벡터양자화에 의한 group-labelling과 1-段 DP를 이용한 한국어 연결 숫자음 인식에 관한 연구

A Study on Recognition of Korean Connected-Digits Using group-labelling by VQ and One-stage DP

金 子 龍* 崔 甲 石**

(Ja Ryong Kim, Kap Seok Choi)

요 약

본 논문에서는 한국어 연결 숫자음 인식을 하였다. 처리 시간을 줄이기 위하여 벡터양자화와 1-段 DP 법을 결합하는 방법을 도입하였으며, 표준패턴의 수를 줄이기 위한 새로운 group-labelling 기법을 제안하였다. 여기서 group-labelling은 벡터양자화에 의해 연결 숫자음을 각각 group으로 분류하여 labelling해 줌으로서 인식 대상이 되는 표준패턴의 수를 줄여주는 방법이다. 이 방법을 평가하기 위하여 3 연결 숫자음을 대상으로 실험한 결과, labelling된 group의 선택 수가 적을수록 표준패턴의 수가 감소하므로써 계산량을 감소시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we have recognized Korean connected-digits. To reduce the processing time the method of combining VQ with one-stage DP is introduced and to reduce the number of reference pattern a new group labelling technique is proposed. Group-labelling is a method to segment and label connected-digit into groups by VQ.

As experimental results with 3 connected-digits, the number of reference patterns are reduced in proportion to the number of groups which are labelled.

I. 서 론

오래전 부터 인간은 인간 상호간의 정보전달 수단으로 가장 자유로운 형태인 음성에 대해 많은 관심을 보여 왔으며, 다른 기계적인 도움없이 자기의 의도를 따라 음성으로 나타낼 수 있다는 편리성에 따라 man-machine communication에 관한 여러가지 연구의 실험이 행해져 왔다. 1950년대 초부터 시작된 음성 자동화의 연구는 지난 십 수년간 격리 단어인식 및 연결 단어인식 분야에서 상당한 발전을 이룩하였으며 연속음성 인식 분야에 있어서도 많은 연구가 진행중에 있다[1].

음성은 개개인의 발음속도와 발음 지속 시간 및 성도의 차에 따라 음성패턴에 대하여 비선형적 변동이 발생한다. 그러므로 이러한 변동의 제거, 시간축 정규화, 경계결정문제 및 소음결합 문제는 연속음성

*진주전문대학 전자계산과
**명지대학교 전자공학과

※본 논문은 최갑석 박사님 정년기념 논문을 위한 연구임.

인식 연구에 중요한 과제로 제시되었고, 이에 따라 여러 종류의 DTW(Dynamic Time Warping) 알고리즘을 이용한 DP법이 제안되었다. 이중에서 연결단어를 인식하는 방법으로는 H. Sakoe가 1979년에 제안한 Two-Level DP법[8], L.R. Rabiner와 C.E. Schmidt가 1980년에 제안한 Sampling 방법[9], C.S. Myer와 L.R. Rabiner가 1981년에 Two-level DP와 Sampling 법의 장점을 이용하여 제안한 Level building DP[10-13]법, H.Ney가 1984년에 제안한 1-段 DP[14]법이 있다. 여기서 1-段 DP 법은 연결단어를 인식하는 다른 DP법 보다 처리과정이 간단하며 계산량이 적고 처리과정에서 자동적으로 단어경계를 결정하므로서 조음결합 문제를 해결해 주는 방법이다.

또한 벡터 양자화(Vector Quantization)는 효율적인 부호화 수법으로 제안[15]되었으며 1980년 이후 음성인식 분야에 적용되면서 계산량을 대폭 줄이는 음성인식 방법[16-24]으로 사용되어 왔다. 그러나, 벡터 양자화 방법은 입력된 음성의 정보 손실이 많고 시간 정보를 포함하지 않는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 코드북의 코드워드 수를 증가시키거나 Feedback 벡터양자화와 DTW 방법을 결합하여 시간정보를 만회하려는 연구가 계속되어 왔다.

본 논문에서는 벡터양자화와 1-段 DP 법을 결합하여 연결 단어를 인식하였으며, 표준패턴을 구성하는 단어들을 세분하는 방법[14]으로 벡터양자화에 의한 group-labelling법을 제안하였다. 여기서, group-labelling 은 계산량과 기억용량 및 인식율을 향상시키기 위하여 1-段 DP 법에서 사용되는 표준패턴의 수를 group 단위에 따라 줄여주는 방법이다.

Ⅱ. 벡터양자화와 1-段 DP에 의한 연결단어 인식

1. 벡터양자화

벡터양자화는 무한 벡터 공간에서 유한 벡터 공간으로 가는 사상(map)으로 효율적인 부호화 수법으로서 사용되어 왔다. 그러나, 1980년 이후 음성인식 분야에 적용되기 시작하였으며, DP 매칭 방법과 함께 패턴 매칭 방법으로 널리 응용되고 있다. 벡터 양자화는 먼저 학습데이타를 사용하여 code book를 작성하고 음성이 입력되면 각 프레임을 codeword로 대치시켜 준다. 벡터공간을 A, 그 중 임의의 벡터를 X, 유한공간 벡터를 $\tilde{A}$ 그리고 그 중의 벡터를 $Y_i(1\leq i\leq L)$이라 하면 벡터양자화 연산자 q는 다음과 같이 정의한다.

$$q : A \rightarrow \tilde{A}$$
$$X \rightarrow Y_i = q(X) \qquad (1)$$

여기서 $X \in A$, $Y_i \in \tilde{A}$이며, Y_i는 codeword, $\tilde{A}$를 codebook 이라 한다. 이러한 codebook으로 구성된 벡터양자화가 최적이려면 평균왜곡 D가 최소여야 한다.

$$D = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{\infty} d(X(n), Y(n)) \qquad (2)$$

여기서 n은 시간, Y(n)은 X(n)의 codeword, D(X(n), Y(n))은 X(n)과 Y(N)의 왜곡이다. 평균왜곡의 최소를 만족하는 codebook을 생성하기 위한 방법으로 반복 집단화 알고리즘(iterative clustering algorithm)인 K-means 알고리즘이 있다. K-means 알고리즘은 정해진 수의 중심벡터를 찾는데 사용되며 반복과정에 의해서 정해진 수의 초기 중심 벡터로 부터 시작하여 평균왜곡이 최소가 되도록 공간의 지역구분을 행하고, 그에 대한 중심벡터를 새로이 결정하며, 평균왜곡의 변화가 임계값에 만족할 때까지 자동적으로 반복하여 codebook을 최적화한다. 그러나, K-means 알고리즘은 국부적으로 최적인 알고리즘(local optimal algorithm)이므로 그 성능은 초기 중심벡터에 의해 영향을 받게 된다. 초기 중심벡터를 찾는 방법은 여러가지가 있으나, 계산시간과 성능면에서 가장 효과적인 방법으로는 분할(splitting) 방법이 있다. 이 방법은 먼저 전체 벡터의 평균을 취해 중심벡터를 계산하고, 이 중심벡터를 적당한 방법으로 두 개의 벡터로 분할하는 것이며, 그 다음 단계로는 K-means 알고리즘을 통해 반복하여 새로운 중심벡터를 계산하게 된다.

2. 1-段 DP 법

인간단어 인식에 따른 1-段 DP 알고리즘은 단어 경계 검출, 비선형 시간 배열 및 인식이 동시에 수행되며, 입력열에 있는 단어의 순위는 독립적이다. 따라서, 실시간 처리나 비교적 긴 단어열을 인식하는 데 적합하다.

각 격자점(i, j, k)에서 인식패턴의 j 프레임과 표준패턴 k의 j 프레임간의 local 거리를 d(i, j, k)라고 표시하면, 이 문제는 입력패턴과 비교의 템플레이트인 k번째 표준패턴 사이에 최적으로 매칭되는 격자점(i, j, k)의 집합으로 구성되는 warping 경로를 찾는 것이다. 매칭 기준에 대한 기준은 global 거리(총거리), 즉, 누적된 경로를 따른 local 거리의 합이다. 입력단어 인식의 문제는 다음과 같이 최소화하는 문제로서 정의된다.

$$\min_{W} \sum d(w_i(i)) \qquad (3)$$

여기서 $w(i)=(i(i), j(i), k(i))$, i는 경로 element의 인덱스 파라메타이다. 최적경로의 구체적인 의미는 입력 템플레이트 간의 자유도로 결정된다. Global 거리를 최소화하는 일 외에 Time warping 경로는 매칭하는 패턴들의 특성에 맞는 여러가지 연속성 제한을 지켜야한다. 즉, 시간축에 따라 작은 순서로 증가해야 하며 의미한 시간 프레임도 빠뜨리지 않는 시간일치성을 가지야 한다. 그러나, 단어음을 인경하여 표준패턴으로 사용하기 때문에 종이점 경로 격자점(i, j, k)에 대해서 전이 규칙에 따라 자유롭게 이동할 수 있는 연속성 제한이 있으며, 입력단어 인식에서는 템플레이트 내부 전이 규칙과 템플레이트 경계의 특별한 전이규칙이 필요하다. 따라서 j-1의 내부 템플레이트에 대해서 내부 템플레이트 전이규칙은 다음식과 같다.

$$D(i, j, k)=d(i, j, k)+\min\{D(i-1, j, k), D(i-1, j-1, k), D(i-1, j-2, k)\} \qquad (4a)$$

=1에 대한 템플레이트 경계는 템플레이트 경계규칙에 따라서

$$D(i, 1, k)=d(i, 1, k)+\min\{D(i-1, 1, k), D(i-1, 0, k'), D(i-1, -1, k')\}; k'=1, \cdots, K \qquad (4b)$$

입력단어 인식에서는 미지의 단어열을 찾기 위하여 어떠한 형태로든 back-tracking이 필요하다. 따라서, 각 프레임에서 모든 템플레이트에 대해 마지막 프레임 $J(k_n)$에서 최소축적 거리를 가지는 템플레이트에 대한 인덱스 k_n을 저장해 두기 위해 "from template" 배열 T(i)가 필요하며 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T(i)=k_n=\text{argmin}\{D(i, J(k), k)\equiv D(J(k), k): k=1, \cdots, K\} \qquad (5)$$

여기서 argmin $\{f(x): x=x_0, \cdots, x_n\}$은 $f(x)$를 최소화하는 최적변수 x를 구하는 것을 의미한다. "from frame" 배열 F(i)는 격자점 (i, J(k_n), k_n)에서 역추적하는 최적경로로 부터 시간프레임 시간축을 따라 프레임을 추적한다. 즉 "from frame" 배열은 실제적인 단어경계를 추적하고, "from template"배열은 가대단어를 추적한다. 따라서 이 두 배열을 사용하여 역순으로 나열하면 최적 단어경계에 대해서는

$$N, F(N), F(F(N)), \cdots$$

의 형태가 되며, 최적 단어열에 대해서는

$$T(N), T(F(N)), T(F(F(N))), \cdots$$

의 형태로 추적할 수 있다.

3. 벡터양자화와 1-段 DP 법의 결합

이상의 벡터양자화와 1-段 DP 법은 각각 패턴 매칭 방법으로 우선적으로 고려해야 할 필요가 있다. 벡터양자화를 이용하였을 때에는, 음성 특성의 순서에 상관없이 비교적 적은 계산량, 메모리 등 여러가지 장점이 있으나, DP 매칭 방법과 결합시키면 음성의 시간 배열 특성을 고려해 주기 때문에 여러 가지 문제점을 해결할 수 있다.

본 연구에서는 화자의 인식 특징을 인식하기

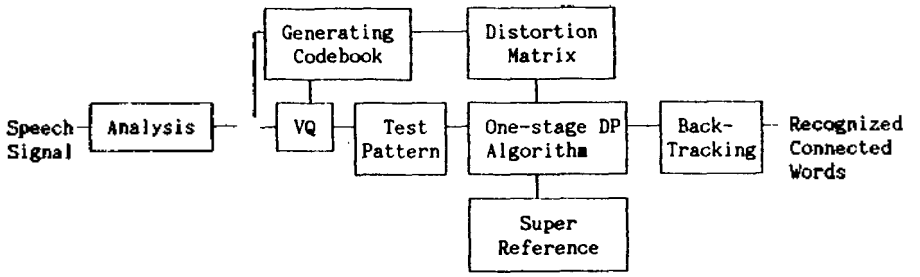

그림 1. 벡터양자화와 1-段 DP 법을 이용한 연결단어 인식 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of connected-word recognition system using VQ and One-stage DP method.

위하여, 처리 과정이 간단하고, 처리 과정에서 조음 결합 문제를 해결해 주는 1-段 DP 법과 벡터양자화를 조합하여 연결단어 인식에 이용하고자 한다. 1-段 DP 법에서는 adjustment window를 사용하지 않고 시험패턴과 표준패턴의 모든 프레임에 대해 거리를 구해야 한다. 그러나 벡터양자화와 결합한 방법에서는 벡터양자화에 의해 생성된 code-book의 codeword 상호간의 거리 행렬을 미리 계산하므로써, 같은 code-book에 의해 부호화된 시험패턴과 super reference인 표준패턴 사이의 1-段 DP 법의 처리 과정에서는 거리를 계산하지 않고, lookup-table 과정으로 처리해 줌으로써 거리 계산 시간을 대폭 절약할 수 있다. 벡터양자화와 1-段 DP 법을 결합하여 연결단어를 인식하는 구성도는 그림 1과 같다.

Ⅲ. 벡터양자화에 의한 group-labelling

그림1.에서 codebook에 의해 시험패턴과 표준패턴을 부호화할 때, code-book은 전체 학습 데이타를 대상으로 구성되기 때문에 codeword의 특성이 정보량의 손실로 인하여 음성의 특징을 제대로 나타내지 못할 수가 있다. 이에따라 시간특성 배열이 유사한 음성 상호간에는 오인식이 생길 수 있기 때문에 이를 해결하기 위하여 적당한 표준패턴 선정이 필요하다.

1. 한국어 숫자음의 모음별 분류

한국어 숫자음에서 같은 모음 특성을 갖는 숫자음끼리 분류하면

[o] : / 공, 오 /
[i] : / 일, 이, 칠 /
[a] : / 삼, 사 팔 /
[u] : / 구 /
[yu] : / 육 /

이 된다. 여기서, 단일 숫자음을 본 논문에서 사용할 같은 실험 조건으로 3인의 화자가 각각 5회 발성한 음성 데이타중 2, 3번째 발성한 데이타를 표준패턴으로, 1, 4, 5회 발성한 것을 시험패턴으로 하여 1-段 DP와 벡터양자화에 1-段 DP를 연결하여 각각 고립 숫자음을 인식한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1의 인식 결과에 의하면, 모음 특성이 비슷한 숫자음 사이에 서로 오인식이 나타난 경우가 많음을 알 수 있으며, 특히, 단일 숫자음 / 구 / 를 인식했을 경우에 주로 모음의 스펙트럼 구조가 비슷한 / 공 / 과 / 오 / 로 오인식 되는 경우가 많은 것을 볼 수 있다. 따라서, / 구 / 를 / 공, 오 / 와 같은 부류로 재분류하면, / 공, 오, 구 /, / 일, 이, 칠 /, / 삼, 사, 팔 /, / 육 / 이 된다.

2. Group-labelling

동일한 모음으로 분류된 숫자음에서는 codeword 구성이 유사하기 때문에 인식시 오인식될 수 있는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 단일 숫자음에 대한 codebook을 구성한 뒤, 각 codebook을 모음 부분이 서로 다른 숫자음(예 : / 공, 일, 삼 /, / 아

표 1. 3화자에 대한 인식율
Table 1. Recognition rate for 3 speakers

화자별	표준패턴 / 오인식 숫자음		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	인식율 [%]
K화자	1-段 DP												100
	VQ+1-段 DP	5						2½				½	98.3
Y화자	1-段 DP	0	2									1	96.7
	VQ+1-段 DP	1	1									2	93.3
J화자	1-段 DP	1			2					1			96.7
	VQ+1-段 DP	1			2					1			93.3

½은 분리 인식된 결과##

사, 오/, /칠, 팔, 구/, /육/)간에 group codebook 를 만든다. 그리고, 단일 숫자음에 대한 codebook 전체를 하나의 main codebook로 구성한 다음, 입력되는 음성을 main codebook으로 부호화하여 입력되는 음성이 어느 group에 속하는 지를 알아보고, 해당되는 group의 숫자음으로 표준패턴을 구성해 준다. 이렇게 하면 입력되는 음성이 동일 숫자나 동일 group으로 구성된 숫자음일수록 표준패턴수가 감소한다. 따라서, 인식하고자 하는 모든 숫자음으로 표준패턴을 구성하지 않아도 되므로 계산량을 줄일 수 있으며, 같은 모음을 포함하는 유사한 시간특성의 음성끼리 오인식되는 경우도 피하게 된다. 이러한 방법을 group-labelling 방법이라 한다. 다음은 숫자음 group에 따른 group-labelling을 보이고 있다.

/공, 일, 삼/ → group 1
/이, 사, 오/ → group 2
/칠, 팔, 구/ → group 3
/육/ → group 4

3. Group-labelling 처리과정

A. 처리 알고리즘

```
    i=1                          : i는 부호의 인덱스
L1 : if(end of code) goto L2
     for k=1, 10                 : k는 각 고립 숫자음
                                   인덱스
     if(c_i ∈ g_k) then N_k=N_k+1
     next k                      : c_i는 i번째 codeword
                                 : g_k는 k번째 고립
                                   숫자음의 codebook
     i=i+1                       : N_k는 k번째 고립
                                   숫자음의 codebook
                                   에 속하는 codeword
                                   의 갯수
     goto L1
L2 : for J=1, M                  : M은 선택하고자
                                   하는 최상위 단어의
                                   갯수
     K* : argmax(N_k)
          1≦K≦R                  : K*는 최상위 단어의
                                   인덱스
          for j1=1, gr           : gr은 group 갯수
            if(k*∈1) then group(j)=1
          next j1
          N*_k=0                 : group(j)는 k*가 j번째
                                   group에 속하는
                                   group label
          next j
```

B. 알고리즘간의 계산량과 메모리의 사용용량 비교

	전체거리 계산량(회수)	메모리사용량(Byte)
Two-level DP	K*N*J*(2*R+1)	2*N*(2*R+1)
Level Building DTW	K*M*J*N/3	3*N*M
One-stage DP	K*J*N	2*(N+K*J)
VQ and One-stage DP with group-labelling	Group이 1개 선택 (J*N) or ((3*K/10)*J*N)	Group 1개 선택 2*(N+J) or 2*(N+(3*K/10)+J)
	Group 2개 선택 ((2*K/5)*J*N) or ((4*K/5)*J*N)	Group이 2개 선택 2*(N+(2*K/5)*J) or 2*(N+(4*K/5)+J)
	Group 3개 선택 ((7*K/10)*J*N) or ((9*K/10)*J*N)	Group이 3개 선택 2*(N+(7*K/10)*J) or 2*(N+(9*K/10)*J)
	Group 4개 선택 (K*J*N)	Group 4개 선택 2*(N+K*J)

N : 입력단어열의 길이
K : 기준패턴의 템프레이트 수
R : 시간정합 범위의 매개변수
M : 입력된 숫자음의 최대수
J : 표준패턴의 각 템프레이트에 대한 평균길이

Ⅳ. 실험 및 고찰

1. 실험 데이타

연결단어 인식을 위하여 사용한 단어는 한국어 숫자음(0, 1,…,9)으로 하였으며, 본 연구에서는 단어 단위를 표준패턴으로 사용하므로 각 화자마다 고립 숫자음을 다섯번씩 10[개]×[5]회=50[개] 발성하여 표준패턴으로 사용하였다. 시험패턴으로 사용할 3연결 숫자음 30개는 각각 동일 화자가 두번씩 30[개]×2[회]=60[개] 발성하였으며, 이상과 같이 발성된 음성패턴을 표 2와 같은 조건으로 분석하였다.

음성패턴들을 부호화하기 위한 codebook은 발성한 고립숫자음 (평균길이 400[ms])의 전체로부터 생성하였으므로 codebook 생성을 위해 발성한 총 음성 길이는 400 ms[×]50[개]=20 sec[로 하였다.

표 2. 해석조건
Table 2. Analysis Conditions.

LPF cut-off Freq.	3.5KHz
A/D data	10KHz Sampling, 12-bit
Window Function	Hamming Window and Pre emphasis (A=0.95)
Frame Length	20ms
Frame Period	10ms
Analysis	14-order LPC
Distortion Measure	Likelihood Ratio

2. 結果 및 考察

벡터양자화와 1-段 DP법을 결합하는 방법으로 3연결 숫자음에 대한 인식결과를 비교하기 위하여, 먼저 벡터양자화를 사용하지 않은 1-段 DP법만으로 인식한 결과 약 79.5[%]의 인식율을 얻었으며, 벡터양자화와 결합한 방법에서는 평균 65.0[%]의 인식율을 얻었다. 즉, 벡터양자화에 의한 codebook 구성시 codebook의 코드워드 수를 각각 32, 64 및 128로 하여 인식하였을 때의 인식율은 각각 57.8[%], 74.4[%] 및 75.0[%]였다. 여기서, 오인식은 단어들이 서로 혼동되는 경우에 주로 발생하였으며, 서로 혼동된 단어들의 집합은 {공, 오, 구}, {일, 이, 칠, 육}, {삼, 사, 팔}이다.

이러한 오인식 문제를 해결하기 위하여 벡터양자화에 의한 group-labelling을 적용하였으며, 이 때 신택하고자 하는 group의 개수 M은 4로 하였고, 벡터양자화와 1-段 DP법을 결합하는 방법에 있어서 codebook의 코드워드수가 64 이상에서는 뚜렷한 인식율 향상이 없었으므로 group-labelling은 적용하였을 때에는 codebook의 코드워드 수를 64로 하였다. labelling된 범위에 따른 표준패턴을 1-段 DP법에 의해 인식한 결과 78.9%의 인식율을 얻을 수 있었으며 인식 결과를 표 3에 나타내었다. 인식 결과에 의하면, {육, 이}나 {구, 공}을 입력 패턴에서 분리하였으나 그밖의 오인식은 group labelling 과정에서 group이 잘못 선택되었거나, 올바른 group이 선택되었을 때, 오인식 된 대상이 유사하여 일어난 때문이라 생각된다.

표 3. 인식율의 비교[%]
Table 3. Comparison of recognition rates [%].

Method / Speaker	One-stage DP Algorithm	VQ+One-stage DP Algorithm			VQ+one-stage DP Algorithm with group-labelling
		L=32	L=64	L=128	
A	80.0	60.0	73.3	75.0	78.3
B	81.7	61.7	78.3	76.7	81.7
C	76.7	51.7	71.7	73.3	76.7
Average	79.5	57.8	74.4	75.0	78.9

(L : codebook's codewords)

V. 結 論

본 연구에서는 벡터양자화와 1-단 DP법을 결합시켜 연결단어를 인식하였으며, 표준 패턴수를 줄이는 방법으로 벡터양자화에 의한 group-labelling 방법을 적용하였다. 이들 연결 숫자음에 대해서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 벡터양자화와 1-단 DP를 적용하여 한국어 연결 숫자음 인식을 하였을 경우 codebook의 코드워드 수를 64로 하였을 때에 74.4[%]의 인식율을 얻었다.

(2) 벡터양자화에 의한 group-labelling으로 표준패턴 수를 줄일 수 있었으며, 78.9[%]의 인식율을 얻음으로써 표준패턴 수를 줄이는 유효한 방법임을 확인하였다.

또한, 연속 숫자음에서 단어와 단어간 묵음(silence) 부분에 의해서나 이웃 단어 사이의 심한 조음현상에 의해 다르게 발음된 단어(예 : 공→궁, 삼→쌈, 육→뉵·륙, 오→노 등)들로 인하여 인식율이 저하될 수 있으므로, group labelling할 때 이에 대한 표준패턴 구성을 보완하다면 인식율이 향상될 수 있으리라 기대된다.

參 考 文 獻

1. R.J. Niederjohn, J.B. Thomas, "Computer Recognition of the Continuant Phonemes in Connected English Speech", IEEE Trans. Audio and Electr., Vol. AU 21, No. 6, pp. 526~535, Dec 1973.
2. L.R. Rabiner, M.R. Sambur, "Some Preliminary Experiments in the Recognition of Connected Digits", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-24, No. 2, pp. 170~182, Apr 1976.
3. L.R. Rabiner, S.E. Levinson, "Isolated and Connected Word Recognition Theory and Selected Applications", IEEE Trans. Communication, Vol. COM 29, No. 5, pp. 621~659, May 1981.
4. R. Zelinski, F. Class, "A Segmentation Algorithm for Connected Word Recognition Based Estimation Principles", IEEE Trans, Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-31, No. 4, pp. 818~827, Aug 1983.
5. F. Charot, P. Frison, P. Quinton, "Systolic Architectures for Connected Speech recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-34, No. 1, pp. 765~779, Aug. 1986.
6. M.a. Bush, G.E. Kopec, "Network-Based Connected Digit Recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP 35, No. 10, pp. 1410~1413, Oct. 1987.
7. C.H. Lee, L.R. Rabiner, "A Frame-Synchronous Network Search Algorithm for Connected Word Recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Porcessing, Vol. 37, No. 11, pp. 1649~1658, Nov 1989.
8. H. Sakoe, "Two-level DP-matching A Dynamic programming based pattern matching algorithm for connected word recognition", IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, ASSP-27, pp. 588~595, Dec 1978.
9. L.R. Rabiner and C.E. schmidt, "Application of dynamic time-warping to connected digit recognition" IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP 28, pp. 377~388, Aug 1980.

10. L.R. Rabiner, S.E. Levinson, "A Speaker-Independent, Syntax-Directed, Connected Word Recognition System Based on Hidden Markov Models and Level Building", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-33, pp. 561~573, Jun 1985.
11. C.S. Myers and L.R. Rabiner, "A Level building Dynamic Time Warping Algorithm for Connected word Recogniton", IEEE Trans., Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-29, pp. 284~297, Apr. 1981.
12. C.S. Myers, L.R. Rabiner, "Connected Digit Recognition Using a Level-Building DTW Algorithm", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-29, No. 3, pp. 351~363, Jun 1981.
13. C.S. Myers, S.E. Levinson, "Speaker Independent Connected Word Using a Syntax-Directed Dynamic Programming Procedure", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-30, No. 4, pp. 561~565, Aug 1982.
14. H. Ney, "The use of a One-stage Dynamic Programming for Connected Word Recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP- 32, pp. 263~271, Apr 1984.
15. Y. Iude, A, Buzo, and R.M. Gray, "An Allgorithm for Vector Quntization", IEEE Trans, Communication, Vol, com 28, Jan 1980.
16. A.B. Buzo, A.H. Gray, R.M. Gray, J.D. Markel, "Speech Coding Based Upon Vector Quantization", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-28, No. 5, Oct 1980.
17. B.H. Juang, D.Y. Wong, A.H. Gray, "Distortion Performance of Vector Quantization for LPC Voice Coding", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-30, No. 2, Apr 1982.
18. A. Buzo, "Discrete Utterance Recognition Based upon Source Coding technique", ICASSP 1982.
19. D.K. Burton, J.E. Shore, "A Generalization of Isolated Word Recognition using Vector Quantization", IC-ASSP-83.
20. R.M. Gray, "Vector Quantization", IEEE ASSP Magazine, Apr 1984.
21. D.K. Burton, J.E. Shore, J.T. Buck, "Isolated-Word Speech Recognition Using Multisection Vector Quantization Codebooks", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-33, No. 4, Aug 1985.
22. G.E. Kopec, M.A. Bush, "Network-Based Isolated Digit Recognition Using Vector Quantization", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-33, No. 4, Aug 1985.
23. W.S. Youn, C.K. Un, "Isolated Word Recognition Based on Finite-State Vector Quantization", IC-ASSP-86, 1986.
24. D.K. Burton, "Text-Dependent Speaker Verification Using Vector Quantization Source Coding", IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, Vol. ASSP-35, No. 2, Feb 1987.

▲김 자 룡(정회원) 1957년 10월 30일생

1981년 2월 : 명지대학교 전자공학과(공학사)
1983년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1991년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1984년 3월~현재 : 진주전문대학 전자계산과 조교수

(1991년 2월 "벡터 量子化와 Fuzzy 理論을 이용한 單語認識"으로 工學博士學位 取得)

▲최갑석 7권 5, 6호 참조, 9권 5호 참조