JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 22, No. 12: 1659~1666, Dec. 2018

잡음 환경에서 음성 인식률 향상에 필요한 MEMS 장치 개발에 관한 연구

양기웅[1*] · 이형근[1]

The research on the MEMS device improvement which is necessary for the noise environment in the speech recognition rate improvement

Ki-Woong Yang[1*] · Hyung-keun Lee[1]

[1*]Department of Computer Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요 약

입력된 소리가 음성과 음향이 혼재된 경우 잡음의 영향으로 음성 인식률이 저하됨을 알 수 있으며 S/W적 처리 한계를 극복코자 H/W 장치인 MEMS 장치를 개발하여 음성 인식률을 향상시켰다. MEMS 마이크로폰 장치는 음성을 입력하는 장치로서 다양한 모양으로 구현되어 사용된다. 기존 MEMS 마이크로폰은 일반적으로 우수한 성능을 발휘하나 잡음 과 같은 특수 환경에선 음성과 음향이 혼재되어 처리 성능이 저하되는 문제점이 발생됨을 알 수 있었다. 이러한 문제점을 개선코자 초기 입력장치에 음성 특성을 구분하여 검출할 수 있는 신규 고안된 MEMS 장치를 사용하여 향상시켰다.

ABSTRACT

When the input sound is mixed voice and sound, it can be seen that the voice recognition rate is lowered due to the noise, and the speech recognition rate is improved by improving the MEMS device which is the H / W device in order to overcome the S/W processing limit. The MEMS microphone device is a device for inputting voice and is implemented in various shapes and used. Conventional MEMS microphones generally exhibit excellent performance, but in a special environment such as noise, there is a problem that the processing performance is deteriorated due to a mixture of voice and sound. To overcome these problems, we developed a newly designed MEMS device that can detect the voice characteristics of the initial input device.

키워드 : MEMS 마이크로폰, 음성 인식률 향상, 마이크로폰, 음향특성, 음향제어

Key word : MEMS microphone, speech recognition rate enhancement, microphone, acoustic , acoustic control

Received 29 October 2018, **Revised** 16 November 2018, **Accepted** 4 December 2018

*** Corresponding Author** Ki-Woong Yang(E-mail:ygw@uos.ac.kr, Tel:+82-2-940-5128)
Department of Computer Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.12.1659 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

사물인터넷(IOT), 5G통신, 영상진단, 보청기, 자동차, 항공기, 마이크로폰 등 다양한 분야에서 사용되고 있는 MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)는 기계/전기/마이크로 전자공학이 모두 접합된 형태로서 가공 방법(벌크 미세 가공기술, 표면 미세 가공 기술) 및 미세구조물 제작 방법(trench 구조, comb drive 구조, Optical micromirror 구조, Cantilever 구조, diaphragm 구조, beam 구조)에 따라 Power MEMS, RF MEMS, Optical MEMS, Bio/memdical MEMS, Space MEMS로 구분될 수 있다.

멤스 관련 기술의 발전과 활발한 개발 노력으로 분리된 생산 공정을 부품간 일괄 공정에 의한 대량 생산, 기계부품/전자회로/센서 등 한 칩에 집적, 작은 소자로 미량의 대상 물질을 표1처럼 생산[1] 가능하게 되었다.

Table. 1 The kind of MEMS

Field	MEMS type	example	Manufacturing Mehthods
machine/ electricity	Power MEMS	car, printer	bulk microfabrication technology surface micromachining
Communi cation	RF MEMS	5G communication, IOT	
optical science	Optical MEMS	electronic equipment	
biology/ medical	Bio/memdical MEMS	hearing aid, image diagnoise	
the cosmos	Space MEMS	space shuttle	

본 논문에서 사용하려 하는 MEMS 마이크로폰은 음향 관련 신호를 변환된 전기신호로 바꾸는 장치로기존 통신, 음향, 의료기기에서 사용되고 있으나 심한 잡음 환경에서는 한계를 가지고 있어 개선이 필요하며, 멤스(MEMS) 마이크로폰 개발은 현재 활발히 이루어지고 있다. 초소형 센서/전기기계/액츄에이터 구조물을 마이크로미터(㎛)단위로 제조 할 수 있는 마이크로 머시닝 기술을 이용한 콘덴서형 마이크로폰을 주로 사용한다.

마이크로폰은 압전형과 콘덴서형이 있으며 주파수 특성상 우수한 음향대역을 감안하여 콘덴서형이 주로 이용되어 다기능화/집적화/고성능화/소형화 가능한 형편이다. 잡음이나 우리가 원치 않은 소리가 샘플에 섞일지라도 현재의 제품으로는 동일한 소리로 인식되어 구분이 어려운 문제점이 있으며, 인식률 및 분석에 어려움을 주고 있는 형편이다. 즉 소리 채취의 어려움은 가공 과정에서 음성 오인식의 주된 원인을 제공하여 원하는 소리를 구분키 어려운 문제점으로 이어진다.

본 자료는 도출된 문제점을 음향 장치에서부터 다양한 음향을 채취할 수 있도록 하여 오인식의 주된 원인인 잡음을 최소로 함은 물론 잡음이 심한 상황에서도 조작된 멤스 마이크로폰을 사용하여 음성/음향을 보다 선명하게 사용할 수 있는 멤스 마이크로폰을 제공하는 것이다.

Ⅱ. MEMS 마이크로폰 구현 및 분석

기존 정전용량형 마이크로폰은 대전판 사이 진동으로 생긴 전압 신호를 이용하는 것으로 SNR (signal to noise ratio)과 frequency 성분이 좋은 것으로 알려져 있다. 단점으론 향상된 sensitivity를 위해 대전판 구조(면적 증가, 거리 축소) 변경이 필수적이며 외부 변화(습기, 온도 등)에 민간한 특성을 갖게 된다. 이를 극복코자 현재 주로 전하 발생시 폴리머 필름을 사용하는 일렉트릿 마이크로 폰을 개발하여 사용하고 있다. 단점으론 정전용량형 마이크로폰에 비교하여 진동막 품질 보장이 어려워 성능 저하가 발생된다. 둘의 장점, 단점을 보완한 신기술 및 신제품이 요구되며, 본 연구에서는 MEMS 마이크로폰의 음성인식률을 향상코자 기존 MEMS 마이크로폰에 소리유도선을 추가하는 방식으로 자체 개발하여 사용하였다. 음향, 음성, 잡음이 섞인 소리는 Acoustic Holes을 통과시 일부는 소리유도선을 따라 조작되어 들어오고 일부는 Acoustic Holes을 따라 가공 없는 소리가 들어온다. 들어온 조작 소리는 membrane에 조작된 bending stress 효과를 발생시킴은 물론 holed rigid and Fixed plate과 gap 차이로 변화가 발생되어 최종적인 Electronode 전기 변화가 생긴다. MEMS내 ASIC에선 발생된 전기신호를 그림 1처럼 음향센서[2]로부터 전달받는다.

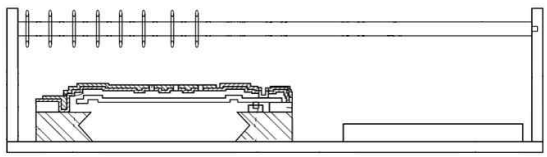

Fig. 1 Improved MEMS device

2.1. Acoustic parameters

MEMS 마이크로폰은 소리 응답 측정치인 Sensitivity (아날로그 마이크로폰일 경우는 dBV / Pa로 디지털 마이크로폰일 경우는 dBFS로 표현), 소리 결핍 출력 크기를 나타내는 Noise floor, Sensitivity와 Noise floor사이에 차이를 나타내는 SNR(Signal-to-noise ratio), 마이크로폰이 에러가 적게 소리를 채취할 수 있는 최대 소리를 나타내는 AOP(Acoustic overload point), 출력 시 AOP(Acoustic overload point)와 Noise floor 사이의 차이를 나타내는 Dynamic range로 성능을 측정할 수 있다. 그중 센서 Sensitivity는 마이크로폰의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 상호 관련성을 그림으로 표현하면 그림.2와 같으며

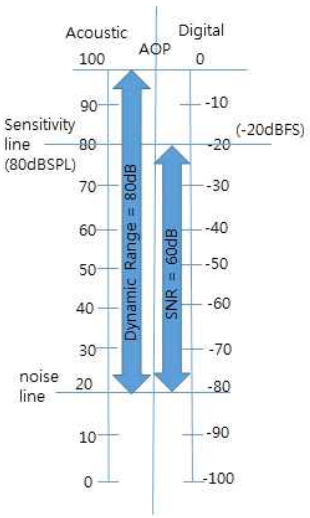

Fig. 2 Acoustic and electrical relationship

실제 사용 중인 예는 표2와 같다.

Table. 2 Features of MEMS microphones(Example)

Parameter	A	B
Sensitivity	-20dBFS	-30dBV
SNR	60dB	63dB
AOP	100dBSPL	110dBSPL

2.2. 유도선 parameter

우리가 잡음 같은 원치 않는 소리나, 잡음 속에 섞인 특수한 음을 원할 때 s/w적으로는 한계가 있을 수밖에 없으며 이런 한계를 유도선 같은 h/w적인 특성으로 개선코자 하였다

2.2.1. 일반적인 파동 방정식

파동방정식이란 파동 함수가 해가 되는 방정식을 말하며 변수분리법을 사용하여 일반적으로 유도하여 사용한다. 함수 f(x)를 x방향 v속도로 이동시키면 (1)식으로 표현가능하고

$$y = f(x \pm vt) \tag{1}$$

x와 t로 2번 각각 미분 하면 (2)식 처럼 표현 가능하고 파동 방정식이라 한다. 여기서 v는 파동의 속도를 말한다.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{2}$$

2.2.2. 일반적인 현의 방정식

제안한 자료에서는 성능 향상을 위하여 소리와 관련한 추가 장치를 설치하였으며, 설치된 장치는 진동을 고려하였다. 진동 관련된 부분은 질량, 길이, 장력(Tension)등이 있을 수 있다. 장력과 관련해선 현의 방정식[3]

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{3}$$

식(3)처럼 표시 할 수 있으며 μ(kg/m)는 선밀도, T(Tension)는 장력, t는 시간을 나타낸다.

2.2.3. 선의 길이(L), 굵기(u : 선밀도), 장력 (T)

우리가 필요로 하는 선의 길이, 굵기, 장력에 관련된 식을 현의 방정식과 파동방정식을 연관 지어 생각하면 [4]

$$v^2 = \frac{T}{\mu} \tag{4}$$

$$v = \lambda f = 2Lf \tag{5}$$

로 표현할 수 있으며, 선의 길이는 식(6)로, 굵기는 식(7)로 장력은 식(8)로 구할 수 있다.

$$L = \frac{1}{2f}\sqrt{\frac{T}{u}} \tag{6}$$

$$u = \frac{T}{v^2} \tag{7}$$

$$T = v^2 u \tag{8}$$

2.3. 음성 parameter

음성/음향에 포함된 각종 정보(음성속 의사소통을 위한 문자 정보, 음성 속에 포함된 신체 건강상태, 잡음속 유의미 정보 등) 의미를 기계에 적절히 매칭 시켜 원하는 결과로 도출토록 하는 것이다. 음성은 의사소통으로 사용 되고 있을 뿐만 아니라 음성 속에는 본인의 신체 건강을 파악할 수 있는 각종 관련 정보도 포함되어 나오고 있어 적절한 프로세스를 거쳐 원하는 정보들만 걸러낼수 있다면 음성의 효율성은 더욱 커질 것으로 생각한다.

보통 음성인식 실험을 위해 잡음과 음성이 혼합된 신호는 초기 구간을 잡음이 혼재된 구간이라고 가정하고 에너지와 ZCR등을 사용하여 끝점 검출후 사용한다. 중간에 묵음 또는 잡음이 다시 발생할 수도 있기 때문에 반복하여 수행한다. 묵음 또는 잡음은 음성인식의 특성에 따라 관련 프로세스에서 삭제하는 경우가 많이 발생한다. 기존 잡음이라 인식된 부분도 처리되기에 따라서는 각종 의미 있는 정보(인식률 향상 정보, 신체내 이상 정보 등)로도 활용될 수 있을 수 있으므로 충분한 주의가 필요할 것이다.

여기서 에너지와 ZCR은 아래와 같이 표시되며 에너지 E는 다음과 식(9), 식(10) 같으며[5]

$$E = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |X(m)| \tag{9}$$

$$E_n = \sum_{m=n-N+1}^{n} |X(m)| \tag{10}$$

$$LE(n) = 10\log[\sum_{m=n-N+1}^{n} |X(m)|] \tag{11}$$

ZCR(Zero Crossing Rate)은 식(12), 식(13)

$$Z = \sum_{m-1}^{N} \frac{[1 - sgn(X(m+1) \times X(m))]}{2} \tag{12}$$

$$sgn[X(m)] = \begin{pmatrix} 1, X(m) \geqq 0 \\ -1, X((m) < 0 \end{pmatrix} \tag{13}$$

같다. (단, X(m)은 구간내 샘플 크기)

Ⅲ. 실험 및 결과

실험도구로는 핸드폰(발송시 조작된 핸드폰, 수신시 핸드폰)를 사용하였으며 정상적인 장치 사용 시, 종으로 조작 시(길이 ×1, ×3) 2가지 종류, 횡으로 조작 시 4가지로 나누어서 실험을 하였다. 실험이 본 연구의 취지에 맞도록 실제 소음 환경과 유사하게 송신자는 전산실 환경(항온항습기 10RT 1대, 네트워크 장비 다수, 서버 다수가 있는 소음 환경)에서 음성을 발음하였으며 수신자는 일상 환경(TV가 켜진 일상적인 소음 환경)에서 그림 3 수신을 하였다.

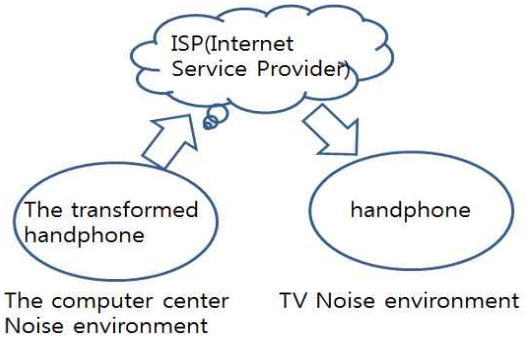

Fig. 3 Experiment environment

3.1. 인식률 실험

실험 데이터로는 서울시 사용 일상적인 지하철 역명 266개를 송신자는 일괄적으로 발음하고, 수신자는 전체를 문장 단위(대략 11분 정도 소요)로 저장한 후 인터넷 음성 인식시스템 특성[6]을 감안하여 30초 단위로 짤라 표 3와 같이 비교 하였다.

Table. 3 Speech recognition rates

		deformation			normal
		horizontal	vertical		
			×3	×1	
Subway station name	uijeongbu bukbu	1	1		
	uijeongbu	1	1	1	1
	hoeryong	1			1
	mangwolsa				
	dobongsan	1	1	1	1
	banghak	1	1	1	
	changdong	1		1	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Number of recognition		178	124	64	19
Recognition rate(%)		66.92	46.62	24.1	7.14

비교결과 잡음 환경에서 횡으로 전체 266개중 178개 단어를 인식하여 인식률이 66.9% 나왔으며, 종으로 ×3(3배)으론 124 단어를 인식하여 인식률이 46.62%, 종으로 ×1(1배)시 64개 단어를 인식하여 24.1%, 조작 없는 장치를 이용 시 19개 단어를 인식하여 7.14%를 기록하였다.

3.2. 주파수 실험

음성과 주파수 관계를 파악코자 표 4와 같이 비교하였다.

Table. 4 frequency recognition number

	deformation			normal
	horizontal	vertical		
		×3	×1	
Frequency (Every 0.05 seconds)	391.464	279.434	400.399	189.698
	489.175	305.895	218.879	367.361
	242.627	293.256	236.854	175.239
	232.577	295.01	257.266	173.346
	228.155	299.08	250.425	147.193
	⋮	⋮	⋮	⋮
Total frequcncy	379,427	125,996	156,377	69,549
Total number	1,067	593	503	344

매 0.05초 단위로 짤라 주파수 개수를 비교한 결과 횡으로 주파수 인식 개수는 1,067개, 종으로 ×3(3배) 593개, ×1(1배) 503개, 조작없는 장치시 344개였다. 또한 횡으로된 총 주파수는 379,427Hz이며, ×3(3배) 125,996Hz, ×1(1배) 156,377Hz, 조작없는 장치시 69,549Hz를 기록하였다.

3.3. 주파수 모양 변화 실험

횡과 종의 변화를 가시적으로 보여 판단의 편리성을 더하고자 시간에 따른 크기와 주파수 변화량을 같은 다이어그램에 표기 하였으며 주파수 변화를 그림4, 그림5, 그림6, 그림7로 파악할 수 있게 하였다.

그림4는 횡으로 소리 유도선을 통한 잡음 섞인 음성 인식이며, 활성화된 소리 모양과 많은 주파수 개수를 검출하였다. 그림5와 그림6은 종으로 음성을 인식할 때이며 주파수 인식갯수는 큰 차이가 없으나 모양 차이가 있음을 알 수 있다.정상적인 경우는 적은 주파수 개수, 모양 등에서 성능 저하를 알 수 있다.

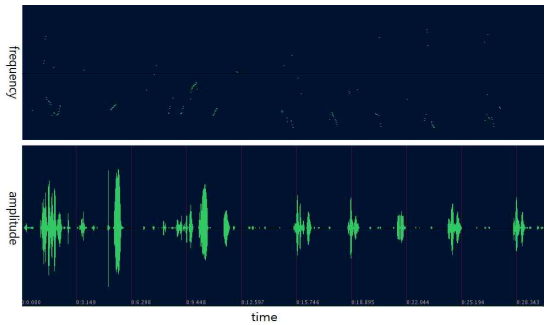

Fig. 4 perpendicular test environment

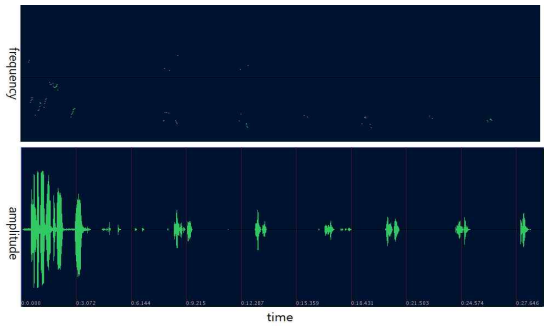

Fig. 5 ×1 horizontal test environment

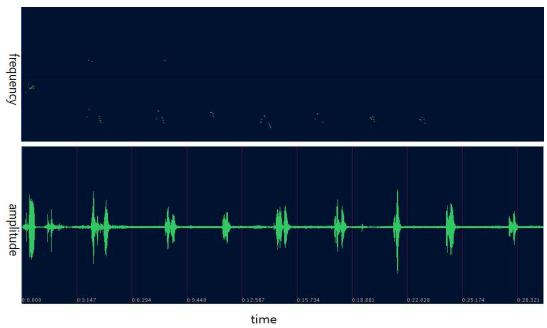

Fig. 6 ×3 horizontal test environment block diagram

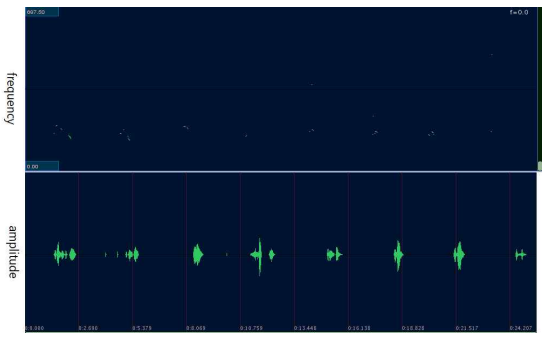

Fig. 7 normal test environment block diagram

3.4. 인식률과 음운

음운은 음소 와 운소로 구분하며, 음소는 분별적 특성을 가지고 더 이상 작게 나눌수 없는 음운론상의 최소 단위를 말하며, 보통은 자음과 모음을 말한다. 운소는 단어의미에 관여된 음소를 제외한 운율적 특성을 말하며 장단, 고저, 억양을 말한다. 본 연구에선 모음에 비하여 상대적으로 인식률[7]을 크게 좌우하는 자음을 중심으로 정리하였다. 우선 기존 MEMS 장치가 장착된 MEMS 마이크로폰 장비를 사용시 공통적으로 잡음 환경에서 인식률이 저하되며, 된소리와 거센소리에서 인식률 성능이 크게 저하됨을 알 수 있었다. 횡으로 할 시 공통적으로 비교적 좋은 성능이 나왔으며 특히 연구개음과 후음에서 성능이 좋았다. 종으로 할시 보통 길이가 긴 편이 성능이 좋았으며, 짧더라도 마찰음, 된소리에선 성능이 좋음을 표5와 표6에서 확인 할 수 있었다.

Table. 5 The consonant system table 1

			Bilabial(%)					Alveolar(%)				
				deformation			normal		deformation			normal
				horizontal	vertical ×3	vertical ×1			horizontal	vertical ×3	vertical ×1	
voiceless	Stop	lenis	ㅂ	63	53	22	6	ㄷ	76	55	26	11
		fortis	ㅃ					ㄸ	100	0	0	0
		aspirate	ㅍ	75	50	25	13	ㅌ	33	50	25	0
	Affricate	lenis										
		fortis										
		aspirate										
	fricative	lenis						ㅅ	75	59	25	7
		fortis						ㅆ	0	100	100	0
voiced	nasal							ㄴ	72	61	28	6
	liuyin							ㄹ	61	55	26	11

Table. 6 The consonant system table 2

Palatal sound(%)					Velar sound(%)					Glottal sound(%)				
	deformation			normal		deformation			normal		deformation			normal
	horizontal	vertical ×3	vertical ×1			horizontal	vertical ×3	vertical ×1			horizontal	vertical ×3	vertical ×1	
					ㄱ	62	47	23	10					
					ㄲ	100	100	0	0					
					ㅋ									
ㅈ	72	60	32	8										
ㅉ														
ㅊ	62	28	28	0										
										ㅎ	70	32	14	8
					ㅇ	72	52	29	11					

Ⅳ. 결 론

본 연구는 개선된 마이크로폰 MEMS (Micro - Electro Mechanical System)장치를 사용하여 잡음 섞인 음향 및 음성에서 음성 인식률을 향상시키는 것으로, 개발된 장치는 잡음으로 인식되어 삭제 및 오류 처리 되던 것을 특징 있는 기계 변조를 해 줌으로써 인식률 향상은 물론 기존 소자의 문제점을 개선하는 효과가 있음을 알 수 있었다.

음성 및 음향이 섞인 상태에서 음성 인식률을 높이기 위한 경우라면 잡음 오류를 최소한으로 음향장치에서 받아들일시 인식률이 향상됨을 알 수 있으며, 잡음 오류가 있는 경우라도 조작된 장치를 사용하여 변형을 가하면 인식률 향상에 적합한 형태로 주파수와 모양이 구축됨을 알 수 있었다. 만일 원하는 경우가 음향에서 특이한 성분을 발췌하는 경우라면 특이한 음향 특성에 맞게 개발된 특수한 장치를 사용하여 음향을 받아 들여야 할 것으로 생각된다. 개발된 MEMS 장치는 음향 및 통신 장치를 사용 시 파손된 교량 탐지, 건물 탐지, 건강 체크, 5G 통신, 사물 인터넷(IOT) 등 여러 분야에서 취급 가능할 것으로 생각된다. 또한 발음한 사람 음성의 특징을 고려 시에는 음성 인식률 향상 및 신체 이상 유무도 확인할 가능성이 있어 의료 기기에도 사용 할 수 있을 것으로 생각된다. 적응을 위해서는 많은 연구가 필요 할 것으로 생각되며 각각의 특성에 맞는 장치가 고안되어야 할 것으로 생각된다.

향후에는 음성과 음향이 섞여 들어온 환경 고려하여 H/W(MEMS 장치개발)와 S/W적 개선 방법이 종합된 맞춤형 장치와 방법이 필요할 것으로 생각된다. 향후 연구시에는 그림8, 그림9는 단일층에서 입력된 여러 소스를 특정한 고유성분별 그룹으로 분류시키고, 그룹내 특징인자를 공통된 고유 성분으로 곱한 것으로 비교시 사용토록 하는 방법[8]과 그림10, 그림11 같은 멀티층[9]에서 특정한 고유성분내 또다른 특정 성분 있을 경우 구분선이 아닌 구분범위를 사용하여 비교토록 한 방법[10]을 사용코자 하였습니다.

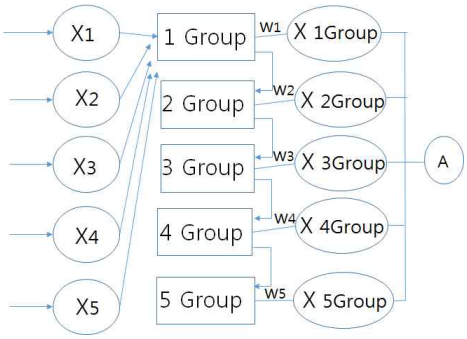

Fig. 8 Improved artificial intelligence(single layer1-1)

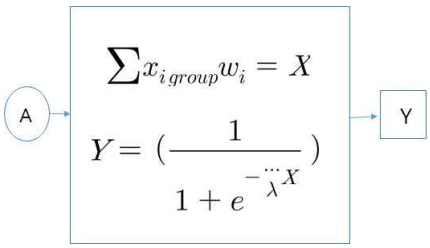

Fig. 9 Improved artificial intelligence(single layer1-2)

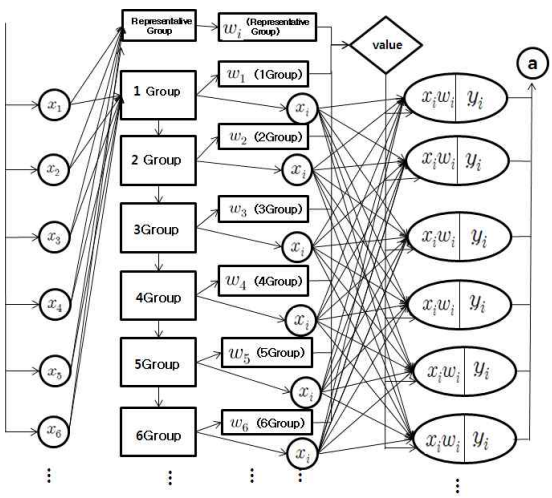

Fig. 10 Improved artificial intelligence(Multi layer1-1)

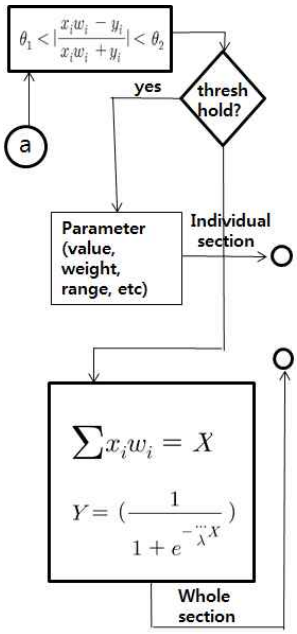

Fig. 11 Improved artificial intelligence(Multi layer1-2)

ACKNOWLEDGEMENT

"This paper was studied in 2017 by Kwangwoon University scholarship funding."

References

[1] Electronic Ports N Components (2018, November) , The MEMS market 'crustal movements' …2,015~2,017 year MEMS market analysis [Internet]. Available: http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=80494, Nov. 2018.

[2] K. W. Yang et al, Microphone and Method for processing Acoustic, KR Patent 1017834320000 to K. W. Yang, Patent and Trademark Office, Daejeon, 2017.

[3] Y. Yoon, “Some Studies on the characteristics of Musical Instrument Strings. - In the Case of Korean Traditional Musical Instrument -,” *Journal of the National Center for Korean Traditional Performing Art*, vol. 12, no. 14, pp. 215-275, Apr. 2000.

[4] Physics for Everyone, The wave equation induction [Internet], Available : http://phy64ev1.tistory.com/6, July 2017.

[5] K. W. Yang, “An Implementation of speech Recognition of Bus-Subway System Using GIS base on the Urban,” Kwangwoon University, M.S Thesis, Feb. 2000.

[6] J. Xu, Y. J. Si, J. L. Pan, and Y. H. Yan., “Automatic allophone deriving for korean speech recognition,” *2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security*, pp. 776-779, Dec. 2013.

[7] S. M. Hwang, B. H. Song, and H. K. Yun, “Korean speech recognition using phonemics for lip-sync animation,” *2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering*, vol. 2, pp. 1011-1014, 2014.

[8] G. Y. Lim, Y. B. Cho, “The Sentence Similarity Measure Using Deep-Learning and Char2Vec,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* , vol. 22, no. 10, pp.1300-1306, Oct. 2018.

[9] B. W. Cheon, N. H. Kim, “High Density Impulse Noise Reduction Filter Algorithm using Effective Pixels,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* , vol. 22, no. 10, pp.1320-1326, Oct. 2018.

[10] H. M. Jeon, C. S. Bae, and H. G. Yang, “Clutter Suppression Method for Altitude and Mainlobe Clutter In Moving Platform Radar,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 10, pp. 1386-1391, Oct. 2018.

양기웅(KI-Woong Yang)

2000년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
2005년 3월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사 수료
※관심분야 : 통신, 신호처리, 인공지능

이형근(Hyungkeun Lee)

1987년 2월 : 연세대학교 전자공학 학사
1998년 2월 : Syracuse Universty 석사
2002년 2월 : Syracuse Universty 박사
2003년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 통신, 무선통신, 위성 통신, 신호처리