하고, 수화 인식 단어 확장을 위하여 3가지 요소를 추가하여 그림 2와 같은 23가지 손모양 기본 요소를 설정하였다.

손방향에 대한 기본 요소는 석동일의 수화 연구^[13]를 바탕으로 하여 손바닥과 손끝의 방향에 따라 분류하였으며 14가지를 설정하였다. 이 14가지는 지화 인식을 위해 꼭 필요한 기본 의미 요소 6가지($O_1 \sim O_6$)와 수화 인식을 위한 확장된 요소 8가지($O_7 \sim O_{14}$)로 구성되어 있다. 손방향은 손바닥과 손끝의 방향에 따라 표 1 과 같이 설정하였다.

표 1. 기본 손방향 유형
Table 1. Basic hand orientation.

손끝 \ 손바닥	위	아래	앞	뒤	좌	우
위	X	X	O_1	O_3	O_6	O_{13}
아래	X	X	X	O_4	O_{12}	X
앞	O_7	O_9	X	X	O_2	O_{14}
뒤	X	X	X	X	X	X
좌	O_8	O_{10}	X	O_5	X	X
우	X	O_{11}	X	X	X	X

본 연구에서는 이상과 같이 설정한 14가지 손운동 유형, 23가지 손모양 유형 그리고 14가지 손방향 유형의 기본 의미 요소 인식을 통하여 연속적인 수화와 지화를 인식한다.

III. 동작 상태 인식과 의미 해석

자연스러운 한글 수화 인식 시스템을 위해서는 연속적인 제스처에서 개별 제스처를 분리해야 할 뿐 아니라 의도적인 제스처에서 의미 없는 제스처를 분리해야 한다. 이를 위하여 의도적인 제스처를 구분하기 위한 규칙을 제시하고, 상태 오토마타를 이용하여 규칙을 만족시키는 제스처를 구분하였다. 또한 제스처의 의미 해석에 있어서 수화와 지화를 동시에 인식하기 위하여 관리자(supervisor)를 두어 기본 요소 인식 결과를 이용한 수화 해석 또는 지화 해석을 하도록 하였다.

1. 동작 상태 인식

손 제스처를 인식에 있어서 연속적으로 수행되는 손 제스처에서 제스처의 시작이나 끝을 분리하는 것이 매

우 어려운 문제이다^[17]. 이러한 문제들로 인하여 미리 구분된 개별 제스처만을 인식하는 시스템^{[5] [8]}을 구현하거나 최근 들어서 음성 인식에 사용되는 은닉 마코프 모델을 이용하여 연속된 제스처를 인식하기 위한 시도^{[11] [17]}들이 있다. 은닉 마코프 모델을 이용한 경우에 동작 추가가 어렵고, 의도적인 제스처와 의미 없는 제스처를 구분하기는 힘들다.

연속된 한국 수화의 인식에 있어서는 비전 시스템에서 동영상에서 추출한 키프레임을 이용^[23]하거나 장갑 장치를 이용한 시스템에서 동작 영역 분할(partition of region)^[6], 또는 특징 추출을 이용한 방법^[22]이 시도되었다. 한글 수화를 인식하기 위하여 동작 영역을 분할하고 이 영역의 변화를 이용하여 연속된 제스처를 인식하려고 하는 경우^[6]에는 이동을 위한 손운동에 대해서 잘못된 인식 결과를 가져오거나 이전의 손운동에 대한 잘못된 인식결과가 이후에도 영향을 미치게 된다. 또한 특징 추출에 의한 연속된 손운동의 인식의 경우^[22]에 있어서도 손운동 인식 여부에 의한 개별 제스처의 분류의 경우에는 연속된 제스처에서 개별 제스처로의 정확한 분리가 되지 않아 개별 제스처의 특징 추출에 문제를 발생한다.

연속된 한글 수화에서 개별 제스처를 분리하기 위하여 사람의 손 제스처, 특히 수화와 지화가 섞인 연속 제스처를 분석하였다. 전형적인 손 제스처는 준비(preparation), 스트로크(stroke), 복귀(retraction)의 세 단계로 나눌 수 있으며, 그 중에서도 스트로크는 다른 두 단계와 속도, 가속도에 있어서 큰 차이가 있다. 실제 어떤 의미를 전달하고자 하는 의도적인 제스처의 경우에는 부드러운 움직임이 아니라 힘을 가하는 강한 움직임이 있는 명확한 시작점(onset)이 존재한다^[3]. 이와 같이 사람이 의도적인 제스처와 의미 없는 제스처를 구분하는데 있어서 중요한 요소는 제스처의 수행에 있어서 속력과 속력의 변화를 바탕으로 한 제스처의 흐름이다. 그러므로 연속된 제스처에서 수화 제스처 상태와 지화 제스처 상태를 구분하고 의도적인 제스처와 의미 없는 이동을 위한 제스처를 구분하기 위하여 이전의 데이터의 변화 유형을 고려한 동작 상태의 인식이 필요하다.

Quek은 손 제스처의 상태 구분을 위한 6가지 규칙^[3]을 제시한 바 있다. 이러한 손 제스처의 움직임에 대한 규칙들과 한글 수화와 지화의 동작을 관찰하여, 의미 있는 한글 수화와 지화의 상태 구분을 위하여 다

음과 같은 규칙을 얻었다.

규칙 1 : 수화는 정지(rest)상태에서 시작하여 어떤 문턱값(threshold) 이상의 값을 가지는 스트로크 상태를 지나 처음 위치로 오거나 다음 동작을 위해 이동한 위치에서 정지 상태로 끝난다.

규칙 2 : 스트로크 단계의 손모양은 설정한 기본 손모양 중의 하나로 동작이 끝날 때까지 유지된다.

규칙 3 : 한 정지 상태에서 다음 정지 상태로의 지속의 움직임은 의미 있는 수화 제스처가 아니다.

규칙 4 : 지화 제스처를 수행할 때, 각 지문자마다 일정한 시간의 정지 상태가 유지된다.

규칙 5 : 방향 변화가 있는 동작은 의미가 구분되는 하나의 개별 수화 제스처를 이룬다.

규칙 6 : 의미 있는 한 수화의 끝에는 다음에 수행되는 수화와 구분할 수 있는 명확한 속도 감소가 있다.

이러한 규칙을 바탕으로 연속 제스처에서 개별 제스처를 분리하고 의도적인 수화 제스처를 인식하기 위하여 한글 수화 및 지화의 동작 위상을 구분하고 한글 수화를 위한 상태 오토마타를 구현하였다.

동작 위상(motion phase)은 속력과 속력 변화 성분을 분석하여 '정지 위상', '준비 위상', '스트로크 위상', '동작진행 위상', '동작끝 위상'의 5가지로 구분하였다. 표 2는 이 각각의 위상들을 구분하기 위한 조건들을 나타낸다. 여기서 속력과 속력 변화는 3차원 x, y, z 에 대하여 식 (1)에 의해서 구할 수 있다. 여기서 k 는 현재 샘플링 시간을 의미하며, Δt 는 이전 샘플링 시간과 현재 샘플링 시간의 시간차를 의미한다.

$$v(k) = \sqrt{x^2(k) + y^2(k) + z^2(k)} / \Delta t$$

$$\Delta v = v(k) - v(k-1)$$

(1)

동작 상태를 인식하기 위한 상태 오토마타는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$(E, X, \Gamma, f, x_0)$$

(2)

- $E = \{0, 1, 2, 3, 4\}$
- $X = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9\}$
- f 상태전이함수
- x_0 초기상태(q_0)
- Γ 각상태에서발생가능사건집합

표 2. 동작 위상 구분을 위한 속력과 속력 변화 조건

Table 2. Conditions for segmentation of motion phase.

동작 위상(사건) \ 동작 상태	속력	속력 변화
정지(0)	0	$\pm, 0$
준비(1)	+	+,-
스트로크(2)	+++	++
동작중(3)	++	+0,-
동작끝(4)	+	--

0: 움직임 없음 +:느림 ++:빠름 +++:아주 빠름 -:속력감소

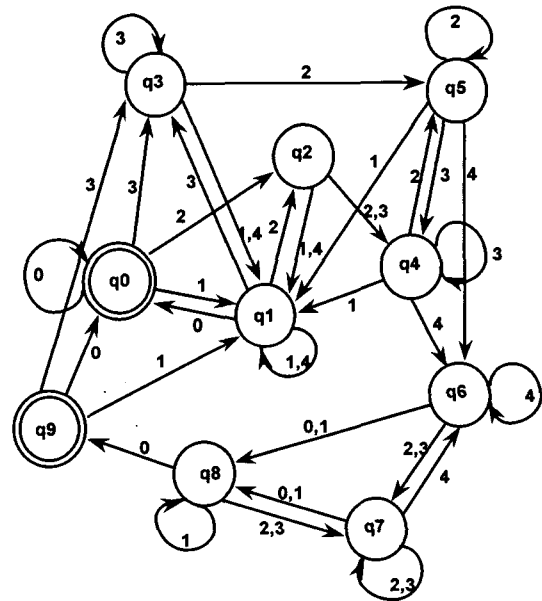


그림 3. 한글 수화와 지화를 위한 상태 전이 다이어그램
Fig. 3. State transition diagram for KSL and KMA.

여기서, E 는 사건 집합, 즉 상태 변화를 일으키는 입력이 되는 것으로 0은 정지위상, 1은 준비 위상과 같이 각 샘플 데이터로부터 구분한 동작 위상을 표시한다. X 는 입력 동작 위상의 흐름에 따라 발생 가능한 제스처의 상태로 한글 수화와 지화 인식을 위하여 10가지의 동작 상태($q_0 - q_9$)가 정의되었다. 각 상태는 개별 수화 제스처 수행 중에서 진행 상태가 구분되는 것으로 상태에 따라 수행되는 기본 요소 인식기의 기능이 다르게 된다. 표 3은 각 동작 상태에 대한 설명과 동작 상태에 따라 수행되는 기본 요소 인식기의 기

능을 보여준다. I 는 상태 전이 함수로 그림 3과 같은 상태 전이 다이어그램으로 표현할 수 있다. I 는 각 동작 상태에서 발생 가능한 사건(동작 위상)이다. 가령, q_2 는 스트로크가 발생한 상태로, 이 상태에서는 정지 상태는 발생하지 않기 때문에 $I(q_2)$ 에 정지위상이 포함되지 않는다. x_0 는 초기 상태로 수화와 지화 인식을 위한 초기 상태는 q_0 의 정지 상태이다.

표 3. 동작 상태 설명
Table 3. Description of motion state.

동작 상태	상태 설명	현재 위상	기본 요소 인식기의 기능
q_0	손운동이 없는 상태, 지화 제스처를 수행하고 있는 상태	정지 위상	인식기초기화 지화 인식
q_1	제스처를 위한 준비 상태, 이동을 위한 저속의 움직임, 의도하지 않은 작은 움직임 상태	준비 위상, 동작끝 위상	손운동초기화 손방향 인식
q_2	제스처가 시작 될 때 수행되는 초기에 강한 움직임 상태	스트로크 위상	손운동 특징 추출
q_3	스트로크가 발생하지 않은 상태에서 수행되는 운동 상태.	동작진행 위상	손운동 특징 추출
q_4	스트로크가 발생한 후에 수행되는 운동 상태	동작진행 위상	손운동 특징 추출
q_5	동작 진행중 스트로크가 발생한 상태	스트로크 위상	손운동 특징 추출
q_6	스트로크가 있었던 움직임 중에 발생한 동작끝 위상, 의미 있는 동작 끝	동작끝 위상	손운동 특징 추출 손모양 인식
q_7	의미 있는 동작 끝 위상 후 발생하는 반복 동작 수행 상태	스트로크 위상, 동작끝 위상	손운동 특징 추출
q_8	의도적인 제스처 수행이 끝난 상태	준비 위상, 정지 위상	손운동 인식
q_9	의도적인 제스처 수행 후 발생한 정지 상태	정지 위상	수화 인식

의미 전달을 위한 수화 제스처는 정규 표현(regular expression)을 통하여 식(3)과 같은 가능한 언어(possible language)^[12]로 표현 될 수 있다.

$$q_0(q_1 + q_3)^*(q_2 + q_5)q_4^+q_6q_8q_9 \quad (3)$$

즉, 동작 정지 상태인 q_0 에서 시작하여 움직임이 작게 일어나거나 스트로크가 발생하지 않고 움직임이 일어나다가 스트로크가 발생하고($q_2 + q_5$) 계속 움직임이 진행하다가(q_4^+) 동작끝 위상을 거쳐 준비 상태(q_6)를 거쳐 의미 있는 제스처의 동작끝(q_9)상태에 도달하게 된다. 이와 같은 상태 오토마타의 상태 전이 결과가 동작끝(q_9)상태에 도달하면 의도적인 제스처로 간주하여 의미 해석을 하게 된다.

2. 기본 요소 인식과 의미 해석

복잡한 수화와 지화 제스처를 효율적으로 인식하고, 확장성이 용이한 시스템을 구현하기 위하여 손운동, 손모양, 손방향에 대한 기본 요소 인식기와 의미 요소 인식기를 설계하였다.

(가) 특징 추출과 퍼지 규칙에 의한 손운동 인식

속력 변화가 있는 동적 손 제스처의 경우에 각각의 제스처를 구성하는 샘플 데이터의 개수가 서로 다르며, 사람에 따른 측정값의 차이도 크다. 본 논문에서는 경계가 명확하지 않고 수행시간도 균일하지 않은 손 제스처를 인식하기 위하여 특징 추출과 퍼지 규칙을 사용하였다. x, y, z 축의 3차원 공간상의 손운동 궤적에서 14가지의 손운동 유형을 효과적으로 인식하기 위하여 각 축에 대하여 누적 운동 거리(cumulative length of motion), 상대적인 동작 끝 위치(relative ending position), 방향 변화 횟수(number of direction change)와 정면과 수평면에 대한 누적 방향 변화량(cumulative phase of direction change)에 대한 특징 값을 추출하였다. 이 특징 값들에 대하여 각 특징 값을 하나의 언어 변수로 하여 언어 표지(linguistic label)를 할당하였다. 언어 표지를 위한 소속함수는 퍼지 c-means 알고리즘을 통한 클러스터링 결과를 이용하여 중형의 소속함수를 위한 중심과 편차를 정하고 각 클래스에 대하여 생성된 퍼지 규칙에 대한 테스트에 의하여 정의된 중심과 편차를 수정한다. 그림 4는 x 축 방향으로의 이동 거리에 대한 특징값에 대하여 4개의 클러스터로 클러스터링한 결과이며 그림 5는 테스트를 통한 수정후의 소속 함수의 모습이다. 식 (4)는 수평 우향 운동을 인식하기 위한 퍼지 규칙^[22]의 예이다.

$$D_2: (T_x = PS \text{ or } T_x = PM) \text{ and } T_y = ZO \text{ and } T_z = ZO \quad (4) \\ \text{and } (R_x = PM \text{ or } R_x = PL) \text{ and } CD_x = ZO$$

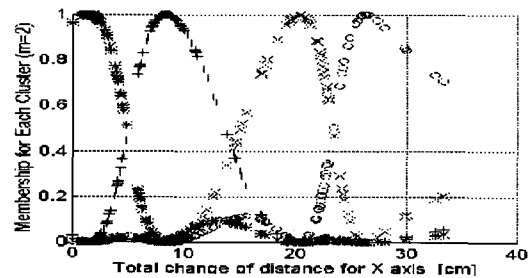


그림 4. 클러스터링 예
Fig. 4. Example of clustering.

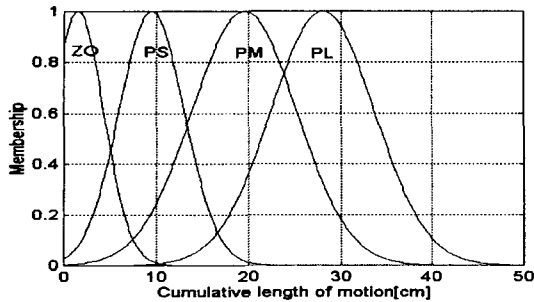


그림 5. 소속함수의 예
Fig. 5. Example of membership function.

이러한 각 손운동 유형에 대하여 설정된 규칙에 대하여 실제 인식에서는 입력 특징 변수들을 설정된 퍼지 소속 함수에 의하여 퍼지 소속 함수 값을 구하고, Mamdani의 max-min^[18] 방법에 의하여 추론한다. 추론 결과는 특징 벡터가 설정된 퍼지 규칙 패턴 클래스에 얼마나 유사한가를 보여 준다. 각 유형의 추론 결과에 대하여 일정 임계값을 넘는 최대값을 가지는 클래스가 인식결과로 출력된다. 여기서 임계값은 인식에 요구되는 정확도에 따라 달라지게 된다.

(나) 퍼지 최소-최대 신경망에 의한 손모양 인식과 손 방향 인식

퍼지 최소-최대 신경망 구조^[19]는 각 클래스가 퍼지 집합으로 표현되는 초평면의 합집합으로 표현된다. 소속함수는 식(5)로 표시되는데, 여기서 $A_k = (a_{k1}, a_{k2}, a_{k3}, \dots, a_{kn}) \in I^n$ 으로 k 번째의 입력 패턴이다. $V_j = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jm}\}$ 은 B_j 를 위한 최소값들이고, $W_j = \{w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm}\}$ 은 B_j 를 위한 최대값들이다. γ 는 민감도 계수(sensitivity parameter)로 초평면에서 멀어짐에 따라 소속 함수의 크기가 얼마나 빠르게 감소할 것인가를 결정한다. 이 소속함수에 의하여 임의의 제스처가 각 클래스의 설정된 패턴과 얼마나 유사한가를 보여준다. 확장은 식(6)과 같은 확장 기준(expansion criterion)을 만족하는 경우에 이루어진다.

$$b_j(A_k) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [\max(0, 1 - \max(0, \gamma \min(1, a_{ki} - w_{ji}))) + \max(0, 1 - \max(0, \gamma \min(1, v_{ji} - a_{ki})))] \quad (5)$$

$$\theta \geq \sum_{i=1}^N \max(w_{ji}, x_{ki}) - \min(v_{ji} - x_{ki}) / n \quad (6)$$

그림 2와 같이 설정된 23개의 손모양 인식을 위한 입력 데이터 A_k 는 미세 조정으로 [0,1]로 정규화된

손가락 굽힘에 대한 10개의 센서 데이터를 이용하여 인식한다. 표1과 같이 설정된 14개의 손방향 인식을 위해서는 자장 추적 장치에서 얻은 3개의 방향에 대한 데이터를 [0,1]로 정규화한 데이터를 사용하였다.

(다) 제스처 의미 해석

실제로 수행된 제스처의 의미를 해석하기 위해서는 상태에 따라 적절한 인식기를 이용하여 필요한 제스처의 의미 요소를 파악하여 해석하는 것이 필요하다. 그림 6은 양손 수화 인식 시스템의 전체 구조를 나타낸다. 수화 인식 루틴에는 양손의 각 요소 인식기의 인식 결과가 사용되고 지화 인식 루틴(KMA recognition)에서는 한손의 손모양과 손방향의 인식 결과가 사용되는데 이러한 인식 루틴의 변화는 관리자(supervisor)가 담당하게 된다. 즉 관리자는 정지한 상태(q_0)에 대하여 손모양과 손방향의 인식 결과를 지화 인식기에 보내고 움직임이 있거나 손모양이나 손방향이 바뀌면 다른 지화 또는 수화를 인식하게 한다. 또한 한손 수화가 끝나거나 양손 수화 제스처의 경우, 한손의 움직임이 끝나고 다른 손의 움직임이 진행중일 때, 다른 손의 움직임도 끝나면 양손의 제스처의 의미를 해석하도록 한다.

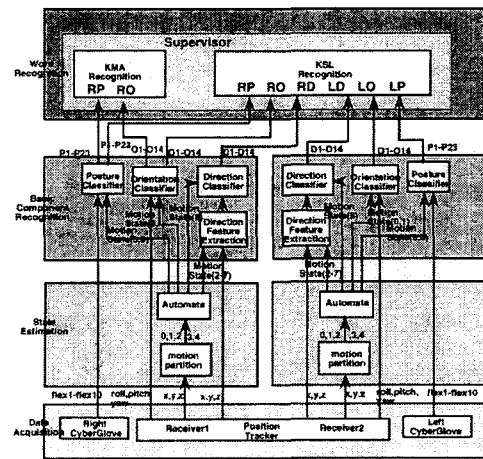


그림 6. 양손 수화 인식 시스템
Fig. 6. KSL recognition system using both hands.

지화 인식(KMA recognition) 루틴에서는 테스트 결과가 일정한 시간 동안 동일하게 유지될 경우 의미 있는 지화로 인식하게 된다. 지화 해석기는 인식된 손모양과 손방향을 통하여 31개의 기본 지화 중에 어느 지화인지를 인식하게 된다. 표4는 손모양과 손방향에

따라 인식되는 지문자로 가령, ‘ㄱ’의 경우 손모양은 P_4 , 손방향은 O_4 에 해당한다.

표 4. 손모양과 손방향에 따른 인식 지화
Table 4. Recognized KMA classified by hand posture and hand orientation.

손모양	손방향	인식	손모양	손방향	인식
2	2	ㅎ	8	2	개
3	1	ㅏ		3	ㄱ
	2	ㅑ		4	ㄴ
	3	ㅓ		5	ㄷ
4	4	ㅕ	9	4	ㅈ
	5	ㅗ	13	1	ㅂ
5	4	ㅛ	14	6	ㅇ
	5	ㅜ	15	1	ㅁ
6	1	ㅓ	16	4	ㅅ
	2	ㅕ	17	4	ㅋ
	3	ㅗ	18	5	ㄹ, ㅌ*
	4	ㅛ, ㅕ*	19	1	ㅍ
	5	ㅜ	20	1	ㅈ
7	1	ㅣ	2	ㅊ	
8	1	ㅈ	계		31

* : ㅓ과 ㅛ, ㅕ과 ㅌ은 유사한 손모양을 이루고 있어 동일한 손모양 유형으로 분류한 후 집게손가락과 가운데손가락의 벌어짐에 의하여 구분한다.

그리고 수화를 해석하기 위해서는 손운동, 손모양에 대한 인식과 유사한 수화를 세분하기 위하여 손방향에 대한 인식이 필요하다. 그림 7은 각 손에서 동작 상태에 따른 수화의 기본 요소 인식을 위한 수행 기능을 보여 준다. 표 3에서도 보여 주듯이 q_0 에서는 인식기를 위한 초기화를 수행하고 지화 인식을 위하여 손모양과 손방향을 인식한다. q_1 에서는 손운동 시작 위치에서의 손방향을 인식하고 q_2 부터 q_7 에서 움직임 있는 제스처가 수행되는 상태로 손운동 인식을 위한 특징을 추출한다. 이런 특징 추출 결과를 가지고 q_8 에서는 손운동을 인식한다. q_8 은 동작이 끝나는 상태로 이때 손모양도 인식하게 된다. 이러한 결과를 가지고 수화의 의미를 q_9 에서 양손 운동의 여부에 따라 양손 대칭 수화, 양손 비대칭 수화, 왼손 고정 수화, 오른손 수화로 나누어 수화의 의미를 해석하게 된다.

KSL Recognition System

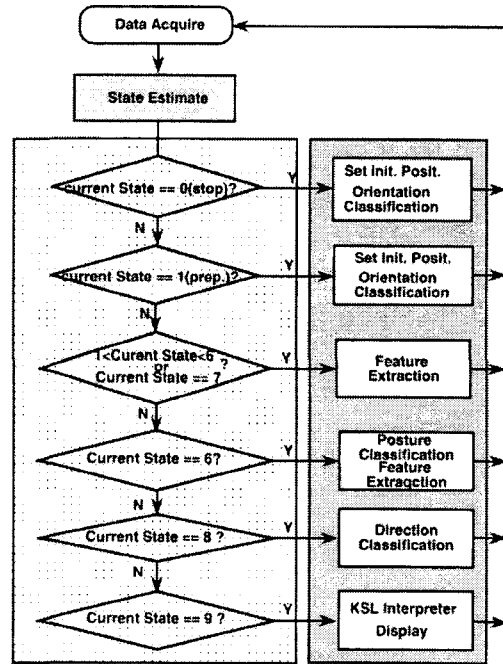


그림 7. 동작 상태에 따른 수화 요소 인식
Fig. 7. Recognition of basic elements for KSL according to motion state.

IV. 실험 결과

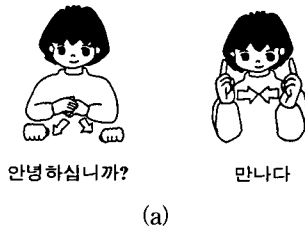
구현된 한글 수화 및 지화 인식 시스템은 그림 8과 같다. 실시간 인식 시스템을 구현하기 위하여 손 굽힘 측정을 위한 장갑 장치로 Virtual Tech.의 Cyber-GloveTM [20]가 사용되었으며, 손위치 측정을 위한 자장 추적 장치는 Polhemus사의 FastrackTM을 사용하였다. 주 컴퓨터는 실리콘그래픽사의 Indigo2TM를 이용했으며, Multiport I/O 카드인 Specialix의 XIO 보드를 이용하여 Serial Port를 확장하고 RS232C 통신을 통하여 38400 Baud rate로 데이터를 주고받는다. 동기 신호는 CyberGloveTM의 외부 동기 신호를 사용하여 15Hz로 발생 시켜 이를 이용하여 자장 추적 장치를 구동하며 두 센서 장비의 신호가 다르기 때문에 변환 회로를 따로 구현하여 연결하였다. 하드웨어에 의한 데이터 획득의 동기화에 의하여 정확한 동기화를 얻을 수 있었으며 시스템에 부하도 줄일 수 있었다.

그림 9는 ‘안녕하십니까? 만나서’ 라는 연속으로 수행된 두 수화 제스처에 대하여 속력과 속력 변화율이 이

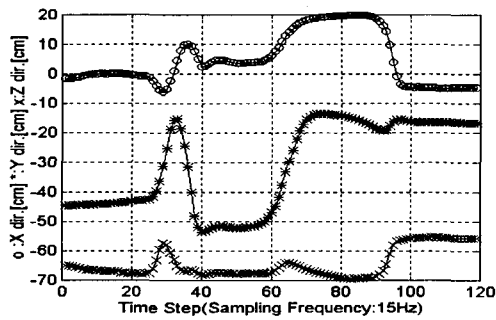
용하여 동작 위상을 구분하고, 의미 있는 한글 수화와 지화를 위한 규칙에 따라 구현된 오토마타를 이용하여 동작 상태를 구분한 것이다. 그림 9 (d)의 위상 구분에 의해서는 이동을 위한 제스처를 포함하여 손운동이 있는 3개의 동작이 존재하나 그림 9 (e)의 오토마타 동작 상태를 통하여 3개의 손운동 중에 가운데 것은 동작 상태가 q_9 의 의도적인 제스처 상태에 도달하지 못하여 의도적인 제스처가 아님을 알 수 있다. 그리고 각 상태를 통하여 연속적인 제스처에서 개별 제스처를 구분할 수 있다. 일반적으로 개별 제스처는 q_0 에서 시작하게 된다.



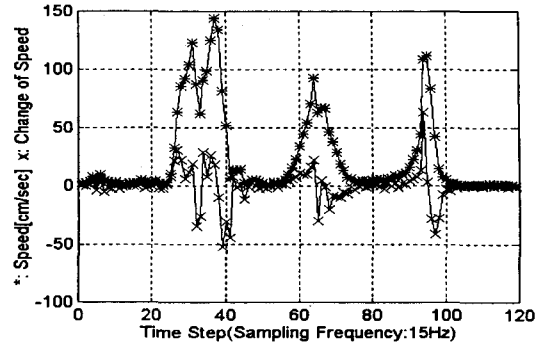
그림 8. 구현된 한글 수화 및 지화 인식 시스템
Fig. 8. Implemented recognition system for KSL & KMA.



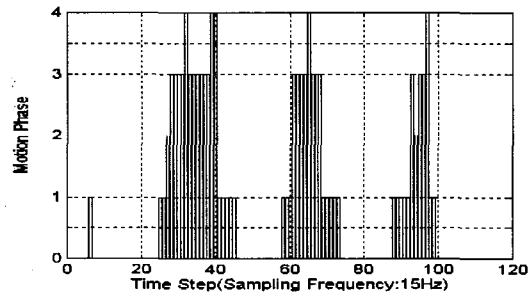
(a)



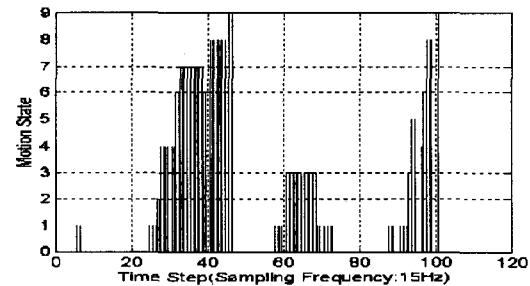
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 9. 연속된 수화 제스처의 동작 상태 구분 예 : '안녕하십니까? 만나서'
(a) 수화 제스처 (b) 3차원 운동 궤적 (c) 속력과 속력 변화 (d) 위상 구분 (e) 오토마타 동작 상태

Fig. 9. Example of segmentation of motion state for continuous signs : "Hello & Meet".

(a) sign gesture (b) plot of 3D movement (c) speed and change of speed (d) segmentation of motion phase (e) motion states of automata

그림 10은 '나+나+→나' 이라는 수화와 지화가 쉬운 제스처에 대하여 각 요소에 대한 인식 결과를 보인다. 오토마타 상태에서 제스처의 끝을 인식하여 '나'라는 수화를 해석하며, 일정기간 정지 상태가 유지되

는 경우 지화 인식을 하게 된다. '나'라는 수화 제스처는 왼손 운동이 없는 한손 제스처로 오른손 손운동이 D_{11} 이고 오른손 손모양이 P_3 인 기본 요소 인식 결과를 이용하여 수화 해석기에 의하여 '나'라는 제스처를 인식하게 된다. 지화 'L'의 경우, 손모양이 P_4 이고 손방향이 O_5 인 결과를 이용하여 표 4에서와 같이 'L'으로 인식하게 된다.

본 논문에서는 31개의 지문자와 131개의 한글 수화에 대하여 인식률을 테스트하였다. 수화의 경우에는 인식, 기각, 오인식의 3가지로 나누었으며, 지화의 경우에는 인식과 오인식의 2가지로 나누었다. 기각은 연속 제스처의 수행 중에 이동을 위한 제스처나 의미 없는 제스처에 의해 발생하게 된다.

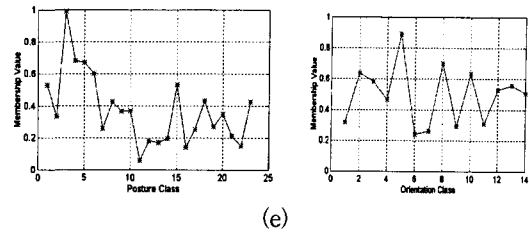
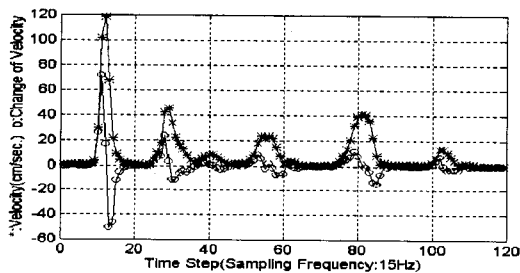
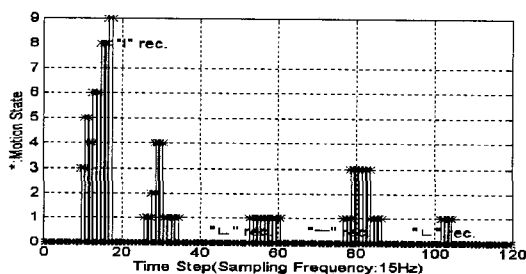


그림 10. '나+L+--+L'의 인식 예
(a) 3차원 궤적 (b) 오토마타 상태 (c) 수화 '나'의 인식 결과 (d) 지화 'L'의 인식 결과 (e) 지화 '—'의 인식 결과

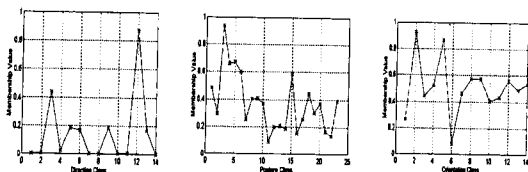
Fig. 10. Recognition result of '나+L+--+L'.
(a) plot of 3D motion (b) motion state of automata (c) recognition result for sign 'I' (d) recognition result of KMA 'L' (e) recognition result of KMA '—'



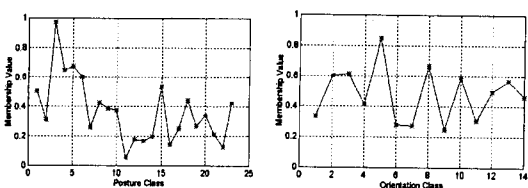
(a)



(b)



(c)



(d)

또한 수화의 각 요소 인식기에서 인식 결과가 어떤 임계값(threshold)을 넘지 못하여 발생하거나 각 요소 인식 결과를 이용한 의미 해석에서 해당하는 수화가 없는 경우에 발생한다. 이런 기각의 경우는 제스처 인식 결과에 대하여 아무런 인식 결과도 보여 주지 않기 때문에 새로운 제스처를 수행할 수 있다.

지화 인식률 테스트는 '—L—'순으로 수행되었으며, 31개의 지문자에 대하여 96.7%의 인식률을 보였다. 오인식은 손방향 인식에서 많이 발생했는데 이는 손방향의 분류는 손등을 중심으로 구분되었지만 실제 센서는 손목에 붙어 있기 때문에 발생한 문제이다. 수화의 경우에는 연속으로 각 제스처에 대하여 반복 동작을 수행하여 인식률을 테스트하였다. 전체 테스트에 대한 인식률은 80.1%였으며, 기각 14% 오인식 4.9%였다. 여기서 기각을 제외하고 의도한 제스처에 대한 인식률을 살펴보면, 즉 인식과 오인식의 결과만을 살펴보면 인식률은 94.3%로 크게 향상된다. 이는 상태 오토마타에서 의도적이지 않았던 제스처를 의도적인 제스처로 잘못 구분하였어도 인식기에서 기각 능력으로 인하여 결과를 인식하지 않거나 애매한 데이터나 잘못된 제스처에 대하여 다시 제스처 수행을 요구하여 인식할 수 있음을 의미한다. 각 제스처에서 인식률은 복잡한 양손 제스처의 경우, 왼손 고정 제스처나 오른손 제스처에 비하여 인식률이 많이 떨어진다. 이는 복잡한 제스처의 경우에는 여러 요소 중 어느 한 요소의 잘못에 의해서도 인식을 할 수 없기 때문이다. 수화 제스처의 오인식이나 기각은 수화 동작의 미숙으로 인하여 복귀 동작을 새로운 동작으로 인식하여 해석하는

경우가 가장 많았으며, 수화 제스처에서 원운동과 방향 변화 운동과 관련된 손운동 인식의 오류, 그리고 손모양과 손방향에 있어서의 오류, 그리고 센서 데이터의 잡음 등에 기인한다.

V. 결 론

본 논문에서는 인간의 손 제스처를 실시간으로 인식하는 시스템을 구현하였다. 인식 대상은 손 제스처 중에서 잘 정의되고 체계적인 언어 구조를 가졌으며, 다양한 어휘를 갖고 있는, 청각 장애인들이 사용하는 수화를 대상으로 하였다. 다양하고 복잡한 손 제스처의 효과적인 인식을 위하여 손 제스처를 손운동, 손모양, 손방향의 기본 요소로 나누어 각 요소 인식기를 구현하였다. 속력과 속력 변화 성분을 이용하여 동작 위상을 구분하고 상태 오토마타를 이용하여 현재 동작 상태를 파악함으로써 연속적인 제스처에서 개별 제스처를 분리할 수 있었다. 또한 이 동작 상태 파악에 의하여 각 기본 요소를 효과적으로 인식할 수 있었다.

기본 요소 인식기를 위하여 손운동의 경우 특징 추출과 퍼지 규칙에 의한 인식기가 사용되었으며, 손모양과 손방향 인식기를 위하여 퍼지 최소-최대 신경망에 의하여 구현되었다. 이 기본 요소 인식기와 오토마타를 결합하여 지화 해석기와 수화 해석기를 구현하였다. 지화 해석기는 손모양과 손방향 인식 결과를 조합함으로써 얻게 되며, 31개의 기본 지문자에 대한 인식률은 96.7%였다. 기본 요소 인식 결과를 이용한 수화 해석기는 131개의 수화를 인식할 수 있는 시스템으로 구현되었다. 수화 인식 테스트에서 인식률은 80.1%로 나타났으며 기각된 경우를 제외할 경우에는 94% 이상의 인식률을 얻을 수 있었다.

현재 인식할 수 있는 수화 단어는 중학 수화 I에 있는 600개의 단어 중 131개의 기본 단어로 제한되어 있으나 인식대상을 확대할 경우에 지금의 시스템에서도 인식할 수 있는 단어의 수를 해석기에 새로운 단어를 추가함으로써 확장할 수 있다. 복합 단어와 유사 단어의 경우에는 문장의 의미에 따른 해석이 추가된다. 하지만 한글 수화 전체를 인식하고자 할 경우에는 손의 위치에 대한 추가 인식기가 필요하며 수화 인식을 위한 손운동, 손모양 그리고 손방향에 대한 기본 요소^{[4] [13] [16]}의 확장이 요구된다. 인식 결과의 자연스러운 표현을 위해서는 한글 문장의 특성을 고려한

해석기의 개발에 대한 연구가 필요하며, 수화 인식 시스템의 상용화를 위해서는 제스처 수행에서 동작이 자유롭지 못하고 고가인 장갑 장치를 대체할 수 있어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] T. S. Hung et al., "Hand Gesture modeling, Analysis, and Synthesis", Proc. of Int. Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Swiss, Zurich, June, 1995.
- [2] D. J. Sturman, "A Survey of Glove-based Input", *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 30-39, Jan., 1994.
- [3] K. H. Quek, "Toward a Vision-Based Hand Gesture Interface", in Proc. of the VRST94 Conf., pp. 17-31, 1994.
- [4] 김 승국 엮음, "표준 수화 사전", 오성 출판사, 1993
- [5] D. Rubine, "Specifying Gestures by Example", in proceedings ACM SIG-GRAPH 96, pp. 329-337, Jun. 1991.
- [6] Jong-Sung Kim, Won Jang, and Zeungnam Bien, "A Dynamic Gesture Recognition System for the Korean Sign Language(KSL)", *IEEE Trans., Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 26, no. 2, pp. 354-359, April, 1996.
- [7] S. S. Fels and G. E. Hinton, "Glove-talk: A neural network interface between a data-glove and a speech synthesizer", *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 4, pp. 2-8, Jan. 1993.
- [8] M. B. Waldron, S. W. Kim, "Isolated ASL Sign Recognition System for Deaf Persons", *IEEE Trans. On Rehabilitation Eng.*, vol. 3, no. 3, Sep., 1995.
- [9] Yamaguichi and et al., "Japanese Sign Language Recognition System using Information Infrastructure", in Proc. On Fuzzy System. FUZZ-IEEE95, pp. 65-66, Mar. 1995.
- [10] A. Wexelblat, "A Feature-Based Approach to Continuous-Gesture Analysis",

- M. S. Thesis, MIT, 1994.
- [11] T. Starner at el., "Visual Recognition of American Sign Language Using Hidden Markov Models", *Int. Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition*, Swiss, Zurich, June, 1995.
 - [12] C. G. Cassandras, "Discrete Event Systems", IRWIN, Boston.
 - [13] 석동일, "한국 수화의 언어학적 분석", 대구대학교, 박사 학위 논문 1989
 - [14] 교육부, '특수 학교(청각 장애) 중학부 수화 1', 국정교과서주식회사, 1993
 - [15] 최창석 외, "수화 동작의 인식 및 동영상 생성의 연구 동향", *전자공학 회지*, pp. 671-681, vol. 23, no. 6, 1996
 - [16] 김승국, "한국 수화 연구", 오성출판사, 1994.
 - [17] Y. H. Nam at el., "Recognition of Space-Time Hand-Gesture using Hidden Markov Model", *VRST*, 1996.
 - [18] D. Driankov at el, "An Introduction to Fuzzy Control", Springer-Verlag, 1993.
 - [19] P. Simpson, "Fuzzy Min-Max Neural Networks-Part 1: Classification", *IEEE Trans., Neural Networks*, vol. 3, pp. 776-786, Sep., 1992.
 - [20] Virtual Technologies, Inc., "CyberGloveTM Users Manual", Oct. 1995.
 - [21] 한국청각장애자복지회 편저, "사랑의 수화 교실", 수협사, 1995
 - [22] 김중성, 이찬수, 장원, 변중남, "한글 수화용 동적 손 제스처의 실시간 인식 시스템의 구현에 관한 연구", *전자공학회지 제34권 C편 제2호*, pp. 61-70, 1997
 - [23] 신병주, 장세진, 양윤모, "수화동영상의 키 프레임 추출 및 지문자 인식", *대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집 제19권 제1호*, pp. 699-702, 1996

저자 소개



李燦洙(正會員)
 1970년 2월 9일생. 1995년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(학사). 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1997년 5월 ~ 현재 시스템 공학연구소 가상현실 연구실 연구원. 주관심분야는 제스처 인식, 휴먼-컴퓨터 인터페이스, 가상 현실, 지능 시스템 등임

金鍾成(正會員) 第34卷 C編 第2號 參照
 1997년 2월 ~ 현재 한국 전자통신 연구원 인공지능 연구실 선임 연구원. 주관심분야는 패턴 인식, Machine Vision, Intelligent System(Fuzzy, 인공 신경망), 가상현실, 재활공학(Rehabilitation Engineering) 등임



朴奎泰(正會員)
 1968년 8월 22일생. 1991년 2월 한국과학기술원 과학기술대학 졸업(학사). 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1993년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 Gesture Recognition, 표정 인식, Color Vision, Fuzzy Logic, 인공 신경망 등임

張源(正會員) 第34卷 C編 第10號 參照
 1991년 7월 ~ 현재 국방과학 연구소 선임연구원. 주관심분야는 제스처 인식, 고분 공학, 영상 인식, 인체 모델링 등임

下増男(正會員) 第30卷 B編 第10號 參照
 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수