

인간의 감정 인식을 위한 신경회로망 기반의 휴먼과 컴퓨터 인터페이스 구현

Implementation of Human and Computer Interface for Detecting Human Emotion Using Neural Network

조기호, 최호진, 정슬*
(Ki Ho Cho, Ho Jin Choi, and Seul Jung)

Abstract : In this paper, an interface between a human and a computer is presented. The human and computer interface(HCI) serves as another area of human and machine interfaces. Methods for the HCI we used are voice recognition and image recognition for detecting human's emotional feelings. The idea is that the computer can recognize the present emotional state of the human operator, and amuses him/her in various ways such as turning on musics, searching webs, and talking. For the image recognition process, the human face is captured, and eye and mouth are selected from the facial image for recognition. To train images of the mouth, we use the Hopfield Net. The results show 88%~92% recognition of the emotion. For the vocal recognition, neural network shows 80%~98% recognition of voice.

Keywords : human and computer interface, neural network, voice and image recognition

I 서론

인간과 컴퓨터 상호작용은 한마디로 어떻게 하면 사람들이 쉽고 편하게 컴퓨터 시스템과 상호 작용할 수 있는가를 말한다. 인간과 기계에 의해 공동으로 수행되어지는 작업의 성과, 인간과 기계간의 커뮤니케이션의 구조, 인터페이스 자체의 프로그래밍이나 알고리즘들, 인터페이스를 만들거나 디자인하는데 필요한 기술적인 부분들, 인터페이스의 디자인에서 구현, 평가에 이르기까지의 프로세스, 그리고 디자인 각 요소간의 상충관계 등을 말한다[1].

미국 MIT 미디어연구실에서는 감성컴퓨터, 감성완구를 비롯해 인공 현실감 기술, 인간과 컴퓨터의 상호작용(HCI) 기술 등 세계정상의 감성공학수준을 자랑하고 있으며, 유럽연합(EU)은 자동차 관련 사업인 '프로메테우스'와 컴퓨터 관련 사업 '에스프리'등 대형 프로젝트의 일환으로 감성공학 및 인간공학 관련 연구를 추진하고 있다.

일본의 경우 많은 연구비를 투자하여 인간 생활 공학 연구센터(HQL)를 설립, '인간감각측정 응용기술개발 프로젝트'를 실시했으며, 이후 5년 동안 '인간행동 적합형 생활환경 창출시스템' 연구를 수행하고 있다.

우리나라에서도 얼굴과 눈동자를 식별해 응시위치를 추적하는 기술(감성컴퓨터 인터페이스), 개개인의 TV프로그램 선호경향과 시청습관에 따른 맞춤형서비스(감성적 디지털TV), 사람의 표정과 동작을 인식하는 기술(감성인식 및 표현시스템), 칩을 이용한 향기 발생장치 등을 연구하고 있다.

미국 캘리포니아주 IBM 알마덴 연구소는 블루 아이즈

프로젝트(blue eyes project)라 명명되는 프로젝트를 통해 사람의 비언어적 제스처를 읽어내는 주변 기기와 프로그램을 개발하고 있다. 손가락으로부터 체온, 심박동, 습도를 측정해 감정 상태를 파악하는 '이모션 마우스(emotion mouse)'는 75%의 확률을 가지고 있으며, 모니터 앞에 앉은 사람의 시선을 추적하는 '눈동자 탐색장치'를 개발 중에 있다. 눈썹과 입 모양으로 표정을 읽는 '감정 탐지장치(affect detection)' 등이 현재 개발 단계에 있는 기술들이다. 또한 일본에서 음성에 의한 직접조작 인터페이스가 발표되어 입 모양만으로 조작하는 음성인식 인터페이스를 개발하여 발표하였다.

본 논문은 윈도우 상에서 음성인식 시스템 및 영상 시스템을 구축하고 사용자가 입력한 음성을 인식하고 CCD 카메라를 통해 사용자의 감정을 인식하여 사람과 컴퓨터간에 상호 교감하는 프로그램을 구현하는데 그 목적이 있다. 음성인식에 있어서 특징추출기로 filter bank와 MFCC 출력을 사용하고 인식기로 역전파(back propagation)학습을 하는 신경회로망을 사용하여 인식기를 만들어 이를 실험해 보았다. 영상인식에 있어서 홉필드 넷을 사용하여 음성 인식기를 만들어 컴퓨터와의 인터페이스 프로그램을 구현하기로 한다. 그림 1은 사람과 컴퓨터와의 상호작용에 관한 개략도이다.

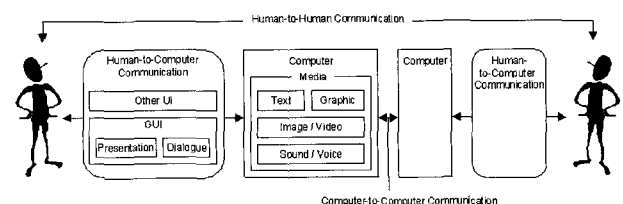


그림 1. 휴먼과 컴퓨터의 상호작용.

Fig. 1. Block diagram of HCI.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 5. 15., 채택확정 : 2007. 8. 3.

조기호 : Open culture(nolnolii@netian.com)

최호진 : 충남대학교 BK21 Mechatronics Group

(qorwlcjfa@hanmail.net)

정슬 : 충남대학교 BK21 Mechatronics Group(jungs@cnu.ac.kr)

II. 음성인식

음성인식과정은 그림 2에서 보여 진 것처럼 크게 전처리 기와 인식기의 두 가지로 나눌 수 있다. 전처리는 인식을 위하여 음성에서 필요한 특징들을 추출해 내는 과정이고, 인식기는 추출된 특징을 가지고 실제로 인식을 수행하는 과정이다. 특징추출을 위한 전처리로 많이 사용되는 방법은 filter bank출력, LPC계수, cepstrum계수 등의 신호처리 기법을 응용한 방법과 최근 들어 연구가 활발히 진행되고 있는 인간의 청각기관을 모델링 한 방법 등이 있다[2].

전처리기에서 추출한 특징벡터를 이용하여 음성을 인식 하는 방법은 크게 네 가지로 나눌 수 있다.

첫째, 기억장소에 저장되어 있는 참조 패턴과 입력패턴 간의 유사성을 측정하여 인식하는 패턴정합적인 방법이다. 그런데 음성신호는 같은 말이라도 발음할 때마다 그 지속 시간이 달라지게 되므로 이 문제를 해결하기 위해 동적 시간축 규준화법(DTW: Dynamic Time Warping)이 사용되고 있다. 둘째, 통계적 신호처리 기법인 HMM(Hidden Markov Model)을 들 수 있다. 이는 사람이 음성을 발생시키는 과정을 상태의 천이와 각 상태에서의 특정한 출력심벌을 내는 확률과정으로 설명하고자 하는 방법이다. HMM은 실제의 현상을 1차 마르코프 모델로 단순화 시켰다는 점, 확률적인 모델의 위상을 미리 결정해 주어야 한다는 점 등 몇 가지 문제점이 있으나 제한된 환경에서 좋은 성능을 보여주고 있다. 셋째, 인공지능에 기반을 둔 방법을 들 수 있다. 인식에 필요한 유용한 정보를 규칙화 한 후, 그 규칙을 이용하여 인식하는 방법이다. 마지막으로 신경회로망을 이용한 방법이 있다. 신경회로망은 대단위 병렬성, 유연한 구조, 학습 능력, 하드웨어 구현의 용이함 등 여러 가지 장점을 갖고 있어 최근 들어 음성인식에 많이 이용되고 있다[3].

음성분석에 있어 정확한 음성의 시종 점 검출은 음성신호의 구간 당 에너지를 계산하여 일차적으로 유성음 부분을 검출하고 난 후, 이 검출 점으로부터 영교차율을 측정하여 무성음 구간을 검출하는 방법을 이용한다[4-8].

음성을 스펙트럼 분석해 보면, 음성은 어떤 특정한 주파수 부분에 특징이 존재하고 있다. 이러한 특징을 포먼트(Formant) 주파수라고 한다. 대개 첫 번째 포먼트 주파수와

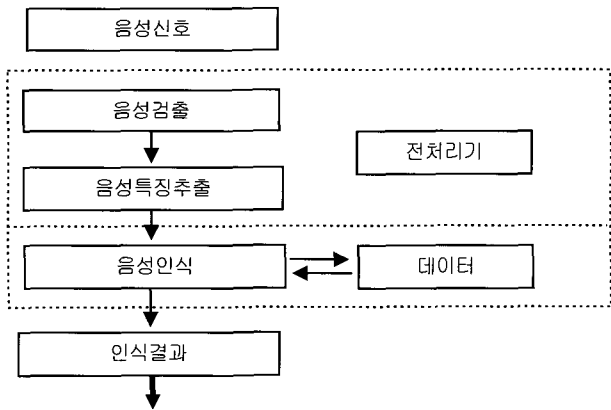


그림 2. 음성인식과정.
Fig. 2 Process of voice recognition.

두 번째 포먼트 주파수만 알아도 기본적인 모음 인식이 가능하다. 필터뱅크 분석법은 음성의 주 특징이 존재하는 주파수 부분에 대역통과필터(band pass filter)를 달아 그 출력을 음성 특징으로 처리한다.

필터뱅크의 구성은 실제로 필터를 만들어 구성하는 경우도 있으나 FFT를 사용하여 스펙트럼을 분석한 후, 계산된 값의 가중 평균, 또는 산술평균을 구하여 필터뱅크의 출력을 구한다.

본 논문에서는 필터뱅크 출력을 10개로 하여 음성의 특징으로 사용하였다. 아래 표 1은 필터뱅크의 중심 주파수와 대역폭을 나타내고 있다.

이 필터뱅크 분석법도 역시 음성신호를 프레임별로 나누어 계산한다. 256개(24ms, 11kHz)의 음성신호를 한 프레임으로 하고 각 프레임에 Hamming Window를 씌워 계산하였다[5-9]. MFCC를 구하기 위해 사용된 필터뱅크는 표 2와 같다.

표 1. 필터뱅크의 구성.

Table 1. Filter bank.

필터뱅크 개수	하한주파수	중심주파수	상한주파수	대역폭
1	0	90	181	181
2	90	220	351	261
3	220	390	562	342
4	390	603	816	426
5	603	857	1112	509
6	857	1169	1480	623
7	1169	1620	2070	901
8	1620	2301	2982	1362
9	2301	3184	4067	1766
10	3184	4283	5383	2199

표 2. MFCC를 구하기 위해 사용된 필터뱅크의 구성.

Table 2. Filter bank for MFCC.

필터뱅크 개수	하한주파수	중심주파수	상한주파수	대역폭
1	0	70	141	141
2	70	175	281	211
3	175	318	462	287
4	318	487	656	338
5	487	665	844	357
6	665	848	1031	366
7	848	1033	1219	371
8	1033	1219	1406	373
9	1219	1430	1641	422
10	1430	1676	1922	492
11	1676	1963	2250	574
12	1963	2317	2672	709
13	2317	2752	3187	870
14	2752	3274	3797	1045
15	3274	3910	4547	1273
16	3910	4673	5437	1527

III. 영상인식

영상 인식과정은 크게 전처리 과정과 인식기의 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 디지털 영상을 얻기 위한 영상 획득과정이다. 이를 위해 영상 센서로는 CCD 카메라를 사용하고, 디지털화하는 장치로는 프레임 그레이버(frame grabber)가 사용된다. 다음 단계는 영상의 특징 검출로 이때 사용되는 방법은 대비도 개선, 잡음 제거, 또한 목적에 따른 영역분리 등을 들 수 있다.

다음 단계로는 영상 특징 추출을 위한 영상 분할로 입력 영상을 구성요소나 물체들로 나누는 것이다. 분할 단계를 거친 출력은 영역의 경계나 영역내의 모든 점들로 구성된 화소 데이터로 컴퓨터 처리에 적당한 형태로 바꾸는 것이 필요하고, 모든 데이터는 윤곽선이나 완전한 영역으로 나타내어져야 한다. 윤곽선 표현은 에지나 골극과 같은 외부 형태를 얻고자 할 때 적당하다. 영역 표현은 질감(texture)이나 골격 형태(skeletal shape)와 같은 내부 특성을 구할 때 적당하다.

전처리기에서 추출한 특징벡터를 이용하여 영상 인식을 하게 되는데 간단한 방법으로는 두 영상의 매칭을 이용한 인식방법을 들 수가 있으며, 한 영상에서의 동일 특성 화소 간의 거리를 특징으로 하여 인식하는 통계적 방법, 신경망을 이용한 방법 등 여러 방법을 이용하여 인식을 하고 있다.

본 논문에서는 홉필드 신경망을 이용하여 영상인식을 하였다. 디지털 영상은 2차원의 색과 위치를 나타내는 함수 $f(X,Y,RGB)$ 로 표현되어지며 이는 행렬구조로 이루어져 있고, 행렬의 행과 열의 값으로 영상에서 한 점을 X, Y로 표시한다. 이 점의 색과 명암은 RGB값을 이용하여 표시하게 된다.

IV. 실험결과

1. 실험 환경

음성신호는 PC에 장착된 사운드 카드(Sound Blaster 128)를 사용하여 입력받는다. 16bit, 11kHz로 샘플링하고 24ms (256sample) 간격으로 프레임을 나누되 각 프레임에 Hamming Window를 씌워 특징 추출 시에 사용하였다. 영상 처리를 위하여 다음과 같은 vision system을 구성하여 실험하였다. 그림 3에 보여진 CCD카메라로(Charge Coupled



그림 3. 실험환경.
Fig. 3. The real experimental setups.

표 3. 인식결과.

Table 3. Results of recognition.

음성	LPC	MFCC	Filter Bank
아	56%	92%	88%
야	44%	94%	82%
어	48%	90%	94%
여	60%	96%	80%
오	50%	92%	88%
요	44%	90%	82%
우	58%	92%	90%
유	60%	90%	86%
으	58%	92%	82%
이	52%	94%	86%

Device): panasonic super dynamic II WV-CP464를 사용하였다. 화상캡처보드는 사람과 쉘 주식회사의 OnAirTV2 TV수신 카드를 사용하였다. OnAirTV2의 특징은 BrookTree의 BT878 칩을 사용하였으며 고속PCI버스를 사용하여 320*240(16비트 컬러)모드에서 초당 30프레임의 캡처가 가능하다.

2. 음성 인식 실험

위의 표 3은 입력층의 뉴런 수가 40개인 경우 즉 음성을 4 프레임씩 순차적으로 신경회로망에 입력했을 때의 인식률이다.

위의 인식결과를 살펴보면 세 가지 특징추출 방법 중에 Mel Frequency Cepstral Coefficient(MFCC)가 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 특히 LPC는 순차적으로 인가하는 프레임 수가 적어지면 성능이 현격히 저하되는 것을 실험을 통해서 알 수 있었다.

MFCC에서는 3-4프레임을 순차적으로 인가하는 것이 가장 좋은 성능을 보였는데 적은 프레임 수의 좋은 점은 음성인식기의 실시간화가 쉽다는 것이다. 즉 음성의 끝점을 검출하지 않고 입력되는 음성을 프레임 별로 바로 처리하여 인식기에 넣으면 결과가 나오기 때문이다.

음성인식기를 실시간 화하기 위해서는 MFCC로 음성의 특징을 추출하고 입력 프레임을 3-4개로 하였다. 음성인식을 위한 특징추출로는 MFCC를 사용하였고, 신경망의 구조는 입력층, 3개의 은닉층, 출력층의 총 5개의 층을 갖도록 하였으며, 입력층의 뉴런의 개수는 40개, 제 1 은닉층의 뉴런의 개수는 100개, 제 2 은닉층 뉴런의 개수는 80, 제 3 은닉층 뉴런의 개수는 40, 출력 뉴런의 개수는 8개를 사용하였다.

실험용 음성은 한국어 단어/음악, 신문, 편지, 실험실, 그레, 아니, 다시, 없음/ 여기서 '실험실', '신문', '편지'등은 외부 프로그램 웹브라우저를 선택하기 위해 설정을 하였으며, '음악'은 외부 프로그램인 WinAmp를 선택하기 위하여 사용하였고, '그레', '아니'는 음성을 통하여 사람의 허락과 거부를 위해 선택을 하였다. '다시'는 음성입력의 시간을 맞추지 못하였을 때, 사람이 재녹음할 것을 요청하기 위해, '없음'은 신경망 학습을 통해 얻게 된 결과가 별다른 음성이 입력되지 않으면 다시 녹음해 줄 것을 컴퓨터가 요청하기 위해 선택을 하였다. 그림 4에 나타난 것처럼 위의 단어

들의 MFCC를 구하여 이를 신경망에 넣어 학습을 하였다. 신경망의 학습시 오차가 줄어드는 것을 그림 5에서 볼 수 있다. 그림 5에서 보면 튀는 부분은 있는데 이는 복잡한 데이터의 학습 중에 나타나는 현상이다.

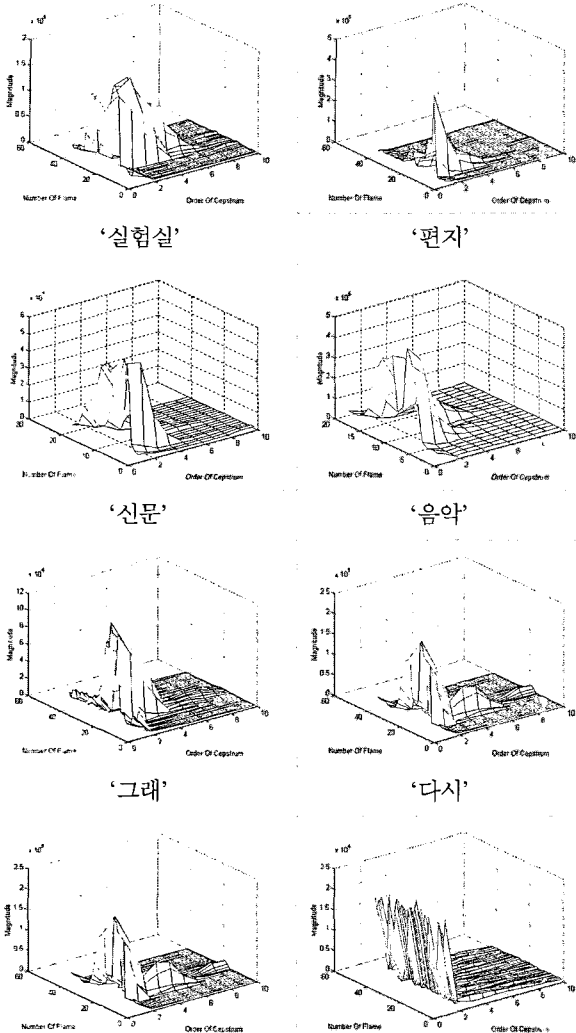


그림 36 '다시'

그림 37 '없음'

그림 4. 각 단어의 MFCC.
Fig. 4. MFCC for each word.

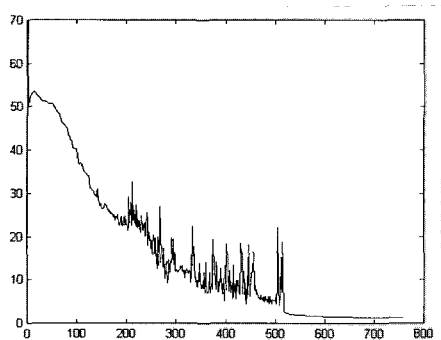


그림 5. 신경망 학습시 에러(x축: 반복학습 수, y축: 오차).
Fig. 5. Error convergence in training(x: iteration, y: error).

표 4. 신경망 인식결과.

Table 4. Success rate of word recognition.

	실험실	편지	신문	음악	그래	아니	다시	없음
인식 결과	88%	80%	82%	86%	86%	86%	88%	98%

위의 표 4는 신경망을 학습시킨 후 각 단어를 50회 반복 발음한 결과이다.

위의 결과를 살펴보면 '없음' 인식에는 거의 100%에 가까운 49번을 인식하였는데, 이는 다른 음들과 현저히 차이는 MFCC계수들을 가지고 있기 때문이다. 다음절 인식시 MFCC는 매우 효과적이거나 단어인식에는 조금 약한 면을 보였다.

3. 영상 인식 실험

CCD 카메라를 통하여 들어오는 영상을 OnAir TV 프레임 그레이버를 통해 디지털화하여 VC++ MCI 프로그램 방식을 사용하여 영상을 받았다. 처음 입력영상은 320×240 포맷으로 받아서 출력하였으며, 영상처리를 위해서 입력영상의 일부를 gray 영상으로 변환하고, 이 영상을 소벨 방법을 이용하여 외곽선 검출을 한다. 이때 검출된 영상정보를 이진화하여 반대편 창에 출력을 한다.

소벨 마스크에 의해서 출력되는 영상은 상당히 좋은 출력을 가진다. 아래 그림 6은 이진화 영상을 이용하여 눈동자를 검색하기 위하여 찍은 사진으로 현재 얼굴 중간을 중심으로 오른쪽은 형광등의 영향(국부조명)에 의해 좋은 검출은 아니지만 얼굴을 중심으로 좌측에는 눈동자가 선명하게 잡혀지는 것을 볼 수가 있다[10].

사람이 기분을 나타내는 방법에는 여러 가지 특징들이 있다.

기분이 좋을 때: 입이 양옆으로 벌어지면서 입 꼬리가 올라간다, 눈썹이 약간 올라가면서 눈이 작아진다(그림 8).

기분이 나쁠 때: 눈썹이 미중으로 물리면서 미간에 주름이 생긴다, 입이 조금 나오면서 입꼬리가 아래로 내려간다. 눈에 힘이 들어가면서 눈이 조금 작아진다(그림 9).

먼저 영상처리를 하기 위하여 영상의 2진화 범위를 140×140으로 하여 좁힐드 넷에 학습을 시도하였다. 영상으로 기분을 판단하기 위하여 다음과 같은 특징 중 동작반경이 가장 큰 입 주위를 선택하여 조금 과장된 표정을 기준으로 하여 학습하였다.

학습 패턴으로는 기분의 좋음, 평범함, 나쁨 이렇게 3가지로 나누고 출력되는 영상 중 일부(입 주변)의 부분을 실



그림 6. 소벨 마스크 이진화 영상의 눈인식.

Fig. 6. Iris recognition.

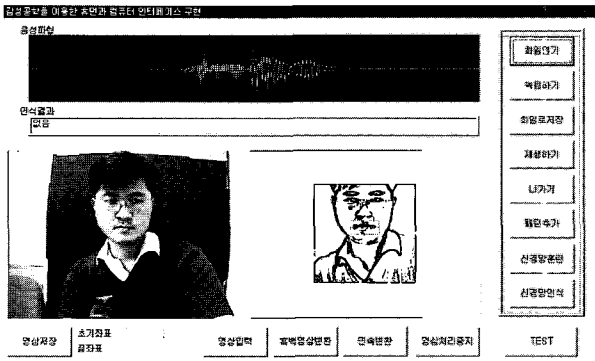


그림 11. 휴먼 & 컴퓨터 인터페이스 프로그램.
Fig. 11. Interface program for HCI.

입력받고 연속 흑백영상을 출력시킨 후 테스트 버튼을 눌러 시작하게 된다. 시작과 동시에 영상을 입력받고 영상인식을 먼저 행하게 된다.

그림 11은 실험에 사용된 프로그램의 외관을 나타낸다. 음성과형 창에는 검출된 음성 출력 결과를 나타내고 인식 결과 창에는 음성인식 결과를 나타내어 준다. 그 아래 창 좌측에는 CCD 카메라로부터 들어오는 영상(320×240)이 출력되며 우측 창에는 CCD 카메라로부터 들어오는 영상 중 일부분을 선택하여 외곽선 및 이진화 하여 출력하여 준다.

프로그램의 우측 Group Box 안에 있는 버튼들은 음성을 입력 받고, 저장하고, 재생하고, 신경망 학습과 패턴 추가 등 음성 인식을 위한 버튼들이며, 하단의 버튼들은 영상들의 입력, 흑백 영상출력, 흑백영상 연속 출력 등 영상처리를 위한 버튼들이다.

프로그램을 구현해본 결과 이 흐름도에 의하면 먼저 멘트를 하고 영상입력을 받아야 정상이지만 윈도우 시스템은 하나의 명령이 끝이 나면 다음 것을 행하는 그러한 시스템이 아니라 CPU이용시간을 나누어 여러 개의 명령을 같이 수행하는 체제(멀티태스킹)이므로 음성멘트 출력과 영상 캡처를 시분할 하여 수행하게 된다. 영상을 캡처하기 위해서는 먼저 이미지 처리를 행해야 하기 때문에 그 시간이 길어지는 관계로 인해 정상적으로 캡처하지 못한다. 따라서 영상 이미지를 먼저 취득한 다음에 멘트를 시작하는 방식을 취했으며, 또한 영상이 계속 돌게 되면 메모리를 계속 차지하는 관계로 인해 메모리 부족으로 시스템이 다운되는 현상도 보인다. 이를 피하기 위해서 일단 영상이 취득이 되면 영상 입력을 정지시켜 메모리를 절약하는 방법을 사용하였다. 영상이 입력되면 홉필드 넷에 의해 기분을 판별하게 되는데, 기분을 판별한 후 두 개의 음성멘트 출력이 위치하게 되고 이때 사이에 시간지연 함수를 쓰지 않으면

두음이 약간의 시간차를 두고 동시에 출력하는 현상이 나타난다.

흐름도의 맨 마지막 부분은 외부 프로그램 실행인데 음악을 듣기 위해 윈앰프와 인터넷 사이트를 방문을 위해 웹브라우저 실행을 선택했다. EXSHELL이라는 함수를 사용하여 간단하게 구현할 수 있다. 그러나 외부 프로그램은 독립적인 프로그램으로 인해 제어할 수 없는 단점을 가지고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 음성 및 영상 인식 시스템을 구축하고 사용자가 입력한 영상 및 음성을 이용하여 휴먼과 컴퓨터의 인터페이스 프로그램 구현을 제안하였다.

MFCC 파라미터를 이용한 신경망을 이용하여 컴퓨터와 인터페이스에 필요한 기본적인 단어 인식실험에서는 80%~98%의 결과를 얻었다. 입술 영상정보에 의한 히스토그램 및 이진화 특징패턴을 제거연산을 이용해 보강한 영상을 이용한 홉필드 넷 영상인식은 88%~92%의 결과를 얻었다. 현재의 하드웨어 사양으로는 홉필드 넷을 이용한 영상인식에는 무리가 따른다는 것을 알 수 있었다. 그러나 현재 연구되고 있는 영상 분할 알고리즘을 이용하여 홉필드 넷에 적용시킨다면 아주 우수한 효과를 보일 것으로 예상된다.

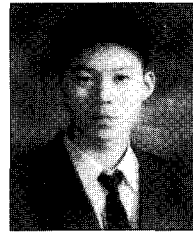
참고문헌

- [1] Alan Dix, Janet E. Finlay, Gregory D. Abowd, and Russel Beale, *Human-Computer Interaction*, Prentice Hall, 2003.
- [2] J. Makhoul, "Linear prediction: A tutorial review," *Proc. of IEEE*, pp. 561-580, vol 64, no. 4, 1975.
- [3] 정 슬, *인공지능시스템 I: 신경회로망의 구조 및 사용법*, 충남대 출판부, 2007.
- [4] L. R. Rabiner and R. W. Shafer, *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall, pp. 335-461, 1978.
- [5] 김기철, "Robust한 음성인식을 위한 주파수 가중 스펙트럼 표현에 관한 연구," 한국과학기술원, 1992.
- [6] 한국전자통신연구소, "음성인식 기술개발에 관한 연구," 1987.
- [7] 한진수, "음성신호처리," 오성미디어.
- [8] 정 슬, *디지털 신호처리 및 필터설계*, 도서출판 아진, 2005.
- [9] 김성규, "음성명령을 이용한 로봇의 구동," 충남대학교 석사논문, 1999.
- [10] Gonzalez & Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 2005.



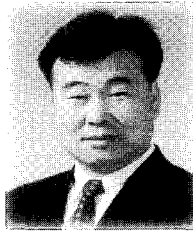
조 기 호

1973년 3월 15일생. 2000년 2월 충남대학교 메카트로닉스공학 전공 졸업. 2002년 8월 동 대학 석사 졸업. 현재 원자력 연구소 내 open culture에 근무. 관심분야는 RT OS, 시스템 프로그래밍, 노심 보호 설계.



최 호 진

1982년 10월 12일생. 2007년 2월 충남대학교 메카트로닉스공학 전공 졸업. 현재 동 대학 석사. 관심분야는 센서 및 신호처리, 지능 시스템 및 지능 로봇 시스템, 인간 중심의 로봇.



정 슬

1964년 9월 11일생. 1988년 미국 웨인주립대 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업. 1991년 미국 캘리포니아대 데이비스 전기 및 컴퓨터 공학과 석사. 동 대학 박사. 1997년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 부교수. 관심분야는 지

능 제어 시스템 및 지능 로봇 시스템, 인간 중심의 로봇.