

3D 아바타의 자연스러운 수화 동작 표현 방법

오 영 준[†] · 장 효 영^{††} · 정 진 우^{†††} · 박 광 현^{††††} · 김 대 진^{†††††} · 변 증 남^{††††††}

요 약

본 논문에서는 실제 수화자의 관점에서 기존 수화 아바타의 한계와 문제점을 지적한다. 이를 해결하기 위하여 손 모양, 손 방향, 손 운동을 비롯하여 입술 움직임, 얼굴 표정, 안색, 눈동자 움직임, 몸동작 등을 통해 수화를 보다 자연스럽게 표현할 수 있는 수화 아바타를 개발하였다. 또한, 데이터베이스의 성능을 높이기 위해 손의 움직임과 함께 다른 신체 요소들의 움직임을 구조적으로 같이 기술할 수 있는 하이퍼 수화 문장을 제안한다. 개발된 시스템의 우수성을 보이기 위해 실제 청각 장애인을 대상으로 설문조사를 수행하여 시스템의 사용성을 평가하였다.

키워드 : 3D 수화 아바타, 수화 표현, 얼굴 표정, 하이퍼 수화 문장

Soft Sign Language Expression Method of 3D Avatar

Young-Joon Oh[†] · Hyoyoung Jang^{††} · Jin-Woo Jung^{†††} · Kwang-Hyun Park^{††††} ·
Dae-Jin Kim^{†††††} · Zeungnam Bien^{††††††}

ABSTRACT

This paper proposes a 3D avatar which expresses sign language in a very natural way using lips, facial expression, complexion, pupil motion and body motion as well as hand shape, hand posture and hand motion to overcome the limitation of conventional sign language avatars from a deaf's viewpoint. To describe motion data of hand and other body components structurally and enhance the performance of databases, we introduce the concept of a hyper sign sentence. We show the superiority of the developed system by a usability test through a questionnaire survey.

Key Words : 3D Sign Language Avatar, Sign Language Expression, Facial Expression, Hyper Sign Sentence

1. 서 론

정보통신 기술의 발전은 정보에 대한 접근을 용이하게 하였을 뿐만 아니라 풍부한 정보의 제공으로 일상생활의 변화를 야기하였다. 하지만 청각장애인의 경우, 언어의 차이로 인한 의사소통 상의 문제로 이와 같은 기술적 혜택에서 소외되어 있는 실정이다. 청각장애인의 의사소통 수단으로는 수화와 필담, 구화가 있는데, 이 중에서 청각장애인이 가장 선호하고 많이 사용하는 수단은 수화이며 모국어와 다름없다. 수화는 손짓과 몸짓, 얼굴 표정 등을 통해 다양하고 복잡한 의사를 전달하고 생각과 감정을 쉽게 표현할 수 있는

몸짓 언어이다. 또한, 수화를 사용하여 의사소통함으로써 보다 원만하고 친밀한 관계를 유지하고 사회성을 도모할 수 있기 때문에 수화가 청각장애인의 삶에서 차지하는 비중은 매우 크다[1]. 이러한 관점에서 수화를 이용한 정보 접근 방식에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다[1-13].

수화에 기반하여 의사소통을 돕는 시스템으로는 수화 인식 시스템과 수화 발생 및 표현 시스템이 있는데, 본 논문에서는 수화를 발생하고 표현하는 시스템을 다룬다. 기존 연구로는 한국과학기술원(KAIST) 변증남 교수 연구실에서 1994년 초에 한글 문장을 수화 동작 그래픽으로 보여주는 '한글 표준수화 자동 발생 시스템'을 개발한 바 있다[3]. (그림 1)과 같이 2000년에는 사용자에게 친밀감을 주기 위해 7 가지 얼굴 표정의 아바타를 수화 발생기에 추가하고 1,100 개의 수화 단어를 발생할 수 있는 PC용 자동 수화 발생 시스템을 개발하였다[5]. 2001년에는 형태소 분석 알고리즘을 도입하여 TV 자막 방송의 수화 발생 시스템을 개발하였다[6]. 또한, UEA에서 개발한 (그림 2)의 ViSiCAST[11,12]와 히타치에서 개발한 (그림 3)의 MimeHand II[13]는 수화 아

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원(R11-1999-008) 및 한국장애인고용촉진공단 고용개발원의 2006년도 보조공학기기 개발사업 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터 연구원

†† 준 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정

††† 정 회 원 : 동국대학교 정보산업대학 컴퓨터공학과 조교수

†††† 정 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과 BK조빙교수

††††† 정 회 원 : University of Louisville, USA 방문연구원

†††††† 정 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과 교수

논문접수 : 2006년 8월 17일, 심사완료 : 2007년 2월 23일

바타의 대표적인 예라 할 수 있다. <표 1>은 실제 청각장애인을 대상으로 각 시스템의 수화 아바타를 평가한 것이다. <표 1>에서 보이는 바와 같이 기존의 시스템은 얼굴요소 및 몸동작 표현이 충분하지 못하다는 단점이 있다.

수화를 통한 의사소통 과정에서는 손의 움직임뿐만 아니라 얼굴 표정이나 안색 또한 매우 중요한 요소가 된다. 예를 들어, “웃다”라는 수화 단어는 손동작이 미소 짓는 얼굴과 함께 표현될 때 “빙그레 웃다”라는 의미가 될 수 있고, 무표정한 얼굴과 함께 행해졌을 때는 “비웃다”라는 의미로 받아들여질 수 있다. 또한, 크게 웃는 얼굴 표정과 함께 “하하 웃다”라는 의미가 될 수도 있다[15]. 따라서 실제 인간이 하는 수화와 최대한 비슷한 효과를 얻기 위해서는 손의 움직임 뿐 아니라 얼굴 표정과 안색도 표현할 수 있도록 수화 아바타를 제작하여야 한다. 수화 아바타의 자연스러운 표현을 위해 얼굴 요소 및 몸의 움직임을 향상시킬 필요가 있는 것이다.

또한, 기존의 수화 발생 시스템은 다양한 신체 요소의 변화를 구현하기 위해 프로그램 상에 조건 분기문을 많이 처리하는 단점이 있다. 이는 전체 시스템의 처리 속도를 느리게 하는 요인이 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수화 문장에 신체 요소의 동작 기호를 추가한 하이퍼 수화 문장을 제안하고, 수화 동작과 함께 다양한 신체 요소의 움직임을 동시에 생성할 수 있는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 개발된 수화 아바타의 구조를 설명하고 얼굴 요소 및 몸동작의 다양한 표현을 기술한다. 제 3절에서는 수화의 손동작과 기타 신체 요소의 동작을 함께 표현하는 하이퍼 수화 문장을 제안한다. 제 4절에서는 실험 결과와 실제 청각장애인을 대상으로 한 사용성 평가 결과를 기술한다. 제 5절에서는 제안한 내용을 정리하고 추후 과제에 대해 서술한다.



(그림 1) 7가지 얼굴 표정의 아바타



(그림 2) ViSiCAST 아바타



(그림 3) MimeHand II

<표 1> 기존의 수화 발생 시스템 비교

		ViSiCAST (UEA,2000) [11,12]	TV 자막 방송의 수화 발생 시스템 (KAIST,2001)[6]	MimeHand II (히타치,2001) [13]
시스템의 한계점 및 요구사항		대용량의 저장 공간 필요 플러그인 설치	단어 사이의 손동작 변화 없음 OpenInventor 설치	없음
수화의 연속성		○	×	○
얼굴 요소 표현 능력	얼굴 요소의 구성	○	△	△
	표정 변화 및 얼굴 요소의 실시간 변화	○	×	○
	안색 변화	×	×	×
	눈물 발생	×	×	×
	눈동자 운동	○	×	○
	눈꺼풀 운동	×	×	○
	입술 운동	○	×	○
	턱 운동	△	×	○
몸동작 표현 능력	다른 사람에 대해 다른 얼굴로 표현	×	○	×
	몸동작의 구성	○	×	△
	머리 회전	○	×	○
	허리 회전	×	×	△

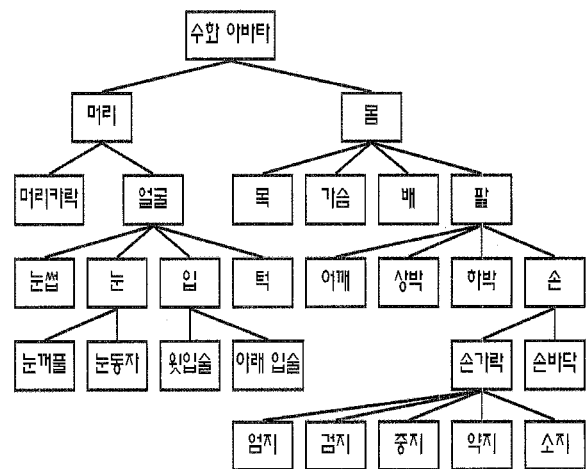
기호의 의미 : 우수(○), 보통(△), 미흡(×)

2. 수화 아바타의 구조 및 신체 요소의 동작 표현

2.1 수화 아바타 모델링

본 연구에서는 가상세계에서 아바타가 수화와 행동, 감정을 표현할 수 있도록 하기 위해 ECA(Embodied Conversational Agent; 가상대화개체) 방식을 적용하였다. ECA는 아바타가 가상개체로서 사용자와 인간적 행동방식으로 상호작용하는 기술이며[18,33], 이를 통하여 몸짓, 얼굴표정, 시선, 목소리, 자세 등의 비언어기호를 아바타의 다양한 행동으로 바꾸어 표현할 수 있다[21-22].

개발된 수화 아바타는 (그림 4)와 같이 계층적으로 설계되어 수화와 함께 눈동자 움직임, 몸통 운동, 눈썹모양의 변화, 눈꺼풀운동, 눈물 흘리기, 안색 변화 등이 가능하다. 아



(그림 4) 수화 아바타의 계층적 구조

바타는 전체적으로 머리부와 몸통부로 구분되는데, 머리부는 머리카락과 얼굴로 구성되고 몸통부는 목, 가슴, 배, 팔로 나뉜다. 얼굴은 다시 눈썹, 눈, 입, 턱으로 구성되며, 눈은 눈꺼풀과 눈동자, 입은 윗입술과 아래 입술로 구성된다. 팔은 어깨, 상박, 하박, 손으로 구성되며 손은 손바닥과 손가락으로 나뉜다.

아바타 모델의 각 부분은 관절로 연결되어 있는데, 인체의 동작 특성을 고려하여 목 3자유도, 허리 3자유도, 어깨 3자유도, 팔꿈치 1자유도, 손목 3자유도, 손가락 19자유도 등 총 58개의 자유도를 가지도록 하였다. 또한 관절의 가동 범위를 설정하여 인체 아바타의 동작 제어 시 어색함이 없도록 하고 각 축에 대한 3차원 각도 정보를 이용하여 동작을 제어하였다.

2.2 신체 요소의 동작 표현

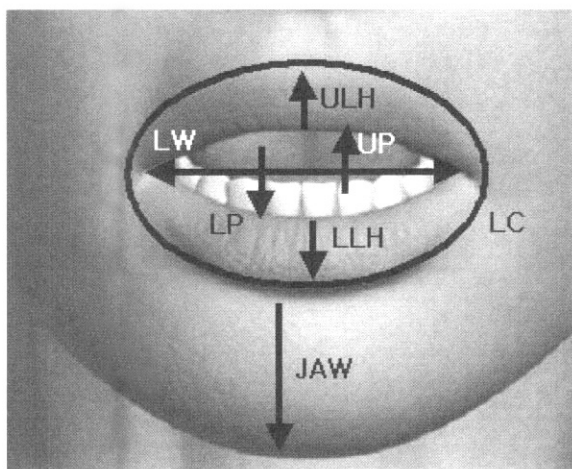
2.2.1 입술

• 입술 움직임 모델

Catherine Pelachaud의 연구에 의하면 일정한 시간동안 화자의 말하기 데이터의 곡선 변화는 음성과 음운에 관련하는 7개의 입술 모양 파라미터로 표현된다[26-27]. 이를 바탕으로 입술모양을 제어하기 위해 <표 2>와 (그림 5)와 같이 파라미터를 정의하였으며, <표 3>과 같이 한글 모음 입술 모양에 대해 파라미터 값을 결정하였다.

<표 2> 입술 모양 파라미터[26]

기호	의미	설명
ULH	upper lip height	윗입술이 올라가는 높이
LLH	lower lip height	아랫입술이 내려가는 높이
LW	lip width	입술을 양쪽으로 벌리는 길이
UP	upper lip protrusion	윗입술이 돌출된 길이
LP	lower lip protrusion	아랫입술이 돌출된 길이
JAW	jaw	턱이 내려가는 높이
LC	lip corners	입술을 좁히는 크기



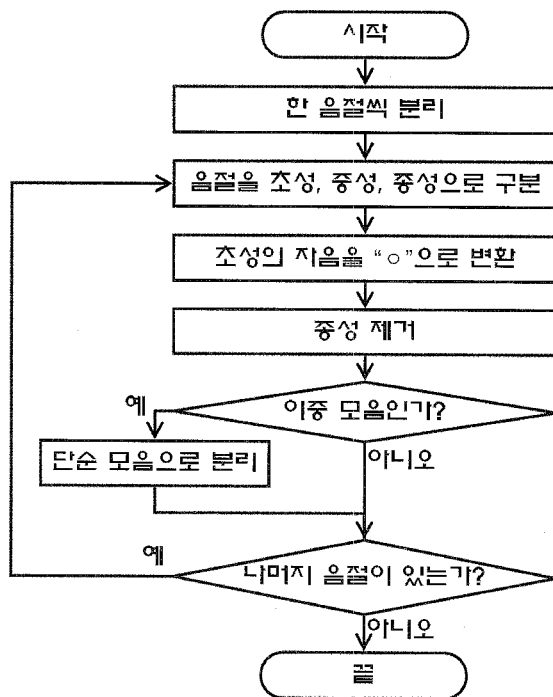
(그림 5) 입술 모양 파라미터[27]

<표 3> 한글 모음의 입술 모양 파라미터(최소값:0, 최대값:1)

	ULH	LLH	LW	UP	LP	JAW	LC
ㅏ	1	1	1	0	0	1	1
ㅑ	1	1	0	0	0	1	1
ㅓ	1	1	0	0	0	0.5	0.5
ㅕ	1	1	1	0	0	0.5	0
ㅗ	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5
ㅛ	0	0	0	1	1	0	0.5
ㅜ	0	0	0	0.3	0.3	0	0
ㅠ	0	0	1	0.2	0.2	0	0

• 모음 추출과 이중 모음

추출된 수화 단어에 포함된 모음을 표현하기 위해 입술 모양 파라미터에 따라 입술과 턱의 움직임을 정의하였다. 이는 실제 수화자가 수화 동작과 함께 입 모양을 표현하면서 정확한 의사를 전달하는 것에 착안한 것이다. 예를 들어, “빨강”과 “붉다”, “붉은 글자(赤字)”의 경우, 손 모양과 손 운동, 손 위치가 같지만 그 의미가 다르다. 이와 같이 동일한 수화 표현이라도 다른 의미를 가지는 경우에 대해 입술 표현을 보조적으로 사용함으로써 청각장애인의 정확한 이해를 도울 수 있다. 입술의 움직임을 위해서는 모음 추출기를 이용하여 추출한 모음 정보를 이용한다. (그림 6)은 초성-중성-종성 기반의 음절 데이터를 분리하고 모음을 추출하는 모음 추출기의 동작 단계를 나타낸 흐름도이다. <표 4>와 같이 이중 모음은 단순 모음의 조합으로 나타나고 시작과 끝에 해당하는 두 모음 요소로 표현된다[27,28].











(그림 6) 모음 추출 흐름도

〈표 4〉 이중 모음과 분리된 단순 모음[28]

이중 모음	분리된 단순 모음	이중 모음	분리된 단순 모음
ㅏ	ㅣ, ㅑ	ㅓ	ㅜ, ㅗ
ㅕ	ㅣ, ㅓ	ㅖ	ㅜ, ㅞ
ㅛ	ㅣ, ㅓ	ㅜ	ㅜ, ㅗ
ㅝ	ㅣ, ㅓ	ㅞ	ㅜ, ㅞ
ㅟ	ㅣ, ㅞ	ㅡ	ㅡ, ㅣ
ㅠ	ㅣ, ㅞ		

(그림 7)은 각 음절에 대한 입 모양의 예를 보인다. 모음 추출기의 결과는 립싱크 데이터베이스에 저장된 아바타의 입술 모양을 사용하여 립싱크 애니메이션으로 표현한다. ‘ㅏ’나 ‘ㅓ’와 같이 입이 위아래로 많이 벌어지는 경우에는 (그림 8)과 같이 턱을 아래로 내리는 모양을 형성하여 보다 자연스러운 입 모양을 표현한다[16,17].

음절	입 모양	유실	입 모양
한	 [아]	새	 [에]
서	 [어]	세	 [에]
보	 [오]	풀	 [우]
응	 [으]	히	 [이]









(그림 7) 입 모양



(그림 8) 턱을 내리는 움직임

2.2.2 얼굴 표정

수화에서는 얼굴 표정이 감정과 의미 등의 정보 전달에 큰 역할을 한다. 실제로 같은 단어를 표현하는 경우라도 수화를 사용하는 사람들은 경우에 따라 다양한 표정을 사용한다. 따라서 수화 발생 시스템에 얼굴 표정을 삽입함으로써 사용자에게 친근감을 줄 뿐 아니라 의미를 좀 더 빠르고 명확하게 이해시킬 수 있도록 하였다. 수화 발생 시스템에서 표정의 발생은 수화의 내용과 속도를 맞추고 전체적인 과정이 실시간에 이루어져야 한다. 또한 수화통역의 중요한 요소 중 하나인 사실감을 높이기 위해 (그림 9)에 보이는 바와 같이 8가지의 표정을 표현할 수 있도록 구현하였으며 안색과 눈동자 움직임을 추가하였다. 이에 대해서는 다음 절에서 자세히 기술하기로 한다.

얼굴 표정				
	무표정	웃음, 행복	놀람	슬픔
단어 예시	조용	잔하다	놀람, 감탄	환자, 아프다
얼굴 표정				
	울음	화남	두려움	역겨움
단어 예시	울다	화나다, 부인	공포	엽기

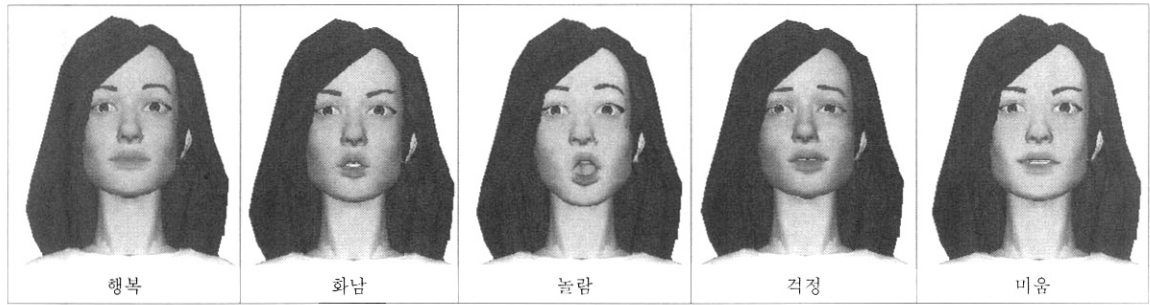
(그림 9) 8가지 얼굴 표정

2.2.3 안색

얼굴 표정을 결정하는 중요한 요소로는 생각, 행동, 안색이 있는데[29], 안색은 색상의 연상과 상징에 관련이 있다. 색상 연상(Color association)은 특정 사람, 사건, 경험을 통하여 색상을 연상하는 것이고, 상징은 개념 분석이나 느낌을 표현한 것이다[30]. <표 5>는 색상으로 연상되는 단어, <표 6>은 색상으로 상징되는 단어의 예를 보인다[30]. 본 연구에서 개발된 아바타에서도 다양한 색상을 통하여 감정

〈표 5〉 색상으로 연상되는 단어[30]

색상	연상되는 단어
검은색	승고, 사치
하얀색	순결, 명쾌, 위생, 무균, 승고
빨간색	혁명, 강렬, 수단, 위험, 활동
회색	어두움, 우려, 실망, 무관심
갈색	강렬, 친절, 에너지, 활발, 질투
녹색	평화, 희망, 안전, 새로움
파란색	희망, 맑음, 무균
바다색	아름다움
자주색	승고, 품위
분홍색	부드러운 맛



(그림 10) 안색의 변화

<표 6> 색상으로 상징되는 단어[30]

색상	상징
검은색	불안, 죽음, 힘, 악마, 무거움, 고독, 침묵, 어둠, 슬픔, 깊은
하얀색	공백, 본질, 잠재적, 빛, 공허, 깨끗함, 순결, 상상
빨간색	열정, 위험, 흥분, 뜨거움, 분노, 사랑, 불행, 싸움, 잔학
노란색	기분 좋음, 활발함, 신중함, 불안, 위험, 신경질, 펄이, 가난
녹색	행복, 위안, 안전, 평화, 아름다움, 승고, 미숙함, 고독, 신성
파란색	슬픔, 해방, 걱정, 실망, 우울, 냉정, 위안
자주색	고독, 복잡, 걱정, 신성, 신비, 불길, 전진, 이질

<표 7> 안색-감정 조합표[29]

감정	안색	감정	안색
행복	빨간색	슬픔	검은색/파란색
순함	녹색	미움	황갈색
울음	파란색	화남	빨간색
놀람	노란색	걱정	파란색

적인 효과, 온도, 중력, 강약, 무거움과 가벼움, 활동과 고요함을 의미적으로 나타내곤 하였다[30].

사람은 감정과 생각에 따라 다양한 안색을 나타내는데, 중앙대학교 김태용 교수 연구실에서는 Robert Plutchik의 정서심리학이론의 칼라 상징과 연상[39]에 근거하여 <표 7>과 같이 안색-감정 조합표를 제안하였다[29].

개발된 수화 아바타에서는 색상의 상징과 안색-감정 조합 이론[29]을 적용하여 (그림 10)과 같이 감정에 의한 안색 변화를 표현하였다.

2.2.4 눈 운동

눈 운동은 눈동자 크기, 안구 운동, 눈꺼풀 운동 등으로 구성되는데[34,35], 이 중에서 눈동자 운동을 포함한 안구 운동과 눈꺼풀 운동이 수화 표현의 보조 역할로 사용된다.

Gatherine Pelachaud는 Stoke[31]가 연구한 눈의 기본 파라미터를 기초로 하여 <표 8>과 같이 눈 운동의 파라미터를 제시하였다[32].

• 눈썹 운동

인간의 눈썹 운동은 얼굴 요소 운동의 하나로서 다양한 얼굴 표정을 나타내는 주요 구성 요소이다. 아바타의 눈썹

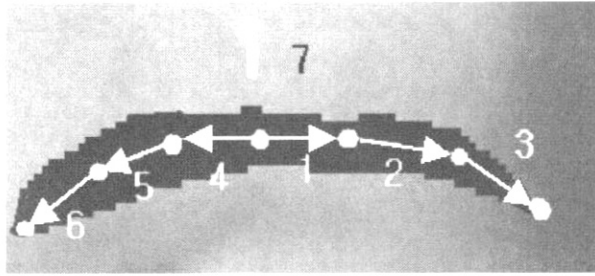
<표 8> 눈 운동의 파라미터[32]

1. 눈썹 : 왼쪽 눈썹 / 오른쪽 눈썹	
안 부분	위로 이동 / 가운데로 이동 / 아래로 이동
가운데 부분	위로 이동 / 가운데로 이동 / 아래로 이동
바깥 부분	위로 이동 / 가운데로 이동 / 아래로 이동
2. 안구 : 왼쪽 안구 / 오른쪽 안구	
습도	마르다 / 눈물이 조금 내리다 / 많이 내리다
충혈여부	기본 / 충혈
눈 운동	앞쪽 방향 / 위쪽 방향 / 아래쪽 방향 / 왼쪽 방향 / 오른쪽방향
3. 눈꺼풀 : 왼쪽 눈꺼풀 / 오른쪽 눈꺼풀	
위 눈꺼풀	기본 / 올린다 / 내리다 기본 / 딱딱하다 / 주름지다 깜박이다 / 가끔 깜박이다 / 감다
속 눈꺼풀	기본 / 올린다 / 내리다 기본 / 딱딱하다 / 주름지다

운동으로 몇 가지 얼굴 표정을 구현하기 위해 <표 9>와 같이 Gatherine Pelachaud가 기술한 눈썹의 세 부분[32]을 포함한 눈썹 운동 파라미터를 제안한다. <표 9>의 각도 값은 (그림 11)에 표시한 화살표 방향의 회전 각도이다. 눈썹 운동 파라미터를 사용하여 (그림 11)과 같이 눈썹의 각 부분을 화살표 끝점을 중심으로 회전하여 눈썹의 위치를 움직이고 방향기호 7과 같이 눈썹을 이마 방향으로 움직일 수도 있다. <표 10>은 얼굴 표정과 <표 9>의 파라미터로 표현되는 눈썹 모양의 관계를 나타낸다. 본 연구에서는 <표 10>의 눈썹 모양을 사용하여 (그림 12)와 같은 눈썹 모양을 표현하였다.

<표 9> 오른쪽 눈썹의 운동 파라미터

모양 \ 방향기호	안 부분 (단위:각도)		가운데 부분 (단위:각도)		바깥 부분 (단위:각도)		높이 (단위:픽셀)
	6	5	4	1	2	3	
직선	0	0	0	0	0	0	0
아래로 블록	-10	-10	-10	10	10	10	2
안-바깥 경사점(\)	0	0	10	10	0	0	2
안-바깥 역경사점(/)	0	0	-10	-10	0	0	2
블록 및 이마로 이동	-10	-10	-10	10	10	10	5



(그림 11) 오른쪽 눈썹의 위치 움직임

<표 10> 얼굴 표정과 눈썹 모양

얼굴표정	왼쪽 눈썹 모양	오른쪽 눈썹 모양
중립	직선	직선
웃음	아래로 블록	아래로 블록
놀람	블록 및 이마로 이동	블록 및 이마로 이동
화남	안-바깥 역경사짐(∧)	안-바깥 역경사짐(∨)
슬픔	안-바깥 경사짐(∨)	안-바깥 경사짐(∧)
울음	안-바깥 경사짐(∨)	안-바깥 경사짐(∧)
역겨움	직선	안-바깥 역경사짐(∨)

얼굴표정	눈썹 모양
중립	
웃음	
놀람	
화남	
슬픔	
울음	
역겨움	

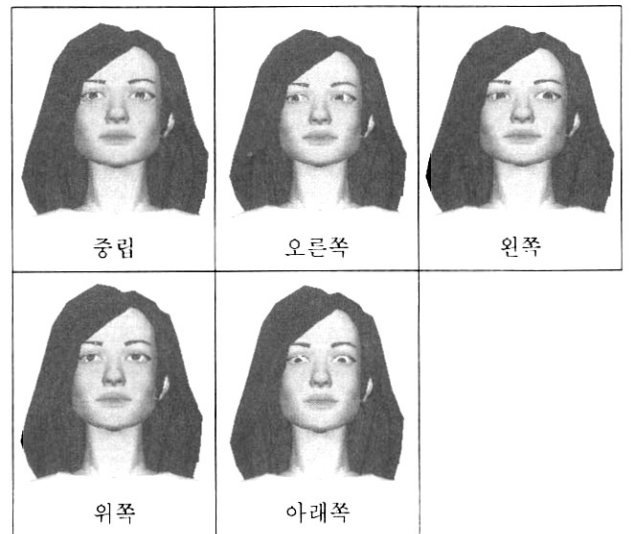
(그림 12) 얼굴 표정에 대한 눈썹 모양

• 안구 운동 (눈동자 운동)

안구 운동의 세 가지 요소는 단속 운동(saccades), 연속 운동(pursuit), 수렴 운동(convergence)이다[34]. 단속 운동(saccade)은 한 지점에서 다른 지점으로 순간적으로 건너뛰는 이동이고, 연속 운동은 중간에 위치한 개체를 살펴보며 움직이는 '연속적 이동(pursuit)'이다. 연속 운동은 움직이고 있는 물체를 눈으로 따라가는 경우에만 발생하는 현상이며[36], 이를 제외한 나머지 모든 경우는 단속 운동의 성격을 띤다. 수렴 운동은 가까이 다가오거나 멀어지는 물체에 초점을 맞추기 위해 눈동자가 회전하여 물체와 두 눈 사이의 각도 즉 '광각'을 맞추는 운동이다[37]. 안구의 3가지 운동



(그림 13) "보다"라는 기본 손동작의 다양한 의미



(그림 14) 눈동자 움직임

은 수화를 표현하는 손의 위치 이동에 따라 시선을 맞추고 움직이는 기술에 이용된다.

청각장애인의 경우, 동일한 수화 동작에 대해 여러 가지 다양한 의미를 표현하기 위해 눈동자의 움직임을 사용한다. 예를 들어, "보다"라는 수화 단어를 표현하면서 (그림 13)과 같이 연속 운동으로 눈동자와 양손이 위쪽으로 향하면 그 의미를 "올려 보다"라고 해석할 수 있다[9]. 개발된 수화 아바타는 (그림 14)와 같이 5가지의 눈동자 움직임을 표현할 수 있다.

• 눈꺼풀 운동과 눈물 효과

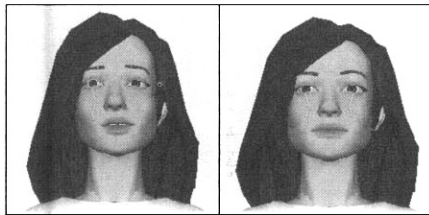
눈꺼풀 운동은 깜박이는 운동, 반사운동, 임의적인 눈꺼풀 운동, 주기적인 운동으로 나뉜다[36]. 눈꺼풀의 움직임은 눈꺼풀을 여닫는 움직임, 속도, 연속적으로 깜박이는 움직임의 반복 주기를 제어함으로써 표현된다[36]. 이를 위해 (그림 15)와 같이 눈꺼풀의 여닫는 높이를 제어할 수 하도록 하였다. 눈물은 의화적으로 눈꺼풀이 주기적인 운동을 할 때 눈꺼풀을 부드럽게 하고 안구 표면을 매끄럽게 하며 안구 세포에 산소와 성분을 제공해 주는 역할을 한다[38]. 정서적으로는 회로에라 등 본능적인 감정의 상태에 따라 흘러나오는 경우가 있고 감정에 따라 흐르는 눈물의 길이나 농도에 차이가 있다[14]. (그림 16)은 슬픈 얼굴을 감정적으로 표현할 때 흐르는 눈물의 길이를 나타낸다.



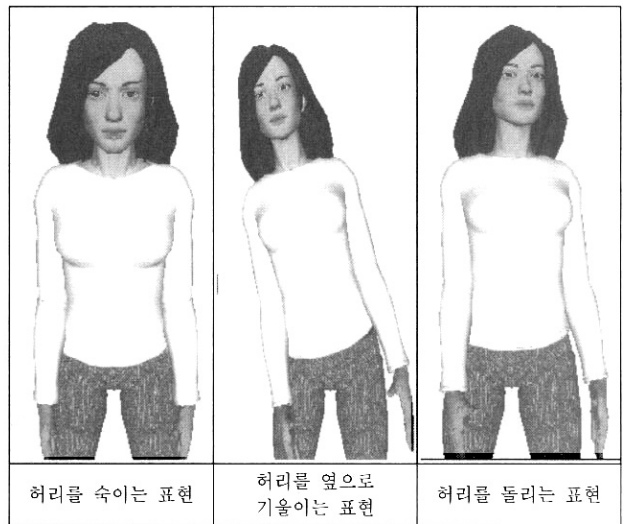
(그림 15) 눈꺼풀의 여닫는 높이



(그림 17) 머리의 움직임



(그림 16) 눈물이 흐르는 길이



(그림 18) 부가적 의미를 강조하기 위한 허리 움직임

2.2.5 부가적인 의미를 강조하기 위한 몸동작

사람들은 의사소통을 할 때 몸동작 등의 다양한 비언어기호를 사용하여 의미를 전달한다. 비언어기호는 신체 모습, 신체 움직임, 공간적 상황을 나타낸 것이며[23,24], Birdwhistell은 의사 전달의 30~35%만 언어에 의해 전달되고 Mehrabian은 전체 의사소통의 약 93%가 비언어기호로 표현된다고 말하고 있다[25]. 이와 같은 연구를 통해 비언어기호가 의사소통에서 중요한 수단임을 확인할 수 있다. <표 11>은 비언어기호의 하나인 신체 움직임을 머리 동작과 어깨 동작, 허리 동작으로 구분하고 [24]에서 언급한 신체언어의 동작 표현을 나타낸 것이다.

수화의 의미를 강조하거나 효과적인 의사 전달을 위해 (그림 17), (그림 18)과 같이 아바타에 비언어기호의 하나인 머리 및 허리의 움직임을 추가하였다. 예를 들어, 감사를 강조하기 위해 머리를 숙이거나 놀란 모습을 강조하기 위해 머리를 위쪽으로 들어 올리는 것이 가능하다. 부정의 표시를 위해 고개를 좌우로 돌리거나 인사에 관한 수화를 표현하면서 허리를 숙이는 것도 좋은 예이다[9].

<표 11> 신체언어의 동작 표현[24]

신체부위	동작	언어의미
머리	하향동작	굴복하다, 수긍하다, 공경하다, 내려 보다. 미안하다, 고수하다
	상향동작	무엇을, 우러르다, 올려 보다. 고개 쳐들다, 거두하다
	좌우동작	아니다. 모르다, 고개 싫다, 그만, 제발
	상하동작	예, 옳다, 그렇다, 좋다, 알겠다. 걱정
어깨	올리는 동작	춤추다, 모르다
허리	숙이는 동작	죄송하다, 사죄하다, 안녕, 환영하다, 잘하다, 숙이다

3. 하이퍼 수화 문장

본 절에서는 기존 시스템의 처리 성능과 신체 요소 움직임의 한계를 극복하기 위해 하이퍼 수화 문장(HSS, Hyper Sign Sentence)을 제안한다[10]. 하이퍼 수화 문장은 기존의 수화 문장 구조를 확장하여 수화 단어와 다양한 신체 요소의 동작 기호로 구성되는 문장이다. 제안하는 하이퍼 수화 문장은 계층적으로 구성된 수화 아바타 모델의 각 부위 동작을 기호화하여 동작 합성에 소요되는 시간을 최소화하고 간편하게 데이터베이스 구축을 할 수 있도록 한다. 이는 일본 나가시마 교수 연구실에서 만든 sINDEX[19,20]의 문제점을 개선한 것으로 <표 12>와 같이 하이퍼 수화 문장의 동작 기호 규약을 정의하였으며 필요에 따라 쉽게 확장될 수 있다. 각 동작 기호는 몸체 부위 기호와 동작(혹은 단어)으로 구성되어 있으며 짧은 문자는 몸체의 부위 기호를 의미한다. 제안한 하이퍼 수화 문장의 동작 기호는 <표 13>과 같은 문장으로 구성된다. 또한, sINDEX는 모음 추출기가 없기 때문에 “mOS”라는 기호와 함께 발음해야 할 단어를 표시해 주어야 하는 불편함이 있지만, 개발된 시스템에서는 모음 추출기를 통해 입 모양이 자동으로 형성되어 부가적으로 표시해줄 필요가 없다.

<표 14>는 일반 문장과 수화 문장, 하이퍼 수화 문장의

<표 12> 하이퍼 수화 문장의 동작 기호 규약[10]

동작 기호	사용 예	
word (단어)	w안녕 : 수화단어 “안녕” wWorld : 수화단어 “World”	
color (얼굴 색깔)	cNE: 기본 얼굴색 cRE: 붉은 안색 cBR: 밝은 안색	cBL: 푸른 안색 cDR: 어두운 안색
face (얼굴 표정)	fNE: 무표정 fSU: 놀라는 표정 fCR: 우는 표정 fFR: 두려운 표정	fSM: 웃는 표정 fSD: 슬픈 표정 fAN: 화난 표정
body (허리 움직임)	bDN: 허리를 굽힘 bLE: 몸을 왼쪽으로 돌림 bLT: 몸을 왼쪽으로 기울임 bSP: 몸을 앞뒤로 흔들 bNE: 기본 자세로 돌아감	bUP: 허리를 뒤로 젖힘 bRI: 몸을 오른쪽으로 돌림 bRT: 몸을 오른쪽으로 기울임 bTR: 몸이 떨림
head (머리 움직임)	hUP: 머리를 위로 들 hSP: 머리를 상하로 흔들 hLE: 머리를 왼쪽으로 돌림 hLT: 머리를 왼쪽으로 기울임 hLR: 머리를 왼쪽에서 오른쪽으로 움직임	hDN: 머리를 아래로 숙임 hSW: 머리를 좌우로 흔들 hRI: 머리를 오른쪽으로 돌림 hRT: 머리를 오른쪽으로 기울임
eyebrow (눈썹 움직임)	ebLU: 왼쪽 눈썹을 위로 움직임 ebLD: 왼쪽 눈썹을 아래로 움직임 ebLN: 왼쪽 눈썹을 기본 위치로 움직임	ebRU: 오른쪽 눈썹을 위로 올림 ebRD: 오른쪽 눈썹을 아래로 움직임 ebRN: 오른쪽 눈썹을 기본 위치로 움직임
eye (눈 움직임)	eBL: 눈을 깜박임 eLC: 왼쪽 눈을 감음 eLO: 왼쪽 눈을 뜸 eUP: 눈동자가 위로 움직임 eLE: 눈동자가 왼쪽으로 움직임 eCE: 눈동자가 중심으로 움직임 eLB: 왼쪽 눈의 크기가 커짐 eLS: 왼쪽 눈의 크기가 작아짐 eLN: 왼쪽 눈의 크기가 기본 크기로 돌아감	eRC: 오른쪽 눈을 감음 eRO: 오른쪽 눈을 뜸 eDN: 눈동자가 아래로 움직임 eRI: 눈동자가 오른쪽으로 움직임 eRB: 오른쪽 눈의 크기가 커짐 eRS: 오른쪽 눈의 크기가 작아짐 eRN: 오른쪽 눈의 크기가 기본 크기로 돌아감
enD	모든 신체 요소가 기본 상태로 돌아감	
nOE	신체 요소의 움직임이 없음	

<표 13> sIGNDEX와 하이퍼 수화 문장의 비교[19,10]

	sIGNDEX	하이퍼 수화문장
나의	nA+hDN	nOEw나
이름은	iRUM+hDN+mOS-IRUM	hDNw이름
김	kIM+mOS-KIM	nOEw김
라고 합니다	mAL+hDN+mOS-MAL+bPF	hDNfSMw말

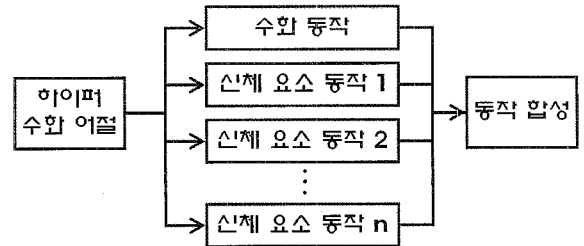
<표 14> 일반 문장과 수화 문장, 하이퍼 수화 문장 비교[10]

일반 문장	안녕하세요. 처음 뵈어서 대단히 반갑습니다.
수화 문장	안녕 처음 뵈다 대단하다 반갑다
하이퍼 수화 문장	hDNfSMw안녕 hNEw처음 eDNw뵈 fSUw대단하 fSMw반갑 eND

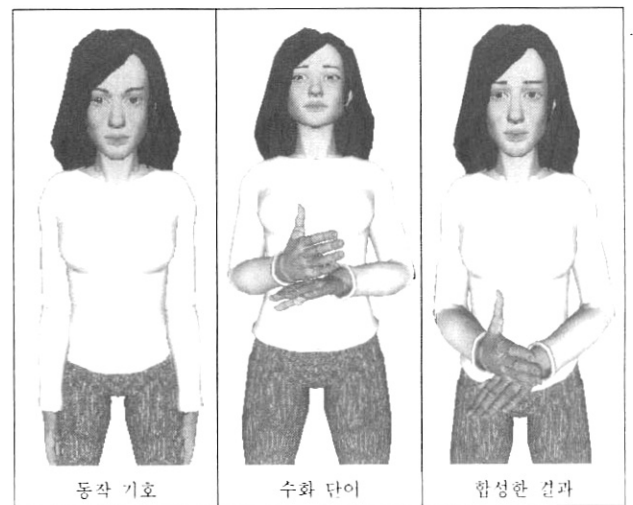
예를 보인다. 하이퍼 수화 어절은 하이퍼 수화 문장을 구성하는 어절인데, <표 14>에서 “hDNfSMw안녕”이 하나의 하이퍼 수화 어절을 나타낸다[10].

<표 15> HSS 데이터베이스 예

수화 단어	기호1	기호2	기호3
나	nOE		
밤	hUP		
잡자다	eCL	hDN	
출다	fFR	cBL	bTR



(그림 19) 하이퍼 수화 어절의 동작 합성 구성도



(그림 20) 수화 동작의 합성

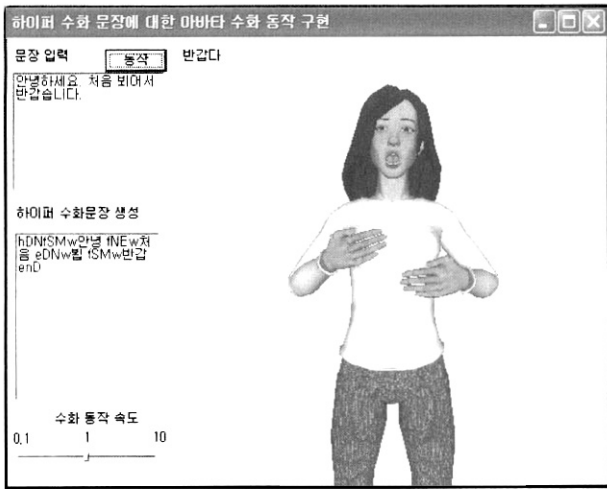
하이퍼 수화 문장을 사용하여 수화 아바타의 동작을 발생시키기 위해서는 수화 단어와 해당 동작 기호로 데이터베이스를 구성한다. <표 15>는 데이터베이스에 저장되는 수화 단어의 예를 보인다[10].

하이퍼 수화 문장은 하이퍼 수화 어절로 구성되기 때문에 하이퍼 수화 어절의 순서대로 (그림 19)와 같이 수화 동작과 함께 신체 요소의 동작을 동시에 실행한다. (그림 20)은 아바타가 허리를 숙이는 동작과 “감사”라는 수화 동작을 합성하여 “bDNw감사”라는 하이퍼 수화 어절의 동작을 만드는 예를 보인다.

4. 실험 결과 및 사용성 평가

4.1 실험 결과

본 논문에서 개발된 수화 아바타는 사용자가 입력한 일반



(그림 21) 하이퍼 수화문장 생성 프로그램

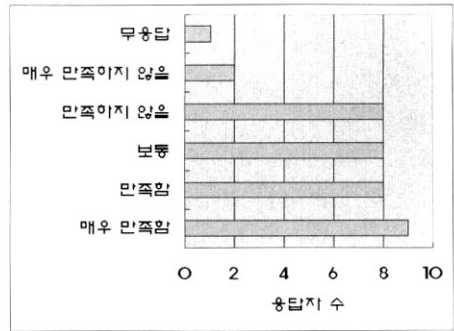
단어	안녕하세요	진노하다	하늘	부끄럽다
신체 동작 기호	hDNfSM	fAN	hUP	hRThDN
수원 결과				

(그림 22) 하이퍼 수화문장 분석에 의한 수화/신체 모션 구현 결과

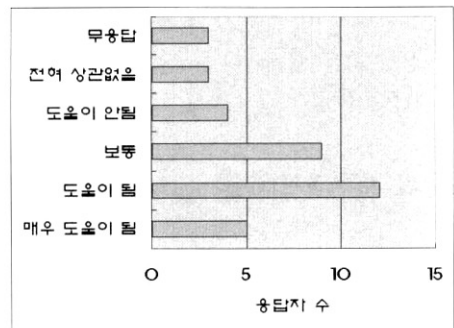
문장을 번역하여 3차원 수화 애니메이션으로 표현하는데, 수화사전에 수록된 6,000단어 중 약 1,300 단어를 표현할 수 있는 데이터베이스가 구축되어 있다. 이것은 청각장애인 교육과정에 근거하여 중학교 수준의 의사소통이 가능한 정도이다. (그림 21)과 같이 사용자가 “안녕하세요. 처음 뵈어서 반갑습니다.”라는 문장을 프로그램에 입력하면, 개발된 시스템은 하이퍼 수화 문장의 해석 과정에서 표시되는 신체 동작 기호를 인식하여 수화 동작과 함께 얼굴 요소 및 몸의 움직임을 표현한다. 또한, 아바타가 “반갑다”라는 단어에 관련된 감정 표현으로 미소를 짓고 얼굴 색상은 미소를 상징하는 노란색으로 점차 변한다. (그림 22)는 “안녕하세요? 진노하신 하늘 앞에 부끄럽습니다”라고 입력한 문장을 인식하여 수화 동작과 신체 동작을 표현한 예이다. 이와 같은 실험을 통해 개발된 수화 아바타가 수화 문장을 더 자연스럽게 표현함을 관찰할 수 있었다.

4.2 개발된 시스템의 사용성 평가

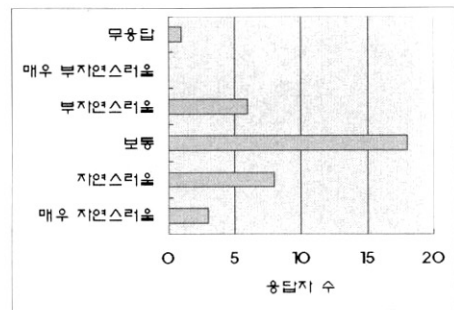
개발된 수화 아바타 시스템을 청각장애인들에게 시연하고 20~40대 연령의 청각장애인 36명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 대부분의 설문 대상자가 수화를 중요한 의사소통 수단으로 삼다고 답변하였으며 수화 번역 시스템을 경험한 적은 없다고 답변하였다. 개발된 시스템에 임의의 단어 나 문장을 10회 이상 입력하고 화면의 수화 동작을 보면서



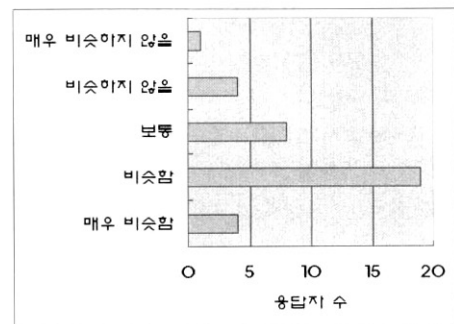
(그림 23) 수화 아바타 시스템의 실행 결과에 대한 만족도



(그림 24) 수화 표현 시 얼굴 표정 및 안색의 유용성



(그림 25) 수화 아바타의 손 움직임에 대한 느낌



(그림 26) 청각장애인과 아바타가 표현하는 수화 문장의 유사도

시스템 성능을 평가하고 질문에 답하도록 하였다.

시스템의 실행 결과에 대한 만족도는 (그림 23)에서와 같이 대부분 만족한 것으로 답변하였으나 아바타의 수화가 실제 사용자의 수준에 미치지 못하다고 답변한 사람도 소수 있었다. 또한, (그림 24)와 같이 얼굴 표정 및 안색이 수화 문장을 이해하는데 많은 도움을 주는 것으로 답변하였다. 그러나 실제 인간과 비교하여 아바타의 얼굴 표정과 움직임이 다소 부족하거나 안색이 과장되어 보인다는 등의 문제점을 지적하였다. 수화 아바타의 손 움직임은 (그림 25)와 같이 보통이라고 답하였으나 수화 동작의 속도 차이가 있어서 실제 수화 사용자의 손 움직임과 차이가 있다는 의견도 있었다. 따라서 추후에 속도 값 설정을 통하여 실제 사용자의 자연스러운 움직임 수준으로 개선할 필요가 있다. 마지막으로, (그림 26)에 보인 바와 같이 수화 아바타가 표현하는 수화 문장이 실제 청각 장애인이 사용하는 수화 문장과 비슷한 것으로 확인되었다.

5. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 청각장애인과 일반인 사이의 의사소통 수단으로, 기본적인 수화 표현을 위한 손/팔의 움직임뿐만 아니라 입술 움직임, 얼굴 표정, 안색, 눈동자 움직임, 머리 및 허리 움직임 등을 동시에 표현할 수 있는 수화 아바타를 개발하였다. 또한, 수화 동작과 함께 다른 신체 요소의 움직임을 효과적이고 효율적으로 다루기 위해 하이퍼 수화 문장을 제안하였다. 개발된 수화 아바타를 활용한 일반 문장-수화 번역기는 정보화 사회에서 소외된 청각장애인의 정보 접근에 많은 도움을 줄 것으로 예상된다. 설문조사 과정에서 많은 청각장애인들이 공공장소에서의 수화통역 지원을 요구하였는데 개발된 시스템이 효과적으로 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

앞으로 보다 많은 수화 단어를 포함하는 데이터베이스의 구축과 단어 전후 접속 관계를 이용한 동음이의어 처리에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 실제와 가까운 얼굴 요소 표현이 가능도록 그래픽 처리를 향상시키는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 석동일, 한국수화의 언어학적 분석, 박사학위논문, 대구대학교 대학원, 1989년.
- [2] Japan Times, 1992년 9월 1일.
- [3] 변중남, 장원, 김종성, 박규태, 능동적 인식 및 제어에 관한 연구 II, 한국과학기술원 보고서, 1994년 4월.
- [4] Jong-Sung Kim, Won Jang, and Zeungnam Bien, "A Dynamic Gesture Recognition System for the Korean Sign Language (KSL)," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 26, No. 2, pp. 354-359, April 1996.
- [5] 변중남, 장원, 김정배, 김대진, 조성식, 청각장애인 교육을 위한 수화 통역시스템의 개발, 한국과학기술원 보고서, 2000년 1월.
- [6] 김대진, 김정배, 장원, 변중남, "TV 자막 신호를 이용한 한글 수화 발생 시스템의 개발," 대한전자공학회 논문지, 제 39권, 제 5호, pp. 32-44, 2002년 9월.
- [7] 김정배, 한글 수화용 연속적 손동작 인식 시스템에 관한 연구, 박사학위 논문, 한국과학기술원, 2004년.
- [8] 오영준, 박광현, 장효영, "수화 동작 그래픽 편집기 개선에 관한 연구," 정보과학회 HCI 2006 학술대회 논문집, pp. 976-981, 2005년 1월 31일-2월 3일.
- [9] Young-Joon Oh, Kwang-Hyun Park, Hyoyoung Jang, Dae-Jin Kim, Jin-Woo Jung, and Zeungnam Bien, "A Development of Sign Language Avatar for Text to Sign Translator," Proceedings of the 6th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2005), pp. 1141-1145, September 28-October 1, 2005.
- [10] 오영준, 박광현, 장효영, 김대진, 정진우, 변중남, "하이퍼 수화문장을 사용한 수화 생성 시스템," 제25회 한국정보처리학회 춘계학술대회 논문집, pp. 621-624, 2006년 5월 13일-14일.
- [11] J. A. Bangham, S. J. Cox, R. Elliott, J. R. W. Glauert, I. Marshall, S. Rankov, and M. Wells, "Virtual Signing: Capture, Animation, Storage and Transmission - An Overview of the ViSiCAST Project," IEE Seminar on Speech and Language Processing for Disabled and Elderly People (Ref. No. 2000/025), pp. 6/1 - 6/7, April 4, 2000.
- [12] ViSiCAST at UEA, <http://www.visicast.sys.uea.ac.uk/index.html>.
- [13] Hitachi, Ltd., 수화 「Mimehand II」, <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/app/shuwa/mimehand/>
- [14] Frey, William H., Crying: The Mystery of Tears. Minneapolis, Minn., Winston Press, 1985.
- [15] 손천식, "한국수화의 관용표현," 한국수화연구회 제1회 공개 연구발표회-수화·농문화를 생각하는 세미나, Vol.1, pp. 31-41, 2000년.
- [16] M. Lincoln and S. Cox, "A Comparison of Language Processing Techniques for a Constrained Speech Translation System," Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 1, pp. 612-615, April 2003.
- [17] J. Hou and Y. Aoki, "A Real-Time Interactive Non-Verbal Communication System through Semantic Feature Extraction," Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 425-428,

- August 26-29, 2002.
- [18] B. de Carolis, C. Pelachaud, I. Poggi, M. Steedman, "APML, a Mark-up Language for Believable Behavior Generation", in H. Prendinger, Ed, Life-like Characters. Tools, Affective Functions and Applications, Springer, 2004.
- [19] 간다 카즈유키, 나가시마 유지, 이시카와 아키라, "SIGINDEX 제안 - 수화의 라벨링화의 개념," 전자정보통신학회 교육공학연구회 신학기보, Vol. 96, No. 604, pp. 47-52, 1996년.
- [20] SIGINDEX 표기법, 수화정보학연구회 (SIG-SILE), <http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwc1015/sig-sile/>
- [21] 김연순, "신체언어 커뮤니케이션의 기초학," 커뮤니케이션북스, 2001년 2월.
- [22] 최윤희, "비언어 커뮤니케이션," 커뮤니케이션북스, 1999년 10월.
- [23] 홍기선, "비언어 커뮤니케이션 분류에 대한 연구," 커뮤니케이션과학 13호, 1995.
- [24] 이경원, 장선희, "CVE 디자인을 위한 3D 아바타의 동작 표현 연구," 한국콘텐츠학회논문지 제5권 제4호, 2005, pp. 122-132, 2005.
- [25] 추계자, "화용론적 관점에서 본 독일어 신체언어 기호," 독일어문학, 제 11집, pp.492, 2000.
- [26] E. Bevacqua, C. Pelachaud, Expressive Audio-Visual Speech, Journal of Visualization and Computer Animation, Vol.15, n. 3-4, p. 297-304, July 2004.
- [27] 공광식, 김용순, 김창현, "비주얼 에이전트를 위한 한글 입술 움직임 모델," 한국정보과학회 학술발표논문집 1998년도 봄(B), pp. 344-346, 1998. 4.
- [28] 이호영, "국어음성학," 태학사, 1996.
- [29] Kyu-Ho Park Kyoung-Nam Kim Nam-Keum Doh Tae-Yong Kim, "Game Character Active Facial Color Engine based on the Theory of Emotion-Color Association," IEEE Hybrid Information Technology, 2006. ICHIT'06. Vol.2. pp.751-757, Nov. 2006.
- [30] 윤혜림, "컬러리스트학," 국제, 2004.
- [31] Stokoe W. , "Sign language structure: An outline of the visual communication system of the American deaf," Linstock Press, Silver Spring, 1978.
- [32] I. Poggi, C. Pelachaud, "Signals and meanings of gaze in animated faces," In P. McKevitt (Ed.) Language, vision and music. Amsterdam: John Benjamins, 2000.
- [33] C. Pelachaud, M. Bilvi, "Computational Model of Believable Conversational Agents," in "Communication in Multiagent Systems: background, current trends and future", Marc-Philippe Huget (Ed), Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2650, pp. 300-317, 2003.
- [34] Adamo-Villani, N., Beni, G., White, J. "3D simulator of ocular motion and expression." ICIT 2005 - International Conference on Information Technology, October 2005, Budapest, Transactions on Engineering, Computing and Technology, Vol.8, pp.122-127, 2005.
- [35] E. Hecht. "Optics. 2nd Ed.", Addison Wesley, 1987.
- [36] Tversky, A., and Kahneman, D. "Availability: A heuristic for judging frequency and probability." Cognitive Psychology 4:207-232, 1973.
- [37] 스테레오피아 주식회사, "입체 영상 기술의 원리", <http://www.stereopia.com/forum/forum.html>
- [38] 홍성호 을지대학병원 안과 교수, "안구건조증", <http://www.emc.ac.kr>
- [39] Robert Plutchik, 역자 : 박권생, "정서심리학", 학지사, 2004년.

오 영 준



e-mail : yjooh@ctrsys.kaist.ac.kr

2001년 성공회대학교 정보통신학과(학사)
2003년 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
2004년~현재 한국과학기술원 인간친화
복지 로봇시스템 연구센터 연구원
관심분야: 수화공학, 인간-컴퓨터 상호작용
(HCI), 재활공학

장 효 영



e-mail : hyjang@gmail.com

2001년 이화여자대학교 정보통신학과
(학사)
2004년 한국과학기술원 전자전산학과
(공학석사)
2004년~현재 한국과학기술원 전자전산학과
박사과정
관심분야: 제스처 인식, 학습이론, 인간-컴퓨터 상호작용



정진우

e-mail : jwjung@dongguk.edu
1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (학사)
1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2004년 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)

2001년~2002년 일본 동경대학교 기계정보공학과 대학원 방문연구원
2004년~2006년 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터 박사후 연구원
2006년~현재 동국대학교 정보산업대학 컴퓨터공학과 조교수
관심분야: 행동기반 생체인식, 인간-로봇 상호작용, 소프트웨어컴퓨팅



김대진

e-mail : djkingo@gmail.com
1997년 경북대학교 전자공학과(학사)
1999년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
2004년 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)

2004년~2006년 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터 박사 후 연구원
2006년~현재 University of Louisville, USA 방문연구원
관심분야: 멀티미디어 데이터마ining, 얼굴/얼굴표정 인식, 영상 이해 및 고급패턴인식, 인간-로봇/컴퓨터 상호작용, 지능로봇시스템 등



박광현

e-mail : akaii@ctrsys.kaist.ac.kr
1994년 한국과학기술원 전자전산학과 (학사)
1997년 한국과학기술원 전자전산학과 (공학석사)
2001년 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)

2005년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 BK초빙교수
관심분야: 학습이론, 지능로봇, 인간-로봇 상호작용, 재활공학



변증남

e-mail : zbien@ee.kaist.ac.kr
1969년 서울대학교 전자공학과(학사)
1972년 University of Iowa 전자공학과 (공학석사)
1975년 University of Iowa 수학과 (이학석사)

1975년 University of Iowa 전자공학과(공학박사)
1976년~1977년 University of Iowa 조교수
1981년~1982년 University of Iowa 객원부교수
1987년~1988년 Syracuse University, New York, USA 객원 연구원
1988년 일본 동경공대 객원 교수
1990년~1995년 한국 퍼지 및 지능 시스템학회 회장
2003년~2005년 국제퍼지시스템학회(IFSA) 회장
2003년~2006년 한국로봇공학회 회장
1977년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 교수
1999년~현재 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터 소장
2005년~현재 한국전력 석좌교수
관심분야: 지능제어, 학습이론, 소프트웨어컴퓨팅, 퍼지이론, 서비스 로봇