

# TMS320C30을 이용한 소규모 Voice Dialing 시스템

이 함섭, 양 전우, 홍 진우, 이 강성, 안 태욱, 김 순현

광운대학교 전자계산기공학과

## The small scale Voice Dialing System using TMS320C30

H.S. Lee, J.W. Yang, J.W. Hong, G.S. Lee, T.O. Ann, S.H. Kim

Dept. of Computer Engineering, Kwangju University

### ABSTRACT

This paper describes development of small scale voice dialing system using TMS320C30. Recognition vocabulary is used 50 department name within university. In vocabulary below the middle scale, word unit recognition is more practice than phoneme unit or syllable unit recognition. In this paper, we performed recognition and model generation using DMS(Dynamic Multi-Section) and implemented voice dialing system using TMS320C30.

As a result of recognition, we achieved a 98% recognition rate in condition of section 22 and weight 0.6, and recognition time took 4 seconds.

### 1. 서 론

정보통신 기술의 빠른 발전과 함께 음성 다이얼링 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

음성 다이얼링 시스템은 기존의 다이얼링 방식에 비해 여러가지 장점을 지니고 있어 이용자의 새로운 요구에 부합할 수 있는 다이얼링 방식으로 그 개발의 가치가 인정되고 있다. 그러나, 음성 다이얼링 시스템을 구현하기 위해서는 실시간 처리가 이루어져야 하는데 본 논문에서는 실시간 처리를 위하여 TMS320C30 신호처리 전용 프로세서를 갖춘 DSP 시스템 보드를 사용하였고, 인식 알고리즘으로는 DMS 모델을 이용한 DMS/SS 방식을 제안하여 사용하였다.

음성 다이얼링 시스템을 3~5명 내외의 가정이나 사무실 또는 연구실 등에서 사용할때는 화자 종속으로도 충분하기 때문에 본 연구에서는 소규모의 실시간 음성 다이얼링 시스템의 구현을 위하여 대학교내 부서명 50개를 선정하여 화자 종속으로 DMS/VQ 와 DMS/SS의 두가지 방식으로 PC 상에서 예비 실험을 하여 DMS/VQ 방식과 거의 같은 인식률을 보이면서 인식 시간이 2배정도 빠른 DMS/SS 방식을 이용하여 음성 다이얼링 시스템을 구현 하였다.

음성 다이얼링 시스템은 크게 음성인식부와 다이얼링부로 나눌수 있는데 음성인식부는 DSP보드로 구성하였고, 다이얼링부는 모뎀(Modem)을 사용하였다.

### 11. 본 론

본 연구에서는 DMS 모델을 이용하여 다음과 같은 2가지 방법으로 음성 인식 실험을 하였다.

첫째는 DMS/VQ 방식에 의한 음성 인식율. 둘째는 구간정보 대 구간정보 비율을 이용한 DMS/SS 방식에 의한 음성 인식을 수행하였다.

#### 1. DMS/VQ 방식에 의한 인식[11]

DMS/VQ에 의한 인식 방법은 DMS 모델의 구간 정보인 지속 시간 정보를 이용하여 시험패턴의 구간을 구분하고 각 구간 내의 프레임들과 표준패턴의 코드워드들의 거리값 비교를 통하여 인식하는 방법이다.

본 연구에서는 모델 작성시 각 구간당 코드워드를 두개 선택하는 DMS/VQ 4 방식과 코드워드를 한개만 선택하는 DMS/VQ 3의 두가지 방식으로 실험을 하였다.

DMS/VQ 4 방식은 model 생성시 구간수를 6에서 12구간까지 변화시켜가며 각 구간에서 두개의 codeword를 구한 후 시험패턴의 한 프레임을 표준패턴의 4개의 codeword와 거리값 비교를 하여 인식을 수행하는 것이고, DMS/VQ 3 방식은 model 생성시 구간수를 DMS/VQ 4의 두배로 하고 각 구간에서 하나의 codeword 만을 구한 후 시험패턴의 한 프레임을 표준패턴의 3개의 codeword와 거리값을 비교하여 인식을 수행하는 것이다.

사용한 알고리즘을 그림으로 표현하면 그림 1.과 같다.

각 단어 모델마다 누적 거리값을 계산하여 그 누적 거리값이 최소가 되는 모델과 매칭한 것으로 한다. 위의 알고리즘을 그림으로 표시하면 다음과 같다.

#### 2. DMS/SS 방식에 의한 음성 인식

본 연구에서 제안한 방법인 DMS/SS 방식에 의한 음성 인

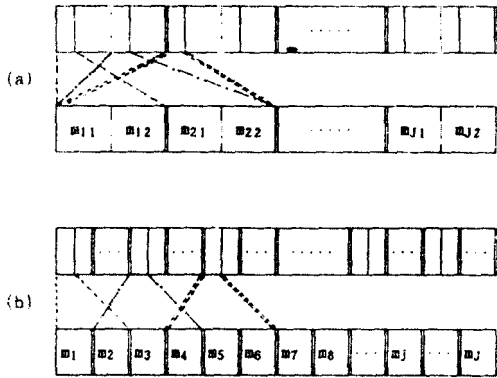


그림 1. DMS/VQ 방식의 거리비교 방법:

(A) DMS/VQ 4 방식, (b) DMS/VQ 3 방식

식은 DMS 모델에 의한 구간정보 대 구간정보 비율에 의한 음성 인식을 하는 방법으로 DMS 모델의 지속 시간 정보를 이용하여 시험패턴의 구간을 분할한 후 시험패턴의 각 구간마다 집단화 방식을 사용하여 하나의 코드워드( $c_1, c_2, \dots, c_i$ )를 만들어서 표준패턴의 코드워드와의 거리비교를 해주는 방법이다. 각 구간내의 여러 프레임들을 하나의 코드워드로 표현해줌으로써 인식을 위한 표준패턴과의 거리비교시 비교시간을 대폭 줄일수 있는 장점이 있으므로 실시간 처리를 위해서 알맞은 인식 방법이라고 생각된다.

본 연구에서는 시험패턴의 코드워드 하나에 대해 표준패턴의 코드워드 네개를 비교하는 DMS/SS 4와 시험패턴의 코드워드 하나에 대해 표준패턴의 코드워드 세개를 비교하는 DMS/SS 3의 두가지 방법으로 실험을 하였다.

DMS/SS 4 방식은 DMS/VQ 4 방식과, DMS/SS 3 방식은 DMS/VQ 3 방식과 각각 모델 작성방법, 시험패턴의 구간을 분할하는 방법, 인식시 거리 비교 방법들은 모두 똑같은 방법을 사용하나 단지 거리비교시 시험패턴의 프레임 대신 각 구간마다 집단화 기법을 사용하여 구한 코드워드를 표준패턴의 코드워드와 비교하는데 사용한다.

사용한 DMS SS 3 방식의 알고리즘은 다음과 같다

( DMS/SS 3 인식 알고리즘 )

단계 1. 초기화

( 시간 정보에 의해 구간 분할 )

$0 \leq i \leq J$ 에 대해서 반복

$$e(i) = p(i) * 1 \quad (1)$$

단계 2.  $i = 1$  일 때

$$DIS(T, M) = \min \begin{cases} d_v(c_i, m_i) \\ d_v(c_i, m_{i-1}) \end{cases} \quad (2)$$

단계 3.  $2 \leq i \leq J-1$ 에 대해서 반복

$$DIS(T, M) = DIS(T, M) + \min \begin{cases} d_v(c_i, m_{i-1}) \\ d_v(c_i, m_i) \\ d_v(c_i, m_{i+1}) \end{cases} \quad (3)$$

단계 4.  $i = J$  일 때

$$DIS(T, M) = DIS(T, M) + \min \begin{cases} d_v(c_i, m_{i-1}) \\ d_v(c_i, m_i) \end{cases} \quad (4)$$

이 알고리즘을 그림으로 표시하면 다음과 같다.

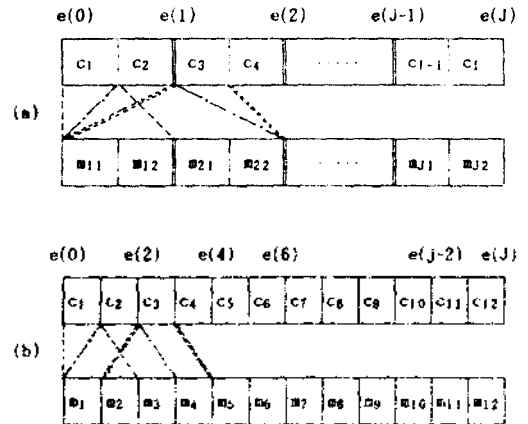


그림 2. DMS/SS 방식의 거리비교 방법

(a) DMS/SS 4 방식 (b) DMS/SS 3 방식

각 단어 모델 마다 누적 거리값을 계산하여 그 누적 거리값이 작아 지는 모델과 매칭한 것으로 한다

## 1.1. 실험 결과

### 1. 인식 대상어 및 파라미터 추출

본 연구를 위한 인식 실험 대상어로는 대학교내의 50개 부서명을 선정하였고, 3명의 남성 화자가 각각 3번씩 발음한 150개의 데이터중에서 각각 3번씩 발음한 30개는 DMS 모델을 작성하는데 이용하였고, 나머지 120개는 인식 실험을 하는데 사용하였다.

선정된 음성 데이터는 3.4kHz의 저역 여파기를 통과한 음성을 8kHz로 샘플링한 후 16 bit로 A/D 변환하여 얻었다. 그리고, 골점을 검출한 후 특성 파라미터로 사용하기 위해 12차의 LPC cepstrum[6]을 구하여 DMS 모델을 만들고, 이 모델을 이용하여 인식실험을 하였다.

### 2. 인식 시스템 구성

인식 실험을 위한 음성 인식 시스템은 크게 디지털 신호 처리 전용 프로세서인 TMS320C30을 이용한 TMS320C30 시스템 보드와 IBM PC/386 을 이용하여 그림 3. 과 같이 구성하였다.

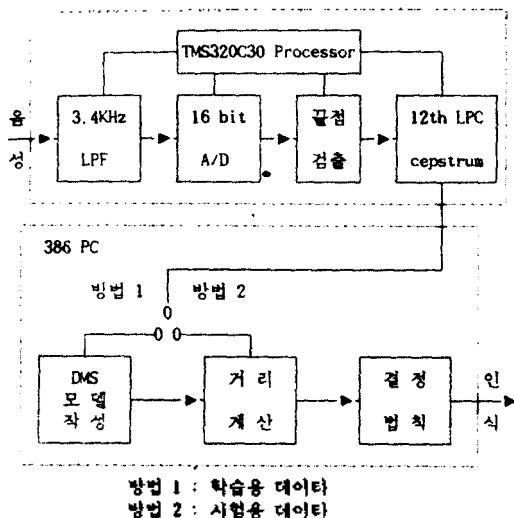


그림 3. 인식 시스템 구성도

### 3. TMS320C30 시스템 보드[14]

TMS320C30 시스템 보드는 IBM PC/AT 또는 그 호환 기종의 I/O 슬롯에 접속하여 사용할 수 있는 module card로서 아날로그 인터페이스의 입력과 출력 채널은 4 order Sallen-Key lowpass filter를 통과하게 되어있으며, 최고 200KHz의 주파수 대역까지 샘플링 할 수 있고, 2 채널의 16 bit A/D 변환기 및 256KWord(1 Word는 32 bit)의 메모리로 구성되어 있다. PC와 시스템 보드간의 접속은 16 비트 AT 버스와 32 비트 DSP 버스 사이의 바이트 전송 또는 블록 바이트 전송 방식으로 이루어지며 이는 시스템 보드내에 구성된 I/O Controller에 의해 인터럽트 또는 polling 방법으로 구현된다. 또한, 시스템 보드는 음성 입력 및 출력을 위한 마이크와 스피커를 접속할 수 있는 Audio 접속부가 있어 직접 음성 데이터를 받거나 출력하고 처리할 수 있는 기능이 있다.

### 4. TMS320C30의 특징[3][4][7]

TMS320C30은 신호처리 전용 프로세서로 33 MIPS(Million Instruction per second)의 부동소수점 연산(33 MFLOPS)을 할 수 있는 능력이 있다. 이 프로세서는 하바드 구조를 기본으로 four-level pipelining 기능과 single-cycle로 곱셈을 수행할 수 있는 하드웨어 곱셈기를 가지고 있고, 특별한 ISF 명령들을 수행할 수 있다. TMS320C30의 주요한 특징은 다음과 같다.

- 1-μs DMS를 사용하였으며 single-cycle 수행 시간은 60-ns 이다.
- 두개의 1k x 32-bit의 single-cycle dual-access RAM 블록이 내장되어 있다.

- 하나의 4k x 32-bit의 single-cycle dual-access ROM 블록이 내장되어 있다.
- 64 x 32-bit의 명령어 cache를 가지고 있다.
- 명령어 데이터 단위는 32 비트 이다.
- address는 24 비트 이다.
- 입력 32 비트, 출력 40 비트의 부동소수점과 정수 곱셈기를 가지고 있다.
- 입력 32 비트, 출력 40 비트의 부동소수점과 정수, logical ALU 연산을 수행한다.
- 32 비트 barrel shifter를 가지고 있다.
- 여덟개의 보조 레지스터를 가지는 두개의 주소 발생기를 가지고 있다.
- 동시에 발생하는 I/O 와 CPU 동작을 위해 on-chip DMA controller를 내장 하고 있다.
- 고급 언어를 지원한다. ( C Language )
- 다중처리를 위해 interlocked 명령어를 지원한다.
- zero overhead loops 와 single-cycle branches를 지원한다.

### 5. DMS/VQ 방식에 의한 인식 실험 결과

DMS/VQ 방식에 의한 인식 실험의 결과는 표 1. 와 표 2. 와 같다. 표 1. 은 2음절 단어의 인식 실험[5]에서 가장 좋은 표 1. 가중치 0.6의 DMS/VQ 4 와 DMS/VQ 3 에 의한 인식 결과

가중치 = 0.6		(단위 : %)							
인식방법	구간수	6	7	8	9	10	12	12	
DMS/VQ 4	화자 A	94	96	98	98	98	100	100	
	화자 B	94	90	94	96	96	98	94	
	화자 C	94	92	94	94	94	94	96	
	총 인식률	94	92.6	95.3	96	96	97.3	96.6	
인식방법	구간수	12	14	16	18	20	22	24	
DMS/VQ 3	화자 A	96	100	100	100	100	100	98	
	화자 B	98	98	98	92	94	98	96	
	화자 C	94	96	98	94	98	96	98	
	총 인식률	96	98	98.6	95.3	97.3	98	97.3	

표 2. 구간수 16의 DMS/VQ 3 에 의한 인식 결과

구간수 = 16		(단위 : %)									
가중치	화자별	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
화자 A		96	98	98	100	100	100	100	98	98	96
화자 B		94	98	100	96	98	98	94	98	98	98
화자 C		96	96	94	94	96	98	98	98	98	96
총 인식률		95.3	97.3	97.3	96.6	98	98.6	97.3	98	98	96.6

인식률을 보였던 가중치 0.6을 사용하여 구간수를 변경하면서 실험한 결과로서 전반적으로 DMS/VQ 3 방법이 DMS/VQ 4에 비해 좋았으며 구간수 16에서 가장 좋은 인식률을 나타내었다. 표 2.는 실험에 사용된 단어가 2음절이 아닌 3음절 단어가 대부분이기 때문에 가중치의 변화가 인식률에 미치는 영향을 알아보기 위해 표 1.에서 가장 좋은 인식률을 보인 구간수 16에서 가중치를 0.1에서 1.0까지 단계적으로 바꾸어 주면서 실험한 결과이다. 표 4-3.에서 알수 있듯이 음절이 3개일때도 가중치가 0.6일때 98.6%가 가장 좋은 인식률을 나타냈다.

#### 6. DMS/SS 방식에 의한 인식 실험 결과

DMS/VQ 방식에 의한 인식 실험에서 가중치가 0.6일때 가장 좋은 인식률을 얻었으므로 이번에도 우선 가중치를 0.6으로 두고 구간수를 12구간에서 24구간까지 단계적으로 변화시켜가며 실험을 하였다. 구간수를 늘릴 변화시킨 이유는 DMS/VQ 방식과의 인식률 비교를 위해 구간수를 같게 해주기 위해서이다. 구간을 24구간이상 분할하지 않은 이유는 인식된 단어들의 평균 프레임수가 50프레임 정도이므로 24구간 이상을 분할할 경우 한 구간에 한 프레임밖에 속하지 않는 경우가 다수 생기게 되는데 이 경우 구간내에서의 집단화는 의미가 없게되고 DMS/VQ 방식과 같은 의미가 되기 때문이다.

표 3. 가중치 0.6의 DMS/SS 4 와 DMS/SS 3 에 의한

인식 결과

가중치 = 0.6		(단위 : %)									
인식방법	구간수	6	7	8	9	10	11	12			
DMS/SS 4	화자 A	80	88	94	96	98	96	98			
	화자 B	74	84	94	92	92	98	96			
	화자 C	80	92	90	94	98	98	98			
	총 인식률	75	88	92.6	94	96	97.3	97.3			
인식방법	구간수	12	14	16	18	20	22	24			
DMS/SS 3	화자 A	86	94	94	94	96	98	98			
	화자 B	86	84	96	94	94	96	96			
	화자 C	92	96	96	96	98	100	100			
	총 인식률	88	91.3	92.6	94.6	96	98	98			

표 4. 구간수 22와 DMS/SS 3 에 의한 인식 결과

구간수 = 22		(단위 : %)									
가중치	화자별	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
화자 A	화자 A	100	98	96	96	96	98	98	96	96	96
	화자 B	96	94	98	96	92	96	98	94	94	96
	화자 C	96	98	96	98	98	100	98	96	96	96
총 인식률		97.3	96.6	96.6	96.6	95.3	98	98	95.3	95.3	96

표 5. 구간수 20의 DMS/SS 3 에 의한 인식 결과

구간수 = 20		(단위 : %)									
가중치	화자별	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
화자 A	화자 A	96	100	96	92	96	96	94	98	96	96
	화자 B	94	92	92	94	92	94	92	94	92	94
	화자 C	96	98	98	96	98	98	98	96	96	96
총 인식률		95.3	96.6	95.3	94	95.3	96	94.6	96	94.6	95.3

실험결과 표 3.에서 보여주듯이 DMS/SS 3 방식이 DMS/SS 4 방식보다 모든 구간수에서 좋은 인식률을 나타냈으며, 구간수 22와 24에서 98%로 가장 좋은 인식률을 보였다. 그리고, 가중치의 변화가 인식률에 미치는 영향을 알아보기 위해 가장 좋은 인식률을 보인 구간수 22와 다음으로 좋은 인식률을 보인 구간수 20에 대해서 가중치를 0.1에서 1.0까지 변화시켜가며 실험을 하였다. 실험결과 표 4.와 표 5.에서처럼 구간수가 22일때는 0.6과 0.7에서 가장 좋은 인식률을 보였고, 구간수가 20일때는 0.2에서 0.6보다 좋은 인식률을 나타내어 가중치의 변화가 인식률에 영향을 주고 있으나, 구간수에 의한 인식률의 변화폭을 넘지 못하므로 인식률에 크게 영향을 미치는것은 가중치 보다는 구간수임을 알수있었다.

#### 11. 음성 다이얼링 시스템의 구현

##### 1. 음성 다이얼링 시스템의 개념[1][2][8]

음성 다이얼링 시스템이란 기존의 전화기에 음성인식 기술을 접합하여 전화 이용자가 통화를 원하는 상대의 전화번호를 부르거나 줄리는 대신 상대의 전화번호, 회사명, 이름 등을 발성하면 이를 인식하여, 인식결과에 대응하는 전화번호를 DTMF 신호로 변환, 송출함으로써 접속동작이 자동으로 이루어지는 시스템으로써 보다 간단한 조작과 다양한 정보의 입력이 가능한 새로운 다이얼링 방식으로 그 관심이 높아지고 있으며 기존의 다이얼링 방식에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

1. 전화번호를 기억하거나 찾을 필요가 없다.(여전히 나 노인들에게는 매우 편리하다.)
2. 손에 의한 다이얼링 방식보다 오작동을 줄일 수 있다.
3. 전화기에 의한 음성정보 입력을 가능하게 하여 각종 전화 서비스의 확대를 도모할 수 있다.

음성 다이얼링 시스템의 실현은 화자독립의 음성 인식기술과 기존의 다이얼링 방식과 같은 속도로 처리하는 실시간 처리 기술이 선행되어야만 한다. 실시간 처리 기술은 상용화되고 있는 디지털 신호처리 프로세서(DSP)에 의해 실현상은 문제가 없으나, 화자독립의 연속음성인식기술은 음성발성시 나타나는 자음동화, 구개음화, 무성자음의 유성음화등

의 조음결과와 사람 각각의 개인차 - 조음기관의 해부학적 구조의 차이, 발생음원의 차이 등 - 에 의해 아직 실용화가 어렵기 때문에 음성 다이얼링 시스템을 실용화 하기 위해서는 이용자에게 어느정도 제약 조건을 두는 것이 필요하며 일반적으로 인명, 회사명 등은 등록된 특정화자가 발성한 음성을 대상으로 하며, 등록 어휘는 30 - 50 단어 정도라는 등의 제약을 둔다.

그림 4. 음성 다이얼링 시스템의 개념을 보인것이다.

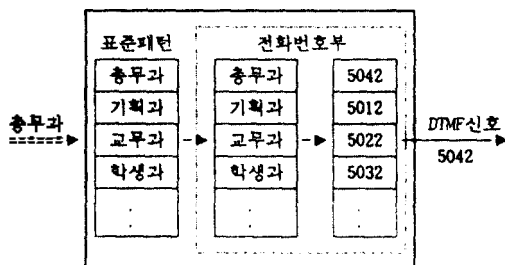


그림 4. 음성 다이얼링 시스템의 개념도

## 2. 음성 다이얼링 시스템 구현

PC에서의 실험결과 DMS/VQ 방식이 DMS/SS 방식에 비해 좋은 인식률을 보였지만 이 방식은 DMS/SS 방식에 비해 인식 시간이 2배 이상 소요되므로 인식 시간이 가장 짧으면서도 좋은 인식률을 보이는 DMS/SS 3 방식을 사용하여 음성 다이얼링 시스템을 구현해 보았다.

DMS 모델은 가장 좋은 인식률을 보이는 구간수 22와 24중 구간수가 적은것이 인식시에 시간이 적게 걸리므로 구간수 22의 모델을 사용하였고 가중치는 0.6으로 하였다.

음성 다이얼링 시스템 구현을 위해서는 실시간 처리가 이루어져야 하는데 이를 위하여 전용 디지털 신호처리 프로세서인 TMS320C30 칩을 사용한 TMS320C30 시스템 보드를 사용하였다.

## 3. 시스템의 구성[9][10]

전체적인 시스템은 386 PC와 모뎀 그리고 TMS로 구성 하였다. 마이크를 통하여 입력된 음성은 TMS 상에서 전처리 과정을 거쳐 특징 파라메타로 사용되는 LPC 코스트럼 계수로 변환된후 TMS 메모리상에 미리 저장되어 있는 단어들의 표준 벡터들과의 거리값 비교를 통해 가장 작은 거리값을 갖는 단어를 인식단어로 한다. 이때 사용되는 단어들의 표준 벡터는 PC상에서 구간 구분화 알고리즘을 사용하여 미리 모델링하여 구해놓은 TMS 모델로써, 인식을 하기전에 미리 TMS상에 다운로드 시켜야한다. 입력음성의 LPC 파라메타는 인식시 VQ 코드북을 만드는데 사용된다. PC에서는 인식된 단어 모델의 번호를 읽어와 그 번호를 index로 가지는 전화 번호를 찾아 모델을 구동시켜 다이얼링을 한다. 음성이 오 인식되었을 경우를 대비해서 본 시스템은 인식 후보로 세개

의 단어모델을 구하였다. 세개의 후보중 올바르게 인식된 단어모델이 있으면 그 후보의 번호를 키보드상에서 눌러주므로써 다이얼링이되도록 하였다.

전체적인 시스템의 구성도는 그림 6.와 같다.

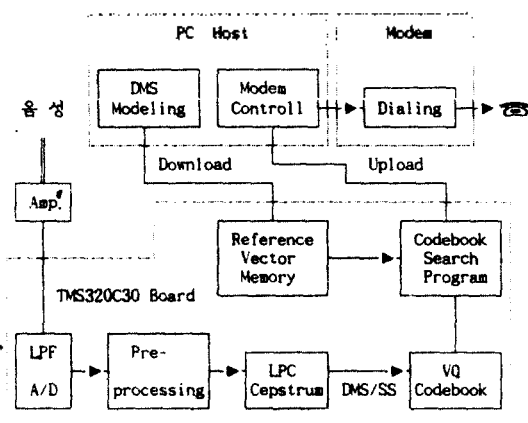


그림 6. 음성 다이얼링 시스템 구성도

## V. 결 론

본 논문은 소규모 음성 다이얼링 시스템 구현을 위해서 단도음 인식에 관한 실험을 수행하였고, 실험 결과로써 얻은 DMS/SS 3 방식을 인식 알고리즘으로 사용하고 386 PC, TMS320C30 시스템 보드 그리고 모뎀을 사용하여 음성 다이얼링 시스템을 구현 하였다.

단도음 인식 실험에서 DMS/VQ 3 방식이 98.6%의 인식률을, DMS/SS 3 방식이 98%의 인식률을 보였지만, DMS/VQ 3 방식에 비해 인식 시간이 1.2 정도인 DMS/SS 3 방식을 실험을 필요로하는 음성 다이얼링 시스템을 위한 인식 알고리즘으로 사용하였다.

구현된 음성 다이얼링 시스템은 표준패턴으로 사용할 DMS 모델을 PC상에서 미리 모델링하여 TMS320C30 시스템 보드에 다운로드 시킨후 실시간 처리를 위해 음성 입력에서부터 음성 인식에 이르기까지 모든 과정을 TMS320C30 시스템 보드상에서 수행하였고 인식된 결과를 PC 상에서 받아 전화번호 인덱스를 찾아서 모델을 사용하여 다이얼링 하였다.

현재 음성 입력이 끝난후부터 인식까지 약 4 - 5초가 소요되나 TMS320C30 프로세서의 병렬성을 충분히 활용하고 PC와의 인터페이스를 줄인다면 1 - 2초내에 모든 과정을 처리할 수 있을 것이다

## REFERENCE

1. M. Issendorfer, "Voice Dialer", Electrical Communication, Vol.59, No.3, 1985.
2. A. Fukui, Y. Fujishashi, F. Nakagawa, "SIGNAL PROCESSOR APPLICATION TO VOICE DIALING EQUIPMENT", ICASSP 86, TOKYO 7.8.1.

3. Kun-Shan, L., G.A. Frantz, R. Simar, "The TMS320 Family of Digital Signal Processors", PROCEEDING OF THE IEEE, Vol.75, No.9, pp.1143-1159, September 1989
4. Third Generation TMS320 User's Guide, Texas Instrument Inc, Houston, 1988
5. Byun y.k, "A Study on Isolated Word Recognition Using DMS Model", Ph.D. Paper, Kwangju Univ. graduate school, 1991, 2.
6. J.D. Markel, A.H. Gray, Linear Prediction of Speech, Spring-Verlag Berlin Heidelberg 1976
7. TMS320C30 PC SYSTEM BOARD USER MANUAL, Loughborough Sound Images Ltd, The Technology Centre, England, Ver. 1.0, Jan, 1990.
8. Ikue Hongo, Hiroshi Kanamura 외, "A Study of the Voice Dialing System", SE79-83.
9. D. Chase, A. Gersho, "REAL-TIME VQ CODEBOOK GENERATION HARDWARE FOR SPEECH PROCESSING", ICASSP 88, Vol 3, pp. 1730-1733, 1988.
10. J.B. Attili, M. Savic, J.P. Campbell, Jr., "A TMS320C20-BASED REAL TIME, TEXT-INDEPENDENT, AUTOMATIC SPEAKER VERIFICATION SYSTEM", ICASSP 88, Vol 1, pp. 599-602, 1988.
11. 이 항섭, 김순협 외, "실시간 Voice dialing system 구현을 위한 단독어 인식에 관한 연구", 신호처리 합동 학술 대회, Vol. 4, No. 1, pp. 256-261, 1991. Workshop 91.