

集團化를 利用한 韓國語 數字音聲의 標準 패턴設定에 關한 研究

A Study on Creating Reference Pattern of Korean Digits by using the Clustering

* 김 계 국 (Kim, K. K.)

要 約

本 論文은 不特定 話者의 音聲을 認識시키기 위하여 韓國語 150 數字音에 대하여 10個의 標準 패턴을 設定하는데 目的을 두고 研究하였다.

男性 話者 3人이 각 數字音(0~9)을 5번씩 반복 發音한 150數字音을 集團化하여 標準패턴을 設定하였다.

特徵 파라미터는 포르만트 周波數를 利用하였고 유클리드 거리 測定法을 유사도 비교에 使用하였다. 실험結果는 85.3%의 認識率을 얻었다.

ABSTRACT

This paper was studied in the purpose of the creation of 10 Ireference patterns for 150 Korean digits in order to recognize speech of speaker independent. We created reference patterns with clustering 150 replication which 3 male speakers repronounce each digits 5 times. Formant frequency was used as a feature parameter. Euclidean distance measure method is used to pattern similarity.. Recognition rates about 85.3 percent were obtained for speaker independent recognition of 150 replication with three speakers.

I. 緒 論

科學의 成長과 發展으로 技術 革命의 産業 社會에서 通信 媒체의 役割은 至大한 것으로 생각된다. 그러므로 한 國家가 富強하기 위해서는 컴퓨터 시스템에 의한 情報의 傳達은 분명히 研究되어야 할 것이며 그러한 見地에서 21世紀의 學文이라고 일컬을 만큼 우리의 音聲認識에 대한 關心度는 참으로 높은 것으로 알고 있다.

音聲 信號 處理는 音聲通信, 音聲認識, 話者 認別, 音聲 合成 등 여러 分野에 널리 應用되고 있다.

本 研究의 目的은 韓國語 音聲을 認識하기 위하여 集團化에 의하여 標準 패턴을 設定하고 보다 높은 認識率을 얻고자 하는데 있다.

集團化 알고리즘을 利用한 音聲 認識의 歷史의인 背景을 살펴보면 1966年 Gold가 10人의 話者를 對象으로 하여 54 단어를 5 번씩 반복 발음하여 단어당 5개의 표준 패턴을 설정하고 54單語 認識에 86%의 認識率을 얻었고 1968年 Klutte가 97%의 認識率을 얻었다.

1978年 Rabiner가 8人 話者에 대하여 각 단어를 5 번 발음하여 최고 4 개까지 표준패턴을 설정하고 똑같은 54單語 認識에 85.4%의 認識率을 얻었다.

1979년에 와서 많은 研究가 이루어졌는데 Rabiner 등이 39단어를 대상으로하여 100인話者가 각 단어에 대하여 1 번씩 발음하여 최고 19개까지 표준 패턴을 허용하고 79%의 認識率을 얻었고 또 이들은 110人 話者를 對象으로 單獨 數字音 認識에 98.2%의 認識率을 얻었으며 Rabiner와 Wilpon이 40人 話者를 對象으로 컴퓨터 용어 54單語 認識에 96.5%를 얻었으며 3人 話者를 對象으로 하여서는 97%의 認識率을 얻은 바가 있다.

그림 1에서 音聲認識의 基本 過程을 살펴보면 우선 전처리된 音聲데이터를 이용하여 特徵 파라미터를 抽出하고 集團化 알고리즘을 적용하여 標準패턴

을 設定하고 類似性을 비교하여 認識하는 과정을 나타내고 있다.

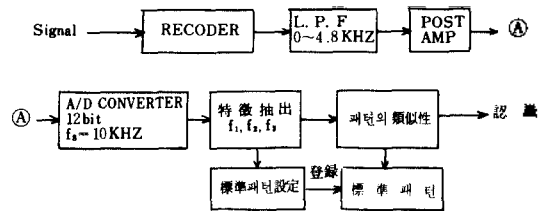


그림 1 음성인식의 시스템 블록도
Block diagram of speech recognition system

本 研究에서는 처리속도는 느리지만 보다 높은 효율성때문에 포르만트 周波數를 特徵파라미터로 사용하였으며 이것은 ARMA형⁽³⁾(Autoregressive Moving Average Model)의 PSD(Power Spectrum Density) 추정 알고리즘을 사용하여 추출한 第 1, 第 2, 第 3, 포르만트 周波數로 光云大學 DSP실 音聲 데이터를 利用하여 標準 패턴 設定을 시도하였다.

II. 本 論

1. 標準 패턴 設定 理論^{(2),(5),(8)}

本 研究에서는 韓國語 단독 數字音 10個(0~9)을 대상으로 하여 3人의 男性 話者가 各 數字音에 대하여 5 번씩 반복 發音한 150 音聲을 集團化에 利用하였다. 標準 패턴은 各 集團을 대표할 수 있는 단어로서 한 集團內的 동일음 J個 單語들 中 어떠한 單語에 대해서도 최대거리가 최소가 될 수 있도록 최적 基準(minimax criterion)을 만족할 수 있는 單語가 結定되어야 한다.

$$\text{즉, } \max_k \{ \delta(x_i^0, x_k^0) \} \quad 1 \leq i \leq M \dots\dots\dots (1)$$

(여기서 M는 集團의 허용 갯수를 말한다.)
式(1)이 최소가 되는 토큰 x_k^0 가 集團의 중심이 되어 式(2)와 같은 관계가 成立할 수 있다.

$$x_i^{(j)} = x_j^{(i)} \quad (2)$$

$$\Omega = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_j\} \quad (3)$$

式(1)에서 $x_i^{(j)}, x_k^{(j)}$ 는 각각 i 번째 集團의 토큰들 중 集團의 중심이 될 수 있는 j 번째 토큰과 集團 내에서 가장 멀리 떨어져 있는 k 번째 토큰을 말한다. $x_i^{(j)}$ 는 i 번째 集團의 중심인 標準패턴을 말한다. 各單語의 그룹들 內의 特徵의 차는 작지만 그룹들간의 特徵의 차는 비교적 크기때문에 서로 다른 話者가 반복 發音한 동일音의 단어들은 그룹을 형성할 수 있다는 것이 集團化 알고리즘의 基本 假說이다.

그림 2는 集團化의 일반적인 예를 表現하고 있는데 이 그림에서 各音聲 데이터의 特徵 파라미터 集合을 X(token)로 나타내고 話者들 간의 성태의 변화 特性때문에 토큰들이 서로 다른 영역에 분포되어 있음을 볼 수 있다.

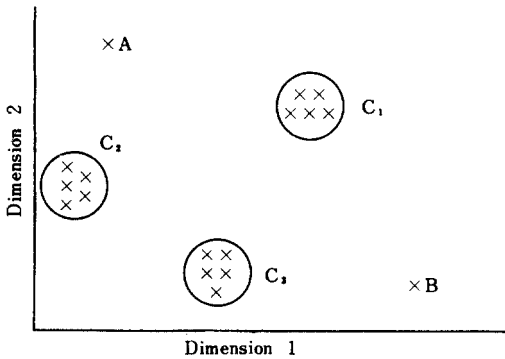


그림 2. 집단화의 일반예
Example Showing clustering of tokens

그림 2에서는 3개의 集團이 이루어져 있기 때문에 적어도 3개 이상의 標準패턴을 設定할 수 있다.

다른 토큰들과 어울리지도 못하고 어느 集團에도 소속되지 못하여 3개의 集團과 멀리 떨어져 있는 두 토큰 A와 B를 분리물이라하고 이 분리물은 3개의 集團中 어느 것과는 한 덩어리를 이루지 못하고 있다

音聲 데이터의 特徵파라미터가 J 개의 토큰으로 이루어질때 이것을 集合으로 表現하면 式(3)과 같다.

式(3)에서 Ω 의 모든 토큰들은 서로 다른 話者가 반복 발음한 J 개의 동일음을 나타내고 있으며 이들 토큰들이 M 개의 集團으로 이루어질때 일반적으로 式(4)와같이 表現하고 있다.

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^M w_i \quad (4)$$

여기서 w_i 는 i 번째 集團을 의미하며 w_i 에 속해 있는 토큰의 갯수를 m_i 로 結定하고 w_i 를 대표할 수 있는 標準패턴을 $x_i^{(j)}$ 로 定義할때 $x_i^{(j)}$ 는 반드시 i 번째 集團의 토큰들中 하나가 結定되어야하기 때문에 式(5)과 같이 表現하고 있다.

$$x_i^{(j)} \in w_i \quad (5)$$

本 研究에 사용된 集團化 알고리즘의 흐름도는 그림 3과 같다.

集團化에 의한 標準패턴 設定과정을 살펴보면 처음에 3인의 男性 話者가 반복한 발음한 150數字音 중 동일음 15單語를 集團化에 사용하였다.

동일음 15單語의 프레임 길이를 평균하여 이 평균 길이에 가장 가까운 단어를 선택하여 이것을 가상된 제 1의 標準 패턴 $R_{1,1}$ 으로 設定하였다.

그 다음 $R_{1,1}$ 을 중심으로하여 入力된 15개 단어들과 각각 거리를 계산하고 이를 평균하여 이 평균값으로 $R_{1,1}$ 를 정규화하였으며 이 정규화된 포르만트를 다시 가상된 제 2의 標準 패턴 $R_{1,2}$ 로 設定하였다.

여기서 다시 $R_{1,2}$ 를 중심으로하여 나머지 단어들과의 거리를 각각 계산하였다.

앞에서 선택된 가상의 제 1 標準 패턴 $R_{1,1}$ 과 가상된 제 2의 標準 패턴 $R_{1,2}$ 와의 거리의 차를 계산하였다.

이 계산된 거리의 차가 임계치 이하가 될 경우 가

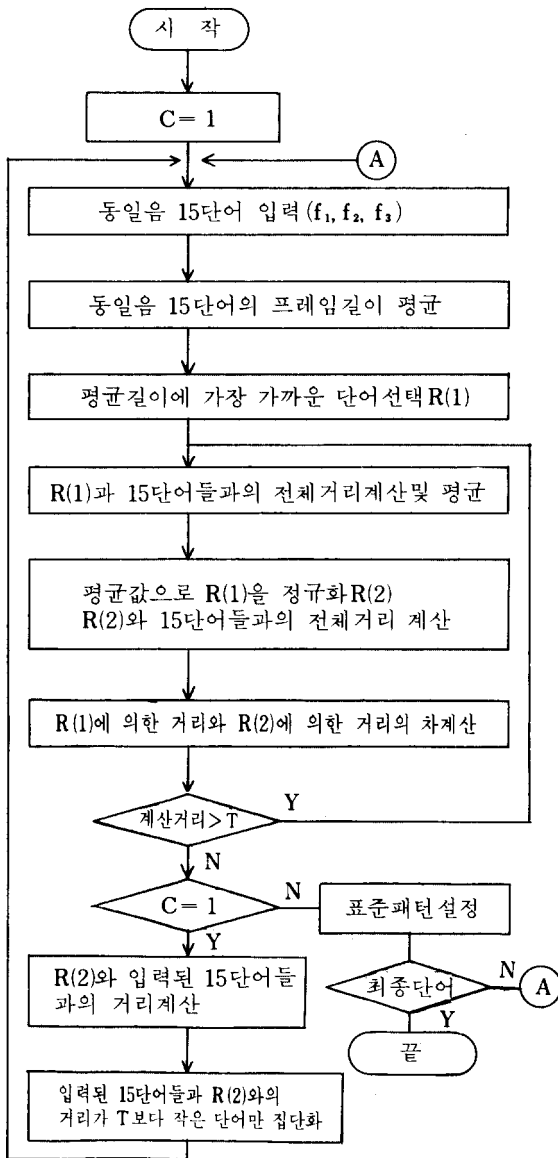


그림 3. 집단화에 의한 표준패턴설정 알고리즘 흐름도
Flow chart of algorithm used to reference pattern creation into cluster.

상된 제 2의 표준 패턴 $R_{(2)}$ 와 표준 패턴 설정에 이용된 15단어들과의 거리를 각각 계산하여 이들의 각 거리가 집단의 임계치를 초월한 단어들은 집

단화 대상에서 제외시켰다. 여기서 임계치를 초월하지 않는 단어들만을 대상으로 集團化하고 표준 패턴을 설정하였다. 여기서 임계치는 저자가 실험상에서 임의로 결정하였다. 본 연구에서는 포르مان트를 특징 파라미터로 이용하였으므로 유클리드 거리를 F_x 로 정규화한 식(6)을 거리측정에 利用하였다.

本 研究에서는 가상된 제 1 표준 패턴 $R_{(1)}$ 과 가상된 제 2의 표준 $R_{(2)}$ 와의 거리차가 임계치를 초월한 경우는 수렴을 위해 3번까지 반복 수행시켰다.

만일 2개 이상의 集團을 허용한다면 첫번째 集團化에서 集團의 임계치를 초월하여 제외된 단어들을 두번째 集團化에 반복 利用할 수 있다. 이러한 작업은 동일음 15 단어들 모두가 허용된 몇개의 集團에 완전히 소속될때까지 수행시킬 수 있다.

일단 동일음 15단어에 대하여 확고한 표준패턴이 완전히 설정되면 그 다음 처리되지 못한 다른 음의 단어들에 대하여 표준 패턴 설정을 시도하였다.

本 研究에서는 동일음 15단어에 대하여 단 하나의 표준 패턴만을 허용하였으며 하나의 集團에 소속되지 못한 단일 단어들은 분리물로 처리하였다.

2. DTW 알고리즘 원리(3, 4)

人間的 音聲은 피치검출, 에너지測定, 그리고 線型예측계수, 포르مان트 주파수 분석등의 特徵추출로 特徵벡터를 表現할 수 있다. 표준패턴과 試驗패턴의 特徵벡터는 식(6), 식(7)과 같다.

$$R(m) = [R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1L}, \dots, R_m] \quad (6)$$

$$T(n) = [T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1L}, \dots, T_n] \quad (7)$$

本 研究에서는 線型예측법에 의한 ARMA 형으로 추출한 第 1, 第 2, 第 3 포르مان트 周波數를 표준패턴과 試驗패턴의 特徵벡터로 利用하였다.

標準패턴과 試驗패턴의 音聲패턴들 間의 時間的 差

를 없애는 問題를 考慮할 때 시간축의 變動이나 時間的 差들의 特徵은 n, m 평면의 n次 m次 프레임을 갖는 함수로서 그림 4와 같이 表現할 수 있다.

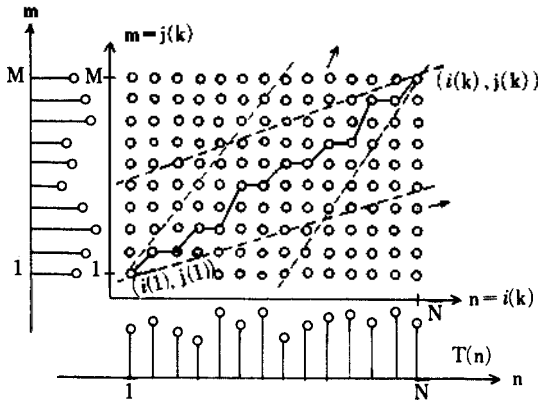


그림 4 經路 $m=W(n)$ 을 따른 $T(n)$ 과 $R(m)$ 의 위핑經路
An example of a warping $T(n)$ to $R(m)$
via the path $m=W(n)$.

標準 패턴과 試驗패턴의 끝점이 正確히 決定될 때 위핑 函數의 시간축 경계점 制約은 式(8), 式(9)와 같다.

$$i(1) = 1, j(1) = 1 : \text{시작점 제약조건} \dots\dots\dots (8)$$

$$i(k) = N, j(k) = M : \text{끝점 제약조건} \dots\dots\dots (9)$$

1) 거리 測定法

試驗패턴과 標準패턴間의 두 特徵벡터의 差는 두 벡터間의 거리 測定으로 구할 수 있다. 거리 $d(c)$ 는

$$d(c) = d(i(k), j(k)) = \|T_i - R_j\| \quad (10)$$

최적 위핑 경로를 구하기 위하여 利用되는 전체 거리는 다음과 같다.

$$D(i(k), j(k)) = \frac{\sum_{k=1}^K d(i(k), j(k)) \cdot W(k)}{N(w)} \quad (11)$$

$W(k)$ 는 k 번째 소 구간 경로의 웨이팅 함수를 뜻

하며 웨이팅 함수는 소구간 經路에만 依存的이며 式(12)와 같이 使用하였다.

$$W(k) = i(k) - i(k-1) \quad (12)$$

여기서 $i(0)$ 와 $j(0)$ 는 0으로 假定한다. $N(w)$ 는 웨이팅 함수 W 의 함수인 정규화 요소이며 정규화 요소는 다음 式으로 定義한다.

$$N(w) = \sum_{k=1}^K W(k) \quad (13)$$

式(13)에 式(12)의 웨이팅 함수를 적용한 結果는 다음 式과 같다.

$$N(w) = \sum_{k=1}^K (i(k) - i(k-1)) = i(k) - i(0) = N \quad (14)$$

최적 경로는 전체 거리를 최소로 하는 경우로서 式(15)와 같이 구할 수 있다.

$$D_T = \min_{(i(k), j(k))} (D(i(k), j(k))) \quad (15)$$

本 研究에서는 f_1, f_2, f_3 의 포르مان트 周波數를 特徵 벡터로 利用하고 式(16)과 같이 Euclidean 거리 測定法을 F_k 로 정규화하여 패턴들간의 거리를 측정하였다.

$$d = \left(\sum_{k=1}^3 \frac{(f_{kP}^{(T)} - f_{kP}^{(S)})^2}{F_k} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

$$\text{단, } F_k = \begin{cases} 500 & \text{for } K=1 \\ 1500 & \text{for } K=2 \\ 2500 & \text{for } K=3 \end{cases}$$

$f_{kP}^{(T)}$ 는 試驗 패턴의 特徵 벡터이며 $f_{kP}^{(S)}$ 는 標準패턴의 特徵 벡터를 말하며 P 는 3개의 포르مان트 周波數를 말한다.

2) DTW 알고리즘을 이용한 DP遊行

소구간 最適 經路에 따라 點(n, m)에 이르는 累積 距離 函數는 式(17)과 같다.

$$D_A(n, m) = \min_{(k), (k'), (k'')} [D_A(n', m') + d((n', m'), (n, m)) \cdot W(k)] \quad (17)$$

단, $n' \leq n$, $m' \leq m$ 이며 d 는 (n', m') 에서 (n, m) 에 이르는 距離이다.

正規化된 最小經路 D_T 는 式(18)과 같다.

$$D_T = \min_{(k), (k'), (k'')} \left[\frac{\sum_{k=1}^K d(i(k), j(k)) \cdot W(k)}{N(w)} \right] \quad (18)$$

DTW 알고리즘의 3段階 遂行을 要約하면 다음과 같다.

- (1) 初期化 : $D_A(1, 1) = d(1, 1) \cdot W(1)$ 로 한다.
- (2) 循環 : $D_A(n, m)$ 을 $1 \leq n \leq N$, $1 \leq m \leq M$ 에 대해 循環的으로 計算된다.
- (3) 最終化 : $D_T = D_A(N, M) / N(w)$ 로 한다.

3) 실험 結果

本 研究에 利用된 포르만트 周波數를 분석한 結果 f_1 은 500Hz, f_2 는 1,500Hz, f_3 는 2,500Hz를 중심으로 분포되어 있음을 확인할 수 있었으며 이들을 基本 중심周波數로 确定하였다.

本 研究에서는 포르만트 周波數들 간의 差를 줄이기 위하여 f_1 , f_2 , f_3 3개의 포르만트 周波數가 距離 測定에 均등하게 기여할 수 있도록 기존의 Euclidean 距離를 F_k 로 正規化하여 실험하였다.

本 研究에서는 적어도 두 個 以上の 托른을 하나의 集團으로 처리하기로 规定하고 실험하였다. 똑같은 반복음 15 單語에 대하여 단 한개의 標準패턴만을 設定하고 認識에 사용하였으며 다른 托른들과 합류하지 못하여 어느 集團에도 포함되지 못한 단일托른은 분리물로 处理하였다.

表 1은 本 研究에 使用된 150數字音을 集團化한 結果를 제시하고 있다.

일반적으로 분리물이 아닌 모든 托른들은 하나의 集團만을 허용하였기때문에 托른 15개 中 15托른이 모두 하나의 集團에 속해 있음을 알 수 있다.

표 1. 집단화 결과
Clustering result.

숫 자 음	집 단 수	분리물수	토 른 수
영	1	1	14
일	1		15
이	1		15
삼	1	2	13
사	1		15
오	1		15
육	1		15
칠	1		15
팔	1		15
구	1	1	14

표 2 인식 결과
Recognition result.

		Recognized word									
		영	일	이	삼	사	오	육	칠	팔	구
Recognized word	영	10				2			1	2	
	일		15								
	이	1		14							
	삼				11				1	3	
	사					15					
	오			1			12	1			1
	육	1	1	1				12			
	칠		2						13		
	팔									15	
	구						2	1	1		11

인식율 85.3%

표준 패턴 "팔"			표준 패턴 "구"		
f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
.11745	.20005	.23504	.07352	.24512	.29394
.10247	.21693	.25207	.05734	.15527	.18764
.08542	.13372	.22303	.02740	.07757	.22196
.08203	.14250	.20339	.02010	.09236	.19657
.07344	.14219	.18307	.02930	.08566	.23591
.06146	.15500	.25176	.02060	.10352	.21429
.05534	.15521	.25404	.02930	.09696	.23070
.04531	.16055	.25039	.03153	.10910	.22349
.04102	.16302	.24907	.03669	.12137	.20243
.04700	.17057	.25547	.04610	.11468	.20424
.05547	.17773	.26510	.04562	.14076	.22349
.07175	.19193	.23255	.05399	.20410	.23292
.13464	.22109	.23047	.05511	.16867	.27567
.14766	.21862	.28372	.04007	.22015	.27902
0.00000	0.00000	0.00000	.05413	.21959	.32171
0.00000	0.00000	0.00000	.13142	.27162	.20396
0.00000	0.00000	0.00000	.16420	.30539	.21700
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

本 研究에서는 150單語中 4個의 토큰만이 다른 토큰들과 集團을 이루지 못하였으며 이 4個의 토큰은 분리물로 처리하였다. 表 2는 150數字音에 대한 認識結果를 나타내고 있다. 특히 기존의 Euclidean 거리를 F_k 로 정규화한 結果는 72% (F_k 로 정규화하기 이전의 인식률)의 認識率에서 85.3%라고 하는 認識率로 그 結果를 크게 향상시킬 수 있었다.

실험에 利用한 150단어 중 22개의 단어가 잘못 認識되어 85.3%의 認識結果를 얻었다. 本 研究의 알고리즘에 의하여 설정된 표준패턴은 표 3과 같다.

本 研究의 실험에 이용된 하드웨어시스템을 그림 5와 같다³⁾.

녹음기에서 나온 음성 신호는 최대 출력전압이 ±1(V)가 되도록 조절하여 차단 주파수가 4.8(kHz)

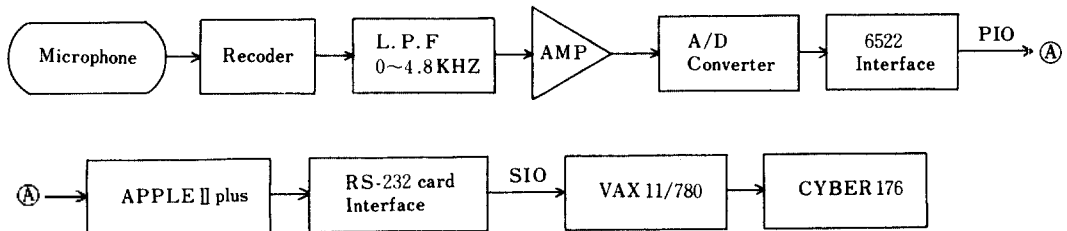


그림 5. 韓國語 音聲 認識에 利用된 하드웨어 시스템.
A hardware system by using for Korean
Speech recognition

인 저역통과 여파기를 통과시킨 다음 12bit A/D 변환기의 입력 정격 전압을 $\pm 5[V]$ 가 되도록 8배의 증폭율을 갖는 증폭기를 구성하여 연결하였다³⁾.

12bit A/D 변환기에서(10KHz)의 샘플링 주파수로 디지털화된 음성데이터는 PIO(Parallel Input Output)를 통하여 VIA(Versatile Interface Adapter)칩 6522을 사용하여 시스템기억용량이 64kbyte인 Apple II 마이크로 컴퓨터에 입력하였으며 디지털화된 음성신호는 143kbyte의 용량을 가진 플로피 디스크에 저장하였다.

이와같이 마이크로 컴퓨터에 저장된 데이터는 SIO(Serial Input Output)인터페이스용 RS-232C카드를 사용하여 VAX-11/780 슈퍼미니컴퓨터에 전달되어 마그네틱테이프에 ASCII 코드로 저장하였다.

이렇게하여 저장된 데이터를 가지고 대형컴퓨터 CYBER 176을 사용하여 포르만트를 抽出하고 標準 패턴 設定 및 認識 실험을 시도하였다.

III. 結 論

本 研究에 제안된 알고리즘을 이용하여 標準 패턴 設定에 利用한 結果는 85.3%의 認識率을 얻었다.

認識 結果 22個 音聲이 잘못 認識되었으며, 이것은 150單語에 대하여 10個의 標準 패턴만을 設定키로 제한하고 集團化한데 그 이유가 있다.

150單語에 대해서 20個 정도의 標準 패턴을 허용하고 集團을 적절히 분리하여 標準 패턴을 設定하였다면 더욱 높은 認識 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

本 研究에서 제시된 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 프레임의 평균길이에 달하지 못한 단어는 집단화 대상에서 제외시키고 동일부류의 단어들만을 대상으로 하여 패턴을 設定하였다는데 그 特徵이 있다. 그리고 거리측정에서도 유클리드 거리를 利用하는 것보다도 이를 F_k 로 정규화 함으로써 音聲 認識에

크게 기여할 수 있음을 本 研究의 실험을 통하여 입증하였다.

특히 앞으로의 연구과제는 集團化에 합류되지 못한 분리물의 처리 방안, 또 集團化 임계치 설정문제, 거리측정에서 F_k 의 고려방안등이 더욱 구체적으로 강구되어야 할 것이며 本 研究에서는 單獨 數字音의 標準 패턴 設定에 그쳤으나 앞으로 여러가지 單語를 認識하기 위해서 韓國語 特性에 맞는 획기적인 패턴 設定 알고리즘이 개발되어야 할 것이다.

그러나 本 研究에 제안된 알고리즘도 더욱 세밀히 연구하여 체계화한다면 話者數와 어휘에 관계없이 音聲 認識에 크게 기여할 수 있을 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

1. Warren L.G. Kootz. "A branch and bound cluster Algorithm." IEEE Transaction Computers 1975. 9.
2. L.R. Rabiner. "On creating Reference templates for speaker independent recognition of isolated word." IEEE. Vol. ASSP-26, No. 1, 1978. 2.
3. 김 순협, "한국어 음성의 분석과 자동인식에 관한 연구", 연세대학원박사학위논문, 1982. 12.
4. Hiroaki Sakoe. "Dynamic Programming Algorithm Optimization for spoken word recognition." IEEE Trans. Vol. ASSP-26 No. 1, 1978. 2.
5. L.R. Rabiner. "Speaker-independent Recognition of isolated words using clustering Techniques." IEEE. Vol. ASSP-27, No. 4, 1979. 8.
6. R.A. Jarvis. "Clustering Using a Similarity Measure Based on Shared Nearest Neighbors." IEEE Vol. C-22. No. 11. 1973. 11.
7. Helmuth Spath. Ellis Horwood Limited. "Cluster Analysis Algorithms for DATA reduction and classification of objects."
8. L.R. Rabiner. "Interactive Clustering Techniques for Selecting Speaker-Independent Reference Templates for Isolated Word Recognition." IEEE Vol. ASSP-27, No. 2, 1979. 4.
9. FUMITADA ITAKURA. "Minimum Prediction Residual Principle Applied to Speech Recognition." IEEE Vol. ASSP-23, No. 1, 1976. 2.