

화자독립방식에 의한 음성인식 알고리즘 개발 및 실시간 실현에 관한 연구

A Study on Development and Real-Time Implementation of Voice Recognition Algorithm

정양근¹, 조상영², 양준석², 한성현³

Sang Young Jo, Jun Seok Yang, In-Man Park, Yang-geun Jung, Sung Hyun Han

〈Abstract〉

In this research, we proposed a new approach to implement the real-time motion control of biped robot based on voice command for unmanned FA. Voice is one of convenient methods to communicate between human and robots. To command a lot of robot task by voice, voice of the same number have to be able to be recognition voice is, the higher the time of recognition is. In this paper, a practical voice recognition system which can recognition a lot of task commands is proposed. The proposed system consists of a general purpose microprocessor and a useful voice recognition processor which can recognize a limited number of voice patterns. Given biped robots, each robot task is, classified and organized such that the number of robot tasks under each directory is net more than the maximum recognition number of the voice recognition processor so that robot tasks under each directory can be distinguished by the voice recognition command. By simulation and experiment, it was illustrated the reliability of voice recognition rates for application of the manufacturing process.

*Keywords : Voice Recognition, Biped Robot, HMM(Hidden Markov Model),
Rela-Time Implementation , unmanned FA*

1. *정회원, 교신저자, 신라정보기술㈜
(E-mail: euntha@hanmail.net)
2. 정회원, 교신저자 경남대학교 첨단공학과
3. 정회원, 경남대학교 기계공학부 교수 工博

1. Corresponding Author, Shintek. Co., Ltd.
3. Corresponding Author, Advanced Engineering
Kyungnam University
4. Prof., School of Mechanical Engineering,
Kyungnam University, Ph. D

1. 서 론

사람의 목소리를 분석하고 응답하는 이족보행 로봇은 컴퓨터가 발명된 이후로 많은 사람들이 공통적으로 추구해 온 꿈이며, 최근에는 음성인식기술은 비약적으로 발달하여 이를 다양한 분야에 적용시키려 꾸준히 노력하고 있다. 음성은 정보 전달방법 중 가장 빠른 수단이며, 가장 친숙한 방법이므로 별도의 훈련이나 학습 없이도 사람들이 로봇을 손쉽게 사용할 수 있다[1].

음성은 사람의 가장 자연스러운 통신방법으로, 사람과 기계사이의 자연스러운 통신을 위해 음성인식에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며 수십 단어 정도의 어휘를 대상으로 불특정 화자의 음성을 인식하거나, 화자적응을 통해 수만 단어를 인식할 수 있는 시스템들이 상용화되기 시작했다. 따라서 로봇의 교시에 음성인식 기술을 활용한다면 사람에게 보다 친숙하면서 전문가가 아니더라도 로봇의 교시를 가능하게 하여, 전문 엔지니어 양성 및 프로그램 재개발에 따른 비용과 시간의 절감 효과를 가져 올 수 있다. 특히 열악한 환경에서의 로봇의 원격 조작 및 신체장애자를 위한 서비스를 제공할 수 있는 로봇으로도 이용될 수 있는 등 응용분야가 다양하다[2].

본 연구에서는 확률함수를 이용해서 음성신호의 시간에 따른 특징 변화를 통계적으로 모델링하는 방법의 음성인식 기법을 이용하여 이족보행 로봇의 실시간 작업 동작제어 구현에 대한 연구를 수행하고자 한다. 세부내용으로 성능 음성인식 알고리즘을 개발한다. 그리고 음성인식시스템의 하드웨어를 구성하고 음성인식시스템의 실시간 구현을 위한 훈련 인식단계를 분석하고 그리고 신경회로 망학습 인식단계의 분석에 관한 연구를 수행한다. 마지막으로 고성능 음성인식시스템의 성능실험을 수행하고 이를 이족보행 로봇의 동작제어에 적용

하여 음성 명령을 통하여 로봇작업동작제어 실현에 대한 성능실험을 통하여 그 신뢰성을 검증하였다.

2. 음성인식 알고리즘

2.1 기본 개요

음성인식방법에서 화자종식방식인 DTW방식은 동적 프로그래밍에 의한 음성 패턴을 비선형 시간 정렬을 통하여 기준패턴과 인식하고자 하는 패턴을 비교하는 방식으로서 소규모 단위의 음성 인식에는 좋은 성능을 보이지만, 어휘의 수가 증가하는 대용량 연속 음성인 경우에는 증가하는 어휘수만큼 기준 패턴을 구성해야 하는 단점이 있다. 화자독립방식인 HMM(Hidden Markov Model)은 확률함수를 이용하여 음성신호의 시간에 따른 특징변화를 통계적 모델링하는 것으로서 학습 시에 많은 정보와 계산량을 요구하지만 다수 화자의 음성특성을 모델링하는데 유리하고 높은 인식성능을 나타낸다. 따라서 HMM 음성인식 알고리즘을 이용한 고성능 음성인식 알고리즘을 제안한다[5].

본 연구에서는 화자독립방식의 고성능 음성인식알고리즘을 제안하였다. HMM기반 음성인식알고리즘의 구성요소는 초기 상태 확률(initial state probability), 상태 천이 확률(state transition probability), 상태 관찰 확률(state observation probability)인 세 가지 파라미터로 구성된다. 이들을 간단히 모델 λ 로 표시하면 식 (1)과 같이 표현된다[7].

$$\lambda = (\Pi, A, B) \quad (1)$$

① 초기상태 확률 $\Pi = \{\pi_i\}$

1부터 N까지 각각의 상태에서 t=1인 첫 번째 관찰이 일어날 확률을 나타낸다.

$$\pi_i = P(s_1 = i) , \quad 1 \leq i \leq N \quad (2)$$

② 상태전이 확률 행렬 $A = \{a_{ij}\}$

각 상태간의 천이할 확률을 나타낸다. 시간 t에서 상태 S_t 가 i일 때, 시간 t+1에서의 상태 S_{t+1} 이 j로 천이할 확률을 a_{ij} 로 나타내며, 이것은 행렬 A의 원소를 이룬다. 상태가 N개인 모델의 경우 $N \times N$ 행렬이 된다.

$$a_{ij} = \Pr(S_{t+1} = j | S_t = i) \quad (3)$$

$$(1 \leq i, j \leq N)$$

③ 상태관찰 확률 $B = \{b_i(O_t)\}$

각 상태에서 특정한 관찰이 일어날 확률들의 집합이다. 시간 t에서 상태 j일 때, O_t 가 관찰될 확률을 $b_i(O_t)$ 로 나타낸다.

$$b_i(O_t) = \Pr(O_t | S_t = j) \quad (4)$$

$$(1 \leq j \leq N)$$

2.2 고성능 음성인식 알고리즘

HMM에 대하여 학습은 해당 음성 데이터가 발생할 확률을 최대로 하는 모델 파라미터 λ 를 추정하는 것이다. 이러한 문제는 가장 널리 사용되고 있는 Baum-Welch 알고리즘을 이용하여 해결할 수 있다[8].

Fig. 1에서는 HMM을 이용하여 고립단어의 학습단계를 표현한 것이다. 여기서 $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n$ 에서 n은 단어의 개수를 나타낸다. Baum-Welch 알고리즘을

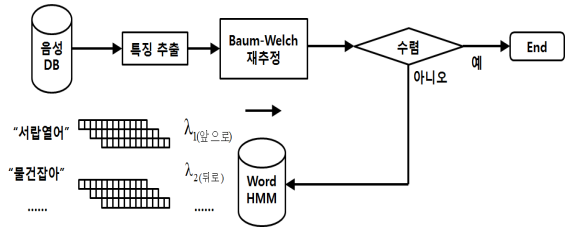


Fig. 1. Learning algorithm of HMM.

사용하기 위하여, 우선 모델 λ 가 주어졌을 때 관찰열 $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_T\}$ 가 발생할 확률을 계산할 수 있어야 하며, 시간 $t=1, 2, \dots, T$ 에서 HMM의 상태를 S로 나타내면, $S = S_1, S_2, \dots, S_T$ 라고 표현된다. 이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Pr(O|S, \lambda) = b_{S_1}(o_1)b_{S_2}(o_2)\dots b_{S_T}(o_T) \quad (5)$$

식 (5)는 관찰열의 상태가 주어졌을 때의 확률이 나오는 것을 나타낸다. 상태열 S가 나올 확률은 다음 식 (6)와 같다.

$$\Pr(S|\lambda) = \pi_{S_1} a_{S_1 S_2} a_{S_2 S_3} \dots a_{S_{T-1} S_T} \quad (6)$$

$$= a_{S_1 S_2} a_{S_2 S_3} a_{S_3 S_4} \dots a_{S_{T-1} S_T}$$

따라서 관찰열의 확률은 다음 식 (7), 식 (8)과 같이 주어진다.

$$\Pr(O, S|\lambda) = \Pr(O, S|\lambda)\Pr(S|\lambda) \quad (7)$$

$$\Pr(O|\lambda) = \sum_{all(s)} \Pr(O, S|\lambda)\Pr(S|\lambda) \quad (8)$$

$$= \sum_{all(s)} \prod_{t=1}^T a_{S_t S_{t+1}} b_{S_t}(o_t)$$

Fig. 2에서는 HMM의 인식 단계를 표현하는 것으로 새로운 단어가 입력되면 특징 추출단계 이후 훈련된 각 단어별 λ 와의 확률계산을 통해서 가장 확률 값이 높은 것을 인식한다.

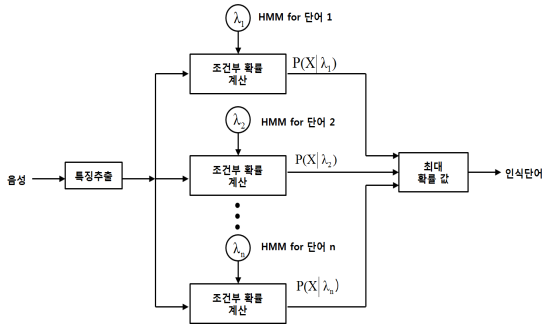


Fig. 2 The structure of HMM recognition algorithm

미지의 상태열을 구하기 위해 HMM을 이용한 인식과정은 학습된 모델 λ 와 관찰열 $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_T\}$ 가 주어졌을 때 $\Pr(O, S|\lambda)$ 가 최대가 되도록 하는 상태열 $S^* = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_T\}$ 를 찾는 것을 비터비 알고리즘(viterbi algorithm)이라 하며, 이 방법으로 앞의 훈련된 각 단어별 λ 와의 확률계산을 통해서 가장 확률 값이 높은 것을 인식하는 문제를 해결할 수 있다[8].

전후방 알고리즘에서 HMM 모델 λ 에 대한 주어진 관찰열 O 의 확률 $\Pr(O|\lambda)$ 는 모든 가능한 상태 열들에서 얻어진 확률들이 누적되어 있는 값이다. 이에 반해, 비터비 알고리즘은 이 누적 확률 중에서 관찰열이 가질 수 있는 최적의 상태열에서 얻어지는 확률을 구하는 것이다. 이것은 시간 t 에서 N 까지의 최적 상태 열로부터 얻어지는 확률 $\delta_t(i)$ 와 최적의 상태열 $\phi_t(i)$ 의 두 변수를 이용하여 관찰열 O 에 대한 최적의 확률 P^* 를 구하는 방법이다. 최적의 상태열 S^* 은 최종 시간으로부터 가장 가능성이 큰 모든 상태를 역으로 추

적하여 구한다. 비터비 알고리즘의 과정은 다음과 같다.

1) 초기화

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(o_1), \quad (1 \leq i \leq N) \quad (9)$$

$$\phi_1(i) = 0 \quad (10)$$

2) 반복

$$\delta_t(j) = \max_i [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] b_j(o_t), \quad (2 \leq t \leq T) \quad (11)$$

$$\phi_t(j) = \arg \max_i [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] \quad 1 \leq j \leq N \quad (12)$$

3) 종료

$$P^* = \max_i [\delta_T(i)] \quad (13)$$

$$q_s = \arg \max_i [\delta_T(i)] \quad (14)$$

4) 최적의 상태열 역 추적

$$q_s = \phi_{t+1}(q_{t+1}) \quad (t = T-1, T-2, \dots, 1) \quad (15)$$

이와 같은 방법을 이용하여 얻어진 각 단어들의 P^* 를 후처리 절차를 통해서 인식 결과를 얻어 내게 된다.

3. 음성인식시스템 설계

3.1 개요

본 연구에서 구현된 음성인식시스템은 HMM (Hidden Markov Model)을 이용하여 인식을 수행할 경우의 오인식을 최소화하기 위한 후처리 과정으로 신경회로망의 일종인 방사 기저함수 신경회

로망(RBF NN :Radial Basis Function Neural Network)을 결합하여 보다 높은 인식률을 얻을 수 있는 HMM과 방사 기저함수 신경회로망의 시스템으로 구현하였다.

본 연구에서는 고성능 음성인식시스템에 적합한 HMM을 적용하여 각 분류목록에 대응하는 HMM 학습 데이터를 만든 다음 HMM 학습에 참여하지 않은 데이터를 학습 완료된 HMM 데이터를 사용하여 각각의 출력확률을 계산한다. 이러한 과정으로 각 입력 단어에 대응하는 하나의 출력확률 벡터를 만든다. 이렇게 생성된 출력확률 벡터열을 방사 기저함수 신경회로망의 입력층으로 인가하여 방사 기저함수 신경회로망을 학습하는 음성인식시스템을 구성한다. Fig. 3은 제안된 HMM-NN 음성인식시스템을 나타낸다.

HMM인식과정 중에 오인식되어지는 데이터의 특성을 반영하기 위해서 HMM 학습에 참여하지 않은 데이터를 사용하여 출력확률 벡터열을 구사하고 방사 기저함수 신경회로망의 입력으로 사용하여 학습시켰다. 또한 구성된 HMM-NN 음성인식시스템의 성능을 테스트하기 위한 방법으로 HMM과 NN에의 학습에 사용되지 않은 제 3의 데이터를 사용하여 HMM으로만 학습한 음성인식시스템과 인식결과를 비교하였다.

HMM의 확률, 통계적인 가정에서 출발하는 한계를 가지는 단점을 활성화 함수에 비선형적인 가우시안 함수를 사용하여 입출력간의 비선형 특성을 학습할 수 있는 방사 기저함수 신경회로망에 의하여 후처리함으로써 HMM의 인식률을 향상시킬 수 있었다.

또한 제안된 HMM-NN 시스템은 먼저 PC상에서 학습 및 성능평가과정을 거쳐서 HMM의 학습 데이터인 모델 파라미터 λ 와 신경회로망의 학습 파라미터인 가우시안 함수의 중심(m) 및 폭을 나타내는 표준편차(σ)를 임베디드 시스템인

TMS320C32로 구성된 음성인식 모듈에 사용하여 실시간으로 음성인식을 실행하였다.

3.2. 음성인식시스템의 하드웨어 구성

HMM-NN 음성인식시스템을 실시간으로 처리하고 또한 모듈형으로 구성할 수 있는 임베디드 시스템으로 구성하는 것이 매우 중요한 특징이라 할 수 있다. 음성신호처리의 특성상 많은 양의 데이터를 고속으로 처리해야 하고 실시간 동작되는 시스템을 구성하기 위해서 충분히 속도가 빠르고 고성능 32비트 부동소수점 연산방식의 범용 DSP인 TMS320C32를 사용하였다. TMS320C32의 내부를 살펴보면 실수 연산에 적합하도록 설계된 내부 산술연산 장치(ALU : Arithmetic Logic Unit)뿐만 아니라, 32비트 데이터 버스와 24비트 어드레스 버스, 2개의 타이머, 2채널 DMA, 그리고 직렬통신 포트 등이 갖추어져 있음을 알 수 있다. [9]

마이크를 통해서 입력된 음성신호는 아날로그 신호이다. 따라서 먼저 TLC2272라는 OP-AMP를 사용하여 입력신호인 음성신호를 증폭시킨다. 또한 사람의 음성은 약 100Hz에서 8KHz의 범위를 가지므로 증폭된 음성신호는 16비트 분해능을 가진 시리얼 오디오 코덱인 CS4218에 의해서 최대 주파수 8KHz로 샘플링되어 입력되었다. CS4218은 내부에 AD와 DA 변환처리를 할 수 있는 기능이 내장되어 있고, 속음(decimation) 필터와 평활(smoothing) 필터를 내장하고 있어서, 별도의 필터를 필요로 하지 않는다. 그리고 레벨 세팅을 수행하며 디지털 컴퓨터 시스템을 위해 4개의 오디오 입력과 2개의 오디오 출력을 가진다. 데이터는 SM4 모드에 SMOD3의 세팅에 의해서 처음 16비트는 좌측오디오 채널로 다음 16비트는 우측오디오 채널로 보내어 진다.

음성신호는 특징추출 단계인 MFCC 과정을 거

치게 되면, 1 프레임 당 12 계수 (order) 값으로 줄어들게 된다. 이 후 HMM 훈련 알고리즘에 의해서 명령별로 학습을 시킨다. 여기서 코드북 크기는 512로 이전 트리 알고리즘으로 학습 및 심볼을 추출하여 생성시켰다.

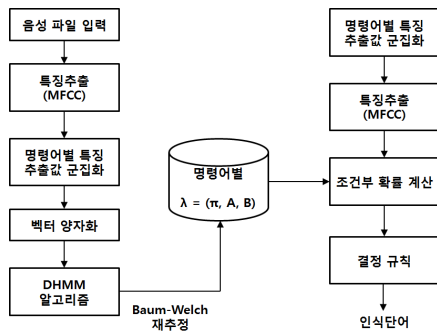


Fig. 3 The flow chart of HMM recognition and training stage

명령어별로 벡터 양자화된 심볼값들을 HMM의 학습 알고리즘인 Baum-Welch 재 추정으로 명령어별 λ 값을 재 추정한다. 즉 명령어가 5개이므로 λ 가 10개가 생성된다. 이렇게 생성된 명령어별의 λ 를 가지고 음성 DB로 사용이 된다. 또한 인식 과정은 테스트할 단어가 입력되면 특징추출 단계 이후, 훈련된 각 단어별 λ 와의 확률계산을 통해서 가장 확률 값이 큰 것을 인식한다. 그리고 HMM 인식 및 훈련 단계를 Fig. 3에서 나타내었다.[10]

4. 성능실험

4.1. 음성인식알고리즘 실험

음성 DB의 구성은 총 30명이 10개 단어를 5번 발성하여 수집한 음성파일을 10명씩 세 부류로

나누어 첫 번째 음성 DB는 HMM 학습을 위한 데이터로(음성 DB①), 두 번째 음성 DB는 방사 기저함수 신경회로망을 학습하는 데이터로(음성 DB ②), 마지막 세 번째 음성 DB는 성능평가를 위한 테스트용으로(음성 DB③) 사용하였다.

앞서 제안한 방사 기저함수 신경회로망을 사용한 HMM-NN는 음성 DB①의 HMM학습에 사용한 후, 음성 DB②의 방사 기저함수 신경회로망의 학습에 사용하였고, 마지막으로 음성 DB③ 테스트용으로 사용 실험을 하였다. Fig. 4에서는 제안된 HMM-NN 음성인식시스템의 학습 및 테스트 절차를 보여주고 있다.

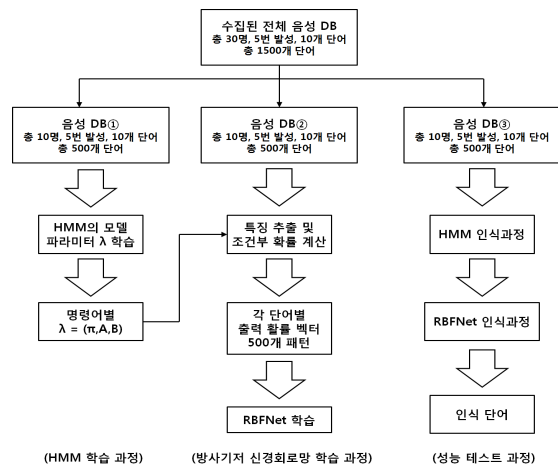


Fig. 4 Learning and testing procedures of voice recognition system

실험방법은 인식단어를 두 단어 이상의 단어 등 여러 형태의 단어를 사용하였고 Table. 1에 제시된 10개의 단어를 3명을 대상으로 각 20번씩 발성하여 음성인식 실험을 하였다. 인식시간을 테스트하기 위해 오실러스코프를 사용하였으며, 마이크의 잡신호를 제거하기 위해 로우 패스 필터를 사용하였다.

Table. 1 Voice recognition words.

단어ID	단어이름	단어ID	단어이름
1	준비	4	좌회전
2	앞으로	5	우회전
3	뒤로	6	물건잡아

Table. 2. Wave of Registered word

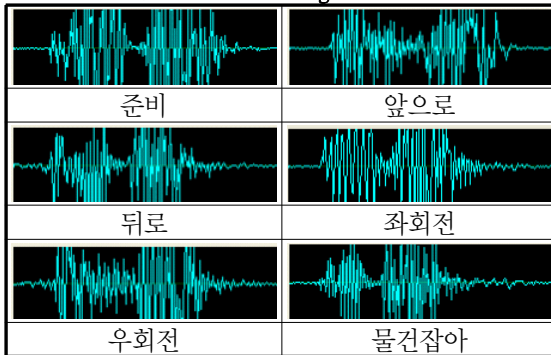


Table. 3 The result of voice recognition algorithm test

명령어	테스트 횟수	인식 횟수	인식률
앞으로	50	42	84%
뒤로	50	43	86%
좌회전	50	42	84%
우회전	50	42	84%
준비	50	43	86%
물건잡아	50	42	84%

4.2. 음성명령기반 로봇 동작제어 구현

성능실험

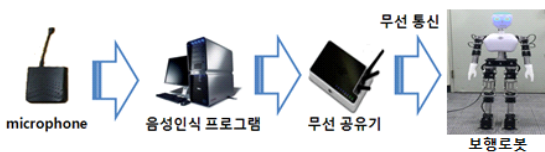


Fig. 5 Remote control schematic diagram of voice recognition robot

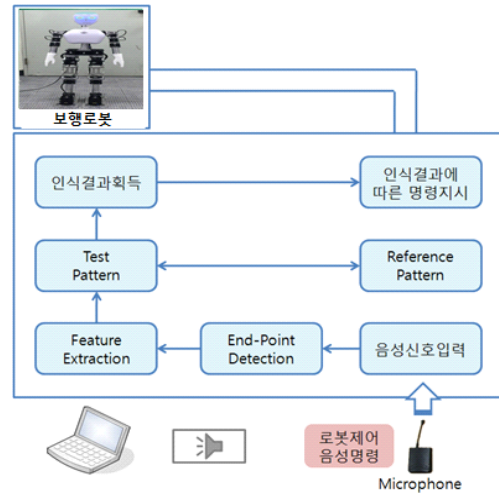


Fig. 6 voice recognition system

4.3 제어기의 구성

본 연구에서 개발한 로봇의 제어 시스템은 로봇의 구동을 위한 서보모터 제어부, AD보드가 장착되어 음성신호의 획득 및 필터링을 수행한 후 이를 주제어부로 넘겨주는 음성 전처리부, 음성인식의 수행 및 주제어부 역할을 하는 PC, 그리고 본 연구에서는 다루지 않지만 환경인식을 위한 초음파 센서부를 포함하면 총 4개 모듈로 구성되어 있다.

서보 모터 제어부는 80C196KC 마이크로 컨트롤러를 사용하는데, 모터를 원하는 속도로 구동하고 모터 엔코더에 의한 속도 정보를 검출하여 주 제어부로 전달하는 역할을 한다. 모터의 속도 제어는 컨트롤러의 PWM 신호를 이용하며, PWM 펄스의 증폭을 위하여 H형 브리지 회로를 사용하여 정역회전이 가능하도록 하였다. 로봇 구동부의 전원은 24V, 7Ah이다. 또한, 모터 엔코더는 Koyo사의 1000펄스의 분해능을 가지는 TRD-J를 사용하였으며 모터 엔코더의 신호는 24bit 카운터에 의해 계수되어 주제어기로 전달된다.

음성 전처리부는 마이크로부터 음성 교시명령에 대한 음성신호를 획득하고 아날로그적인 필터링을 거친 후, 그 결과를 주제어부인 PC로 전달하는 역할을 한다. 메인 프로세서(main processor)로 고속 실수 연산 처리가 가능한 TI (Texas Instrument)사의 DSP(TMS320C32)를 사용하였으며, 12bit AD와 64kWord의 RAM 등이 장착되어 있다.

펜티엄 PC인 주제어기는 음성인식을 수행하고 인식음성에 해당하는 제어신호를 서보 모터 제어부로 전송한다. 주제어기에는 센서의 신호를 입력받기 위한 AD 컨버터(converter)가 장착되어 있으며, 그리고 필터링된 음성신호의 획득을 위해 음성 전처리부와 주제어부 사이엔 EPP(enhanced parallel protocol) mode를 이용하였고, 음성인식을 수행한 후 인식된 결과를 서보 모터 제어부로 전송하기 위해 RS232C 시리얼통신을 사용하였다. Fig. 10은 각 제어기 모듈간 신호흐름을 나타낸다.

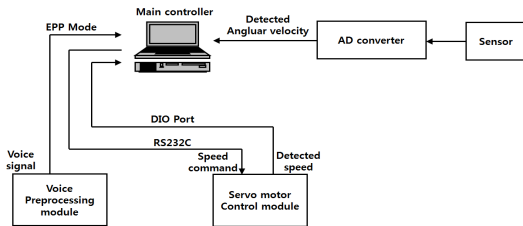


Fig. 7 The signal flow of between the controller module

4.4 음성명령 반복학습에 의한 로봇 작업 동작 구현실험

Table 5 Specifications of humanoid robot

구 분	관절	형태	무게	높이	넓이
로봇 사양	26관절	이족보행	9.0Kg	956mm	235mm

1) 성능실험 방법

적용모델 실험은 3명의 학생을 대상으로 Table 1에 제시된 6개의 명령어를 각 20번씩 반복 실험을 통한 음성인식 실험 결과 분석하였다.

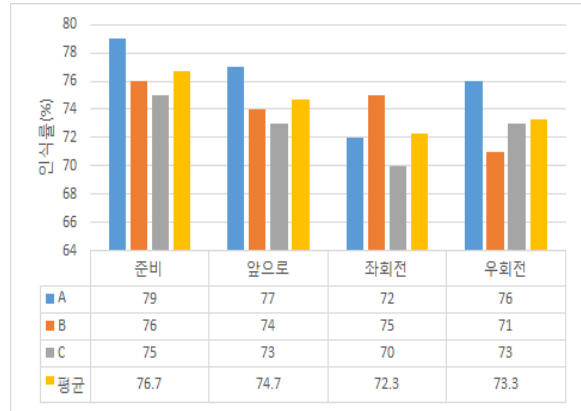


Fig. 12 Voice recognition experiment result

5. 결론

본 연구에서는 음성인식 기법을 이용한 휴머노이드 로봇의 실시간 작업 동작제어에 관한 연구를 수행하였다. 구현된 음성인식시스템은 HMM을 이용하여 인식을 수행 할 경우의 오인식을 최소화하기 위한 후처리 과정으로 신경회로망의 일종인 방사 기저함수 신경회로망을 결합하여 보다 높은 인식률을 얻을 수 있는 HMM과 방사 기저함수 신경회로망의 시스템으로 구현하였다.

후 기

본 연구는 로봇산업융합원천기술개발 사업의 일환(10045252)으로 연구되었음

참고문헌

- [1] H. J. M. Steeneken and D. A. van Leenwen, "MultiLingual Assessment of speaker independent large vocabulary speech-recognition systems: SQUALE Project," Proc. EUROSPEECH-95, pp. 1271-1274 September 1995.
- [2] 이건상, 양성일, 권영현 "음성인식(Speech Recognition)", 한양대학교 출판부, 2001
- [3] 김성규, "음성명령에 의한 로봇의 구동," 충남대학교 석사학위논문, 2011
- [4] Lawrence Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Application in Speech Recognition", Proc. IEEE, Vol 77, No. 2, february 1989.
- [5] J. Stiver, P. Antsaklis, and M. Lemmon, "Hybrid system modeling and autonomous control systems," In Robert L. Grossman, Anil Nerode. Anders P. Ravn, and Has Rischel, editors, Hybrid Systems I, Lecture Notes in Computer Science 736, pp. 366-392, 1993.
- [6] P. Renevey, R. Vetter, and J. Kraus, "Robust speech recognition using missing feature theory and vector quantization," in Proc. Of Eurospeech-2001. ESCA, 2001, pp. 1107 - 1110.
- [7] 강성인, "하이브리드 음성인식 기법을 이용한 인공지능형 이동로봇 시스템의 설계 및 구현," 해양대학교 공학박사 학위논문, 2004.
- [8] L.R. Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Application in Speech Recognition," Proc. of the IEEE, Vol. 77, No. 2, pp. 257-285, February 1989.
- [9] J. Barker, M. Cooke, and P. Green, "Robust asr based on clean speech models: An evaluation of missing data techniques for connected digit recognition in noise," in Proc. of Eurospeech-2001. ESCA, 2001, pp. 213 - 216.
- [10] P. Renevey, R. Vetter, and J. Kraus, "Robust speech recognition using missing feature theory and vector quantization," in Proc. Of Eurospeech-2001. ESCA, 2001, pp. 1107 - 1110.

(접수:2015.10.05., 수정:2015.10.23., 게재확정:2015.10.29.)