
가변위치 고음성인식 기술을 이용한 무선 홈 네트워크 시스템 구현에 관한 연구

윤준철* · 최상방* · 박찬섭** · 김세영*** · 김기만*** · 강석엽****

A Study on the Realization of Wireless Home Network System Using High-performance Speech Recognition in Variable Position

Jun-Chul Yoon* · Sang-Bang Choi* · Chan-Sub Park** · Se-Yong Kim*** · Ki-Man Kim***
Suk-Youb Kang****

요 약

실내 환경에서 음성인식 기술을 이용한 무선 홈 네트워크 시스템 구현에 있어, 잡음과 실내 잔향음은 시스템 성능 저하의 주요 원인이다. 본 연구에서는 실내 인식환경에서 스펙트럼 엔트로피(Spectral entropy) 기반의 음성 구간 검출법을 이용하여 잔향음(reverberation) 및 실내잡음에 강인한 음성인식 홈 네트워크 시스템을 구현하고자 한다. 스펙트럼 차감법(Spectral Subtraction)은 잔향으로 인해 왜곡된 신호를 스펙트럼 상에서 제거하여 잔향의 효과를 줄일 수 있고 음성신호와 독립적인 잡음을 제거 할 수 있다. 효과적인 스펙트럼 차감을 위해서는 음성과 비음성 구간의 정확한 구분이 수반되어야 하며 이를 위해서 엔트로피 기반의 음성 구간 검출법을 적용하여 성능을 향상시킨다. 모의 및 실내환경 실험 결과 Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법을 이용할 경우 실내 잔향 및 잡음환경에서 명령어 인식률의 향상이 증명되었다.

ABSTRACT

In realization of wireless home network system using speech recognition in indoor voice recognition environment, background noise and reverberation are two main causes of digression in voice recognition system. In this study, the home network system resistant to reverberation and background noise using voice section detection method based on spectral entropy in indoor recognition environment is to be realized. Spectral subtraction can reduce the effect of reverberation and remove noise independent from voice signal by eliminating signal distorted by reverberation in spectrum. For effective spectral subtraction, the correct separation of voice section and silent section should be accompanied and for this, improvement of performance needs to be done, applying to voice section detection method based on entropy. In this study, experimental and indoor environment testing is carried out to figure out command recognition rate in indoor recognition environment. The test result shows that command recognition rate improved in static environment and reverberant room condition, using voice section detection method based on spectral entropy.

키워드

음성 개선, 홈 네트워크 시스템, 스펙트럼 차감법, 음성 구간 검출법, 스펙트럼 엔트로피

Key Word

Speech enhancement, Home Network, Spectral subtraction, Voice Activity Detection, Spectral entropy

* 인하대학교 전자공학과
** (주)아이엔텍
*** 한국해양대학교 전파공학과
**** 한국해양대학교 전자공학과 (교신저자)

접수일자 : 2010. 01. 22
심사완료일자 : 2010. 02. 09

I. 서 론

최근의 홈 네트워크 시스템은 다양한 분야에 적용되어 상용화 되고 있는 음성인식 기술을 적용하여 단말 장치들을 제어하거나 이로부터 제공 되는 정보 서비스를 리모콘이나 마우스, 키보드 등을 사용하지 않고, 음선을 사용하여 원하는 기기를 제어하거나 정보 서비스를 제공 받을 수 있도록 지원하고 있다.

그러나 일반적인 음성인식 기술은 정형화된 환경에서는 비교적 좋은 성능을 보여주고 있으나 실내 인식환경에서는 성능이 저하될 수 있다. 부가 잡음과 잔향음은 음성인식 시스템에서 성능 저하의 가장 큰 요인이기 때문에 성능개선을 위한 효과적인 잔향제거 기법이 필요하며 현재까지 많은 연구들이 진행되고 있다.

한 개의 센서를 이용한 잔향 제거 기법에는 캡스트럼 기반의 방법과 변조 전달함수(MTF)를 이용한 기법, 음성신호의 선형예측 잔여를 이용한 방법 등이 있으나 다수의 센서를 이용한 잔향 제거 기법에 비해 구현이 어렵고 많은 양의 잔향신호를 필요로 하는 등의 요구조건으로 인해 효과적인 잔향제거를 수행하는데 있어 어려움이 있다[1]. 다수의 센서를 이용한 대표적인 잔향제거 기법에는 일반적인 Beamforming 기법, Blind deconvolution 기법 등이 있다[2].

일반적으로 알려진 스펙트럼 차감법(Spectral Subtraction)은 잔향으로 인해 왜곡된 신호를 스펙트럼 상에서 제거하여 잔향의 효과를 줄일 수 있고 음성신호와 독립적인 잡음을 제거 할 수 있다[3]. 효과적인 스펙트럼 차감을 위해서는 음성과 비음성 구간의 정확한 구분이 수반되어야 하며 이를 위해서 엔트로피 기반의 음성 구간 검출법을 적용하여 성능을 향상시킨다.

기존의 에너지 임계값 기반의 음성과 비음성 구간 검출을 적용한 스펙트럼 차감법의 경우 실내의 잔향시간 및 잡음의 증가에 따라 성능의 열하를 가져올 수 있다. 본 논문에서는 신호의 에너지나 영교차율 등을 이용한 음성 구간 검출의 문제점을 개선하기 위한 엔트로피 기반의 음성 구간 검출법을 이용하여 음성 개선의 성능을 높이고자 한다.

즉 본 연구에서는 사용자가 이동 중이거나 실내 환경

이 변화하는 상황에서 실내 잔향음 및 잡음의 영향을 제거하여 음성의 잔향 효과와 잡음의 영향으로 생길 수 있는 음성 인식 오류 발생과 인식률의 저하를 막고자 하였다. 이를 위해 엔트로피 기반의 음성 구간 검출법을 적용하여 신호의 에너지나 영교차율을 이용한 기법의 문제점을 개선하고 효과적인 스펙트럼 차감법을 수행하여 우수한 성능의 음성인식 무선 홈 네트워크 시스템의 구현을 목표로 연구 하였다.

II. 스펙트럼 차감법

실내 잡음과 잔향성분은 입력 음성신호의 스펙트럼을 손상시키고 음성의 명료도와 품질을 저하시킨다.

즉, 잔향에 의한 번짐 효과(smearing effect)는 입력 신호 스펙트럼의 스무딩 현상을 야기 시킨다. 따라서 잔향성분의 전력 스펙트럼은 입력 음성신호의 전력 스펙트럼을 시간영역에서 천이시키고, 이를 스무딩 된 형태로 가정하며 식 (1)과 같이 표현한다[4].

$$|S_i(k;i)|^2 = \gamma w(i - \rho) * |S_r(k;i)|^2 \quad (1)$$

여기서 $|S_i(k;i)|^2$ 와 $|S_r(k;i)|^2$ 은 각각 입력 음성신호와 잔향성분의 단기 전력 스펙트럼을 나타내며, k 와 i 는 각각 주파수 bin과 시간영역 프레임을 의미한다. $w(i)$ 는 스무딩 함수를 나타낸다. 시간 지연 인자 ρ 는 잔향성분의 상대적인 지연 시간으로 일반적으로 실내전달 함수의 초기 반사파와 잔향간의 상대적인 지연차는 50ms로 나타낸다. 스킨링 인자 γ 는 잔향성분의 상대적인 강도로 본 논문에서는 -10dB를 적용하였다.

입력 음성신호 $s_r(t)$ 는 원 신호 $s(t)$ 와 실내 전달함수 $h(t)$ 의 컨볼루션으로 식 (2)와 같이 표현한다.

$$s_r(t) = \int_0^\infty s(t - \tau)h(\tau)d\tau \quad (2)$$

식 (2)는 전달함수 $h(t)$ 를 초기 반사음과 잔향성분으로 구분하여 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_r(t) = \int_0^{T_1} s(t-\tau_1)h(\tau_1)d\tau_1 + \int_{T_1}^{\infty} s(t-\tau_2)h(\tau_2)d\tau_2 \quad (3)$$

T_1 은 초기 반사음과 잔향성분을 구분하는 시간 인덱스를 나타낸다. 원 신호 $s(t)$ 와 전달함수 $h(t)$ 는 서로 독립적인 랜덤과정을 거친다고 가정할 때, 식 (4)와 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} E\left[\int_0^{T_1} s(t-\tau_1)h(\tau_1)d\tau_1 \times \int_{T_1}^{\infty} s(t-\tau_2)h(\tau_2)d\tau_2\right] & \quad (4) \\ = \int_0^{T_1} \int_{T_1}^{\infty} E[s(t-\tau_1)s(t-\tau_2)]E[h(\tau_1)h(\tau_2)]d\tau_2d\tau_1 \end{aligned}$$

음성신호의 경우 시간상으로 멀리 떨어진 두 신호는 비상관 특성을 가지므로, $\tau_1 - \tau_2$ 이 상대적으로 클 경우 $E[s(t-\tau_1)s(t-\tau_2)] \approx 0$ 을 만족한다.

결국 전달함수 $h(t)$ 의 초기 신호성분과 잔향성분은 서로 비상관이므로 잔향성분이 제거된 초기 신호성분의 전력 스펙트럼은 입력신호의 전력 스펙트럼에서 잔향성분의 전력 스펙트럼을 차감함으로써 추정할 수 있다. 잔향성분이 제거된 원 신호 전력 스펙트럼의 추정치는 식 (5)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} |\hat{S}(k;i)|^2 & \quad (5) \\ = |S_r(k;i)|^2 \max\left[\frac{|S_r(k;i)|^2 - \gamma w(i-\rho) * |S_r(k;i)|^2}{|S_r(k;i)|^2}, \epsilon\right] \end{aligned}$$

ϵ 는 최대감쇠 인자를 나타내며, 본 논문에서는 30dB로 적용하였다.

III. Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출

Spectral entropy는 entropy 이론을 음성 신호 처리에 적용한 것으로 잠음 환경에서 신호의 에너지 임계값이나 영교차율 등을 이용한 음성 검출법의 문제점을 개선하기 위한 특징들 중 하나로 사용되고 있다[5][6].

Spectral entropy를 구하기 위해 먼저 고속 푸리에 변환(FFT)를 이용하여 시간 영역의 음성신호를 주파수 영역

으로 변환하였다.

$$S_j(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n)\exp(-j\frac{2\pi kn}{N}) \quad (6)$$

식 (6)에서 $S_j(k)$ 는 j 번째 프레임의 k 번째 FFT 계수를 나타내고 N 은 FFT포인트의 개수이다. 노이즈의 간섭을 최소화하고자 spectral entropy를 추정하는 구간을 대역 통과 필터를 사용하여 음성대역이 존재하는 중간 주파수 대역인 350Hz~3000Hz로 제한하였다.

스펙트럼의 확률 질량함수(PMF)는 주파수 성분의 정규화 방법을 사용하여 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$p_j(k) = \frac{|S_j(k)|}{\sum_{m=0}^{N-1} |S_j(m)|} \quad (7)$$

여기서 $k=1, \dots, N-1$ 이다. 최종적으로 구해진 spectral entropy는 식 (8)과 같이 나타낸다.

$$H(j) = - \sum_{k=0}^{N-1} p_j(k) \log(p_j(k)) \quad (8)$$

식 (8)을 통해 추정된 spectral entropy의 급격한 변화를 막기 위해 $H(j)$ 에 대하여 5차 median filtering을 하였고 이를 초기 임계값과 비교하여 음성 비음성 구간을 구별하였다. Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법은 노이즈 환경에서 기존의 에너지 기반의 음성 구간 검출법 보다 효율적이다.

IV. 홈 네트워크 시스템 구현

본 논문에서 연구한 음성인식 무선 홈 네트워크 시스템은 그림 1과 같이 유선 전화 및 인터넷 폰, 와이브로(WiBro)를 이용한 원격 제어가 가능하게 구성하였다. 인터넷을 통하여 접속 시 보안 인증 후 제어화면에서 집안의 현재 상태를 확인할 수 있으며, 간단한 조작으로 옥내의 여러 기기를 제어할 수 있도록 하였다.

센서는 크게 화재센서, 경광등, 가스밸브, 도어 감지, 전화 감지. 인체감지 센서 등을 사용하여 구성하였으며, 이 외에 다른 감지 센서들도 간단한 신호변환 기능을 가지고 있는 소형 무선 모듈을 장착하여 확장이 가능하게 하였다.

옥내에 설치된 메인 게이트웨이의 역할을 하는 메인 AP(Access Point)는 터치 화면을 통하여 직접 제어나 설정을 할 수 있을 뿐만 아니라, 음성인식 무선 리모콘의 입력을 받아 모든 옥내 기기들을 제어 할 수 있게 되어 있다. 이 메인 AP는 여러 그룹을 통합하여 사용이 가능하게 확장성이 고려되었으며, 전화감지 센서를 통해 들어온 신호를 받아 센서들의 동작을 제어할 수 있고, 외부에서 유무선 인터넷 사용하여 손쉽게 옥내 기기들의 상황을 파악하고 제어할 수 있도록 하였다.



그림 1. 테스트를 위한 홈 네트워크 시스템 전체 구성
Fig 1. Entire structure of home network system for test

그림 1은 테스트를 위해 구성한 음성인식 무선 홈 네트워크 시스템이다. 중앙에 위치한 메인 AP는 ARM 프로세서를 사용하여 주변 하드웨어를 제어할 수 있는 기능을 가지며, 주요 구성 블록은 그림 2와 같고 구현된 모습은 그림3과 같다.

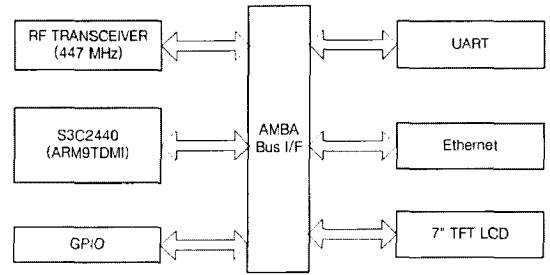


그림 2. 메인 AP의 블록도
Fig 2. Block drawing of main AP

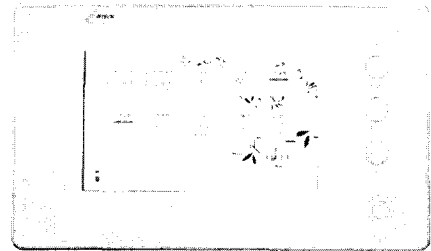


그림 3. 구현된 메인 AP의 모습
Fig 3. Realized form of main AP

음성 인식 리모콘은 마이크를 통하여 입력된 신호를 가변위치 음성인식 알고리즘을 이용하여 실내 잡음 및 잔향음이 제거된 사용자의 음성신호로 구분한 후 음성 명령에 맞는 신호를 RF 모듈을 통해 무선으로 홈 네트워크 시스템의 AP에 전달되도록 구성하였다.

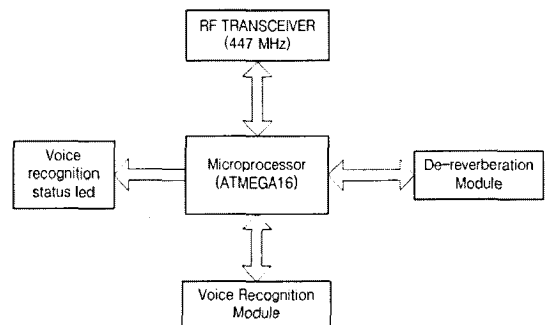


그림 4. 음성인식 리모콘 블록도
Fig 4. Block drawing of voice recognizing remote control

그림 4에는 음성 인식 리모컨의 하드웨어 구성을 나타내는 블록도를 그림 5에는 구현된 음성 인식 리모컨의 보드와 외장 기구에 내장된 모습을 나타내었다.

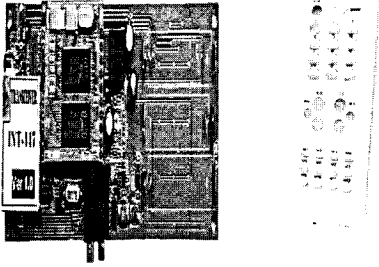


그림 5. 구현된 음성인식 리모컨
Fig 5. Realized form of voice recognizing remote control

음성 인식 리모컨의 프로그램 흐름은 그림 6과 같이 시스템 초기화 후 외부로부터 데이터 입력을 대기한다. 외부로부터 입력되는 데이터는 음성 및 키에 의해 가능하게 구성하였다.

음성이 입력되면 제안된 알고리즘에 의해 잔향음 제거 후 양질의 음성으로 실제 동작 명령어인지 판별하고 판별 완료된 명령어만 무선으로 AP에 전송한다. 또한 일반적인 무선 리모컨과 같이 키 입력은 입력된 키에 대한 명령어 판별을 한 후 명령어를 무선으로 AP에 전송한다.

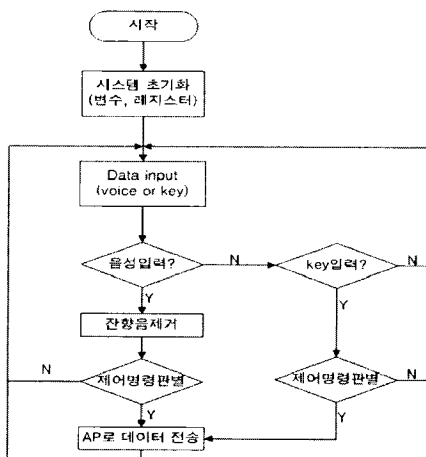


그림 6. 음성인식 리모컨 프로그램 순서도
Fig 6. Program flowchart of speech recognition remote control

V. 모의실험 및 실내환경 실험 결과

본 논문에서 제안하는 Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법을 적용한 홈 네트워크 시스템의 성능을 분석하기 위하여 모의실험 및 실내환경 실험을 수행하였다.

우선 모의실험은 실내에서 실험을 통해 획득한 임펄스 응답과 음성신호를 컨볼루션하여 잔향음을 가진 음성신호를 만들어 이용하였다. 잔향시간은 각각 0.3초, 0.78초, 1.3초이며 음성신호의 샘플링 주파수는 16kHz로 설정하였다. 또한 실내 환경에서의 성능을 확인하기 위하여 음성신호에 실내 잡음을 첨가하였다.

그림 7은 Spectral entropy 기반의 음성구간 검출 모의 실험 결과를 나타내고 있다. 여기서 그림 7(a)는 원래의 음성신호에 대한 신호 파형을 나타내며, 그림 7(b)는 Spectral entropy의 추정결과를 나타낸다. 음성/비음성 구간 판정 결과를 나타낸 그림 7(c)에서 보듯이 음성과 비음성 구간의 정확한 판정이 이루어졌음을 확인할 수 있다.

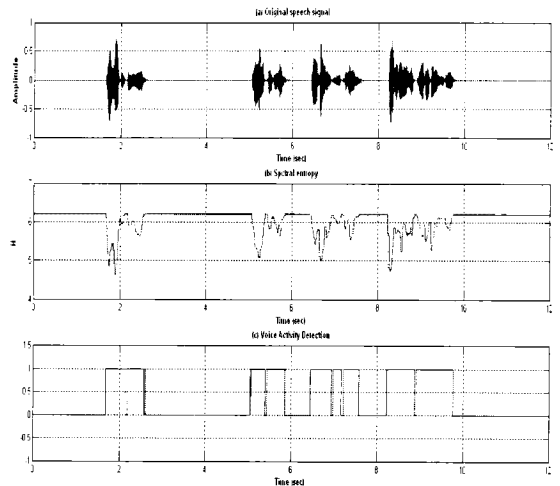


그림 7. Spectral entropy기반의 음성구간 검출결과
(a) 원래의 음성신호 (b) Spectral entropy
(c) 음성/비음성 구간 판정결과

Fig 7. Result of speech activity detection using Spectral entropy
(a) Original speech (b) Spectral entropy
(c) Result of speech/non-speech activity decision

SNR이 20dB이고 0.3초의 잔향시간을 가지는 음성신호에 대하여 스펙트럼 차감법을 적용한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(b)에서 기존의 에너지 임계치 기반의 음성 구간 검출법을 적용한 스펙트럼 차감법의 경우 음성/비음성 구간의 판정이 정확히 이루어지지 않아 비음성 구간에 여전히 잡음 및 여분의 잔향성분이 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 반면 그림 8(c)는 제안된 기법을 적용한 결과 비음성 구간에서의 잡음 및 잔향성분의 제거가 효과적이며 원 신호성분의 감소 효과도 적게 나타났음을 확인할 수 있다.

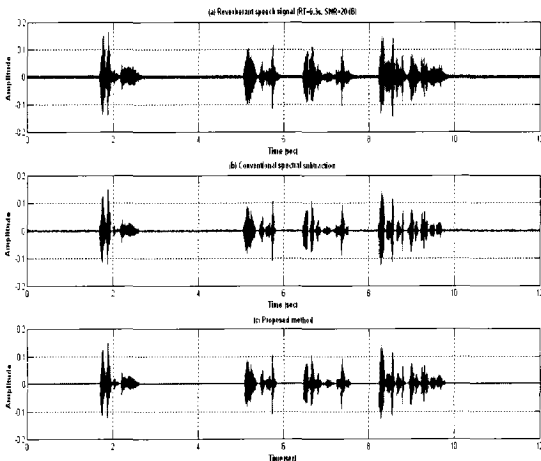


그림 8. 잔향신호의 스펙트럼 차감 결과
 (a) 잔향 음성신호 (RT=0.3s, SNR=20dB)
 (b) 기존의 스펙트럼 차감법
 (c) 제안된 방법

Fig 8. Spectral subtraction of reverberation
 (a) Reverberation speech (RT=0.3s, SNR=20dB)
 (b) Conventional spectral subtraction
 (c) Proposed method

실제 귀로 들었을 경우 기존의 방법을 적용한 결과는 원 신호 성분의 감소로 인해 음성신호의 프레임간 연결이 부자연스러웠지만 제안된 방법의 경우는 기존의 방법에 비해 연결이 자연스럽고 명료도 또한 개선되었음을 확인할 수 있었다.

제안된 방법의 객관적인 평가 지표로써 다음과 같이 비음성 구간에 대한 잔향제거 비율(Reverberation Reduction Ratio)을 사용하여 성능을 분석하였다.

$$RR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n \in \Omega_{Silence}} s_{rev}(n)^2}{\sum_{n \in \Omega_{Silence}} s_{out}(n)^2} \right) \quad (9)$$

표 1은 SNR 및 잔향시간에 따른 두 가지 방법의 잔향제거 비를 나타내고 있다. 잡음이 존재하는 환경에서 잔향시간의 증가에 대해서도 제안된 기법을 잔향신호에 적용한 경우 기존의 방법보다 나은 음성 개선 성능을 보여주고 있다.

표 1. SNR 및 잔향시간에 따른 잔향제거 비율
 Tab 1. Reverberation substance rate about SNR and Reverberation time

SNR (dB)	Method	Reverberation time		
		0.3s	0.78s	1.3s
10dB	Conventional	9.4dB	10.6dB	9.6dB
	Proposed	23.5dB	15.1dB	13.7dB
20dB	Conventional	9.4dB	10dB	9.4dB
	Proposed	19.2dB	25.6dB	25dB
30dB	Conventional	9.3dB	10.2dB	9.5dB
	Proposed	11dB	17.7dB	22dB

두 번째 실험은 Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법을 음성 인식 리모컨에 적용하여 테스트를 위한 홈 네트워크 시스템을 대상으로 실내 잔향음 및 실내 잡음 환경에서 인식률을 알아보려고 하였다. 홈 네트워크 시스템을 구동시키는 기본 명령어를 포함한 7가지의 명령어를 실내 잔향음이 존재하는 환경과 잔향음과 실내 잡음이 함께 포함된 환경에서 홈 네트워크 시스템의 명령어 인식률을 알아보았다.

실내 잔향음만 존재하는 환경에서의 명령어 인식률은 약 91.7%이었고, 실내 잡음이 존재하는 환경에서의 명령어 인식률은 약 66.7%였다. 하지만 Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법을 음성 인식 리모컨에 적용하였을 경우 명령어 인식률은 실내 잔향음만 존재할 경우 91.7%, 실내 잡음이 존재하는 환경에서는 83.3%였다. 실험 결과 실내 잔향음만 존재할 경우의 명령어 인식률은 큰 변화가 없었지만 실내 잡음이 존재하는 환경에서는 Spectral entropy 기반의 음성 구간 검출법을 적용하였을 경우 명령어 인식률이 더 좋아짐을 알 수 있었다.

하지만 음성 인식 리모컨에 적용한 음성신호의 경우 고주파 성분이 차감되어 유사한 명령어의 인식오류가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 노이즈의 간섭을 최소화 하고자한 대역 통과 필터의 중간 주파수 대역을 조절함과 동시에 명령어의 유사성을 떨어뜨림으로서 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 실내 인식환경에서 문제가 되는 잔향음을 제거하여 인식률을 향상시킨 음성인식 무선 리모컨에 의해 제어되는 무선 홈 네트워크 시스템 설계 및 구현에 대하여 연구하였다.

실내 인식환경에 적합한 시스템 구성을 위하여 잔향 및 잡음성분으로 인한 인식률 저하를 음성 구간 추출법을 적용하여 인식률을 향상시키려 하였다. 실험결과 잔향 제거 비율이 약 19 dB로 기존 방식에 비하여 향상된 결과를 얻었으며 명령어 인식률 측면에서 잔향 및 잡음성분에 매우 강한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 결과를 기반으로 향후 좀 더 다양한 실내 환경과 음성신호에 대한 지속적인 테스트를 실시하여 회로 및 알고리즘의 최적화가 이루어진다면 상용화시 매우 우수한 성능을 나타낼 것으로 사료된다.

또한 현재까지의 연구 결과를 기반으로 옥내에 존재하는 각종 계량기의 원격검침 기능의 추가 방법과 팬틸팅이 가능한 옥내 고정형 음성인식 리모컨에 대한 기구적 연구가 진행되고 있고, 추후 이에 대한 연구가 완성되면 좀 더 완벽한 음성인식 무선 홈 네트워크 시스템의 구축이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

[1] D. Bees, M. Blostein and P. Kabal, "Reverberant speech enhancement using cepstral processing," in proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech Signal Processing, 1991, pp. 977-980.
 [2] J. B. Allen, D. A. Berkley and J. Blauert, "Multimicrophone signal-processing technique to

remove room reverberation from speech signals," J. Acoust. Soc. Amer., vol. 62, no. 4, pp. 912-915, 1977.
 [3] K. Lebart and J.M. Boucher, "A New Method Based on Spectral Subtraction for Speech Dereverberation," Acta Acoustica, vol. 87, pp. 359-366, 2001.
 [4] Mingyang Wu and DeLiang Wang, "A two-stage algorithm for one-microphone reverberant speech enhancement," IEEE Trans. Speech Audio Process., Vol. 14, no. 3, pp. 774 - 784, May 2006.
 [5] R. V. Prasad, R. Muralishankar and S. Vijay, "Voice Activity Detection for VoIP-An Information Theoretic Approach," in proc. IEEE Int. Conf. Telecommunications, 2006, pp. 1-6.
 [6] 노용완, 이규범, 이우석, 홍광석, "차량 잡음 환경에서 엔트로피 기반의 음성 구간 검출," 한국신호처리 시스템학회논문지, vol.9, no. 2, 2008, pp.121-128

저자소개

윤준철(Jun-Chul Yoon)



2006년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과(공학사)
 2008년 2월 인하대학교 전자공학과(공학석사)

2009년 3월~현재 인하대학교 전자공학과(박사과정)
 ※관심분야: 컴퓨터구조, 컴퓨터네트워크, 무선통신

최 상 방(Sang-Bang Choi)



1981년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 3월 워싱턴대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1990년 7월 워싱턴대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 1991년 9월~현재 인하대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야: 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선통신, 병렬 및 분산 처리, Fault-tolerant computing



박 찬 섭(Chan-Sub Park)

2006년 2월 한국해양대학교
전파공학과(공학사)
2008년 2월 한국해양대학교
전파공학과(공학석사)

2007년 12월~현재 : (주)아이엔텍 주임연구원
※ 관심분야 : DSP 및 수중통신, 무선통신



김세영(Se-Young Kim)

2005년 2월 한국해양대학교
전파공학과(공학사)
2007년 2월 한국해양대학교
전파공학과(공학석사)

2007년 3월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 박사
과정
※ 관심분야 : DSP 및 어레이 신호처리



김기만(Ki-Man Kim)

1988년 2월 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1990년 8월 연세대학교 전자공학과
(공학석사)

1995년 2월 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1995년 3월~1996년 8월 : 연세대학교 의과대학
의용공학교실(Fellow)
1996년 9월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
※ 관심분야 : 수중통신, 소나신호처리, 3차원 음향제어,
채널 추정, DSP 및 CPLD 구현



강석엽(Suk-Youb Kang)

1997년 2월 인천대학교 전자공학과
(공학사)
1999년 2월 인하대학교 전자공학과
(공학석사)

2005년 8월 인하대학교 전자공학과(공학박사)
2001년 7월~2006년 8월 (주)아이엔텍 대표이사
2006년 8월~현재 한국해양대학교 연구교수
※ 관심분야 : 마이크로웨이브 시스템, 항공 시스템,
무선통신 시스템, 수중통신, 소나신호처리