

음성 확성을 위한 하울링 신호 자동 검출기법 연구

김경택, 김동규, 노용완, 홍광석
성균관대학교 정보통신공학부

A Study on the Automatic Howling Signal Detection Algorithm for Speech Sound Reinforcement

Kyung-Taek Kim, Dong-Gyu Kim, Yong-Wan Roh, Kwang-Seok Hong
School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요약

음향 시스템에 있어서 하울링 현상은 음성 레벨을 제한함으로써 음성의 명료도를 저하시키는 주된 요인이다. 그리고 이를 해결하기 위한 방법으로 하울링 주파수 대역의 게인을 낮추어 음향신호의 피드백을 최소화 하는 것이 일반적이기 때문에 하울링 주파수를 찾아내는 것이 하울링 제어에 있어서 가장 핵심적인 요소가 된다. 그래서 본 논문에서는 하울링 주파수를 자동으로 검출할 수 있는 기법을 제시하였다. 이는 외부로부터 입력된 오디오신호가 하울링 신호 특성을 만족하는 정도를 '하울링 지수'라는 파라미터로 정의한 후 이를 기준으로 하울링 발생여부를 판단하고 하울링으로 판별된 신호의 최대 진폭을 갖는 주파수를 하울링 주파수로 출력하는 기법이다. 본 하울링 신호 자동 검출기법의 내용을 검증하기 위하여 하울링 자동 검출 프로그램을 제작하여 실험을 수행한 결과 전체 하울링 신호의 95% 이상을 검출할 수 있었다.

I. 서론

음성은 영상과 더불어 정보의 전달에 있어서 가장 중요한 매체중 하나이다. 음향 시스템은 이러한 음성을 보다 효율적, 효과적으로 전달하기 위하여 개발되어 수많은 곳에서 다양한 용도로 사용되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 음성의 명료도는 음성의 효율적 전달을 목적으로 구성된 음향시스템의 성능판단의 가장 큰 기준이 된다. 그런데 음성의 명료도는 음향기기의 성능뿐만 아니라 공간의 특성 및 기타 외부환경에 의해 크게 영향을 받으므로 이러한 요인들을 고려한 시스템 운영이 필요하다. 그렇기 때문에 음향에 대한 이해와 경험이 부족한 사람은 음향 시스템을 효과적으로 사용할 수 없을 뿐더러 오히려 음향 시스템으로 인하여 음성 전달에 어려움을 겪기도 한다. 한 예로 강의실과 같이 전문 운용자가 음향 시스템을 직접 관리를 할 수 없는 환경에서의 이러한 문제점을 들 수 있다. 음성의 명료도에 영향을 미치는 모든 요소를 음향시스템으로 간주할 때, 명료도를 높일 수 있는 가장 효율적인 방법 중 하나는 음성레벨을 제한하는 하울링 현상을 최대한 억제하는 것이다[1]. 하울링 현상의 제어에 있어서 가장 중요한 것은 신속하고 정확하게 하울링 주파수를 찾아내는 것이지만 이 역시 시스템 사용자의 지

식과 경험에 크게 의존한다. 본 논문에서는 하울링 현상 발생시 하울링 신호에 대한 정보를 자동으로 분석 후 출력함으로써 음향시스템의 사용자에게 대한 의존도를 최소화 할 수 있는 기법을 제시하였다. 이 방법을 기존의 하울링 제어 시스템에 적용한다면 인위적인 조작 없이 하울링 현상을 제어하거나 자동으로 시스템을 튜닝 하는 것이 가능하다.

II. 하울링 신호의 특성

하울링 발생 여부를 판단하고 오디오 신호로부터 하울링 신호를 정확히 검출하기 위해서 스피커에 마이크를 근접시켜 발생한 하울링 신호를 녹음(16Bit, 44.1kHz, Mono)하여 시간영역과 주파수 영역에서 그 특성을 분석하였다.

2.1 주파수 영역 특성

주파수 영역에서는 하울링이 발생하여 진폭이 증가하는 동안에는 주파수가 일정하게 유지되고 이 주파수에서 최대 진폭을 갖는 것을 확인하였다.

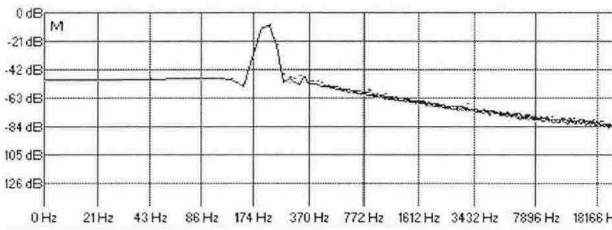


그림 1. 하울링 신호의 주파수 영역 특성

2.2 시간 영역 특성

시간 영역에서는 하울링 발생시 하울링 신호의 진폭이 지속적으로 증가하여 피크(peak)값에 도달하는 것을 확인하였다.

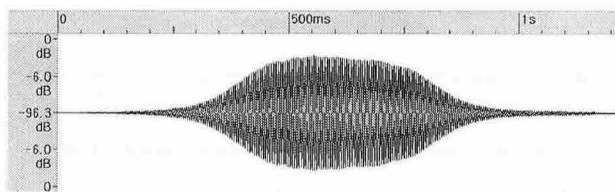


그림 2. 하울링 신호의 시간 영역 특성

III. 일반적인 하울링 현상 제어기법

하울링 현상을 억제하는 일반적인 방법은 음향시스템의 구성요소 중 한 부분의 게인을 조절하여 전체 루프게인을 1 미만으로 만드는 것이다. 아래에 시스템의 각 구성요소의 게인을 조절할 경우의 문제점을 기술하였다. 첫째, 파워앰프 게인을 낮출 경우에는 명료도를 높이기 위해 필요한 음향 레벨을 얻을 수 없다. 둘째, 마이크와 스피커 사이의 거리를 증가시켜 게인을 줄이는 것은 물리적인 제약조건 때문에 항상 적용될 수 있는 방법이 아니다. 셋째, 공간의 음향 특성을 조절하는 것은 예산 및 그 밖의 여러 가지 제약조건이 따른다. 넷째, 마이크의 게인을 낮추면 입과 마이크와의 거리를 줄여야 한다. 하지만 이 방법은 불편할 뿐더러 말하는 동안 팝핑(popping) 사운드나 지향성 마이크에서의 근접효과를 발생시킬 수 있다[2][3][4]. 마지막으로 이퀄라이저나 필터를 사용하여 하울링 주파수의 게인을 낮추는 방법이 있다. 이 방법은 협대역 이퀄라이제이션이라고도 하는데 하울링 제어에서 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 그런데 이 방법은 화자나 마이크폰 그리고 스피커의 위치가 고정되어 있지 않아 하울링 주파수가 상황에 따라 변화하는 경우에는 적절히 하울링을 제어할 수 없다. 특히 회의실이나 강의실과 같이 화자가 특정되어 있지 않고 수시로 실내 음장 특성이 변하는 환경에서는 하울링 제어가 더욱 어렵다[1][3].

IV. 하울링 신호 자동 검출기법

실내 소공간에서 화자의 음성을 청자에게 명확히 전달하기 위하여 음향 시스템에 있어서 가장 우선시 되는 사항은 음성 레벨을 가능한 높이는 것이다. 잔향시간이나 홀의 공진과 같은 요소들은 공간의 형상이나 재료에 의존하는 요소이므로 음향 시스템으로 간단히 제어할 수 있는 부분이 아니기 때문이다[5][6][7]. (하지만 이러한 요소들이 하울링 현상의 발생에 중요한 인자로 작용한다는 사실은 변함이 없다.)

하울링 현상이 발생하면 음향 시스템의 음성 레벨을 더 이상 높일 수 없기 때문에 하울링 현상을 제어하여 스피치 레벨을 높이는 것이 음성의 명료도를 높이는 가장 효율적인 방법임을 알 수 있다. 하지만 3장에서 언급했던 하울링 제어 기법들은 모두 제한적인 기능밖에 수행할 수 없기 때문에 기존의 시스템에 하울링 검출기를 추가하여 하울링 발생과 동시에 자동으로 새로운 파라미터를 음향 시스템에 적용하여 이퀄라이제이션(협대역)을 수행하도록 한다[1].

4.1 하울링 검출기

하울링 검출기는 마이크로폰으로부터 입력된 오디오 신호를 지속적으로 분석한 후 하울링 신호의 특성을 만족하는 성분이 존재하여 하울링이 발생했다고 판단되면 하울링 신호에 대한 정보를 필터로 전송하는 역할을 한다. 하울링 주파수가 상황에 따라 변화할 때 기존의 협대역 이퀄라이제이션 기법으로 해결할 수 없었던 단점을 하울링 검출기를 통해 보완해 줌으로서 소공간에서의 하울링 현상을 자동으로 제어할 수 있도록 하였다.

하울링 발생 여부는 입력되는 오디오 신호가 얼마나 하울링 신호의 특성을 만족하는가에 따라 결정된다. 검출된 오디오 신호가 이러한 특성을 만족한다면 하울링이 발생했을 가능성이 크다. 하지만 하울링 신호의 특성은 하울링 신호의 필요조건일 뿐 충분조건은 아니기 때문에 이 두 가지 특성을 모두 만족하는 일반 오디오 신호가 얼마든지 존재할 수 있다. 따라서 하울링 신호의 검출시 이러한 신호를 배제할 수 있도록 ‘하울링 지수(howling degree)’라는 새로운 파라미터를 정의하고 이 하울링 지수를 통하여 검출된 오디오 신호가 어느 정도 하울링 신호에 가까운지를 수치적으로 확인할 수 있도록 하여 하울링 발생 여부를 판단하는 기준으로 삼는다. 하울링 지수는 그림 3과 같은 알고리즘으로 계산된다. 입력되는 오디오 신호를 일정간격으로 샘플링 하여 데이터를 얻고 이렇게 얻은 데이터를 FFT(Fast Fourier Transform)한 후 최대 진폭값과 이때의 주파수를 측정한다. 이러한 과정을 반복하면서 최대 진폭이 문턱값 이상인지 그리고 이때의 주파수가 이 전의 피크 주파수와 동일한지를 비교하여 이 두 가지 조건을 모두 만족시킬 경우 기존의 하울링 지수를 일정한 양만큼 증가시키고 만족시키지 못할 경우

하울링 지수를 일정한 양만큼 감소시킨다. 이러한 과정을 통해 순간적으로 하울링 신호의 특성을 만족하는 일반 오디오신호 성분이 간혹 검출되더라도 결과적으로는 하울링 지수의 감소량이 더 커지게 되므로 하울링 발생에 대한 정확한 판단을 할 수 있다. 이때 하울링지수가 문턱값 이상일 때의 최대 진폭을 갖는 주파수가 하울링 주파수가 된다. 그리고 이렇게 계산된 하울링 주파수와 하울링 지수에 대한 정보를 이용하여 협대역 필터링을 수행함으로써 하울링 현상을 자동으로 제어할 수 있다.

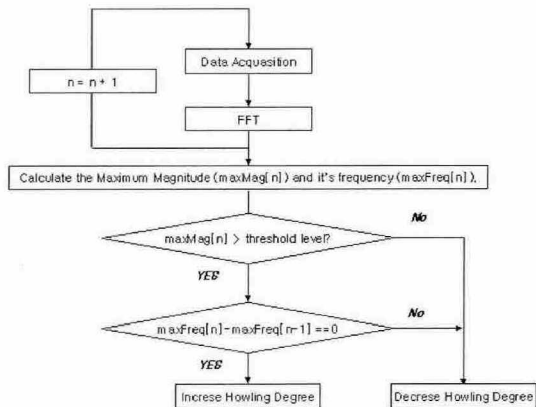


그림 3. 하울링 지수 계산 알고리즘

하지만 하울링 레벨의 문턱값(threshold level)과 하울링 지수의 증감량의 결정은 상황에 따라 적절히 결정해야 정확한 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어 화자의 음성신호 이외에도 다른 잡음이 많이 섞여 있는 오디오 신호로부터 하울링 신호를 검출할 때에는 하울링 지수의 증가량을 보통의 경우보다 작게 해주어야 한다. 그것은 하울링 지수의 증가량이 클 경우 잡음 속에 하울링 특성을 만족하는 미약한 신호들이 하울링 신호로 검출될 가능성이 있기 때문이다. 이러한 단점은 여러 환경에 대하여 계산된 파라미터를 프리셋으로 저장한 후 사용자가 상황에 맞게 쉽게 선택하여 적용할 수 있도록 함으로써 해결할 수 있다.

4.2 하울링 자동 제어시스템의 구성

하울링 자동 제어 시스템에서 하울링 검출기는 그림 4와 같이 기존의 음향시스템에 병렬로 연결된다.

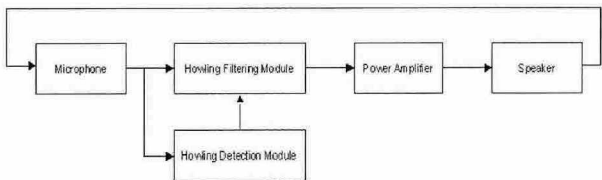


그림 4. 하울링 자동 제어시스템의 구성도

하울링 검출기는 하울링 신호의 검출과정에서 DSP를 이용한 연산을 반드시 필요로 하기 때문에 하울링 검출

기를 기존의 시스템에 병렬로 연결시킴으로서 연산과정에서 생길 수 있는 시간지연(time delay)이 오디오 신호의 흐름에 영향을 주는 것을 방지하였다[8]. 게다가 강의 실과 같이 컴퓨터를 이용할 수 있는 환경이라면 컴퓨터를 통해 하울링 검출 연산을 수행하도록 함으로써 별도의 장비를 추가하지 않더라도 하울링에 대한 정보를 사용자가 쉽게 확인하여 하울링 현상을 제어할 수 있는 장점이 있다.

V. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 하울링 검출 기법을 검증하기 위하여 앞서 기술한 알고리즘으로 작성한 프로그램(그림 5)을 이용하였고 다음과 같은 환경에서 구동되었다.

5.1 실험 환경

본 실험은 표 1과 같은 환경에서 수행되었고, 하울링 검출프로그램의 파라미터 설정치와 외형을 표 2와 그림 5에 각각 나타내었다.

표 1. 실험환경

컴퓨터	P4 1.6GHz / 256MB RAM
프로그래밍 언어	MATLAB v6.5
마이크로폰	Shure SM58 (Dinamic Mic.)
파워앰프	Peavey CS800 (400W+400W)
스피커	EV S1503 (150W+150W)

표 2. 하울링 검출 프로그램 파라미터 설정치

하울링 지수 증가량	0.3
하울링 지수 감소량	-0.2
하울링 레벨 문턱값	60 dB
Sampling Rate	44.1kHz
Bit per Sample	16Bit
Samples per Trigger	1024

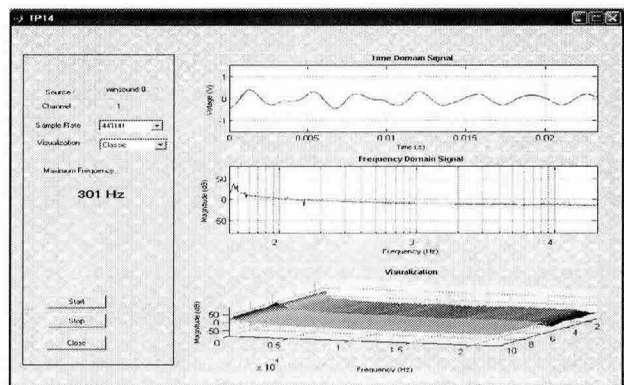


그림 5. 하울링 검출 프로그램

5.2 실험 방법

본 실험에서는 순수 하울링 신호만 녹음된 사운드 3개와 음성신호와 같이 녹음된 하울링 사운드 3개를 하울링 검출 프로그램을 이용하여 하울링 발생 여부를 판별하였다. 테스트 사운드에 대한 자세한 정보는 아래에 나타내었다.

표 3. 단순 하울링 사운드

파일명	Pure_170.wav	Pure_215.wav	Pure_2400.wav
하울링 주파수	170Hz	215Hz	2.4kHz
Peak Level	-16.39 dB	-10.23 dB	-6.00 dB
RMS Power	-23.74 dB	-18.71 dB	-15.83 dB
제 생 시 간	2.48 Sec	1.29 Sec	1.92 Sec
파일 형식	44.1kHz, 18Bit, Mono		

표 4. 음성이 포함된 하울링 사운드

파일명	Voice_170.wav	Voice_690.wav	Voice_2400.wav
하울링 주파수	170Hz	690Hz	2.4kHz
Peak Level	-2.0 dB	-2.0 dB	-3.0 dB
RMS Power	-19.83 dB	-19.69 dB	-21.95 dB
제 생 시 간	33.96 Sec	24.45 Sec	25.15 Sec
파일 형식	44.1kHz, 18Bit, Mono		

5.3 실험 결과

실험의 결과를 표 5와 표 6에 각각 나타내었다.

표 5. 순수 하울링 신호 검출 결과

파일명	하울링 발생구간	하울링 주파수	검출 결과
Pure_170.wav	0 ~ 2.19 Sec	170Hz	○ / 172Hz
Pure_215.wav	0 ~ 1.16 Sec	215Hz	○ / 215Hz
Pure_2400.wav	0 ~ 1.83 Sec	2.4kHz	○ / 2412Hz

표 6. 음성신호가 포함된 하울링 신호 검출 결과

파일명	하울링 발생구간	하울링 주파수	검출 결과
Voice_170.wav	6.53 ~ 7.12 Sec	170Hz	○ / 172Hz
	11.63 ~ 12.41 Sec	170Hz	○ / 172Hz
	13.56 ~ 14.84 Sec	170Hz	○ / 172Hz, 215Hz
	14.90 ~ 18.10 Sec	170Hz	○ / 172Hz, 215Hz
	18.39 ~ 19.67 Sec	170Hz	○ / 172Hz
	22.14 ~ 24.85 Sec	170Hz	○ / 172Hz
Voice_690.wav	26.61 ~ 29.13 Sec	170Hz	○ / 172Hz
	3.70 ~ 4.26 Sec	670Hz	× / 689Hz
	5.63 ~ 7.47 Sec	670Hz	○ / 689Hz
	8.46 ~ 9.63 Sec	670Hz	○ / 689Hz
	11.77 ~ 13.38 Sec	670Hz	○ / 689Hz
	15.27 ~ 19.31 Sec	670Hz	○ / 689Hz
Voice_2400.wav	20.85 ~ 22.65 Sec	670Hz	○ / 689Hz
	3.14 ~ 5.12 Sec	2.4kHz	○ / 2369Hz
	7.89 ~ 10.12 Sec	2.4kHz	○ / 2369Hz, 2412Hz
	14.14 ~ 15.72 Sec	2.4kHz	○ / 2369Hz
	18.40 ~ 19.86 Sec	2.4kHz	○ / 2369Hz
	21.71 ~ 23.29 Sec	2.4kHz	○ / 2369Hz, 2412Hz

5.4 실험 평가

단순한 하울링 신호로 이루어진 사운드에서는 하울링이 정확히 검출되었다. 하지만 음성신호와 하울링 신호가 복합된 사운드에서는 간혹 하울링 주파수를 검출함에 있어서 오차가 발생한 경우가 있었다. 하지만 대부분 하울링 주파수 영역에서 크게 벗어나는 경우는 없었으므로 음성 신호에서도 하울링 신호를 정확하게 검출하였다고 생각할 수 있다. 단지, Voice_690.wav 파일의 3.70~4.26 Sec. 사이에 존재했던 하울링 신호를 검출하지 못했던 이유는 귀에 들릴 정도의 크기를 가진 하울링 신호였지만 하울링 레벨의 문턱값 보다 약간 낮아 하울링 지수가 감소하였기 때문이다. 이 사실은 하울링 레벨의 문턱값을 50dB로 낮추어 다시 실험하여 확인하였다. 하지만 문턱값을 과도하게 낮추면 일반 음성신호가 하울링 신호로 검출될 가능성이 높아지므로 이에 대해서는 사용자가 상황에 맞게 판단해서 적절히 적용해야 할 것이다.

VI. 결론

결과적으로 본 논문에서 제시한 하울링 자동 제어 기법은 음성 확성을 목적으로 구성된 음향 시스템에서 의도했던 대로 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

앞으로는 하울링 검출기로부터 얻은 하울링 신호에 대한 정보를 이용하여 자동으로 협대역 이퀄라이제이션을 수행하도록 하는 하울링 자동 제어 섹션에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 강성훈 저, PA 음향 1, Ksoundlab, 2001
- [2] http://www.alango.com/sound/tec_hc.html
- [3] 백운춘 편저, 사운드 시스템의 모든 것, 우신사, 1994
- [4] 차일환 저, 음향공학 개론, 진영사, 1993
- [5] 김재수, 양만우 공저, 건축 음향설계 방법론, 서우출판, 2001
- [6] 김선호, "학교 강당의 음향특성에 관한 연구" 전남대학교 교육대학원 석사논문, 1990
- [7] 강성훈, "실내음향의 심리적도와 물리량과의 상관" 연세대학교 석사논문, 1982
- [8] 권대복, "오디오파일 시스템 개발을 위한 실시간 음향 신호처리에 관한 연구", 연세대학교 석사논문, 1987