

확산필터뱅크를 전처리기로 사용한 한국어 단모음인식

The Recognition of Korean Single Vowels by Use of the Diffusion Filter Bank as a Pre-processor

許 萬 鐸*, 金 在 昌**
(Man Tak Huh*, Jae Chang Kim**)

요 약

본 논문에서는 스펙트럼 포락선을 이용하여 음성을 인식하기 위한 새로운 전처리 방법을 제안한다. 이는 확산필터뱅크를 사용하여 스펙트럼 포락선을 추출하는 새로운 방법이다. 확산필터뱅크의 분석대역을 몇 개의 작은 대역으로 나눔으로써 확산회수를 줄였으며 차분회수를 늘임으로써 선택도를 높였다. 이 결과, 총처리시간을 대폭 줄였으며 스펙트럼의 변별력을 증가시켰다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 간단한 인식 알고리즘으로 실제 음성의 단모음 인식 실험을 해본 결과 3%의 인식율을 얻음으로써 확산필터뱅크가 많은 주파수 성분을 가진 음성의 주파수 분석을 이용하는 음성인식에 대단히 유효하다는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a new pre-processing method for the recognition of single vowels by use of spectrum envelope is presented. We use new extraction method of a spectrum envelope using the diffusion filter bank. By dividing analysis band of a diffusion filter bank into subbands, we decreased the number of diffusion process. And, by increasing the number of difference, we got higher selectivity. As a result of them, we reduced the total processing time, and got higher enhancement of discrimination. By getting 88.3% of average recognition rate for single vowels of natural voice through computer simulation, we confirmed it to be useful for speech recognition which use spectrum analysis of the voice signal to have many frequency components.

I. 서 론

음성인식의 최종 목표에 다다르기 위해서는 연속음성 인식, 화자독립, 무제한 어휘인식 등의 기술이 필수적이다.¹⁾ 그러기 위해서는 궁극적으로 인간의 달팽이관과 특성이 유사한 음성 처리기의 개발이 필수적이며 현재 공학의 각분야에서 각광을 받고 있는 신경망을 이용한 접근이 최근 많이 연구되고 있다.^{2,3)}

이재성 등은 신경망의 일종인 확산망이 공간주파수를 추출해 내는 대역통과 특성이 있다는 점과 신경세포간의 연결이 매우 적어 단순한 구조의 하드웨어 구현이 용이하다는 점에 착안하여 이를 이용한 대역통과 필터의 구성을 제안하였다.⁴⁾ 종래의 확산망에서는 두 가우스함수의 차에 의해 DOG 연산을 하였지만 허만탁 등은 가우스

함수를 독립적으로 차분하는 $g^{(2)}(t)$ 연산자를 제안하였고, 또 차분회수를 증가시켜 필터의 선택도를 높일 수 있는 $g^{(2n)}(t)$ 연산을 구현하였다.⁶⁾ 이에 의하면, 확산 필터의 중심 주파수는 확산회수와 차분회수에 의해 결정되며 선택도는 차분회수에 의해서만 결정된다고 하였다. 또 이를 이용하여 확산회수와 차분회수를 순차적으로 적절히 프로그래밍하여 순차필터뱅크(sequential filter bank)의 특성을 가진 확산필터뱅크를 구현하였다. 이의 특성은 기존의 아날로그나 디지털 필터뱅크가 가지고 있는 과다한 소자 사용에 따른 구조의 복잡성과 설계의 어려움^{7, 8)}을 개선하였다.

허만탁은 확산필터뱅크를 이용하여 6개 단모음의 스펙트럼 추출을 시뮬레이션한 결과 확산필터뱅크의 출력 스펙트럼은 신호에 포함되어 있는 주파수 성분을 잘 반영할 뿐만 아니라 그 포락선이 완만하여 바로 포먼트(formant) 추출이 쉬우므로 다음 단계인 음성인식의 알고리즘과 하드웨어 구조를 단순화시킬 수 있음을 예측하였다.⁹⁾

본 논문에서는 확산필터뱅크의 스펙트럼 추출기능을 더욱 효율적으로 개선하여 이를 설계하였고 또, 이를 이

*부경대학교 전자공학과
Dept. of electronics, Pu-Kyung Ntn'l Univ.

**부산대학교 전자공학과
Dept. of electronics, Pusan Ntn'l Univ.

접수일자: 1996년 11월 14일

용하여 실제 음성신호의 스펙트럼을 추출하였으며 추출된 단모음들의 스펙트럼 포락선 형태를 분석하여 인식¹⁰⁾을 위한 알고리즘과 인식파라미터를 제시한다. 이로써 완전한 포락선을 가지면서 많은 주파수 성분을 추출할 수 있는 전처리기가 요구되는 음성신호의 인식¹¹⁾에 확산필터뱅크가 대단히 효과적이며 음성인식 분야에 유용하게 사용될 수 있음을 확인한다.

II. 확산필터뱅크

동물의 신경망은 신경세포가 자극을 받게 되면 이웃한 신경세포 쪽으로 그 자극이 전달되어 가는데 이를 모방하여 확산망이 제안되었으며 확산망의 전달함수는 가우스함수의 특성을 가지므로 이를 이용한 신호처리에 아주 유용하게 적용될 수 있다. 본 장에서는 확산필터⁵⁾를 사용하여 만든 확산필터뱅크의 이론 및 확산필터뱅크에 의한 스펙트럼 추출원리를 논하고자 한다.

확산필터에서 확산과 차분 연산은 순서에 상관없이 회수에만 의존하며, 선택도 Q는 확산회수 k가 비교적 클 때 근사적으로 차분회수 n의 제곱근에 비례하고 확산회수 k와는 관계가 없다.⁶⁾ 그림 1은 차분회수 n을 고정시켜 선택도를 변화하지 않고 중심주파수만 변화시킬 수 있음을 보여준다. 그림 2는 확산회수와 차분회수가 같은 비율로 변화함에 따라 중심주파수는 변화하지 않고 선택도만 변화함을 보여준다.

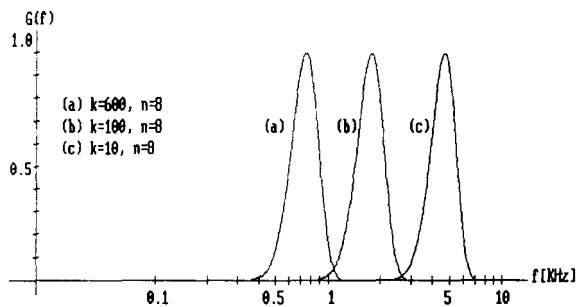


Fig 1. The case varied with center frequency only.

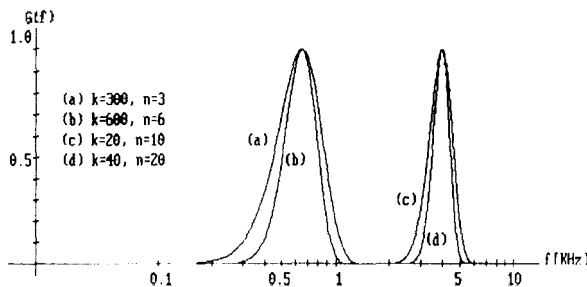


Fig 2. The case varied with selectivity only.

주어진 확산필터가 추출할 수 있는 중심주파수의 범위는 확산회수 k와 차분회수 n의 가변범위 및 샘플링 주파수에 의하여 정해진다. 확산계수를 고정하면 입력된 신호는 k와 n의 값, 그리고 샘플링 주파수에 의하여 결정된 중심주파수와 선택도에 맞게 여파처리된다.

이제 앞서 기술한 여파특성을 가진 각 필터 채널을 조합하여 목적하는 필터뱅크 시스템을 구성하기로 한다. 확산필터뱅크 시스템의 전체 구성은 그림 3과 같이 하였다. 여기서 입력 신호의 스펙트럼만을 요구할 때, 여파출력의 실효치만 검출하면 되므로, 샘플링 주파수를 f_s , 추출할 최저 주파수를 f_l , 한 프레임에 요구되는 최저 주파수 성분의 주기수를 T_l 이라 하면, 한 프레임에 필요한 신경세포의 수 M은

$$M = \frac{T_l}{f_l} \cdot f_s \tag{1}$$

와 같다. 식 (1)에 의해 각 확산망에서, 출력망을 제외한 입력망, 확산망, 차분망 및 이득 보상 회로의 신경 세포의 수는 여파할 프레임의 샘플링 수 M과 가장자리 문제¹²⁾를 제거하기 위한 여분의 신경 세포수 m을 합한 크기이며 출력망의 크기는 M이다. 여기서 한 프레임의 길이는 최저 주파수에 따라 결정되므로 M은 최저 주파수와 샘플링 주파수에 비례하여 정해진다.

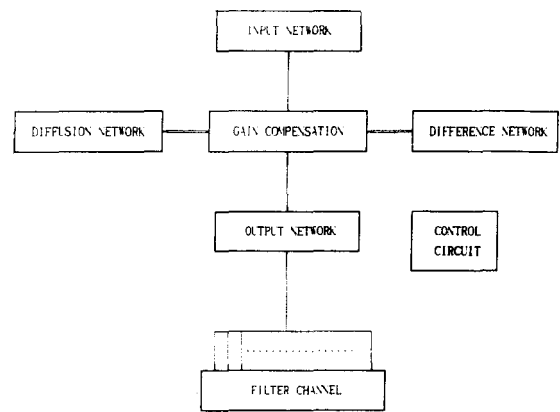


Fig 3. The block diagram of general diffusion filter bank.

그림 3에 있는 확산필터뱅크의 동작은 다음과 같다. 입력망은 저역 필터를 통과한 후 샘플링된 외부신호를 직렬로 받아 들여 가면서 쉬프트 동작을 하는데, 샘플링된 외부 신호를 최초에는 $M + m$ 개를 받아 들인 후 다음부터는 M개씩 쉬프트한 후 이득 보상 회로로 병렬로 내 보낸다. 출력망은 여파특성을 결정하는 k와 n의 합이 작은 순으로 여파된 신호를 이득 보상 회로로부터 받아 k와 n의 합이 작은 필터 채널 순으로 차례대로 내 보낸다. 이득 보상회로는 먼저 입력망으로부터 신호를 병렬로 받아 확산망, 또는 차분망으로 내 보내면서 제어시스템으로부터 전송된 이득보상계수에 의하여 스케일링 한다. 확산망과

차분망은 이득보상회로부터 받은 신호를 제어시스템으로부터 보내온 회수만큼 처리하여 다시 이득보상 회로로 전송한다. 제어시스템은 각 블럭에서의 입력과 출력의 출입을 사전 계획된 대로 제어하고 이득보상계수를 계산하여 이득보상회로로 전송하며 사전 프로그램된 확산 회수와 차분 회수를 확산망과 차분망으로 각각 전송한다. 필터뱅크의 최종 출력은 출력망으로부터 보내온 여파된 프레임별 신호의 실효치를 구하여 각 필터 채널로 전송된 값들이다.

III. 단모음의 스펙트럼 분석 및 인식실험

3.1 음성의 분석

음성의 분석단위는 단어, 음절, 음소등이 있다. 음성적으로는 다르나 의미의 대립이 생기지 않는 음은 하나의 기호로 묶어 기호를 최소한으로 줄인 추상적인 기호를 음소(phoneme)라고 한다. 모음은 복합도에 따라서 단모음(simple vowel) 및 복모음(diphthong)으로 나눈다.^{13, 14)}

음성분석에 있어서 가장 중요한 것 중에 하나는 특징을 추출하는 것이다. 음성 특징은 크게 주파수영역 분석에 의한 것과 시간영역 분석에 의한 것, 이 두 가지를 조합한 것들이 있다.⁵⁾ 기존의 방법 중에는 시간영역상의 음성파형을 특징으로 많이 추출하였다. 그러나 음성파형은 시간에 따른 변화량이 많아 데이터 양이 많은 단점이 있어 이를 주파수 영역으로 변환시켜 추출하는 방식이 많이 사용된다. 음성이 성도(vocal tract)로부터 발생한다는 사실을 근거로 성도의 형태를 필터로 가정하고 그 필터 계수를 음성의 특징으로 삼는 방법과 동물의 귀가 음성을 분석하는 방법을 이용한 auditory 분석도 있다. 최근에는 시간영역의 동적특성(dynamic feature)을 주파수 영역의 특징(spectral feature)들과 함께 사용하기도 한다.¹¹⁾

단모음은 그 음을 길게 발음 하더라도 그 음의 신호적 특성이 변하지 아니하는 모음으로 /아/, /에/, /이/, /오/,

/우/, /어/, /우/, /애/ 등이 있다.¹⁴⁾ 또한 단모음의 분석에는 포만트에 의한 방법이 주로 쓰인다. 포만트는 발성자에 따라서, 또 전후에 연결되는 음소의 영향 즉 조음결합에 의해 변동한다. 포만트 주파수는 성도의 기하학적 형상이나 크기와의 상관관계가 크다. 그러나 그림 4¹⁵⁾에서 보는 바와 같이 각 단모음의 영역이 중복되는 부분이 있어 1, 2차 포만트만으로는 그 구별의 정확도가 다소 떨어진다.

3.2 스펙트럼 추출

본 논문에서는 확산필터뱅크의 스펙트럼 추출 기능이 더욱 효율적으로 되도록 개선하였으며 추출된 단모음들의 스펙트럼을 분석하는 데에도 종래의 포만트 분석법이 모음들 사이에 중복영역이 많음으로 인하여 분리가 잘되지 않는 것을 피하기 위해 스펙트럼 포락선의 형태를 분석하였고 분석된 결과에 의해서 인식 시뮬레이션을 행하였다.

최근의 확산필터뱅크는 분석대역을 이분하고 각 대역을 신호의 샘플링에서 부터 독립적으로 처리하였으나 각 대역의 저주파 성분을 추출하기 위해서는 여전히 많은 확산회수가 요구되었다.⁹⁾ 이는 해당 대역의 최고주파수보다 낮은 주파수 성분을 검출해내기 위해서는 확산회수를 증가시켜야 하는데 추출할 주파수가 아주 낮아지면 확산회수는 매우 커져야 한다. 확산회수가 크다는 것은 그만큼 필터링 시간이 많이 소요되어 실시간 처리에 애로될 수 있고 가장자리를 위한 여분의 신경세포가 많아 하고 이득보상계수의 변화도 커지므로 하드웨어 구현을 어렵게 한다. 최고확산회수를 줄이기 위해서는 각 분석대역의 최고주파수와 최저주파수의 비율 줄여야 하는데 전체 분석 대역폭을 줄일 수는 없으므로 대역폭을 여러개로 분할할 수 밖에 없다. 분할된 각 대역의 최고주파수는 샘플링 주파수의 조정에 의해서 결정할 수 있으므로 최고 샘플링주파수로 샘플링된 신호를 각 분할 대역의 최고주파수에 맞게 분주를 하면 되는데 이에 앞서 나이퀴스트 이론에 의해 고주파 성분을 제거해야 한다.

본 논문에서는 고역 성분을 제거하기 위해 신호를 확산처리를 반복하여 저역필터링을 하였다. 실제로 76 [Hz] ~ 4296 [Hz]의 음성대역을 6 개로 분할하여 최고주파수가 각각 5,000 [Hz], 2,500 [Hz], 1,000 [Hz], 500 [Hz], 250 [Hz] 및 200 [Hz]가 되도록 하였다. 이렇게 함으로써 이분하였을 때 최고확산회수가 800여 회⁹⁾ 요구되던 것을 40여 회로 감소시켰다. 이때 저역필터링에 의한 이득변화는 시뮬레이션에 의해 그 계수를 구하여 보상하였다. 또한 종래에는 확산필터뱅크의 각 차분회수를 8로 하였으나 스펙트럼의 분별력을 높이기 위해 20으로 설정하여 선택도를 높였다. 그림 5의 (a)와 (b)에 단음절 /가/ 중의 모음성분 /아/에 대한 종래의 확산필터뱅크에 의한 스펙트럼과 본 논문에서 개선한 확산필터뱅크에 의한 스펙트럼을 각각 보여 준다.

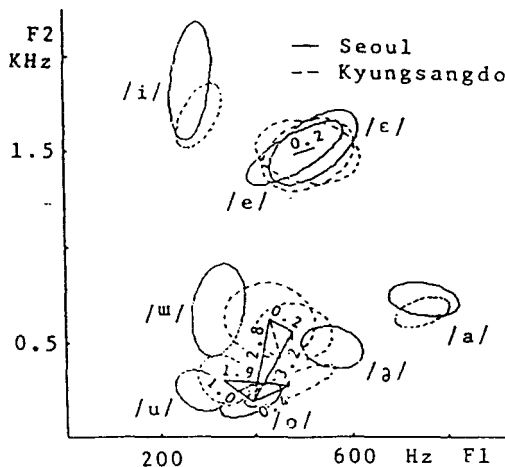


Fig 4. The vowel triangle.

검출되어 시료 신호의 스펙트럼이 구하여진다.

3.3 스펙트럼의 특징 파라미터 분석 및 인식 시물레이션

분석대상이 된 단모음은 20세 중반의 새 남자가 발성된 [초성 + 중성]으로 구성된 단음절에서 단모음만 분리된 /아/, /어/, /에/, /오/, /우/ 및 /이/의 6 개이며 초성에는 파열음, 마찰음, 파찰음 및 비음등 초성에 올 수 있는 모든 자음을 포함시켰다. 이렇게 함으로써 보다 더 자연스럽게 발생될 뿐만 아니라 음소단위 분석에 실제적인 시료를 얻을 수 있으며 초성에 관계없이 후속되는 모음을 결정할 수 있음을 보여 줄 수 있다. 스펙트럼 분석은 스펙트럼의 포락선 형태를 모음에 따라 구분한 것으로써 주로 극대점과 극소점의 주파수축상의 상대적 위치를 기준 하였다. 여기서 모음의 주파수 조합이 발성자의 피치 주파수에 비례하기 때문에 주파수축을 대수눈금으로 하면 피치 주파수에 관계없이 극대점이나 극소점의 상대거리를 일의적으로 결정할 수 있다. 여기서 선정한 특징 파라미터는 낮은 주파수로부터 스캔하여 기준치 이상의 값을 가지는 첫번째 극대점(P1), P1보다 일정치 이하의 값을 가지는 첫번째 극소점(Z1), Z1보다 일정치 이상의 값을 가지는 첫번째 극대점(P2), 등등 Z2, P3 및 Z3를 결정하고 P3로 부터 기준치 이상의 값을 가진 극대점(P3m), P2와 P3 사이의 극대점(P231, P232), Z3로 부터 일정 기준치 이상의 값을 가지면서 일정 주파수 이내 및 이외인 극대점(P3i 및 P3o), P3 이후의 또 다른 기준치 이하의 극소점(Z0)이다. 이들을 그림 7에 나타내었다. 이들은 분석작

업에 사용된 시료들의 스펙트럼 포락선을 관찰하면서 구분하기에 적당한 것들을 선정한 것이다.

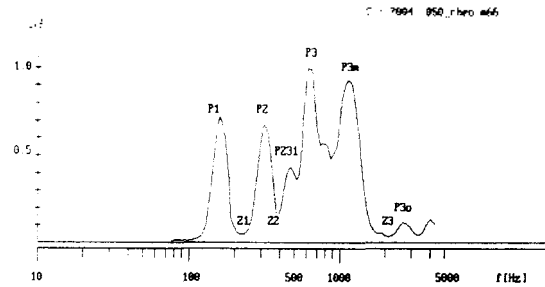


Fig 7. The example of characteristic parameters.

다음 분석과정은 이들 특징파라미터들을 사용하여 그 포락선의 특징을 이전화하는 것이다. 이에 예외적으로 P2와 P3의 주파수 비를 수치로서 나타내었는데 그 값 G2는 식 (2)와 같다.

$$G2 = 10 \log\left(\frac{P3}{P2}\right) \tag{2}$$

여기서 P1과 P2의 비인 G1은 변별력이 전혀 없어서 무시 하였다. 다음 P3m의 존재 유무를 EP3m, 이와 같이 하여 EP231, EP232, EP3i, EP3o, 및 EZ0 등을 설정하고 또 P3의 값이 P2나 P1 보다 기준치 이상 큰지(P3max)를 조사 하였다.

Table 1. The analysis table of characteristic parameter of the vowels.

모음별 parameter	G	EP231	EP232	EP3i	EP3m	EP3o	EZ0	P3: max?
아	G2 >= 4.775	X	X	X	X	X	X	X
에	G2 < 4.085	Y	N	X	X	X	N	X
	G2 >= 2.385	X	X	N	N	X		X
이	G2 = 0.0 or G2 > 1.395	N	X	N	X	Y	X	X
	G2 < 2.805 G2 > 2.495	X	X	X	X	X	X	X
오	G2 < 4.085 G2 > 2.835	N	X	X	X	X	Y	Y
	G2 > 1.4 G2 < 2.2	Y	X	X	X	X	Y	N
우	G2 = 0.0 or G2 > 1.4	N	X	X	X	N	X	X
	G2 < 2.2							
어	G2 < 4.775	X	X	N	X	Y	X	X
	G2 > 4.085	Y	X	N	Y	X	X	X
	G2 < 4.085 G2 > 2.835	Y	Y	N	X	X	X	X

이들 특징들을 모음별로 분석한 결과를 표 1에 보여준다. 여기서 Y, N 및 X는 해당 특징이 있다, 없다, 또는 상관없다는 것을 각각 나타낸다. 표 1에서 살펴볼 수 있듯이 분석한 시료들의 스펙트럼 포락선 형태는 대부분 이들로써 구분이 되었으며 그 구분이 중복되는 경우도 소수 있었다. 이는 순모음 구간의 분리 알고리즘이 너무 단순하고 또 잡음의 영향을 크게 고려하지 않았기 때문으로 추정된다.

본 논문에서 분석 및 인식에 사용한 시료는 /아/가 42개, /어/ 및 /우/가 각각 37개, /예/, /이/ 및 /오/가 각각 38개이다. 이들을 분석한 결과를 이용하여 분석에 사용된 모든 시료들을 대상으로 인식 시뮬레이션을 한 결과의 모음별 인식율을 표 2에 나타내었다. 표 2를 살펴보면 /아/ 및 /이/의 인식률이 다른 것에 비해 상당히 높고 /오/의 인식률이 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 이는 그림 4의 모음 삼각도에서 알 수 있듯이 /아/ 및 /이/는 중첩된 영역이 거의 없어 타모음과의 구별이 용이하고 /오/는 타모음과 중첩된 영역이 많아 인식률이 저조한 것으로 생각된다.

Table 2. The experimental data of the recognition simulation.

판정 시료	아	어	오	우	이	예	불능	시료수	인식율 (%)
아	40	2						42	95.2
어		30	3	1		2	1	37	81.1
오			29	6	2	1		38	76.3
우			2	35				37	94.6
이					38			38	100.0
예		3		4		31		38	82.6

총시료수	총인식수	오인식수	판정불능수	인식율(%)
230	203	26	1	88.3

IV. 결 론

본 논문에서는 확산필터뱅크를 전처리기로 사용한 한국어 단모음 인식 시뮬레이션을 행하였다. 스펙트럼 포락선의 변별력을 높이기 위해 확산필터의 선택도를 높였으며, 필터의 채널수를 증가시켜 주파수 분해능을 높였다. 필터뱅크의 처리시간을 단축시키기 위하여 분석대역을 여러개로 분할하여 각 분할대역에서의 최대 확산회수를 줄였다.

개선된 확산필터뱅크를 사용하여 한국어 단모음 6개의 인식 시뮬레이션을 시행한 결과, 타 연구¹⁶⁻¹⁸⁾에서의 인식율에 비해서는 낮은 편이지만 취약한 시료 채취 환경과 간단한 인식 알고리즘으로서는 비교적 좋은 평균 88.3 [%]의 인식율을 얻었다. 인식을 위한 특징 파라미터들은 스펙트럼 포락선의 형태를 나타내는 것으로서 주로 포락선의 극대점과 극소점의 상대적 주파수 위치 및 특징 극

점의 존재 유무로써 각 단모음이 간단히 구분되도록 하였다. 인식 시뮬레이션의 대상이 된 6개 단모음 중 /아/와 /이/의 인식률은 매우 높았으나 /오/의 인식율은 상대적으로 저조를 보였다. 이것은 음성의 특성상 음소 영역의 분리도에 기인함을 알 수 있었다. 본 시뮬레이션에서 인식 알고리즘이 간단함에도 불구하고 좋은 인식율을 보여줌으로써 확산필터뱅크가 스펙트럼 분석에 의한 음성인식에 아주 유용함을 확인하였다. 앞으로의 과제는 스펙트럼 포락선 패턴의 인식 알고리즘을 더욱 개선시키고, 인식 알고리즘에 더욱 효율성 있도록 확산필터뱅크의 성능을 개선하여 단모음뿐만 아니라 다른 음소들까지 좋은 인식율로 인식하게 하는 음소단위 음성인식기를 개발하는 일이다.

참 고 문 헌

1. L. Rabiner and B-H. Juang, *Fundamentals of Speech Recognition*, P-H, New Jersey, 1993.
2. 이종혁, 정용근, 남기곤, 윤태훈, 김재창, 박의열, 이상성, "∇²G연산자의 신호 분석 특성을 이용한 음성인식 신경회로망에 관한 연구", 전자공학회논문지-B, 제29권 B편, 제10호, pp. 90-98, 1992.
3. 허만탁, 이종혁, 윤태훈, 남기곤, 김재창, 이상성, "음소 특징 파라미터를 이용한 무성자음 인식", 전자공학회논문지-B, 제31권 B편, 제4호, pp. 525-532, 1994.
4. 김순협, "음성인식 기술현황 및 실용화 전망", 한국음향학회지, Vol. 13, No. 2, pp. 86-95, 1994.
5. 이재성, 허만탁, 이종혁, 남기곤, 김재창, 박의열, "확산신경망과 차분연산에 의한 대역통과 필터의 구현", 전자공학회논문지-B, 제32권 B편, 제7호, pp. 94-102, 1995.
6. 허만탁, 남기곤, 김재창, 이종혁, 김길중, 윤태훈, 박의열, "차분망을 이용한 확산필터 알고리즘의 개선 및 대역통과특성의 정량적 분석", 전자공학회논문지-B, 제33권, B편, 제7호, pp. 163-172, 1996.
7. H. Y-F. Lam, *Analog and Digital Filters*, Prentice Hall, 1979.
8. M. E. Van Valkenburg, *Analog Filter Design*, Holt Saunders, 1982.
9. 허만탁, "확산필터뱅크를 이용한 음성신호의 스펙트럼 추출", 부산공업대학교 논문집, 37집, pp. 453-470, 1995.
10. 최영배, 양진우, 이형준, 김순협, "한국어 음소인식을 위한 신경회로망에 관한 연구", 한국음향학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 5-13, 1994.
11. 이종혁, 정용근, 윤태훈, 김재창, 박의열, 이상성, "∇²G연산자를 이용한 음성신호의 주파수분석", 전자공학회논문지-B, 제28권, B편, 제4호, pp. 24-32, 1991.
12. 허만탁, *확산망과 차분연산에 의한 대역통과필터 구현과 특성해석*, 부산대학교, 공학박사학위논문, 1994.
13. 오영환, 패턴 인식론, 정익사, 1994, pp. 169-264.
14. 오정란, 현대 국어음운론, 형설출판사, 1993.
15. H.Y.Chung, et. al., "Analysis and recognition of Korean isolated vowels using formant frequency," J. Acoust. Soc. Jpn.(E) 9, pp. 225-232, 1988.

- 16. 송도선, 김선일, 김석동, 이행세, "Spatio-temporal 방법을 이용한 우리말 모음 인식에 관한 연구", 한국음향학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 57-62, 1993.
- 17. 이준모, 황영수, 김성중, 신인숙, "주파수 상태 신경 회로망을 이용한 음소인식", 한국음향학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 12-19, 1994.
- 18. 전용구, 양진우, 김순협, "SOFM 신경회로망을 이용한 한국어 음소 인식", 한국음향학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 101-112, 1995.

▲許 萬 鐸(Man Tak Huh) 1953년 11월 3일생
 1975년 2월:부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1982년 2월:부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 8월:부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1980년~현재:부경대학교 전자공학과 교수



※주관심분야:음성인식, 음성신호처리, 전기음향

▲金 在 昌(Jae Chang Kim) 1946년 2월 28일생



1969년 2월:서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1974년 2월:부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사)
 1979년 8월:미국 Alabama대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1981년 8월:미국 Alabama대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1969년 1월~1971년 8월:(주)LG전자
 1975년 3월~현재:부산대학교 전자공학과 교수
 1989년 6월~1993년 12월:대한전자공학회 부산경남 지부장
 1996년 1월~현재:한국광학회 평의원
 ※주관심분야:optics, 신호처리, 신경망 및 퍼지