
계층적 신경회로망을 이용한 후두질환 감별 분류기

김경태* · 김길중** · 전계록***

Implementation on the Classifier for Differential Diagnosis of Laryngeal Disease using Hierarchical Neural Network

Kyung-Tae Kim* · Gil-Jung Kim** · Gye-Rok Jeon***

요약

본 연구에서는 계층적 신경회로망을 사용하여 정상, 후두질환(polyp, nodule, palsy 등), 후두질환 중 성문암 시기별 감별진단이 가능한 후두질환 감별진단 분류기를 구현하였다. 후두질환을 가진 환자군과 정상군, 그리고 성문암의 각 시기별에 해당되는 환자군으로부터 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ 모음에 따른 분류 작업을 수행하였다. 각 모음별 분류 실험을 수행한 결과 모든 입력 파라미터에 대해서 /a/모음이 다른 모음에 비해 우수한 분류율을 나타내므로, /a/모음만을 사용하여 후두질환을 감별진단하기 위한 계층적 신경회로망을 구현하였다. 구현된 계층적 신경회로망은 각 계층별로 서로 다른 파라미터들을 적용하여 여러 후두질환을 감별진단하도록 구성되었다.

ABSTRACT

In this paper, we implemented on the classifier for differential diagnosis of laryngeals disease which is normal, polyp, nodule, palsy, and each step of glottic cancer using hierarchical neural network. We conducted on classifier of various vowels as /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ from normal group, laryngeal disease group, each step of cancer group. The experimental result on classification of each vowels as follows. A /a/ vowel shows excellent classification result to the other vowels in regard to each input parameters. Thus we implemented the hierarchical neural network for differential diagnosis of laryngeals disease using only /a/ vowel. A implemented hierarchical neural network is composed of each other laryngeals disease apply to each other parameter in each hierarchical layer.

We take the voice signals from patient who get the laryngeal disease and glottic cancer, and then use the APQ, PPQ, vAm, Jitter, Shimmer, RAP as input parameter of neural networks.

키워드

hierarchical neural network, glottic cancer, laryngeal disease

* 부산대학교 의공학과

** 동서대학교 전자공학과

*** 부산대학교 의과대학 의공학교실

접수일자: 2002. 2. 15

I. 서론

후두질환을 조기에 치료받지 아니하여 악성질환으로 전이되면 생존을 위하여 후두의 광범위한 절제 혹은 적출이 불가피하게 된다. 그리고 수술 후 음성 재환을 위한 재 수술 및 장기간에 걸친 음성 재활 훈련을 받아야 한다. 이러한 치료 및 훈련에도 불구하고 정상적인 음성의 회복은 불가능하여 인간의 가장 기본적인 중요한 의사 전달 매체인 언어의 발성에 있어 막대한 지장을 초래하여 삶의 질은 엄청나게 저하된다. 그러나 진단과 치료법의 발전으로 대부분의 후두질환 환자가 조기에 후두질환을 발견할 수 있다면 생활에 큰 지장이 없이, 약간의 의학적 도움으로 정상적인 생활을 영위할 수 있다. 특히 후두암에서의 조기진단은 생존율의 향상은 물론이고 후두기능을 보존한다는 관점에서 볼 때 후두악성종양의 치료에 있어 가장 중요한 요소라고 할 수 있다[1].

후두질환의 감별진단 방법 중 음성을 이용한 후두병변의 조기진단을 위한 선별검사 (screening test)의 개발 가능성이 제시되었다[2],[3]. 음성을 이용한 후두질환 감별진단에 대해 타 연구자에 의해 수행된 연구들은 다음과 같다. 1961년 Lieberman 등이 후두질환의 진단에 있어 정점동요요인 (pitch perturbation factor)이 잘 반영한다고 보고한 이래 많은 연구자들이 후두의 병변과 연관된 변수를 연구하고 이들 변수와 연관지어 후두 병변시 음성변화를 초래하는 기전에 관한 연구를 보고하였다[4],[5],[6]. 그리고 1987년 Koike 등은 APQ(amplitude perturbation quotient), PPQ(pitch periode perturbation quotient)를 이용하여 후두질환의 감별을 연구하였고, 1986년 Laver과 1987년 Mashima 등은 PPQ, APQ, 음성소음 등을 이용하여 선별검사를 할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 예비 연구 결과를 발표하였다. 그러나 과거의 연구는 음향분석기기의 미발달로 인한 음향분석이 어려웠고, 사용된 변수가 2 또는 3개로 극히 제한적이었다[7],[8],[9],[10].

본 연구에서는 타 연구자에 의해 수행된 연구에서 사용한 기존의 후두질환 식별 파라미터 보다 많은 특징 파라미터를 사용하여 여러가지 후두질환과 성문암의 시기별 단계를 구별할 수 있는 분류기를 구현하였다. 이를 위해 정상군과 후두질환 환자군의 음성신

호를 분석하여 정상, polyp, nodule, palsy 등의 후두질환을 분류하며, 후두질환 중 성문암으로 진단된 환자군의 성문암 시기별 분류가 가능하도록 계층적 신경회로망을 사용하여 후두질환 및 성문암 시기별 단계를 분류할 수 있도록 하였다.

II. 음성신호 분석

1. 후두질환의 종류와 음성 특성

후두 질환의 종류는 성대의 급성 혹은 만성염증, 후두결절, 후두폴립, 후두유두종, 성대마비, 후두외상, 후두암 등으로 구분된다[1].

성대의 경우 정상인에서는 좌·우 양성대가 거의 대칭적이며 성대의 전·후 측에 걸쳐 거의 균질한 구조를 이루므로 인해 음파가 진동해 나갈 때 동일한 파장으로 내보내어 음의 왜곡을 방지한다. polyp이나 cancer의 경우 균질성이 손상되어 음의 왜곡이 일어난다[8].

2. 음성신호의 획득

2.1 실험 대상

음성신호를 이용하여 후두질환과 성문암의 시기별 각 단계를 분류하기 위하여 다음과 같은 실험군으로부터 음성신호를 획득하였다. 음성신호를 획득하기 위하여 1995년 이후부터 부산대학교병원 이비인후과의 언어치료실에 내원한 환자 즉, polyp, nodule, palsy 등의 후두질환으로 진단받은 환자 각각 12명씩과 성문암의 1 단계(T1)부터 4 단계(T4)까지 각각 6명씩을 임의로 추출하였다. 그리고 정상 대조군은 음성장애와 청력장애가 없는 건강한 연령군으로 무작위 추출된 성인 남자 12명을 대상으로 하였다. 따라서 실험군 총 72명으로부터 모음 즉, 각각 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/별로 구분한 360개의 음성 데이터를 획득하였다.

2.2 신호의 획득

부산대학교병원 이비인후과의 언어치료실에 내원한 피검자들을 의자에 편안하게 앉게 한 후 마이크에서 20cm 떨어지게 한 상태에서 가장 안정된 목소리로 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ 모음을 두 번씩 발성하도록 하였다. 발성된 음성데이터는 Kay electric사의 CSL

(Computerized Speech Lab) Model 4300 시스템을 사용하여 SONY사의 DAT(digital audio tape recorder) TCD-D10에 기록하였다. 기록된 음성데이터는 DT2821 보드를 사용하여 10KHz로 샘플링하고 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/를 분리하여 ASCII 형태의 파일로 PC에 저장하였다. 본 연구에 사용된 음성신호를 추출하기 위한 실험 구성도는 그림 1과 같다.

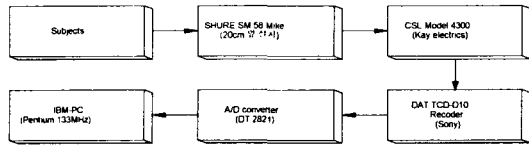


그림 1. 음성신호를 추출하기 위한 실험 구성도
Fig. 1. Experimental block diagram for extraction of voice signal

3. 음성신호 분석 파라미터

3.1 평균주기(T0)를 이용한 파라미터

일반적으로 음성신호의 분석시 성대 진동의 각 주기별 시간의 불규칙성을 나타내는 파라미터로서 음성의 정점간의 주기마다의 불규칙성은 성대의 기능장애와 관련이 있다[4],[5],[6].

음성신호의 평균 주기를 이용하여 음성신호를 분석하기 위해 사용되는 Jitter, PPQ, RAP, sPPQ 등의 특정 파라미터의 개념과 구하는 수식은 아래 수식 (1), (2), (3), (4)와 같다.

3.1.1 JITT(jitter percent) %/

JITT는 음성신호의 짧은 구간에서 정점 주기의 변이성을 나타내는 상대 지수이다.

$$Jitt = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_{0(i)} - T_{0(i+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0(i)}} \quad (1)$$

여기서 T0(i)는 추출된 피치 주기별 시간, i는 추출된 피치 주기의 데이터, 그리고 N는 추출된 피치 주기의 수를 의미한다.

3.1.2 PPQ(pitch period perturbation quotient) %/

PPQ는 보다 긴 시간 즉 5 주기 동안의 정점 주기의

변이성을 나타내는 상대 지수이다.

$$PPQ = \frac{\frac{1}{N-4} \sum_{i=1}^{N-4} \left| \frac{1}{5} \sum_{r=0}^4 T_{0(i+r)} - T_{0(i+2)} \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0(i)}} \quad (2)$$

3.1.3 RAP(relative average perturbation) %/

RAP는 3 주기간의 정점주기의 변이성을 나타내는 상대 지수이다.

$$RAP = \frac{\frac{1}{N-2} \sum_{i=2}^{N-1} \left| \frac{T_{0(i-1)} + T_{0(i)} + T_{0(i+1)}}{3} - T_{0(i)} \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0(i)}} \quad (3)$$

3.1.4 sPPQ(Smoothed Pitch Period Perturbation Quotient) %/

sPPQ는 사용자가 정하는 smoothing factor에 따라 짧거나 긴 구간의 정점 주기의 변이성을 나타내는 상대지수이다.

$$sPPQ = \frac{\frac{1}{N-sf+1} \sum_{i=1}^{N-sf+1} \left| \frac{1}{sf} \sum_{r=0}^{sf-1} T_{0(i+r)} - T_{0(i+m)} \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0(i)}} \quad (4)$$

여기서 sf는 smoothing factor를 의미하며, 대개의 경우 55 주기를 사용한다.

3.2 음성의 크기(A0)를 이용한 파라미터

음성신호의 크기를 이용하여 신호를 분석하기 위해 사용되는 특정 파라미터의 개념과 구하는 수식은 (5), (6), (7), (8)과 같다.

3.2.1 SHIM(shimmer percent) %/

Shimmer는 짧은 구간에서 음성의 정점 크기(amplitude) 변이성을 나타내는 상대지수이다.

$$Shim = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A_{(i)} - A_{(i+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{(i)}} \quad (5)$$

여기서 A(i)는 추출된 정점별 진폭, i는 추출된 정점 데이터, 그리고 N는 추출된 정점의 수를 의미한다.

3.2.2 APQ(amplitude perturbation quotient) /%/

APQ는 5 주기간의 정점 크기의 변이성을 나타내는 상대 지수이다. 즉 음성의 정점 크기의 5 주기간의 불규칙성을 측정한다.

$$APQ = \frac{\frac{1}{N-4} \sum_{i=1}^{N-4} \left| \frac{1}{5} \sum_{r=0}^4 A_{(i+r)} - A_{(i+2)} \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{(i)}} \quad (6)$$

3.2.3 vAm(coefficient of amplitude variation) /%/

vAm은 정점 크기의 상대 표준편차를 나타내는 상대 지수이다.

$$vAm = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{(i)} - A_{(i)} \right)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{(i)}}} \quad (7)$$

3.2.4 sAPQ(smoothed amplitude perturbation quotient) /%/

sAPQ는 사용자가 정하는 smoothing facto에 따라 짧거나 긴 구간의 정점크기의 변이성을 나타내는 상대 지수이다.

$$sAPQ = \frac{\frac{1}{N-sf+1} \sum_{i=1}^{N-sf+1} \left| \frac{1}{sf} \sum_{r=0}^{sf-1} A_{0(i+r)} - A_{0(i+m)} \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{0(i)}} \quad (8)$$

여기서 sf는 smoothing factor를 의미하며, 대개의 경우 55 주기이다.

III. 실험 결과 및 고찰

3.1. 신경회로망을 이용한 실험 결과 및 고찰

정상군과 후두질환군의 분류와 후두질환군 중 성문암의 경우에는 성문암의 시기별 단계를 분류할 수 있는 계층적 신경회로망(hierachical neural network) 즉, 다단계 다층 구조로 구성되는 신경회로망을 사용하여 후두질환과 성문암 시기별 단계를 분류하는 분류기를 구현하였다. 구현한 분류기의 타당성을 검증하기 위하여 상기에서 언급한 특징 파라미터들을 분류기에 입력하여 학습시킨 후 정상, 후두질환, 성문암의 시기별 각 단계를 분류하였다. 이를 위하여 우선적으로 후두질환들과 성문암의 시기별 각 단계에 민감한 분류 결과를 나타내는 특징 파라미터를 선정하였다. 그리고 여러 가지 특징 파라미터를 신경회로망에 입력한 후 질환별 분류율을 관찰하였다.

상기 II.3.1과 II.3.2에서 언급한 8개의 특징 파라미터 중 평균주기를 이용한 파라미터와 음성의 크기를 이용한 파라미터에서 각각 2개와 1개씩을 선정하여 신경회로망에 입력하고 학습을 시킨 후 분류한 결과는 표 1과 같다. 실험 데이터 중 /a/모음이 가장 좋은 분류 인식률을 나타내므로 /a/모음에 대한 분류 인식률만을 나타내었다.

3.2 /a/ 모음의 각 파라미터에 대한 후두질환 분류 및 성문암 시기별 분류 결과

본 연구에 의해 구현된 계층적 신경회로망의 입력 파라미터로 /a/모음의 APQ, PPQ, vAm 등의 특징 파라미터들을 입력하여 후두질환별 분류 인식율, /a/모음 APQ, PPQ, RAP 등의 특징파라미터들을 입력하여 후두질환별 분류 인식율, /a/모음 Jitter, Shimmer, vAm 등의 특징파라미터들을 입력하여 후두질환별 분류 인식율, 그리고 /a/모음 sAPQ, sPPQ, vAm 등의 특징파라미터들을 입력하여 후두질환별 분류 인식율은 표 1과 같다. 그리고 이들 특징 파라미터들 중 /a/모음의 APQ, PPQ, vAm 등을 신경회로망의 입력 파라미터로 하여 분류한 결과 정상군과 성문암군의 구분

이 완벽하게 인식됨을 표 1을 통해 알 수 있었다. 신경 회로망의 입력 파라미터로 /a/모음의 Jitter, Shimmer, RAP 등의 특징파라미터들을 입력하여 얻은 분류 인식률은 표2와 같다. 성문암의 시기별 단계 분류 결과는 T4군이 완벽하게 인식됨을 알 수 있었다.

표 1. /a/모음에 대한 후두질환별 분류 인식률
Table 1. Laryngeal disease classification rate of vowel /a/

	APQ, PPQ, vAm	APQ, PPQ, RAP	Jitter, Shimmer, vAm	sAPQ, sPPQ, vAm
정상	100	83.3	83.4	75
polyp	83.4	91.7	83.4	58.4
cancer	100	91.7	95.8	75
nodule	83.4	83.3	83.4	58.4
palsy	75	58.3	83.4	58.4
인식률(%)	90.3	83.3	87.5	65.3

표 2. /a/모음에 대한 성문암의 시기별 단계 분류 인식률
Table 2. Glottic cancer step classification rate of vowel /a/

인식률	질환별	질환별 분류				인식률		
		T1	T2	T3	T4	error	total	rate (%)
전문의 진단결과	T1	5	1			1	6	83.3
	T2	1	4	1		2	6	66.7
	T3		1	5		1	6	83.3
	T4				6		6	100
	total	6	6	6	6	4	24	83.3

3.3. /a/ 모음의 새로운 파라미터들에 대한 후두 질환 분류 및 성문암 시기별 분류 결과

상기와 같은 실험결과 정상군과 성문암군의 구분, 그리고 성문암중 T4를 구분하였다. 그러나 일반질환군은 질환별 구분(Polyp, Palsy, Nodule)과 성문암의 T1과 T2, T3의 구분이 명확치 않았다. 따라서 기존의 파라미터들의 조합을 거쳐 새로운 파라미터를 생성하였으며, 이들 새로운 파라미터를 계층적 신경회로망의 입력 파라미터로 사용하여 후두질환별 분류와 성문암의 시기별 분류 인식율을 비교·검토하였다.

일반 후두질환군으로부터 각 질환별 분류를 하기 위해 입력층이 3개이며 출력층이 3개인 신경회로망에 파라미터들간의 조합인 APQ/2PPQ, 2Shimmer/Jitter, Jitter 등의 파라미터들을 추출하였다. 그리고 이들 파라미터들을 계층적 신경회로망의 입력 파라미터로 사

용하여 질환을 분류한 결과는 표 3과 같다. 표 3을 통해 일반 후두질환군으로부터 각 질환별 분류가 우수함을 알 수 있었다

표 3. /a/모음에 대한 후두질환별 분류 인식률
Table 3. Laryngeal disease classification rate of vowel /a/

인식률	질환별	질환별 분류			인식률		
		Polyp	Palsy	Nodule	error	total	rate (%)
전문의 진단결과	Polyp	11	1		1	12	91.7
	Palsy	1	11		1	12	91.7
	Nodule			12	0	12	100
	total	12	12	12	2	36	94.4

그리고 /a/ 모음의 Shimmer, Jitter, APQ 파라미터를 계층적 신경회로망의 입력 파라미터로 사용하여 T1, T2 성문암 시기별 분류 인식율은 표 4와 같다.

표 4. /a/모음에 대한 성문암의 시기별 단계 분류 인식률
Table 4. T1, T2 classification rate of vowel /a/

인식률	질환별	질환별 분류		인식률		
		T1	T2	error	total	rate (%)
전문의 진단결과	T1	6		0	6	100
	T2	1	5	1	6	83.3
	total	7	5	1	12	91.7

IV. 계층적 신경회로망 분류기의 구현

본 연구에서는 후두질환과 성문암의 시기별 단계를 분류하기 위해 그림 2와 같은 다단계 다층 구조를 지니는 계층적 신경회로망을 구현하였다. 구현된 계층적 신경회로망에 사용되는 입력 파라미터들은 모두 /a/모음의 특징 파라미터와 이들의 조합에 의한 새로운 특정 파라미터들을 사용하였다. 사용된 파라미터들을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 먼저 APQ, PPQ, vAm 을 입력 파라미터로 사용하여 정상군, 일반 질환군, 성문암군으로 분류하는 신경회로망(NN1)을 구성하였다. NN1에서 분류된 일반질환군을 APQ/2PPQ, 2Shimmer/Jitter, Jitter 등을 입력 파라미터로 사용하여 Polyp, Palsy, Nodule 등을 분류하는 신경회로망(NN2)을 구성하였다. 그리고 NN1으로부터 분류된 성문암군은 다시

Jitter, Shimmer, RAP 등을 입력 파라미터로 사용하여 T1/T2, T3, T4로 하는 신경회로망(NN3)으로 구성하였으며, NN3에서 분류된 T1/T2군을 Jitter, Shimmer, APQ를 입력 파라미터로 사용하여 T1, T2를 분류하는 신경회로망(NN4)을 구성하였다.

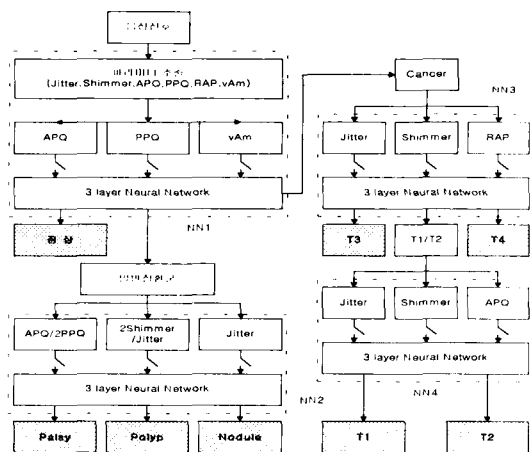


그림 2. 후두질환 및 성문암의 시기별 단계 분류를 위한 계층적 신경회로망
 Fig. 2. A hierarchical neural network for classification of laryngeal disease & Glottic cancer step.

본 연구에 의해 구현된 계층적 신경회로망에 상기에 기술한 파라미터들을 사용하여 후두질환별과 성문암 시기별 단계 분류를 수행한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 후두질환 및 성문암의 시기별 단계구분을 위한 신경회로망의 분류결과
 Table 5. Distribution rate of neural network for laryngeal disease and glottic cancer step classification

	정상	Polyp	Palsy	Nodule	T1	T2	T3	T4	total
error	0	1	1	0	0	1	1	0	4
total	12	12	12	12	6	6	6	6	72
rate (%)	100	91.7	91.7	100	100	83.3	83.3	100	94.4

V. 결론

본 연구에서는 정상군과 후두질환 환자군의 음성신

호를 분석하여 정상, polyp, nodule, palsy 등의 후두질환, 그리고 후두질환 중 성문암으로 진단된 환자군의 성문암 시기별 분류를 위하여 다단계 다층 구조를 지니는 계층적 신경회로망을 제안하였다. 그리고 후두질환과 성문암 시기별 단계 분류에 적합한 특징 파라미터들을 개발하고 이들을 제안한 계층적 신경회로망에 적용시켜 후두질환과 성문암 시기를 효과적으로 분류할 수 있는 분류기를 구현하였다. 제안된 계층적 신경회로망은 4단계(NN1~NN4)로 구성되었으며, 각 단계별로 각각 다른 특징 파라미터들을 다음과 같이 사용하였다.

후두질환을 구분하기 위하여 APQ, PPQ, vAm을 입력 파라미터로 하는 신경회로망 NN1을 사용하여 정상군, 일반질환군, 성문암군으로 분류하였다. 다음으로 일반 후두질환의 질환별 분류를 위하여 APQ/2PPQ, 2Shimmer/Jitter, Jitter를 입력 파라미터로 사용하는 신경회로망 NN2를 사용하여 각 질환을 분류하였다. 그리고 NN1으로부터 성문암군으로 분류된 경우, 성문암의 시기별 단계 구분을 위해 Jitter, Shimmer, RAP를 입력 파라미터로 사용하는 신경회로망인 NN3를 사용하여 T1/T2, T3, T4로 분류하였으나, T1과 T2는 분류율이 낮기 때문에 Jitter, Shimmer, APQ를 입력 파라미터로 사용하는 신경회로망인 NN4를 사용하여 T1, T2를 분류하였다.

본 논문에서는 /a/ 모음만을 사용하였으나 각 모음별로 상호보완적인 관계를 지니고 있기 때문에 동일 환자의 다른 모음별 파라미터를 입력으로 사용할 경우의 분류율에 대한 연구도 계속되어야 한다고 사료된다.

참고문헌

[1] 안희영, "음성검사법", 진수출판사, 1992.
 [2] M. Bensaid S. Ciocea, "Estimation by means of wavelet analysis of the signal-to-noise ratio of dysphonic voices", Proceeding of the ProRISC Workshop on Circuits, 1997
 [3] M. Bensaid, J. Schoentgen and S. Ciocea, "Estimation of formant frequencies by means of a wavelet transform of the speech spectrum"

- Proceeding of the ProRISC Workshop on Circuits, 1997
- [4] Nobuaki Hiraoka, Yasuhiro Kitazoe et.al., "Harmonic-intensity analysis of normal and hoarse voices", J.Acoust. Soc. Am 76(6), December 1984
- [5] Horri. Y, " Vocal shimmer in sustained phonation", Journal of Speech and Hearing Research, Vol. 23, March 1980, pp.202-209.
- [6] Horii. Y, " Jitter and Shimmer in sustained vocal fry phonation", Folia Phoniatica, Vol.37, 1985 pp.81-86
- [7] Hideki Kasuya , Shigeki Ogawa et. al., "Normalized noise energy as an acoustic measure to evaluate pathologic voice", J.Acoust. Soc. Am 80(5), November 1986
- [8] Askenfelt. A & Hammarberg. B., " Speech wave- form perturbation analysis: A perceptual acoustic comparison of seven measures", Journal of Speech and Hearing Research, Vol.29, 1986.
- [9] Neil B. Cox , Mabo R. Ito , Murray D. Morrison, " Technical considerations in computation of spectral harmonics to noise ratios for sustained vowels", Journal of Speech and Hearing Research, Volume 32, 203-218, March 1989.
- [10] Kitajima. K, & Gould. W, " Vocal shimmer in sustained phonation of normal and pathologic voice", Ann. Otorhinolatyngology, Vol.85, No.6, 1976.

저자소개



김경태(Kyung-Tae Kim)

1998년 부산대학교 전자공학과 공학사
 2000년 부산대학교 대학원 의공학협동과정 공학석사
 2000년 - 현재 LG전자 영상제품연구소 PDP개발실 주임연구원

※ 관심분야 : 인공지능, 디지털 신호처리



김길중(Gil-Jung Kim)

1975년 부산대학교 전자공학과 공학사
 1978년 동아대학교 전자공학과 공학석사
 1989년 부산대학교 전자공학과 공학박사

1978년 -1992년 6월 경남정보대학 전자과 부교수
 1992년 6월 - 현재 동서대학교 정보시스템공학부 전자공학전공 부교수

※ 관심분야 : 신경회로망, 패턴인식



전계록(Kye-Rok Jeon)

1978년 부산대학교 전기기계공학과 공학사
 1981년 부산대학교 전자공학과 공학석사
 1988년 동아대학교 전자공학과 공학박사

1983년 -1985년 2월 (주) 삼보 컴퓨터 기술연구소 선임연구원

1985년 - 현재 부산대학교 대학원 의과대학 의공학 교실 교수

※ 관심분야 : 인공지능, 생체신호처리