



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월23일
(11) 등록번호 10-1442700
(24) 등록일자 2014년09월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04R 3/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0105730
(22) 출원일자 2013년09월03일
심사청구일자 2013년09월03일
(56) 선행기술조사문헌
JP2012023637 A
JP2009218687 A
US05853005 A

(73) 특허권자
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
박형민
서울 서초구 잠원로 150, 5동 903호 (잠원동, 잠원한신아파트)
임동현
경기 수원시 영통구 영통로 498, 143동 1104호 (영통동, 황골마을주공1단지아파트)
김민욱
경기 고양시 일산동구 호수로 606, B동 904호 (장항동, 코오롱레이크폴리스I)
(74) 대리인
이지연

전체 청구항 수 : 총 16 항

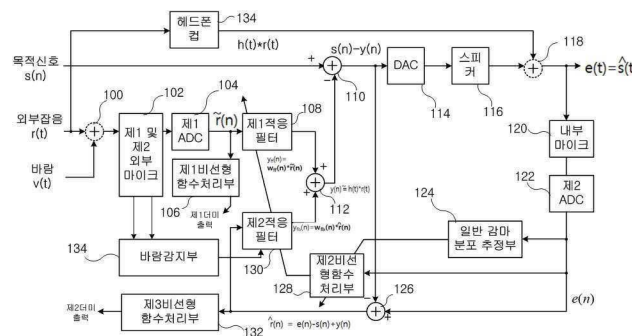
심사관 : 송근배

(54) 발명의 명칭 독립성분분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법 및 장치

(57) 요약

본 발명에 따르는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치는, 헤드폰의 외부에 설치되어 외부잡음을 입력받는 외부 마이크부; 상기 외부 마이크부가 출력하는 잡음신호를 입력받아, 그 잡음신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하는 독립성분분석을 이용한 피드포워드 적응필터; 외부로부터 제공되는 목적신호에서 상기 상쇄신호를 감산하여 출력신호를 생성하는 감산기; 상기 헤드폰의 내부에 설치된 에러 마이크부;를 구비하며, 상기 출력신호가 헤드폰의 스피커를 통해 출력되며, 상기 적응필터계수는 상기 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관성이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 한다.

대표도



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0025703

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자 지원 사업 기본연구(유형1)

연구과제명 실세계 반향에 강인한 음성 인식 알고리즘 개발

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2013.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치에 있어서,

헤드폰의 외부에 설치되어 외부잡음을 입력받는 외부 마이크부;

상기 외부 마이크부가 출력하는 잡음신호를 입력받아, 그 잡음신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하는 독립성분분석을 이용한 피드포워드 적응필터;

외부로부터 제공되는 목적신호에서 상기 상쇄신호를 감산하여 출력신호를 생성하는 감산기;

상기 헤드폰의 내부에 설치된 에러 마이크부;를 구비하며,

상기 출력신호가 헤드폰의 스피커를 통해 출력되며,

상기 적응필터계수는 상기 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적응필터계수는 수학식 30에 따라 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

수학식 30

$$\Delta \mathbf{w}_{ff}(n) \propto \mu_{ff} \varphi(e) \tilde{\mathbf{r}}(n)$$

상기 수학식 30에서, μ_{ff} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 는 잡음신호임.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 에러신호에서 상기 출력신호를 감산한 피드백 신호를 입력받아, 그 피드백 신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하고,

그 상쇄신호를 상기 피드포워드 적응필터가 출력하는 상쇄신호에 추가하는 독립성분분석을 이용한 피드백 적응필터;를 더 구비하며,

상기 피드백 적응필터의 적응필터계수는 상기 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 피드백 적응필터의 적응필터계수는 수학식 31에 따라 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

수학식 31

$$\Delta \mathbf{w}_{fb}(n) \propto \mu_{fb} \varphi(e) \hat{\mathbf{r}}(n), \quad \hat{\mathbf{r}}(n) = \mathbf{e}(n) - \mathbf{s}(n) + \mathbf{y}(n)$$

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) + \mathbf{s}(n) - \mathbf{y}(n)$$

상기 수학식 31에서 μ_{fb} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $\mathbf{e}(n)$ 은 에러신호이고, $\mathbf{s}(n)$ 은 목적신호이고, $\mathbf{y}(n)$ 은 최종상쇄신호이고, $\mathbf{d}(n)$ 은 추정을 통해 제거해야할 잡음신호임.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 외부 마이크부는 다수의 마이크로 구성되며, 헤드폰의 외부에 이격되어 설치되며,

상기 외부 마이크부의 다수의 마이크로로부터의 잡음신호의 상관도가 미리 정해진 한계치 이하이면 바람이 존재하는 것으로 검지하여,

상기 피드백 적응필터를 구동하는 바람 검지부를 더 구비함을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 외부 마이크부는 다수의 마이크로 구성되며, 헤드폰의 외부에 이격되어 설치되며,

상기 외부 마이크부의 다수의 마이크로로부터의 잡음신호의 상관도가 미리 정해진 한계치 이하이면 바람이 존재하는 것으로 검지하여,

바람의 존재여부에 따라 상기 피드백 적응필터의 상쇄신호의 비율을 변경하는 바람 검지부를 더 구비함을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 에러신호의 분포특성을 추정하는 일반감마 분포 추정부;를 더 구비하며,

상기 에러신호의 분포특성은 상기 적응필터계수의 학습시의 점수함수에 반영되며, 그에 따른 점수함수는 수학식 32와 같음을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

수학식 32

$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n), \tilde{\beta}(n), \tilde{\gamma}(n)) = \frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n) + \epsilon|} \left(\tilde{\gamma}(n) \tilde{\beta}(n) |e(n)|^{\tilde{\gamma}} - \tilde{\eta}(n) \tilde{\gamma}(n) + 1 \right)$$

상기 수학식 32에서, $\mathbf{e}(n)$ 은 에러신호이고, $\tilde{\eta}$, $\tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포 값의 높이를 결정하는 파라미터이고, 상기 ϵ 는 값을 안정화하기 위한 임의의 수임.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 에러신호의 분포특성을 추정하는 일반감마 분포 추정부;를 더 구비하며,

상기 에러신호의 분포특성은 상기 적응필터계수의 학습시의 점수함수에 반영되며, 그에 따른 점수함수는 수학식 33과 같음을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치.

수학식 33

$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n),\tilde{\beta}(n),\tilde{\gamma}(n))=\frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n)+\varepsilon|}\left(\tilde{\gamma}(n)\tilde{\beta}(n)|e(n)|^{\tilde{\gamma}}-\tilde{\eta}(n)\tilde{\gamma}(n)+1\right)$$

상기 수학식 33에서, $e(n)$ 은 에러신호이고, $\tilde{\eta}$, $\tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포 값의 높이를 결정하는 파라미터이고, 상기 ε 는 값을 안정화하기 위한 임의의 수임.

청구항 9

독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법에 있어서,

헤드폰의 외부에 설치된 외부 마이크부가 외부잡음을 입력받는 단계;

독립성분분석을 이용한 피드포워드 적응필터가, 상기 외부 마이크부가 출력하는 잡음신호를 입력받아, 그 잡음신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하는 단계;

감산기가 외부로부터 제공되는 목적신호에서 상기 상쇄신호를 감산하여 출력신호를 생성하는 단계;

상기 출력신호가 헤드폰의 스피커를 통해 출력되는 단계;를 구비하며,

상기 적응필터계수는 상기 헤드폰의 내부에 설치된 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 적응필터계수는 수학식 34에 따라 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

수학식 34

$$\Delta \mathbf{w}_{ff}(n) \propto \mu_{ff} \varphi(e) \tilde{\mathbf{r}}(n)$$

상기 수학식 34에서, μ_{ff} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 는 잡음 신호임.

청구항 11

제9항에 있어서,

독립성분분석을 이용한 피드백 적응필터가, 상기 에러신호에서 상기 출력신호를 감산한 피드백 신호를 입력받아, 그 피드백 신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하고, 그 상쇄신호를 상기 피드포워드 적응필터가 출력하는 상쇄신호에 추가하는 단계;를 더 구비하며,

상기 피드백 적응필터의 적응필터계수는 상기 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 피드백 적응필터의 적응필터계수는 수학식 35에 따라 학습됨을 특징으로 하는 독립성분 분석적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

수학식 35

$$\Delta \mathbf{w}_{fb}(n) \propto \mu_{fb} \varphi(e) \hat{\mathbf{r}}(n), \quad \hat{\mathbf{r}}(n) = \mathbf{e}(n) - \mathbf{s}(n) + \mathbf{y}(n)$$

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) + \mathbf{s}(n) - \mathbf{y}(n)$$

상기 수학식 35에서 μ_{fb} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $\mathbf{e}(n)$ 은 에러신호이고, $\mathbf{s}(n)$ 은 목적신호이고, $\mathbf{y}(n)$ 은 최종상쇄신호이고, $\mathbf{d}(n)$ 은 추정을 통해 제거해야할 잡음신호임.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 외부 마이크부는 다수의 마이크로 구성되며, 헤드폰의 외부에 이격되어 설치되며,

바람 검지부가 상기 외부 마이크부의 다수의 마이크로로부터의 잡음신호의 상관도가 미리 정해진 한계치 이하이면 바람이 존재하는 것으로 검지하여, 상기 피드백 적응필터를 구동하는 단계를 더 구비함을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 외부 마이크부는 다수의 마이크로 구성되며, 헤드폰의 외부에 이격되어 설치되며,

바람 검지부가, 상기 외부 마이크부의 다수의 마이크로로부터의 잡음신호의 상관도가 미리 정해진 한계치 이하이면 바람이 존재하는 것으로 검지하여, 바람의 존재여부에 따라 상기 피드백 적응필터의 상쇄신호의 비율을 변경하는 단계를 더 구비함을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

청구항 15

제10항에 있어서,

일반감마 분포 추정부가 상기 에러신호의 분포특성을 추정하는 단계;를 더 구비하며,

상기 에러신호의 분포특성은 상기 적응필터계수의 학습시의 점수함수에 반영되며, 그에 따른 점수함수는 수학식 36과 같음을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

수학식 36

$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n), \tilde{\beta}(n), \tilde{\gamma}(n)) = \frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n) + \epsilon|} \left(\tilde{\gamma}(n) \tilde{\beta}(n) |e(n)|^{\tilde{\gamma}} - \tilde{\eta}(n) \tilde{\gamma}(n) + 1 \right)$$

상기 수학식 36에서, $\mathbf{e}(n)$ 은 에러신호이고, $\tilde{\eta}$, $\tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포 값의 높이를 결정하는 파라미터이고, 상기 ϵ 는 값을 안정화하기 위한 임의의 수임.

청구항 16

제12항에 있어서,

일반감마 분포 추정부가 상기 에러신호의 분포특성을 추정하는 단계;를 더 구비하며,

상기 에러신호의 분포특성은 상기 적응필터계수의 학습시의 점수함수에 반영되며, 그에 따른 점수함수는 수학식 37과 같음을 특징으로 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법.

수학식 37

$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n),\tilde{\beta}(n),\tilde{\gamma}(n))=\frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n)+\varepsilon|}\left(\tilde{\gamma}(n)\tilde{\beta}(n)|e(n)|^{\tilde{\gamma}}-\tilde{\eta}(n)\tilde{\gamma}(n)+1\right)$$

상기 수학식 37에서, $e(n)$ 은 에러신호이고, $\tilde{\eta}$, $\tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포 값의 높이를 결정하는 파라미터이고, 상기 ε 는 값을 안정화하기 위한 임의의 수임.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 잡음 제거 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 과거에 비해 시끄러운 환경에서 살고 있다. 도시의 일상 생활 및 버스나 비행기 실내 소음 등을 예로 들 수 있다. 또한 스마트폰과 같은 모바일 장치의 대중화로 많은 사람들이 모바일 환경에서 헤드폰 등을 통해 음악을 감상한다. 그런데 소음이 심한 환경에서 음악을 들을 때에는 재생 음량을 높이는 경우가 많은데, 이는 청력 손실을 유발할 수 있다. 청각 세포(hair cell)은 한번 손상되면 회복이 거의 불가능하기 때문에 큰 소음에 노출되지 않도록 주의해야 한다. 이럴 경우 잡음 제거 기술이 좋은 해결방안이 될 수 있다.

[0003] 헤드폰에 대한 외부유입 잡음 제거 방법에는 수동잡음제거 방법과 능동잡음제거 방법이 있다. 상기 수동잡음 제거 방법은 기구구조물의 두께가 잡음의 파장보다 두꺼울 경우에만 효과가 있기 때문에 주로 1Hz 이상의 고주파 잡음의 제거에 적합하다. 그리고 능동잡음제거 방법은 마이크로 폰을 통해 외부잡음을 감지하고 잡음과 위상이 180도 반대가 되는 신호를 능동적으로 발생시켜서 두 신호가 서로 상쇄되도록 하는 방법이다. 따라서 두 신호가 공간적으로 동일한 지점에서 올바르게 겹치지 않으면 오히려 잡음이 더 증가할 수도 있다. 그러므로 상대적으로 파장이 긴 1kHz 이하의 저주파 잡음 제거에 적합하다. 이에따라 두 방법은 상호 보완적으로 사용되는 경우가 많다.

[0004] 또한 상기한 능동잡음제거 방법에는 아날로그 방식과 디지털 방식이 있다. 상기 아날로그 방식은 아날로그 회로를 이용해 필터를 구현하여 180도 위상의 상쇄신호를 만들어 낸다. 외부 잡음의 감지와 상쇄신호 출력에 있어 지연이 거의 없어 안정적이다. 그러나 구조변경 및 마이크로폰의 위치 변화에 따라 음향측정이 다시 이루어져야 하고 필터회로를 전체적으로 다시 설계해야 하는 단점이 있었다. 또한 잡음 환경의 변화에 대해 잡음 제거성능이 크게 달라지는 단점도 있었다. 반면 디지털 방식은 주로 적응 필터를 이용하여 구현된다. 이러한 디지털 방식은 헤드폰 구조 및 잡음 환경의 변화에 대해 적응필터 스스로 유연하게 대응할 수 있는 장점이 있다. 하지만 디지털 프로세서에 의해 필터링이 이루어지므로, 안정적인 동작을 위해 아날로그 - 디지털 신호 변환에 의한 지연이 반드시 고려되어야 한다. 그리고 상기 디지털 방식은 주기성 잡음은 잘 제거하는 반면 충격잡음과 같은 비 주기성 잡음은 효과적으로 제거하지 못하였으며, 마이크로 폰을 통해 유입되는 바람에 의해 적응필터 계수 학습과정에 오류가 발생하는 문제가 있었다.

[0005] 도 1은 헤드폰 기구 구조물에 의한 수동잡음제거방법과 180도 위상의 상쇄신호를 이용한 능동잡음제거방법의 개략적인 구조를 도시한 것이다.

[0006] 상기 헤드폰 기구 구조물에 대한 수동잡음제거는 헤드폰의 기구 구조물인 헤드폰 컵의 두께가 잡음의 파장보다 두꺼워야 한다. 그러나 헤드폰의 경우에는 디자인 및 공간적인 이유로 기구 구조물에 의한 잡음 억제에는 한계가 있었다. 그러므로 수동적인 방법은 대략 1kHz 이상의 고주파 잡음제거에 적합하다.

[0007] 그리고 저주파를 제거하기 위해서는 능동제거방법이 적합하며, 이는 외부 마이크로 잡음을 감지하여 180도의 위상을 갖는 신호를 생성하여 두 신호를 서로 상쇄시키는 것이다. 이때 올바른 잡음제거를 위해서는 상쇄신호를 잡음이 없애고자 하는 지점에 정확히 생성시켜야 한다. 따라서 잡음의 제거 정도를 감지하는 에러 마이크의 위치는 사용자의 귀에 최대한 가까워야 한다.

[0008] 만약 여러 마이크와 잡음 제거 목적 지점과의 거리가 잡음 파장의 1/4보다 클 경우에는 오히려 잡음이 더해질 수 있다. 이에 따라 최대한 공간적 및 시간적인 어긋남이 없도록 해야 한다. 그러므로 능동잡음제거 방법은 상대적으로 지연이 덜 민감한 수 kHz 이하의 저주파에 적합하다.

[0009] <적응필터를 이용한 잡음제거 방법>

[0010] <최소평균제곱(Least Mean Square) 알고리즘에 의한 적응필터>

[0011] 대표적인 잡음제거 적응필터는 최소평균제곱 알고리즘에 의한 것이다. 이는 위너-필터(Wiener filter)의 해를 찾는 과정을 따르며 최급강하법(steepest-descent)을 이용한 학습과정에 의해 필터 계수 $w(n)$ 에 대해 비용함수인 에러제곱의 평균 $E[e(n)^2]$ 을 최소화시키는 최적 필터계수 $w_o(n)$ 을 구한다. 이는 잡음과 목적신호의 상관관계를 최소화하는 것이다. 샘플이 즉시 처리되어야 하는 실시간 학습에서는 순시값인 필터 출력의 제곱 $e(n)^2$ 을 최소화 하는 방향으로 학습이 이루어진다. 최소평균제곱 알고리즘에 의한 잡음제거 필터 학습식은 다음과 같다.

수학식 1

$$\Delta w(n) \propto \mu e(n) r(n)$$

[0012]
$$e(n) = d(n) - w(n)^T r(n)$$

[0013] 상기 수학식 1에서 벡터 $r(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-M+1)]^T$ 은 시간 n 에 대한 기준신호 입력이며, 벡터 $w(n) = [w_0(n), w_1(n), \dots, w_{M-1}(n)]^T$ 은 $M+1$ 크기를 갖는 FIR 필터 웨이트 계수이다. 그리고 $e(n)$ 은 적응필터의 출력신호이며 $d(n)$ 는 추정을 통해 제거해야 할 잡음을 나타낸다. μ 는 작은 양의 값을 갖는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터로 값이 클수록 학습량은 많아져서 학습 속도가 증가하나 지나칠 경우 적응필터가 불안정해질 수 있으며, 너무 작으면 학습 속도가 느려지게 되므로 적절히 결정되어야 한다.

[0014] 그리고 헤드폰은 음악을 재생해야 하므로 목적신호 $s(n)$ (재생해야 하는 음악신호)를 학습식에 반영하여 나타내면 다음과 같다.

수학식 2

$$e(n) = d(n) + s(n) - w(n)^T r(n)$$

[0015]
$$d(n) = h(n) * r(n)$$

[0016] 상기 수학식 2에서, $d(n) = h(n) * r(n)$ 은 헤드폰 기구구조물을 통과하여 내부로 유입되는 잡음으로 제거 대상 신호이며, $h(n)$ 는 외부에서 헤드폰 내부의 에러마이크까지의 전달함수이다.

[0017] <피드포워드 및 피드백 적응필터>

[0018] 적응 필터(adaptive filter)를 이용한 능동잡음제거 구조에는 크게 피드 포워드(feed forward) 방식과 피드백(feedback) 방식이 있으며, 이를 개략적으로 도시한 것이 도 2이다.

[0019] 상기 도 2의 (a)에 도시한 피드 포워드 방식은 외부잡음을 마이크로 감지하고 이를 적응필터의 기준신호로 사용하여 상쇄신호를 생성한다. 그리고 에러 마이크로 입력되는 신호를 통해 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분을 최소화 하는 방향으로 필터계수를 학습한다. 특히, 기준신호가 적응필터 전단의 외부 마이크로 입력되므로 피드포워드라 부르며, 없애고자 하는 유입잡음과 기준신호는 서로 상관관계에 있어야 한다. 그렇지 않을 경우 학습이 원활하게 이루어 지지 않는다.

[0020] 그리고 도 2의 (b)에 도시한 피드백 방식은 에러 마이크로부터 취득된 신호로부터 적응필터 학습에 필요한 기준신호를 생성한다. 이는 외부 마이크로 의존하지 않고 내부의 에러마이크로 입력되는 에러 신호로부터 기준신호를 생성하므로 기준신호와 유입잡음은 서로 상관되어 있게 된다. 하지만 피드백 구조를 통해 기준신호를 취득하므로 피드포워드 방식보다 위상 지연에 더욱 민감하다. 또한 최소평균제곱 알고리즘의 기준신호 성분과 제거대상 신호성분의 위상차이 $\phi_{(r,y)}$ 와 스텝파라미터 μ 는 $\mu \propto \cos(\phi_{(r,y)})$ 의 관계를 갖는다. 그리고 위상 차이가 90도에 근접할 경우 μ 가 0에 가까워져야 하므로 학습이 거의 이루어지지 않는다. 따라서 피드포워드 방식에 비해 고주파 잡음제거에 상대적으로 불리하다.

[0021] 또한 진동판 및 증폭회로를 구비하는 마이크는 그 특성상 바람에 매우 민감하다. 이런 이유로 대부분의 야외 녹음용 마이크들에는 두꺼운 털로 이루어진 윈드필터가 추가된다. 하지만 외관상 및 사용상의 측면에서 이러한 구조물을 헤드폰이나 이어폰에 적용하기는 어렵다.

[0022] 한편 소리는 매질의 진동에 의해 전달되지만 바람은 공기입자의 직접적인 이동에 의해 발생하는 현상이다. 즉, 도 2의 (a)의 바람 $v(t)$ 는 마이크를 통해 적응필터의 기준입력으로 유입되지만, 헤드폰의 기구 구조물을 통과하지 못한다. 그러나 그 바람에 의해 기준신호가 왜곡되어 제거 대상신호와 기준신호의 상관도가 매우 떨어지게 되었다. 이런 경우에는 에러신호로부터 기준신호를 취득하여 사용하는 피드백 방식이 고려될 수 있다. 피드 포워드 필터 구조에 피드백 적응필터를 추가하면 도 3과 같다.

[0023] 그리고 잡음제거 적응필터의 학습식은 다음과 같다.

수학식 3

$$\Delta \mathbf{w}_f(n) \propto \mu_f e(n) \hat{\mathbf{r}}(n), \tilde{r}(n) = r(n) + v(n)$$

$$\Delta \mathbf{w}_{fb}(n) \propto \mu_{fb} e(n) \hat{\mathbf{r}}(n), \hat{r}(n) = e(n) - s(n) + y(n)$$

$$e(n) = d(n) + s(n) - y(n)$$

$$y(n) = \mathbf{w}_f(n)^T \tilde{\mathbf{r}}(n) + \mathbf{w}_{fb}(n)^T \hat{\mathbf{r}}(n)$$

[0024]

[0025]

[0026] 상기 수학식 3에서, $\tilde{r}(n)$ 은 바람 $v(n)$ 이 혼합된 외부잡음 입력이고, $\hat{r}(n) = e(n) - s(n) + y(n)$ 은 내부 에러마이크 입력신호로부터 생성된 기준신호이다.

[0027] <독립성분분석>

[0028] 비용함수가 $E[e(n)^2]$ 인 최소평균제곱 알고리즘은 잡음제거 목표지점(zone of quiet)의 신호 성분 중 기준

신호와의 상관도가 높은 성분들의 평균제곱 값을 최소화한다. 이는 에리신호의 2차 통계적 특성만을 반영한다. 그러므로 주로 정규분포(Gaussian distribution)를 갖는 신호에 적합하다. 비가우시안 잡음(non-Gaussian noise)들은 3차 이상의 고차 통계 특성을 갖는다. 이들에 대한 효과적인 제거 방법으로 독립성분분석(independent component analysis)이 있다. 독립성분분석은 3차 이상의 고차 통계적 특성까지 반영하여 혼합된 신호들의 독립성을 최대화하는 방향으로 신호들이 서로 분리되도록 필터를 학습한다. 중심극한정리(central limit theorem)에 의해 비가우시안 분포를 가지는 신호들은 서로 독립적일수록, 가우시안분포로부터 멀어지게 되고 각각의 독립성이 가장 커질 때 최대한 분리될 수 있다. 그러므로 독립성의 척도로 비가우시안 정도(non-Gaussianity)를 고려할 수 있다. 신호가 가우시안분포에 가까울수록 엔트로피(entropy)가 높고 비가우시안분포를 가질수록 네겐트로피(negentropy)가 높은 특성을 이용한다. 독립성을 최대화하는 방법으로 출력 신호간의 상호공통정보량(mutual information)을 최소화하여 출력신호간의 결합엔트로피(Joint entropy)를 최대화하여 독립성분을 얻는 인포맥스(Infomax) 알고리즘이 있다. 이 인포맥스 알고리즘은 도 4에 도시한 바와 같다.

[0029] 이 과정에서 출력 신호의 독립화된 형태의 우도 최대화(maximum likelihood) 방법이 사용될 수 있다. 독립성분분석 과정은 다음과 같이 표현된다.

수학식 4

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s}$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{W}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{y} = g(\mathbf{u}) = g(\mathbf{W}\mathbf{x})$$

[0030]

[0031] 관찰신호 $\mathbf{x}$ 는 독립신호 $\mathbf{s}$ 들이 혼합 채널 행렬 $\mathbf{A}$ 에 의해 생성된 벡터이다. $\mathbf{W}$ 는 분리행렬이며 $\mathbf{u}$ 는 원래의 독립신호 $\mathbf{s}$ 에 대한 추정치이다. 독립 신호 $\mathbf{u}$ 를 얻는 과정에서 $\mathbf{s}$ 의 누적분포함수(cumulative density function)를 모사하는 비선형 함수 $g(\cdot)$ 를 통과한 출력값 $\mathbf{y}$ 의 결합 엔트로피 $H(\mathbf{y})$ 를 최대화하는 분리행렬 $\mathbf{W}$ 를 구한다.

[0032] 비선형 함수 $g(\cdot)$ 의 출력 $\mathbf{y}$ 의 확률밀도함수 $f_y(\mathbf{y})$ 와 입력 $\mathbf{u}$ 의 확률밀도함수 $f_u(\mathbf{u})$ 의 관계는 자코비안(Jacobian)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$f_y(\mathbf{y}) = \frac{f_u(\mathbf{u})}{|\mathbf{J}|}$$

$$J(\mathbf{x}) = \det \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial y_N}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial y_N}{\partial x_N} \end{bmatrix} = \det(\mathbf{W}) \prod_{i=1}^N \frac{\partial y_i}{\partial u_i}$$

[0033]

[0034] 출력의 결합 엔트로피 $H(\mathbf{y})$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있으며 이에 대한 최대화는 자코비안 절댓값 $|\mathbf{J}|$ 을

최대화함으로써 얻어진다.

수학식 6

$$H(\mathbf{y}) = H(y_1) + H(y_2) + \dots + H(y_N) - I(y_1, y_2, \dots, y_N)$$

$$H(\mathbf{y}) = -E[\log(f_y(\mathbf{y}))] = -E[\log(f_x(\mathbf{x}))] + E[\log|\mathbf{J}|]$$

[0035]

출력 Y 는 비선형 함수 $g(\cdot)$ 에 의해 크기가 제한되므로, 개별 엔트로피 $H(y_i)$ 는 y_i 균일분포를 가질 때 최대가 된다. 따라서 결합 엔트로피 $H(\mathbf{y})$ 는 y_i 가 균일분포를 갖고 각 성분의 상호정보 $I(y_1, y_2, \dots, y_N)$ 가 최소화될 때 가장 큰 값을 갖게 되며 결과적으로 독립신호 u 가 얻어진다.

[0036]

그리고 $-E[\log(f_x(\mathbf{x}))]$ 항은 w 의 변화에 무관하므로, 결합 엔트로피를 최대화하는 방향으로 w 를 학습하는 다음과 같은 학습식을 얻는다.

[0037]

수학식 7

$$\Delta \mathbf{W} = \frac{\partial H(\mathbf{y})}{\partial \mathbf{W}} = \frac{\partial \log|\mathbf{J}|}{\partial \mathbf{W}} = (\mathbf{W}^T)^{-1} - \varphi(\mathbf{u})\mathbf{x}^T$$

$$\varphi(\mathbf{u}) = -\frac{\partial \log(f_u(\mathbf{u}))}{\partial \mathbf{u}}$$

[0038]

<일반감마분포에 의한 에러신호 분포 추정>

[0039]

확률 변수 $|x| > 0$ 에 대해 감마분포는 다음과 같이 정의된다.

[0040]

수학식 8

$$p(x|\eta, \beta, \gamma) = \frac{\gamma^2 \beta^{2\eta}}{2\Gamma(\eta)^2} |x|^{\gamma\eta-1} \exp(-\beta|x|^\gamma)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} \exp(-t) dt, x > 0$$

[0041]

파라미터 $\eta > 0, \gamma > 0$ 에 의해 분포의 모양이 정해지며 $\beta > 0$ 는 분포의 크기(scale)를 결정한다. 여기서, $\Gamma(x)$ 는 감마함수이다. 확률변수 x 에 대한 일반감마분포의 파라미터 η, β, γ 를 추정하는 방법으로 우도 최대화(maximum likelihood)방법이 사용될 수 있다. 이 경우 N 개의 데이터 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 에 대해 로그-우도 함수(log maximum likelihood)는 다음과 같이 표현된다.

[0042]

수학식 9

$$\begin{aligned} L(\mathbf{x}|\eta, \beta, \gamma) &= \log f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}|\eta, \beta, \gamma) \\ &= N \log \frac{\gamma \beta^\eta}{2\Gamma(\eta)} + (\eta\gamma - 1) \sum_{i=1}^N \log |x_i| - \beta \sum_{i=1}^N |x_i|^\gamma \end{aligned}$$

[0043]

이를 각각의 파라미터 η, β, γ 에 대해 미분하여 $\hat{\eta}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$ 의 추정값을 구하는 과정은 다음과 같다.

[0044]

수학식 10

$$\begin{aligned} \psi_0(\eta) &= \log \beta + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log |x_i|^\gamma \\ \beta &= \eta \frac{1}{1/N \sum_{i=1}^N |x_i|^\gamma} \\ \frac{1}{\eta} + \psi_0(\eta) - \log \beta - \frac{\beta}{\eta} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|^\gamma \log |x_i|^\gamma &= 0 \end{aligned}$$

[0045]

상기 3개의 식은 망각률(forgetting factor) λ 를 적용하여 $S_1(n), S_2(n), S_3(n)$ 를 정의하고, $\hat{\gamma}$ 에 대해 경사하강법(gradient descent) 과정을 통해 실시간으로 계산할 수 있다.

[0046]

수학식 11

$$\begin{aligned} S_1(n) &= (1 - \lambda)S_1(n-1) + \lambda |x_n|^{\hat{\gamma}(n)} \\ S_2(n) &= (1 - \lambda)S_2(n-1) + \lambda \log |x_n|^{\hat{\gamma}(n)} \\ S_3(n) &= (1 - \lambda)S_3(n-1) + \lambda |x_n|^{\hat{\gamma}(n)} \log |x_n|^{\hat{\gamma}(n)} \end{aligned}$$

[0047]

그리고 얻어진 $S_1(n), S_2(n), S_3(n)$ 에 대해 다음과 같이 파라미터 추정 값을 얻을 수 있다.

[0048]

수학식 12

$$\begin{aligned} \psi(\hat{\eta}(n)) - \log(\hat{\eta}(n)) &= S_2(n) - \log S_1(n) \\ \hat{\beta}(n) &= \frac{\hat{\eta}(n)}{S_1(n)} \\ \hat{\gamma}(n+1) &= \hat{\gamma}(n) + \mu \phi(\hat{\gamma}(n), \hat{\eta}(n), \mathbf{x}) \end{aligned}$$

[0049]

[0050] 상기 수학식 12에서 일부는 수학식 13과 같다.

수학식 13

$$\psi(x) = \frac{\Gamma'(x)}{\Gamma(x)}$$

$$\phi(\hat{\gamma}(n), \hat{\eta}(n), \mathbf{x}) = \frac{1}{\hat{\eta}(n)} + S_2(n) - \frac{S_3(n)}{S_1(n)}$$

[0051]

[0052] 파라미터들은 매 샘플입력마다 업데이트된다. 여기서, 감마분포는 $|x|=0$ 에 대해서는 정의되지 않으므로 임의의 작은 상수 ε 을 도입하여 $|x|=\varepsilon$ 이 되지 않게 한다.

[0053] 이와 같이 종래의 최소평균제곱 알고리즘에 기반한 방법은 정규분포를 갖는 잡음의 제거는 잘 이루어지지만, 문을 갑자기 여닫는 소리나 타격음 등의 충격 잡음의 제거에 대해서는 성능이 떨어진다.

[0054] 이러한 잡음은 2차 통계적 특성만으로는 고려하기 어려운 3, 4의 고차 통계적 특성을 갖는 비정규분포(non-Gaussian)분포를 가지기 때문이다.

[0055] 또한 목적신호인 음악 역시 정규분포로 나타내기 어려운 통계적 특성을 가진다. 따라서 이러한 신호들이 섞여 있을 경우 최소평균제곱 알고리즘을 이용하여 원하는 신호만을 효과적으로 얻기는 어렵다.

[0056] 또한 외부에 바람이 존재할 경우 기준신호가 왜곡되기 때문에, 피드포워드 방법만으로는 적응필터 학습이 제대로 이루어지지 않는다. 하지만 실생활에서 이러한 충격 잡음 및 바람은 빈번히 발생한다. 예를 들면 지하철이 들어오는 순간 강한 바람이 발생하며 문이 열리고 닫히는 순간에 충격음이 발생한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0057] (특허문헌 0001) 한국특허공개 제10-2002-0042234호
(특허문헌 0002) 한국특허공개 제10-2003-0065865호
(특허문헌 0003) 한국특허공개 제10-2009-0081263호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0058] 본 발명은 문을 갑자기 여닫는 소리나 타격음 등의 충격 잡음이 헤드폰으로 유입되는 경우에 이를 제거할 수 있는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치 및 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0059] 그리고 본 발명의 다른 목적은 외부에 바람이 존재할 경우에도 적응필터 학습이 정상적으로 이루어질 수 있게 하는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0060] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따르는 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치는, 헤드폰의 외부에 설치되어 외부잡음을 입력받는 외부 마이크부; 상기 외부 마이크부가 출력하는 잡음신호

를 입력받아, 그 잡음신호를 기준신호로 하여 적응필터계수를 콘볼루션하여 상쇄신호를 생성하는 독립성분분석을 이용한 피드포워드 적응필터; 외부로부터 제공되는 목적신호에서 상기 상쇄신호를 감산하여 출력신호를 생성하는 감산기; 상기 헤드폰의 내부에 설치된 에러 마이크부;를 구비하며, 상기 출력신호가 헤드폰의 스피커를 통해 출력되며, 상기 적응필터계수는 상기 에러 마이크부로부터의 에러신호를 제공받아, 목적신호와 잡음신호 중 서로 상관이 없는 성분이 최소화되도록 학습됨을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0061] 본 발명은 문을 갑자기 여닫는 소리나 타격음 등의 충격 잡음이 헤드폰으로 유입되는 경우에 이를 독립성분분석을 이용한 적응필터를 통해 제거할 수 있어 사용자의 다양한 욕구를 충족시켜 줄 수 있는 효과가 있다.

[0062] 또한 본 발명은 외부에 바람이 존재할 경우에도 독립성분분석을 이용한 적응필터가 바람에 의한 잡음을 제거할 수 있게 하는 사용자의 다양한 욕구를 충족시켜 줄 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0063] 도 1은 헤드폰의 수동잡음제거 및 능동잡음제거 과정을 개략적으로 도시한 도면.
- 도 2의 (a)는 피드포워드 잡음제거 적응필터를 도시한 것이고, 도 2의 (b)는 피드백 잡음제거 적응필터를 도시한 도면.
- 도 3은 피드포워드 및 피드백 잡음제거 적응필터를 도시한 도면.
- 도 4는 독립성분분석 과정을 개략적으로 도시한 도면.
- 도 5는 NLMS, ICA, fICA의 점수함수 변화를 예시한 도면.
- 도 6은 필터 학습 업데이트량 분포 및 시간에 따른 변화를 예시한 도면.
- 도 7은 헤드폰으로 바람이 영향을 끼치는 경우를 예시한 도면.
- 도 8은 바람에 의해 기준신호가 왜곡되는 경우를 예시한 도면.
- 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치의 구성도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0064] 본 발명은 충격잡음에 대한 제거 성능을 높이기 위해 에러신호의 일반감마분포 추정 점수함수(score function)를 이용한 독립성분분석 잡음제거 적응필터를 제공하며, 추정 성능을 높이기 위해 일반감마분포 파라미터들에 대해 적응필터를 최급강화법에 따라 갱신 학습한다.
- [0065] 이러한 본 발명은 에러신호의 부호만을 반영하는 고정 점수함수를 사용하는 ICA 대비 유연한 점수함수를 사용하는 fICA의 경우 잡음제거 성능이 더 향상된다.
- [0066] 또한 잡음신호와 에러신호의 크기가 필터 업데이트에 반영되므로 목적신호가 음악처럼 다양한 분포를 갖는 경우에 특히 유리하다.
- [0067] 또한, 바람에 의한 적응필터 기준신호의 왜곡 문제를 해결하기 위해 피드백 방식의 적응필터를 추가 적용하며, 피드포워드 적응필터와 피드백 적응필터는 동일 에러신호로부터 얻어진 점수함수를 그대로 이용하므로 동일한 추정 파라미터를 사용한다.
- [0068] 이러한 본 발명은 바람이 존재하는 경우에도 독립성분분석에 의한 피드백 적응필터의 기여도가 NLMS 피드백 적응필터 대비 더 안정적으로 동작하며 우수한 성능을 보인다.
- [0069] 일반적으로 능동잡음제거 헤드폰의 경우에, 적응필터에 의한 잡음 추정신호에 의한 유입 잡음신호의 상쇄는 신호처리 프로세서 내부(digital domain)가 아닌 음향공간(acoustic domain)에서 이루어진다.

[0070] 따라서 이 지점에서는 외부 유입잡음 $r(t)$, 적응필터에 의한 상쇄신호 $y(t)$, 그리고 본래 헤드폰 재생의 목적 신호인 음악신호 $s(t)$, 이 세 가지의 신호가 서로 합쳐진다.

[0071] 따라서 사용자의 귀 근처에 위치하는 에러 마이크의 입력신호 $e(t)$ 는 곧 [음악신호 + 잡음신호] $\hat{s}(t)$ 가 되며, 이상적인 경우에는 음악신호 $s(t)$ 만 남게 된다.

[0072] 최소평균제곱 알고리즘은 기준신호가 급격히 증가해서 에러신호 $e(t)$ 가 순간적으로 커질 경우에 필터학습량 $\Delta \mathbf{w}(n)$ 이 매우 커지게 된다. 따라서 학습이 불안정해지며 이를 방지하기 위해서는 스텝사이즈 파라미터 μ 를 낮은 수준으로 설정할 필요가 있다.

[0073] 그러나 적응필터를 실시간으로 구현하는 경우에는 크기가 심하게 변하지 않는 비유동 잡음(stationary noise)에 대해서도 학습량이 감소하게 되어 성능이 떨어지게 된다.

[0074] <독립성분분석 잡음제거 적응필터 적용>

[0075] 이에 따라 본 발명은 헤드폰 내부로 유입되는 충격 잡음의 효과적인 제거를 위해 독립성분분석을 이용한 잡음 제거 적응필터를 적용한다. 최소평균제곱 알고리즘이 필터출력의 파워를 최소화하는 것에 비해 독립성분분석에 의한 방법은 기준입력신호와 목적신호 사이의 독립성을 최대화하여 서로를 분리하는 방법이다.

[0076] 즉, 잡음제거 적응필터 기준입력신호 $r(n)$ 을 음성신호 분리 알고리즘의 독립성분의 하나(dummy output)로 설정하여, 기준입력신호 $r(n)$ 에 대한 점수함수 출력 $\varphi(r(n))$ 과 적응필터 출력신호 $e(n) = \hat{s}(n) \cong s(n)$ 에 대한 점수함수 출력 $\varphi(e(n))$ 간의 결합엔트로피를 최대화하는 방법을 잡음제거 적응필터에 적용할 수 있다.

[0077] 독립성분분석 과정의 자코비안은 다음과 같이 표현된다.

수학식 14

$$J = \frac{\partial y_1}{\partial d} \frac{\partial y_2}{\partial x} - \frac{\partial y_1}{\partial x} \frac{\partial y_2}{\partial d} = \frac{\partial y_1}{\partial e} \frac{\partial y_2}{\partial x}$$

[0079] 이에 따른 적응필터 계수의 학습 식은 다음과 같다.

수학식 15

$$\Delta w_k(n) = \frac{\partial \log |\mathbf{J}|}{\partial w_k(n)} = \frac{\partial \log |\mathbf{J}|}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial w_k(n)} = \varphi(e(n))r(n-k), 0 \leq k \leq M-1$$

$$\varphi(e) = -\frac{\partial \log(f_e(e))}{\partial e}$$

[0081] 위 과정에서 점수함수(score function) φ 의 유무가 최소평균제곱 알고리즘과의 가장 큰 차이이다. 상기 점수함수는 에러신호의 분포의 로그함수를 미분한 형태이며, 에러신호 $e(n)$ 에 대한 분포를 수학식 16와 같이 m 과 스케일 파라미터 b 를 갖는 라플라시안 분포로 가정하면 점수함수는 수학식 17과 같다.

수학식 16

$$f_e(e|m, b) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|e-m|}{b}\right), b \geq 0$$

수학식 17

$$\varphi(e) = -\frac{\partial \log(f_e(e))}{\partial e} = \text{sign}(e)$$

그리고 점수함수 수학식 17에 의한 독립성분분석 적응필터 학습식은 다음과 같다.

수학식 18

$$\Delta w_k(n) = \text{sign}(e(n))r(n-k), 0 \leq k \leq M-1$$

상기 수학식 18에 따르면, 상기 독립성분분석 적응필터의 학습량은 최소평균제곱법의 경우와 달리 에러신호 $e(n)$ 의 직접적인 크기가 아닌 $e(n)$ 의 부호와 기준신호 $r(n)$ 의 크기에 의해 학습량이 결정된다. 따라서 에러신호가 급격히 커지는 경우에도 학습량이 심하게 커지지 않는다. 그러므로 충격잡음에 의해 잔여잡음 $r(n)-y(n)$ 또는 목적신호 $s(n)$ 이 커지더라도 최소평균제곱법의 경우보다 학습량이 안정적으로 유지된다.

그리고 음성(speech) 신호의 경우에는 성검특성(sparse)을 가지므로 통화채널의 반향제거기 등에 라플라시안 분포를 가정한 점수함수를 갖는 독립성분분석(ICA)이 적합하다.

<일반감마분포 점수함수 독립성분분석 적응필터에 의한 성능향상>

헤드폰의 경우 목적신호는 주로 음악에 해당한다. 음악은 분포특성이 계속 변하며 종류에 따라 다양하기 때문에 특정 분포로 규정하기 어려운 면이 있다. 에러신호의 분포를 실시간으로 추정하면 에러신호의 분포를 따르는 유연한 점수함수를 갖는 독립성분분석(flexible ICA)을 적용할 수 있어 더 정밀한 적응필터 학습이 가능하다. 여기서, 신호의 분포 모델링 방법으로는 일반정규분포(generalized gamma distribution), 일반람다분포(generalized lambda distribution) 등 여러 가지가 있다. 일반정규분포(generalized Gaussian distribution)를 이용해 슈퍼가우시안(super Gaussian) 및 서브가우시안(sub Gaussian) 분포를 반영할 수 있는 음성신호 분리방법(speech separation)이 제안되어 있다. 또한 일반감마분포(generalized Gamma distribution)에 의한 음성신호 모델링(speech modeling) 방법 및 분리 알고리즘이 제안되어 있다. 일반감마분포는 파라미터 값에 의해 일반가우시안분포, 라플라시안분포 등 여러 형태의 분포를 나타낼 수 있으므로 신호의 다양한 분포 특성을 반영하기에 용이하다. 그러므로 본 발명에서는 다양한 크기와 분포를 갖는 여러 종류의 음악신호들의 분포 특성을 표현하기에 적합한 일반감마분포모델을 이용한다.

그리고 에러신호의 크기 변화 특성을 반영하기 위해, 추정을 통해 얻은 일반감마분포 식의 파라미터 값들을 에러신호 $e(n)$ 에 대한 잡음제거 적응필터 식에 적용하면, 점수함수(score function)는 다음과 같이 유도된다.

수학식 19

$$\varphi(e|\hat{\eta}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}) = -\frac{\partial \log(f_e(e))}{\partial e} = \frac{\text{sign}(e)}{|e|}(\hat{\gamma}\hat{\beta}|e|^{\hat{\gamma}} - \hat{\eta}\hat{\gamma} + 1)$$

[0092] 추정된 파라미터들을 실시간 적응필터에 적용하기 위해 일반감마분포 파라미터에 대해 잡음제거 적응필터의 목적함수를 최소화하는 방향으로 파라미터 $\hat{\eta}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$ 를 학습하며, 그 학습은 수학식 20에 따른다.

수학식 20

$$\begin{aligned}\tilde{\eta}(n) &= \hat{\eta}(n) + \mu_{\eta} \Delta_{\eta} L(e|\hat{\eta}(n), \hat{\beta}(n), \hat{\gamma}(n)) \\ &= \hat{\eta}(n) + \mu_{\eta} (\log \hat{\beta}(n) + \hat{\gamma}(n) \log |e(n) + \varepsilon| - \psi(e(n)))\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{\beta}(n) &= \hat{\beta}(n) + \mu_{\beta} \Delta_{\beta} L(e|\hat{\eta}(n), \hat{\beta}(n), \hat{\gamma}(n)) \\ &= \hat{\beta}(n) + \mu_{\beta} \left(\frac{\hat{\eta}(n)}{\hat{\beta}(n) + \varepsilon} - |e(n)|^{\hat{\gamma}(n)} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{\gamma}(n) &= \hat{\gamma}(n) + \mu_{\gamma} \Delta_{\gamma} L(x|\hat{\eta}(n), \hat{\beta}(n), \hat{\gamma}(n)) \\ &= \hat{\gamma}(n) + \mu_{\gamma} \left(\frac{1}{\hat{\gamma}(n) + \varepsilon} + \hat{\eta}(n) \log |x(n)| - \hat{\beta}(n) |x(n)|^{\hat{\gamma}(n)} \log |x(n)| \right)\end{aligned}$$

[0093]

[0094] 최종적으로 매 샘플입력에 따른 점수함수는 다음과 같다.

수학식 21

$$\varphi(e|\tilde{\eta}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma}) = -\frac{\partial \log(f_e(e))}{\partial e} = \frac{\text{sign}(e)}{|e + \varepsilon|} (\tilde{\gamma} \tilde{\beta} |e|^{\tilde{\gamma}} - \tilde{\eta} \tilde{\gamma} + 1)$$

[0095]

[0096] 상기 $\mu_{\gamma}, \mu_{\eta}, \mu_{\beta}$ 는 각 파라미터에 대한 스텝크기이며 s는 크기가 작은 양의 실수이다.

$$\varphi(e|\tilde{\eta}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma}) = \text{sign}(x) \left(\tilde{\gamma} \tilde{\beta} |e|^{\tilde{\gamma}-1} - \frac{\tilde{\eta} \tilde{\gamma} - 1}{|e + \varepsilon|} \right)$$

[0097]

상기 점수함수는, 와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 라

$$\tilde{\gamma} \tilde{\beta} |e|^{\tilde{\gamma}-1} - \frac{\tilde{\eta} \tilde{\gamma} - 1}{|e + \varepsilon|}$$

플라시안 분포의 점수함수에 해당하는 $\text{sign}(e)$ 에 항이 곱해져 있는 형태이다.

여기서, $\tilde{\eta}, \tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포값의 높이를 결정하는 파라미터이다. 라플라시안 분포 기반의 점수함수가 $\{-1, 0, 1\}$ 의 값을 갖는데 비해 일반감마분포에 의한 점수함수는 에러신호의 크기 및 파라미터들에 의해 더 다양한 범위의 값을 가질 수 있음을 알 수 있다. $\tilde{\eta} = 1, \tilde{\gamma} = 1, \tilde{\beta} = 1$ 일 경우 라플라시안 분포에 해당하고, $\tilde{\eta} = 0.5, \tilde{\gamma} = 2$ 일 경우는 가우시안 분포에 해당한다.

[0098] 따라서 일반감마분포에 의한 점수함수는 다양한 신호의 분포에 대응함을 알 수 있다. 단, 에러신호 $|e|$ 가 0이 될 경우 $\varphi(e|\tilde{\eta}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma})$ 는 매우 큰 값을 갖게 되어 학습이 불안정해지므로 적절한 양의 실수 s를 추가한

다.

[0099] 실제 헤드폰 사용시, 음악이 재생되지 않는 무음 구간이나 음악신호가 너무 커서 연속적으로 클리핑(clipping)이 발생하는 경우가 있다. 이럴 경우 특정레벨의 신호 값이 계속 누적되면 망각률의 제어를 벗어나 $\tilde{\beta}$ 값이 매우 커지게 되어 $\varphi(e|\tilde{\eta}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma})$ 의 값이 지나치게 증가하므로 실제 구현 시에는 $\tilde{\beta}$ 값을 적절히 제한해야 한다. 본 발명에서는 $\tilde{\beta}$ 에 대해 다음과 같은 수학적식 22과 같은 방법을 적용한다.

수학적식 22

$$\tilde{\beta}_{\text{limited}} = C_{\beta} \tanh\left(\frac{1}{C_{\beta}} \tilde{\beta}\right)$$

$$\tilde{\eta}_{\text{limited}} = C_{\eta} \tanh\left(\frac{1}{C_{\eta}} \tilde{\eta}\right)$$

[0100]

[0101] 상기 C_{η} , C_{β} 에 의해 $\tilde{\beta}$ 와 $\tilde{\eta}$ 의 크기는 제한되며 본 발명에서는 $C_{\eta}=1.5$, $C_{\beta}=1$ 을 사용했다. 따라서, $0 < \tilde{\beta} \leq 1$ 과 $0 < \tilde{\eta} \leq 1.5$ 의 범위를 갖는다.

[0102] 상기 C_{η} , C_{β} 의 값은 입력신호의 허용범위와 요구되는 학습 속도를 고려하여 적절히 결정한다. n번째 샘플입력에 대한 적응필터에 의한 능동잡음제거 헤드폰을 위한 최종적인 유연점수함수는 다음과 같다.

수학적식 23

$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n), \tilde{\beta}(n), \tilde{\gamma}(n)) = \frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n) + \varepsilon|} \left(\tilde{\gamma}(n) \tilde{\beta}(n) |e(n)|^{\tilde{\gamma}} - \tilde{\eta}(n) \tilde{\gamma}(n) + 1 \right)$$

[0103]

[0104] 필터의 업데이트 변화를 살펴보면 NLMS의 경우 점수함수가 곧 에러신호 $e(n)$ 이므로 선형적이고 크기가 제한되어 있지 않다. 따라서 에러신호의 크기에 직접적인 영향을 받아 업데이트 량의 변화가 매우 크며 상대적으로 학습이 불안정해 질 가능성이 크다.

[0105] 반면, 점수함수 $\text{sign}(e(n))$ 의 경우에는 도 5의 (a)와 같이 부호에 의해 크기가 제한된 범위 내에서 기준신호 $r(n)$ 의 곱에 의해 업데이트 량이 결정되므로 학습이 더 안정적으로 이루어진다.

[0106] 그리고 도 6의 (a)를 참조하면, NLMS의 업데이트량이 ICA와 fICA대비 대략 100배 가량 큰 범위를 갖는다.

[0107] 만일 목적신호가 성검특성(sparse)을 갖는 음성신호(speech)라면 라플라시안 분포에 의한 점수함수가 적합하다. 그러나 목적신호가 음악에 해당하는 경우에는 신호의 특성을 대표하는 확률밀도함수를 정하기 어려우므로 도 5의 (b)와 같이 신호의 통계적 특성을 매 샘플마다 반영하는 유연한 점수함수(flexible score function)가 더 적합하다. 도 6의 (c)를 참조하면, 적응필터 학습과정에서 유연점수함수에 의한 업데이트 량($\Delta \mathbf{w}$)이 더 균일분포에 가까운 형태를 갖는다. 따라서, 더 업데이트시 정보량이 많다고 할 수 있다.

[0108] <바람에 의한 기준신호 왜곡 문제 및 해결 방법>

[0109] 상술한 바와 같이 도 7과 같이 바람이 있는 환경에서는 기준신호 왜곡을 억제하기 위해서는 피드백 필터링 과정이 추가되어야 한다. 본 발명에서는 에러신호의 일만감마분포 추정에 의한 점수함수를 갖는 독립성분분석 적응필터를 피드백 필터링 과정에 동일하게 적용한다. 학습식은 수학적식 24과 같다.

수학식 24

$$\Delta \mathbf{w}_{ff}(n) \propto \mu_{ff} \varphi(e) \tilde{\mathbf{r}}(n)$$

$$\Delta \mathbf{w}_{fb}(n) \propto \mu_{fb} \varphi(e) \hat{\mathbf{r}}(n), \quad \hat{\mathbf{r}}(n) = \mathbf{e}(n) - \mathbf{s}(n) + \mathbf{y}(n)$$

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) + \mathbf{s}(n) - \mathbf{y}(n)$$

$$\mathbf{y}(n) = \mathbf{w}_{ff}(n)^T \tilde{\mathbf{r}}(n) + \mathbf{w}_{fb}(n)^T \hat{\mathbf{r}}(n)$$

[0110]

[0111]

일반적으로 헤드폰의 좌우 마이크간의 거리는 약 20센티미터 정도 이상이다. 바람은 소리가 아닌 와류(turbulence)이기 때문에 헤드폰 좌/우 양쪽의 바람의 흐름은 서로 다르다. 따라서 서로 상관도가 매우 낮다. 반면 외부의 주변 잡음은 상대적으로 상관도가 높다. 그러므로 헤드폰 양쪽의 외부 마이크로 들어오는 좌/우 신호의 상관도를 계산하여 바람의 유무를 판단할 수 있다. 바람이 감지되었을 경우 피드백 적응필터를 추가하여 잡음을 제거한다. 상관도가 특정 수준 이하로 측정될 경우 바람이 있는 구간으로 판단하고, 피드백 적응필터가 동작하여 바람에 의한 기준신호 왜곡을 보상한다. 단, 피드백 적응필터는 에러 출력으로부터 기준신호를 생성하기 때문에 유입잡음과 상쇄신호의 지연에 더 민감하므로 고주파 성분에 대해서는 피드포워드 적응필터 잡음제거 수준의 성능을 보이지는 못한다. 바람이 감지된 경우 피드백 잡음제거를 작동시키거나, 바람이 아주 심한 경우 피드백 적응필터의 기여도를 높여 바람의 영향을 줄이는 쪽에 더 우선순위를 둔다. 바람을 감지하는 식은 다음과 같다.

수학식 25

$$\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} = \frac{\sum_n \tilde{r}_L(n) \tilde{r}_R(n)}{\sqrt{\sum_n \tilde{r}_L(n)^2 \sum_n \tilde{r}_R(n)^2}}$$

(wind detected, if $\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} \ll 1$)

($\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} \ll 0.7$) 일 경우 바람이 존재하는 것으로 판단

[0112]

[0113]

<독립성분 분석 적응필터를 이용한 헤드폰 유입잡음 제거장치>

[0114]

이제 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 헤드폰 유입잡음 제거장치를 구비하는 헤드폰 장치의 구성을 도 9를 참조하여 상세히 설명한다.

[0115]

상기 헤드폰 장치의 기본적인 구조는 헤드폰 컵(134)과 스피커(116)로 구성된다.

[0116]

그리고 헤드폰 유입잡음 제거장치는 헤드폰 하우징의 좌우에 설치된 제1 및 제2외부 마이크(102)와 제1ADC(104)와 제1적응필터(108)와 제1비선형 함수 처리부(106)와 제1감산기(110)와 가산기(112)와 DAC(114)와 내부 마이크(120)와 제2ADC(122)와 일반 감마 분포 추정부(124)와 제2감산기(126)와 제2비선형 함수 처리부(128)와 제2적응필터(130)와 제3비선형 함수 처리부(132)와 바람감지부(134)로 구성된다.

[0117]

상기한 헤드폰 유입잡음 제거장치의 각부에 대한 동작을 설명한다.

[0118]

외부로부터 유입되는 잡음은 일반적인 외부잡음 $r(t)$ 와 바람에 의한 잡음 $v(t)$ 로 구성되며, 그 두 잡음은 헤드폰의 외부공간에서 혼합(100)된다.

- [0119] 상기 혼합된 잡음은 제1 및 제2외부 마이크(102)에 입력된다. 상기 제1 및 제2외부 마이크(102)의 헤드폰 하우징의 좌우측에 위치하여 외부 잡음에 따른 잡음신호를 생성한다.
- [0120] 상기 제1 및 제2외부 마이크(102)로부터의 잡음신호는 제1ADC(104) 및 바람감지부(134)로 입력된다.
- [0121] 상기 제1ADC(104)는 아날로그의 잡음신호를 디지털의 잡음신호 $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 로 변환하여 출력한다. 상기 잡음신호 $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 는 제1적응 필터(108) 및 제1비선형 함수 처리부(106)로 입력된다.
- [0122] 상기 제1적응 필터(108)는 독립성분분석을 이용한 피드포워드 잡음제거 적응필터이며, 잡음신호 $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 를 기준으로 하여 적응필터 계수 $w_{ff}(n)$ 를 컨볼루션하여 제1상쇄신호 $y_{ff}(n)$ 을 획득한다.
- [0123] 여기서, 바람에 의한 잡음이 없을 때에는 상기 제1상쇄신호 $y_{ff}(n)$ 를 최종상쇄신호 $y(n)$ 로서 제1감산기(110)에 제공하여 목적신호 $s(n)$ 에서 최종상쇄신호 $y(n)$ 를 감산하여 잡음제거된 신호를 획득할 수 있게 한다.
- [0124] 그리고 상기 제1적응 필터(108)의 적응필터 계수 $w_{ff}(n)$ 는 독립성분 분석에 의해 이루어진 것으로, 수학식 26에 따라 산출된다.

수학식 26

[0125]
$$\Delta \mathbf{w}_{ff}(n) \propto \mu_{ff} \varphi(e) \tilde{\mathbf{r}}(n)$$

- [0126] 상기 수학식 26에서, μ_{ff} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 는 잡음신호이다.

- [0127] 그리고 상기 점수함수 $\varphi(e)$ 는 수학식 27에 따라 산출된다.

수학식 27

[0128]
$$\varphi(e(n)|\tilde{\eta}(n), \tilde{\beta}(n), \tilde{\gamma}(n)) = \frac{\text{sign}(e(n))}{|e(n) + \varepsilon|} \left(\tilde{\gamma}(n) \tilde{\beta}(n) |e(n)|^{\tilde{\gamma}} - \tilde{\eta}(n) \tilde{\gamma}(n) + 1 \right)$$

- [0129] 상기 수학식 27에서 $\tilde{\eta}$, $\tilde{\gamma}$ 는 분포의 모양을 결정하는 파라미터이고, $\tilde{\beta}$ 는 분포값의 높이를 결정하는 파라미터이다. 그리고 상기 ε 는 값을 안정화하기 위한 임의의 수이고, $e(n)$ 은 에러 마이크에 의해 획득된 에러신호이다.

- [0130] 상기 제1비선형 함수 처리부(106)는 잡음신호 $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 을 입력받아 그 입력되는 신호의 누적분포함수를 모사하며, 이 과정에서 입력된 신호에 포함된 목적신호와 잡음신호 $\tilde{\mathbf{r}}(n)$ 각각의 독립성이 최대화되어 분리되어 출력된다. 여기서 독립성이 최대화되어 분리된 잡음신호의 누적분포함수는 제1적응필터(108)의 입력으로 제공되어 독립성이 최대화된 잡음신호에 대한 적응필터의 동작을 가능하게 할 수 있다.

- [0131] 상기 바람감지부(134)는 제1 및 제2외부 마이크(102) 각각으로부터 입력되는 잡음의 상관도가 미리 정해진 한계치 이상이면 바람이 있는 것으로 판단한다. 여기서, 상기 제1 및 제2외부 마이크(102) 각각으로부터 입력되는 잡음 사이의 상관도 산출식은 수학식 28과 같다.

수학식 28

$$\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} = \frac{\sum_n \tilde{r}_L(n) \tilde{r}_R(n)}{\sqrt{\sum_n \tilde{r}_L(n)^2 \sum_n \tilde{r}_R(n)^2}}$$

(wind detected, if $\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} \ll 1$)

($\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R} \ll 0.7$) 일 경우 바람이 존재하는 것으로 판단

상기 수학식 28에서 $\Gamma_{\tilde{r}_L \tilde{r}_R}$ 는 제1 및 제2외부 마이크(102) 각각으로부터 입력되는 잡음 사이의 상관도이고, $\tilde{r}_L(n)$ 는 제1외부 마이크로로부터의 잡음신호이고, $\tilde{r}_R(n)$ 는 제2외부 마이크로로부터의 잡음신호이다.

또한 상기 바람감지부(134)는 바람이 있는 것으로 판단될 때에는 제2적응 필터(130)에 구동신호를 제공한다.

상기 제2적응 필터(130)는 독립성분분석을 이용한 피드백 잡음제거 적응필터이며, 에러신호 $e(n-1)$ 에서 목적신호 $s(n-1)$ 을 빼고 이전 최종상쇄신호 $y(n-1)$ 를 더한 신호를 기준신호로 하여 적응필터 계수 $w_{fb}(n)$ 를 컨볼루션하여 제2상쇄신호 $y_{fb}(n)$ 을 획득한다.

상기 제2상쇄신호 $y_{fb}(n)$ 는 가산기(112)에 의해 제1상쇄신호 $y_{ff}(n)$ 와 가산되어 최종상쇄신호 $y(n)$ 를 형성한다.

그리고 상기 제2적응 필터(130)의 적응필터 계수 $w_{fb}(n)$ 는 독립성분 분석에 의해 이루어진 것으로, 수학식 29에 따른다.

수학식 29

$$\Delta \mathbf{w}_{fb}(n) \propto \mu_{fb} \varphi(e) \hat{\mathbf{r}}(n), \quad \hat{\mathbf{r}}(n) = e(n) - s(n) + y(n)$$

$$e(n) = d(n) + s(n) - y(n)$$

상기 수학식 29에서 μ_{fb} 는 학습량을 조절하는 스텝 파라미터이고, $\varphi(e)$ 는 점수함수이고, $e(n)$ 은 에러신호이고, $s(n)$ 은 목적신호이고, $y(n)$ 은 최종상쇄신호이고, $d(n)$ 은 추정을 통해 제거해야 할 잡음신호이다. 그리고 상기 점수 함수 $\varphi(e)$ 는 수학식 27에 따른다.

상기 제1감산기(110)는 목적신호 $s(n)$ 에서 최종상쇄신호 $y(n)$ 를 감산하여 출력신호를 생성하고, 그 출력신호를 DAC(114)에 제공한다.

상기 DAC(114)는 상기 출력신호를 아날로그 출력신호로 변환하여 스피커(116)를 통해 출력한다.

상기 스피커(116)가 출력하는 음향과 헤드폰 컵(134)을 통해 전달되는 외부잡음은 헤드폰 컵 내부에서 혼합(118)된다. 상기 혼합된 신호를 에러신호 $e(t)$ 라 한다. 여기서, 상기 에러신호 $e(t)$ 가 목적신호 $s(n)$ 에 가까

울수록 잡음제거가 잘 이루어진 것이다.

- [0143] 상기 에러신호 $e(t)$ 는 내부 마이크(120)에 의해 전기신호로 변환된다.
- [0144] 상기 내부 마이크(120)는 상기 에러신호 $e(t)$ 를 제2ADC(122)로 제공한다.
- [0145] 상기 제2ADC(122)는 상기 에러신호 $e(t)$ 를 디지털 에러신호 $e(n)$ 로 변환하여 일반감마 분포 추정부(124) 및 제2감산기(126)로 제공한다.
- [0146] 상기 일반감마 분포 추정부(124)는 에러 신호의 분포 특성을 추정하여 제2비선형 함수 처리부(128)에 제공한다.
- [0147] 이러한 상기 일반감마 분포 추정부(124)는 에러신호의 분포를 실시간으로 추정하여 에러신호의 분포를 따르는 유연한 점수함수를 갖는 독립성분분석을 적용할 수 있게 하여 더 정밀한 적응필터 학습을 가능하게 한다.
- [0148] 상기 제2비선형 함수 처리부(128)는 상기 에러 신호 $e(n)$ 의 분포 특성을 추정한 값을 제공받아 비선형 함수 처리하여 출력한다.
- [0149] 좀 더 설명하면, 상기 제2비선형 함수 처리부(128)는 입력되는 신호의 누적분포함수를 모사하며, 이 과정에서 입력된 신호를 이상적으로 남겨지는 에러신호와 잡음 성분인 기준신호에 대한 누적분포함수를 출력하며, 이중 에러신호의 누적분포함수만을 점수함수의 결정시에 사용하도록 제1 및 제2적응필터(108, 130)에 제공한다.
- [0150] 그리고 상기 누적분포함수의 추정시에는 일반감마분포추정부(124)에 의한 일반감마분포추정이 사용된다. 상기 일반감마분포 추정은 셰이프 파라미터인 알파, 감마와 스케일 파라미터인 베타의 세가지 파라미터로 정의된다. 따라서 일반감마분포추정은 이들 파라미터를 찾는 과정이며 추정된 확률분포특성에 의한 누적분포함수를 통해 점수함수가 결정되므로, 매 샘플마다 알파, 베타, 감마 파라미터가 변화하므로 유연한 점수함수가 될 수 있게 한다. 이와같이 입력신호인 에러신호의 확률분포가 더 정확히 추정될수록 더 정확한 점수함수가 가능하므로 실시간으로 신호의 분포특성이 반영되는 유연 점수 함수의 경우가 고정 점수 함수의 경우보다 분리성능이 더 우수하다.
- [0151] 상기 제2비선형 함수 처리부(128)의 출력은 필터계수의 학습을 위해 제1 및 제2적응필터(108, 130)에 제공된다.
- [0152] 상기 제3비선형 함수처리부(132)는 상기 제2감산기(126)의 출력인 피드백 잡음신호를 입력받아, 입력되는 신호의 누적분포함수를 모사하며, 이 과정에서 입력된 신호에 포함된 피드백 잡음신호와 그 외의 신호 각각의 독립성이 최대화되어 분리되어 출력된다. 여기서 독립성이 최대화되어 분리된 피드백 잡음신호의 누적분포함수는 제2적응필터(130)의 입력으로 제공되어 독립성이 최대화된 피드백 잡음신호에 대한 적응필터의 동작을 이행할 수 있게 한다.
- [0153] 상기한 본 발명의 바람직한 실시예에서는 잡음제거를 위해 피드포워드 적응필터를 사용하다가 바람이 감지될 때에만 피드백 적응필터를 함께 사용하는 것만을 예시하였으나, 두 적응필터를 함께 사용하면서 출력비율을 바람 감지여부에 따라 변경할 수도 있다.

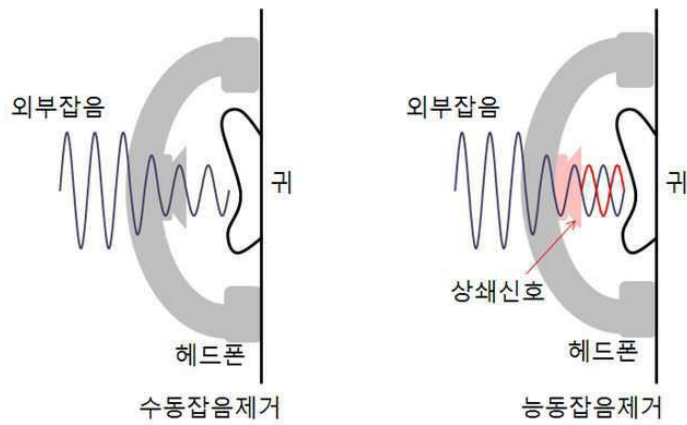
부호의 설명

- [0154] 102 : 제1 및 제2외부 마이크
- 104 : 제1ADC
- 106 : 제1비선형 함수 처리부
- 108 : 제1적응필터
- 110 : 제1감산기
- 112 : 가산기

- 114 : DAC
- 120 : 내부 마이크
- 122 : 제2ADC
- 124 : 일반 감마 분포 추정부
- 126 : 제2감산기
- 128 : 제2비선형 함수 처리부
- 130 : 제2적응필터
- 132 : 제3비선형 함수 처리부
- 134 : 바람감지부

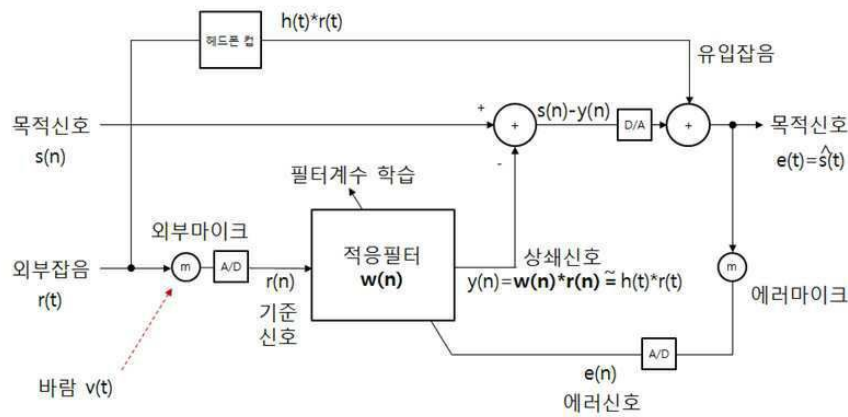
도면

도면1

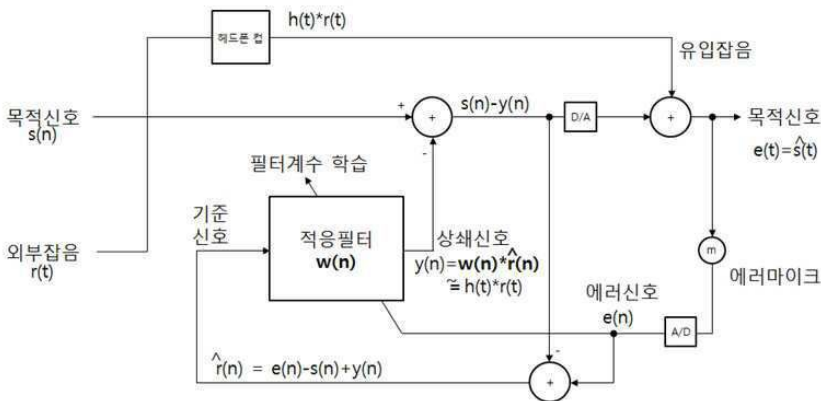


도면2

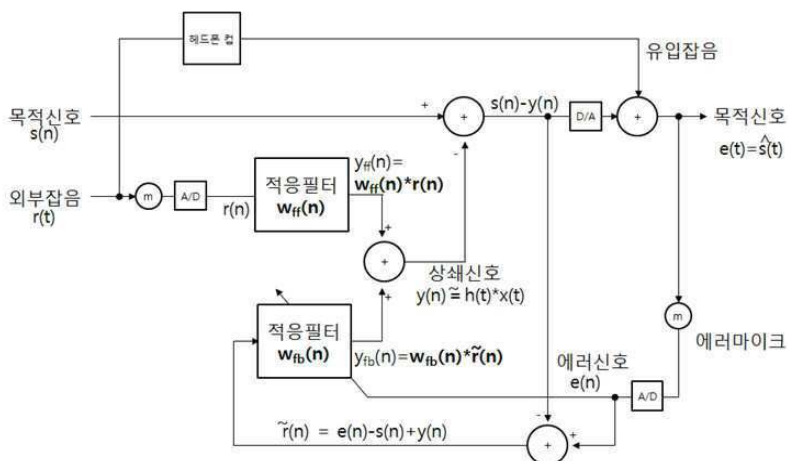
(a)



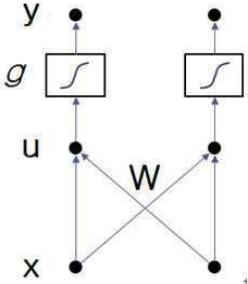
(b)



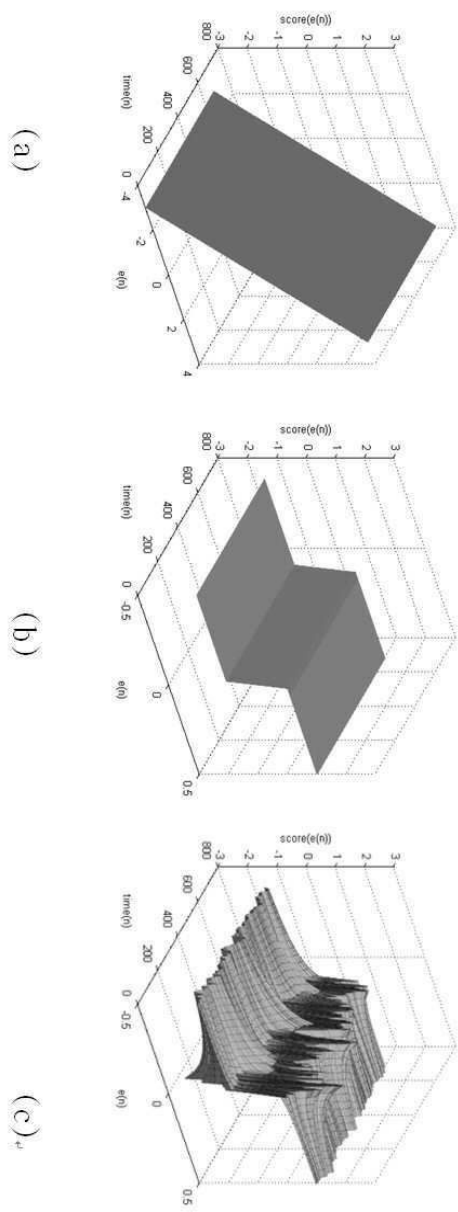
도면3



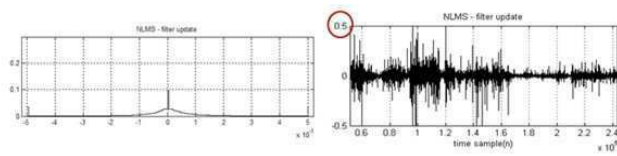
도면4



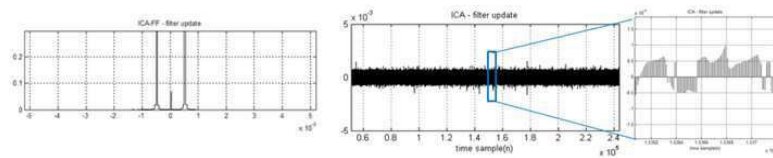
도면5



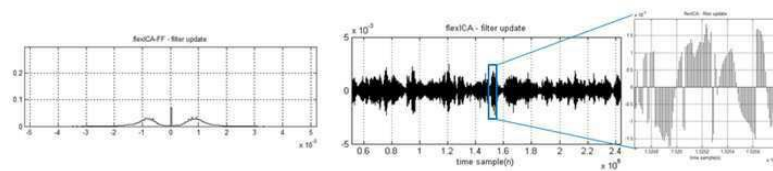
도면6



(a) NLMS의 필터 업데이트

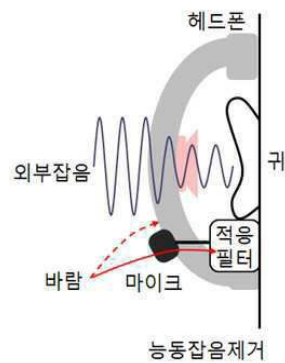


(b) ICA의 필터 업데이트

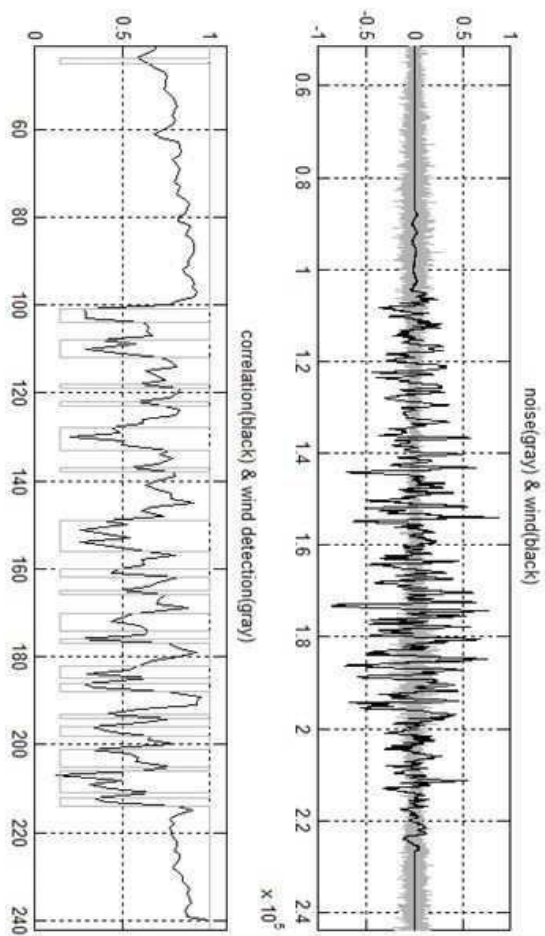


(c) fICA의 필터 업데이트 업데이트량 분포(좌) 및 시간에 따른 변화(우)

도면7



도면8



도면9

