



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0110079
(43) 공개일자 2022년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 29/08 (2006.01) G01R 19/25 (2006.01)
G01R 19/252 (2006.01) G01R 23/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 29/0871 (2013.01)
G01R 19/2506 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0003466
(22) 출원일자 2022년01월10일
심사청구일자 2022년01월10일
(30) 우선권주장
1020210013501 2021년01월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
윤지원
서울특별시 용산구 한강대로43길 8, 102동 1401
호
정지혁
서울특별시 광진구 능동로44길 31, 4층
전영배
경기도 성남시 수정구 위례순환로 211, 5405동
902호
(74) 대리인
김등용

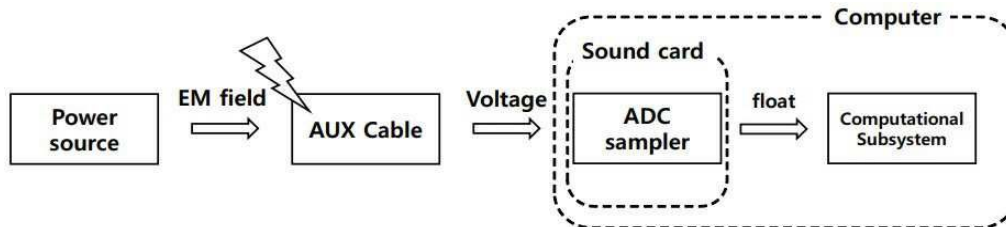
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 전력망 신호(ENF)의 추출 장치 및 방법

(57) 요약

ENF(Electric Network Frequency) 추출 장치 및 방법이 개시된다. 상기 ENF 추출 장치는 인접한 AC 전력 공급원에 의해 발생하는 전자기파(electromagnetic wave)를 수신하는 도전체, 상기 도전체의 출력 신호를 샘플링하는 샘플링 장치, 및 상기 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF(Electric Network Frequency)를 추출하는 프로세서를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01R 19/2513 (2013.01)

G01R 19/252 (2013.01)

G01R 23/16 (2021.05)

G01R 29/0892 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126336
과제번호	2020-0-00913-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보보호핵심원천기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	무선 은닉채널 위험성 검증 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

인접한 AC 전력 공급원에 의해 발생하는 전자기파(electromagnetic wave)를 수신하는 도전체;

상기 도전체의 출력 신호를 샘플링하는 샘플링 장치; 및

상기 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF(Electric Network Frequency)를 추출하는 프로세서를 포함하는 ENF 추출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 도전체는 전선(electric wire), 구리선(cooper wire), 일 단이 절단된 Aux 케이블, 또는 일 단이 절단된 이어폰인, ENF 추출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 샘플링 장치는 상기 도전체의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하여 샘플링하는 ADC(Analog to Digital Converter), 오디오 카드(audio card), 또는 사운드 카드(sound card)인, ENF 추출 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 프로세서는, 이산 STFT(discrete Short Time Fourier Transform)를 이용하여 상기 샘플링 장치의 출력 신호를 주파수 도메인으로 변환한 후 QIFFT(Quadratically Interpolated FFT)를 적용하여 ENF를 추출하는, ENF 추출 장치.

청구항 5

적어도 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 ENF 추출 방법에 있어서,

상기 컴퓨팅 장치에 포함되는 도전체(electric conductor)가 인접한 AC 공급원에 의해 발생하는 전자기파를 수신하는 단계;

상기 컴퓨팅 장치에 의해 포함되는 샘플링 장치가 상기 전선의 출력 신호를 샘플링하는 단계; 및

상기 프로세서가 상기 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF를 추출하는 단계를 포함하는 ENF 추출 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 도전체는 전선(electric wire), 구리선(cooper wire), 일 단이 절단된 Aux 케이블, 또는 일 단이 절단된 이어폰인, ENF 추출 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 샘플링 장치는 상기 도전체의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하여 샘플링하는 ADC(Analog to Digital Converter), 오디오 카드(audio card), 또는 사운드 카드(sound card)인, ENF 추출 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 ENF를 추출하는 단계는 이산 STFT(discrete Short Time Fourier Transform)를 이용하여 상기 샘플링 장치의 출력 신호를 주파수 도메인으로 변환한 후 QIFFT(Quadratically Interpolated FFT)를 적용하여 ENF를 추출하는, ENF 추출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력망 신호(Electric Network Frequency, ENF) 추출 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] ENF(Electric Network Frequency)는 전력 그리드(power grid)의 PDN(Power Distribution Networks)의 주파수를 의미한다. 다시 말해, ENF는 국가에서 공급하는 전력 또는 전압의 주파수를 의미한다고 볼 수 있다. 이러한 ENF를 통해 전력의 안정성을 알 수 있으며, 이외에도 위치 정보를 알아낼 수 있다.

[0003] 전력공급의 안정성이나 위치 정보를 추정하기 위해서는 특정 지역의 ENF를 계속하여 측정하여야 한다. 이때, FDR(Frequency Disturbance Recorder)이라는 장치가 사용된다. 하지만, 개인이나 연구실에서 FDR을 구입하여 사용하기에는 그 가격이 너무 비싸다는 문제점이 있다. 따라서, 본 발명에서는 FDR을 사용하지 않고, 간단하지만 효율적으로 ENF를 추출할 수 있는 방법을 제안한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본원 발명이 해결하고자 하는 과제는 FDR을 사용하지 않고, 간단하게 ENF를 추출할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시예에 의한 ENF 추출 장치는 인접한 AC 전력 공급원에 의해 발생하는 전자기파(electromagnetic wave)를 수신하는 도전체, 상기 도전체의 출력 신호를 샘플링하는 샘플링 장치, 및 상기 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF(Electric Network Frequency)를 추출하는 프로세서를 포함한다.

[0006] 본 발명의 일 실시예에 의한 ENF 추출 방법은 적어도 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되고, 상기 컴퓨팅 장치에 포함되는 도전체(electric conductor)가 인접한 AC 공급원에 의해 발생하는 전자기파를 수신하는 단계, 상기 컴퓨팅 장치에 의해 포함되는 샘플링 장치가 상기 전선의 출력 신호를 샘플링하는 단계, 및 상기 프로세서가 상기 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF를 추출하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 본 발명의 일 실시예들에 따른 ENF 추출 방법 및 장치에 의할 경우, FDR을 사용하지 않고 간단하고 저비용으로 ENF를 추출할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 ENF 추출 장치의 부분 회로도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 ENF 추출 장치의 기능 블록도이다.

도 3은 도 2에 도시된 ENF 추출 장치의 사운드 카드에서 측정된 신호를 나타내는 그래프이다.

도 4는 도 2에 도시된 ENF 추출 장치의 Aux 케이블에서 측정된 신호의 스펙트럼을 보여주는 도면이다.

도 5는 도 4에서 측정된 스펙트럼에서 추출한 ENF 신호를 보여주는 도면이다.

도 6은 FDR에서 추출한 ENF 신호 및 일 실시예에 따라 추출된 ENF 신호를 보여준다.

도 7은 비디오에서 시계열로 연결된 빛의 행 신호를 보여준다.

도 8a는 Aux 케이블에서 추출된 ENF 신호를 보여주고, 도 8b는 비디오에서 추출된 ENF 신호를 보여준다.

도 9a는 모든 시점에서 얻은 NCC 값을 보여주고, 도 9b는 피크 포인트에서 그라운 트루(ground truth)를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.
- [0010] 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0011] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.
- [0012] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0013] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0014] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0015] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0016] 전력 그리드 (power grid)에서, 태양 에너지 (solar energy), 석탄 에너지 (coal energy), 및 핵에너지 (nuclear neergy)는 터빈을 회전시키는 운동 에너지로 변환된다. 터빈의 회전 속도는 AC 전력 (alternating current power)의 주파수를 결정한다. ENF (Electric Network Frequency)는 전력 그리드에 의해 공급되는 AC 전력의 주파수를 의미한다. 전 세계적으로 전력 그리드는 50 또는 60Hz의 AC 주파수를 사용한다. AC 전압 V 는 아래 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.
- [0017] [수학적 식 1]
- [0018]
$$V = A \cos(2\pi f_e t + \phi)$$
- [0019] 수학적 식 1에서, A 는 파워 소스 (power source)의 크기 (amplitude)이고, ϕ 는 위상 오프셋 (phase offset)이고, f_e 는 ENF이다. 안정적인 전력 수송을 유지하기 위해 f_e 가 일정하여야 하지만, 전력 그리드의 제어 유닛이 전기

에너지에 대한 수요와 공급의 균형을 유지하는 동안 f_0 에 약간의 변동 (fluctuation)이 발생한다. 변화하는 주파수의 범위는 기본 주파수 (base frequency, $60 \pm 0.019\text{Hz}$ in case of the power grids of South Korea)에 비해 매우 작다. ENF는 미국 (United States) 내의 전력 그리드의 안정성을 평가하는 기준이 된다. 따라서, 모든 전력 그리드의 ENF 값을 수집하기 위한 많은 노력이 필요하다.

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 ENF 추출 장치의 부분 회로도이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, ENF 추출 장치는 ENF 추출 장치가 위치한 장소에 인접한 AC 전력 라인 (AC power line)으로부터 발생하는 전자기파 (electromagnetic wave) 또는 전자기장 (electromagnetic field)을 측정하는(또는 수신하는) 도전체 (electric conductor)를 포함할 수 있다. 맥스웰 방정식 (Maxwell's equation)에 따르면, 전류의 변화는 주위의 전자기장을 생성한다. 따라서, AC 전력은 전자기장을 생성하고, 생성된 전자기장 또는 전자기파를 측정함으로써 ENF가 추출될 수 있다.
- [0022] 도전체는 전자기파 또는 전자기장을 수신(또는 측정)하는 안테나의 역할을 수행한다. 도전체는 전선 (electric wire)이나 구리 선 (copper wire) 등과 같은 금속 와이어를 포함할 수 있다. 실시예에 따라, 도전체는 일 단이 절단된(또는 개방된) Aux 케이블 또는 이어폰으로 구현될 수도 있다. 전자파를 수신하는 안테나의 역할을 수행하기 위해서, Aux 케이블이나 이어폰을 개방 회로로 만들 필요가 있다.
- [0023] 도 1에서, 안테나는 일 단이 개방된 Aux 케이블(도전체, 전선, 구리선 등으로 구현될 수도 있음)으로써, 수신단과 출력단 사이에 접속된 커패시터 및 커패시터와 출력단 사이에 접속된 접지 단자를 포함하나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다. 본 발명의 안테나는 도전체로 구성되어 있어 주위의 전자기장이나 전자기파를 수신할 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0024] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 ENF 추출 장치의 기능 블록도이다.
- [0025] 도 2를 참조하면, ENF 추출 장치는 Aux 케이블 등으로 구현된 안테나로부터 수신된 아날로그 신호, 즉 전자기파를 샘플링하기 위한 샘플링 장치 (sampling device)를 포함한다.
- [0026] 샘플링 장치는 컴퓨팅 장치에 포함된 오디오 카드 (audio card) 또는 사운드 카드 (sound card)로 구현될 수 있으나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다. 실시예에 따라, 샘플링 장치는 오디오 카드나 사운드 카드가 아닌 일반적인 ADC (Analog to Digital Converter)로 구현될 수도 있다. 결국, ENF 추출 장치는 전자기파를 수신하는 안테나, 안테나의 출력 신호를 샘플링하는 샘플링 장치, 및 샘플링 장치의 출력 신호에 기초하여 ENF를 추출하는 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 적어도 프로세서 및/또는 메모리를 포함하는 컴퓨터, 태블릿 PC, 개인용 컴퓨터, 데스크톱 컴퓨터, 노트북, 서버 등을 의미할 수 있다. 샘플링 장치의 출력 신호는 소정의 입출력 인터페이스를 통하여 메모리에 저장될 수 있고, 프로세서는 메모리에 저장된 또는 샘플링 장치로부터 수신된 출력 신호를 이용하여 ENF를 추출할 수 있다.
- [0027] 샘플링 장치는 안테나의 출력신호(예컨대, 전압 신호)를 소정의 샘플링 주파수를 갖는 디지털 신호로 변환하여 출력할 수 있다. 따라서, 사운드 카드 등으로 구현될 수 있는 샘플링 장치는 Aux 케이블이나 구리 선 등으로 구현될 수 있는 안테나로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 변환 장치를 의미할 수 있다.
- [0028] 이와 같이, 전자기파를 이용한 ENF의 추출 기법은 전자기파를 수신하는 안테나를 AC 소스 근처에만 위치하면 되므로, 복잡한 회로 없이 단순한 구리 선 등을 이용하여 전자기파를 측정하거나 ENF를 추출할 수 있다.
- [0029] 도 3은 도 2에 도시된 ENF 추출 장치의 사운드 카드에서 측정된 신호를 나타내는 그래프이다. 후술되는 방법을 통하여 도 3의 신호로부터 ENF가 추출될 수 있다. ENF의 추출 동작은 ENF 추출 장치에 포함되는 프로세서에 의해 수행될 수 있다.
- [0030] 시간 영역을 주파수 영역으로 (실시간) 변환하고 ENF를 계산하는 FDR (Frequency Disturbance Recorder)의 DSP (Digital Signal Processor)는 간단한 파이썬 코드 (python code)로 대체될 수 있다. 따라서, ENF 추출 장치의 프로세서는 파이썬 코드에 따라 ENF를 추출하는 동작을 수행할 수 있다.
- [0031] 도 4는 도 2에 도시된 ENF 추출 장치의 Aux 케이블에서 측정된 신호의 스펙트럼을 보여주는 도면이고, 도 5는 도 4에서 측정된 스펙트럼에서 추출한 ENF 신호를 보여주는 도면이다.
- [0032] 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 기존에 알려진 방법을 이용하여 ENF 추출 장치의 사운드 카드에서 변환된 신호로부터 ENF를 추출할 수 있다.
- [0033] 우선, 이산 STFT (discrete Short Time Fourier Transform)를 통해 사운드 카드의 출력 신호인 전압 신호가 주

파수 도메인 (frequency domain)으로 변환될 수 있다. 또한, QIFFT (Quadratically Interpolated FFT)를 사용하여 특정 시간에서의 미세한 주파수 값을 결정할 수 있다. STFT는 시간을 프레임으로 나눈 후 DFT (Discrete Fourier Transform)를 통해 시계열 신호를 주파수 영역으로 변환한다. 이산 푸리에 변환 (DFT)은 다음의 수학적 식 2로 표현될 수 있다.

[수학적 식 2]

$$F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} V[n] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$$

수학적 식 2에서, k 는 k 번째 주파수 빈(frequency bin)이다. 이산 STFT는 신호를 프레임들로 분할한 다음 각 프레임을 주파수 도메인으로 변환한다. 따라서 이산 STFT는 다음과 같은 수학적 식 3으로 표현될 수 있다.

[수학적 식 3]

$$F(m, k) = \sum_{n=0}^P V[n - mL] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$$

수학적 식 3에서, L 은 홉 크기 (hop size)이고 P 는 프레임 길이 (frame length)이다. $F(m, k)$ 는 m 번째 프레임의 k 번째 주파수 크기이다. 각 프레임 m (time)에 대해 ENF 주파수 근처에서 최대 크기를 갖는 주파수를 선택하고, 2차 모델을 선택한 주파수 근처의 3개의 데이터 포인트에 맞출 수 있다. 이 방법을 QIFFT (Quadratically Interpolated FFT)라고 한다. 세 점을 통과하는 2차 함수의 정점(peak point)을 찾을 수 있다. 이러한 정점의 x 값이 m 번째 프레임의 ENF 값이다.

상술한 ENF 추출은 ENF 추출 장치의 프로세서에 의해 수행될 수 있다.

이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따라 추출된 ENF 신호와 FDR에서 추출한 ENF를 비교한다. 포렌식에 적용할 수 있는지 테스트하기 위해 빛이 깜박이는 상태에서 비디오를 녹화하고 비디오 녹화 시간을 추정한다.

FDR과 성능비교

NCC (Normalized Correlation Coefficient) 값을 FDR에서 추출한 ENF 신호와 비교하여 본 발명의 일 실시예에 따라 추출된 ENF 신호에서 캡처한 ENF 신호가 정확함을 보인다. 다음 수학적 식 4를 사용하여 두 신호 간의 NCC 값을 평가할 수 있다

[수학적 식 4]

$$\rho(f_p, f_q) = \frac{\sum_{m=0}^M [f_p[m] - u_p][f_q[m] - u_q]}{\sqrt{\sum_{m=0}^M [f_p[m] - u_p]^2 \sum_{m=0}^M [f_q[m] - u_q]^2}}$$

수학적 식 4에서, f_p 와 f_q 는 동일한 길이의 신호이고, M 은 f_p 와 f_q 의 시간 길이 (time length)이다. u_p 과 u_q 는 f_p 와 f_q 의 평균 (mean)이다. FDR을 사용하여 120분 동안 ENF 신호를 추출하고, 동시에 NCC 값을 aux 케이블에서 추출한 ENF 신호와 비교했다. FDR에서 측정된 신호는 0.1 sample/sec의 ENF 신호로 변환되었다. 반면에 본 발명의 일 실시예에 따른 ENF 추출 장치는 초당 1 샘플로 ENF 신호를 추출한다.

도 6은 FDR에서 추출한 ENF 신호 및 일 실시예에 따라 추출된 ENF 신호를 보여준다.

도 6을 참조하면, FDR 및 Aux 케이블로 추출된 신호는 모양이 비슷하지만 시간 분해능 (time resolution)과 주파수 스케일 (frequency scale)이 상이하다. 시간 척도 해상도 (time scale resolution)는 프레임의 크기이다. 두 신호를 비교하기 위해 FDR에서 추출한 ENF 신호를 다운 샘플링한 후 NCC 값을 계산했다. NCC 값은 0.995이며, 이는 Aux 케이블에서 추출된 신호가 FDR에서 추출된 신호와 거의 동일함을 의미한다. 도 6에는, 주파수 영역에서 정규화된, FDR 및 Aux 케이블에서 추출된 신호가 도시되어 있다. 이 실험에서 신호 f 는 다음의 수학적 식 5와 같은 방식으로 정규화되었다.

[0049] [수학식 5]

$$f_n[t] = \frac{f[t] - u}{\sigma}$$

[0050]

[0051] 수학식 5에서, $f_n[t]$ 는 시점 t 에서 정규화된 값이고, u 는 신호 f 의 평균이고, σ 는 신호 f 의 표준 편차이다. NCC 외에도 RMSE (Root Mean Square Error)를 사용하여 신호를 비교했다. 두 신호의 RMSE는 다음의 수학식 6과 같이 계산된다.

[0052] [수학식 6]

$$RMSE(f_p, f_q) = \sqrt{\frac{\sum_{t=0}^T [f_p[t] - f_q[t]]^2}{T}}$$

[0053]

[0054] 수학식 6에서, T 는 신호의 길이이고, f_p 및 f_q 는 신호이다. FDR 및 Aux 케이블에서 각각 700초 동안 추출된 정규화된 ENF 신호를 사용하여 RMSE를 계산한다. RMSE값은 0.055로 계산되었다. 정규화되지 않은 신호의 표준 편차는 각각 0.019 (FDR) 및 0.072 (Aux 케이블)였다.

[0055] Aux 케이블 길이에 대한 측정

[0056] Aux 케이블의 길이에 따른 전력 강도를 추정하기 위해 짧은 Aux 케이블과 긴 케이블에서 측정한 60Hz 근처 신호의 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)를 측정했다. FFT를 통해 전압 신호를 주파수 영역으로 변환한 후, 모든 주파수 신호의 전력 평균에 대한 60Hz에 가까운 신호의 전력 평균 비율로 SNR을 계산했다. 각 전압 신호를 10초 동안 측정한다. 짧은 보조 케이블 실험에서 주파수 도메인의 피크는 0.7Hz이고 SNR은 30.67dB이다. 긴 보조 케이블 실험에서 피크는 60Hz이고 SNR은 63.73dB였다. 짧은 보조 케이블에서 60Hz의 신호는 ENF 신호를 추출하기에는 너무 약했다. 따라서 미세하고 안정적인 ENF 값을 추출하려면 충분한 길이의 Aux 케이블을 사용해야 함을 알 수 있다.

[0057] 기록 시간 추정

[0058] 이 실험에서는 Aux 케이블에서 추출된 ENF 신호가 포렌식 애플리케이션에서 접지 데이터로 사용될 수 있는지 살펴본다. 포렌식 적용의 일반적인 시나리오는 비디오가 녹화된 시간을 추정하는 것이다. 녹화 시간을 추정하고자 하는 비디오는 각 이미지 프레임에 ENF 신호를 포함하고 있다. 기준 시간에 aux 케이블에서 수집된 ENF 신호를 사용하여 비디오 촬영 시간을 추정한다. 샘플 대상 비디오를 만들기 위해 PowerShot SX70 HS 카메라로 비디오를 녹화하고 50fps로 비디오를 캡처했다. ENF의 공칭 주파수 값은 한국의 경우 60Hz이다. 비디오는 빛이 깜박이는 형광등에서 찍은 것이다. 비디오에서 ENF 신호를 추출했다. 롤링 셔터는 비디오의 각 프레임을 행 단위로 샘플링하는 프로세스를 말한다. 이를 통해 행 단위의 광도 변화를 감지하고 비디오에서 ENF 신호를 추출할 수 있다. 각 행의 픽셀을 평균화하고 프레임 신호를 1차원 신호로 변환한다. 따라서 전체 비디오 신호는 행 순서 (r)와 프레임 순서 (n)로 나타나며, 이는 $R(r, n)$ 으로 표현될 수 있다. 각 픽셀의 시계열 픽셀 패턴을 빼서 행에 따른 광원의 변화만 추출해야 한다. 수학식 7에서는 각 프레임 신호 $R(r, n)$ 에서 $R(r, n)$ 의 평균을 빼서 광원의 변화량을 추출할 수 있다.

[0059] [수학식 7]

$$E(r, n) = R(r, n) - \bar{R}(r)$$

[0060]

[0061] 빛의 행 신호로 $E(r; n)$ 라고 한다. 카메라는 다음 프레임을 촬영할 때까지 일정 시간 동안 빛을 받지 않는다. 이를 유티 기간이라고 한다. 유티 기간 동안 카메라는 빛의 변화를 샘플링할 수 없으며 행 사이의 시간을 알 수 없다. 유티 기간이 없다고 가정하면 빛의 행 신호를 붙이고 행의 시간 간격을 $T=L$ 로 가정한다. T 는 $1/\text{fps}$ 이고, L 은 행의 수이다. QIFFT를 사용하면 빛의 행 신호를 순차적으로 연결하여 1-D 신호에서 ENF 신호를 추출할 수 있다. 도 7은 비디오에서 시계열로 연결된 빛의 행 신호를 보여준다. 도 7에서 빨간색 선(수직으로 표현된 선)은 프레임 변경 시간을 나타낸다. 프레임이 유티 기간(빨간색 선)으로 변경되면 사인파가 매끄럽지 않음을 알 수 있다.

[0062] 실험의 기본 가정은 다음과 같다. 비디오에서 추출된 ENF 신호는 비디오 촬영이 추정되는 시점 테스트 시점의

기준 신호와 모양이 가장 유사하다. 본 발명의 접근 방식을 사용한 예상 시간 테스트는 다음의 수학적 식 8과 같이 표현할 수 있다.

[0063] [수학적 식 8]

$$T_{est} = \arg \max_T \rho(f_r[T : T + L], f_v)$$

수학적 식 8에서, $f_r[T : t+L]$ 은 Ground Truth reference ENF 신호 f_r 의 T 부터 T+L 까지의 간격을 의미한다. f_v 는 비디오에서 추출된 ENF 신호, L은 f_r 의 길이를 의미한다. ρ 는 두 입력의 유사성을 해석하는 함수로, 더 유사한 신호일수록 함수 출력 값이 높아진다. 실험에서 NCC를 ρ 로 사용하여 두 신호의 유사성을 정의했다. 도 8a는 Aux 케이블에서 추출된 ENF 신호를 보여주고, 도 8b는 비디오에서 추출된 ENF 신호를 보여준다. 도 8a 및 8b에서, Aux 케이블로 약 3 시간 동안 측정된 ENF 신호와 주어진 시간에 5분 동안 촬영한 영상에서 추출한 ENF 신호를 보여준다. 도 9a 및 9b는 모든 시점에서 얻은 NCC 값을 보여준다. NCC는 3,650 초에서 가장 큰 값을 갖는다. 실험을 통해 추정된 시간은 동영상 촬영할 때와 거의 동일하다는 것을 확인할 수 있다.

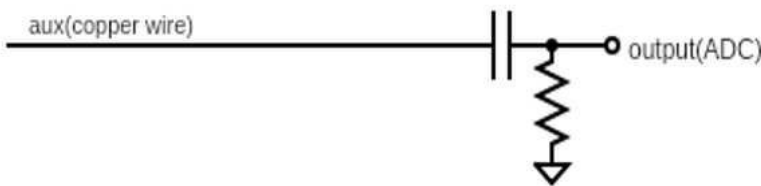
본 발명의 일 실시예에 따른 ENF 신호 추출에서, AC 전원에서 발생된 전자기파를 안테나(예컨대, Aux 케이블, 전선, 구리 선 등과 같은 도전체)만으로 측정할 수 있고 그로부터 미세한 ENF 신호를 추출할 수 있다. ENF 추출 시스템을 통해 FDR에 비해 충분히 정확하고 다양한 위치에 간단하게 설치할 수 있는 보조 시스템을 만들어 공간 해상도를 높이는 큰 이점을 얻을 수 있다. 또한, 비디오의 녹화 시간 식별 실험을 통해 Aux 케이블에서 추출한 ENF 신호를 사용하여 비디오가 촬영된 시기를 알 수 있다. 이는 포렌식에서 ground-truth 데이터로 사용될 수 있음을 보여준다.

또한, 상술한 ENF 측정 시스템(또는 시스템)은 적어도 프로세서 및/또는 메모리를 포함하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있으며, ENF 측정 장치, 측정 장치 등으로 명명될 수도 있다. 또한, ENF 측정 시스템은 상술한 안테나 및/또는 변환 장치(사운드 카드, 오디오 카드, 또는 ADC)를 포함하는 개념으로 이해될 수도 있다.

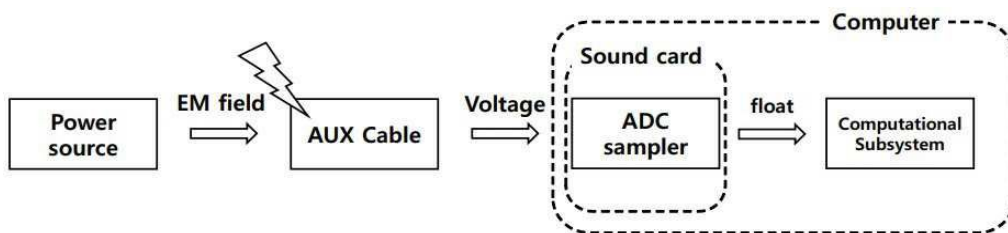
이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로, 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해되어야 한다.

도면

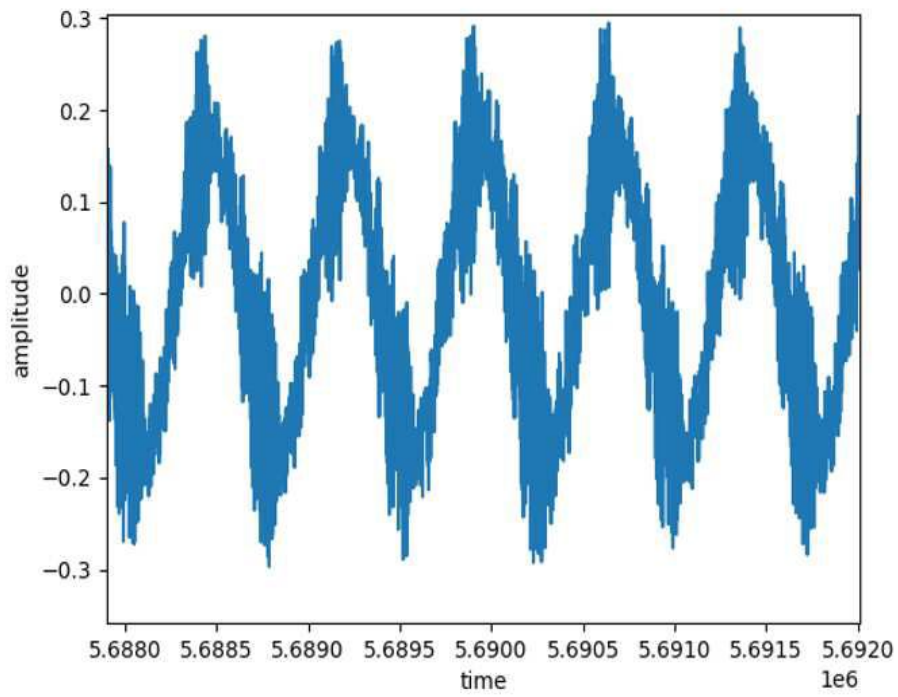
도면1



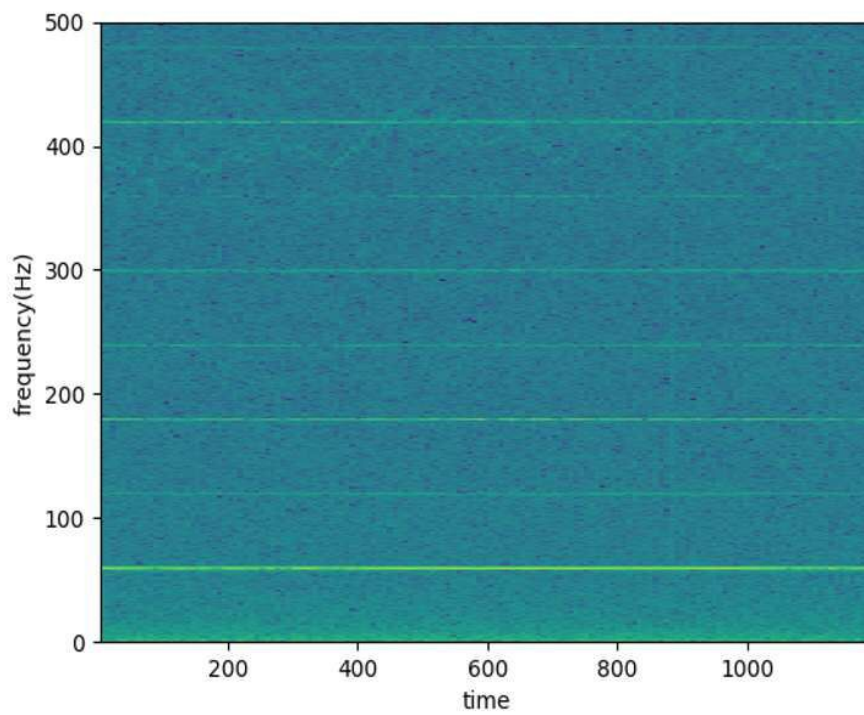
도면2



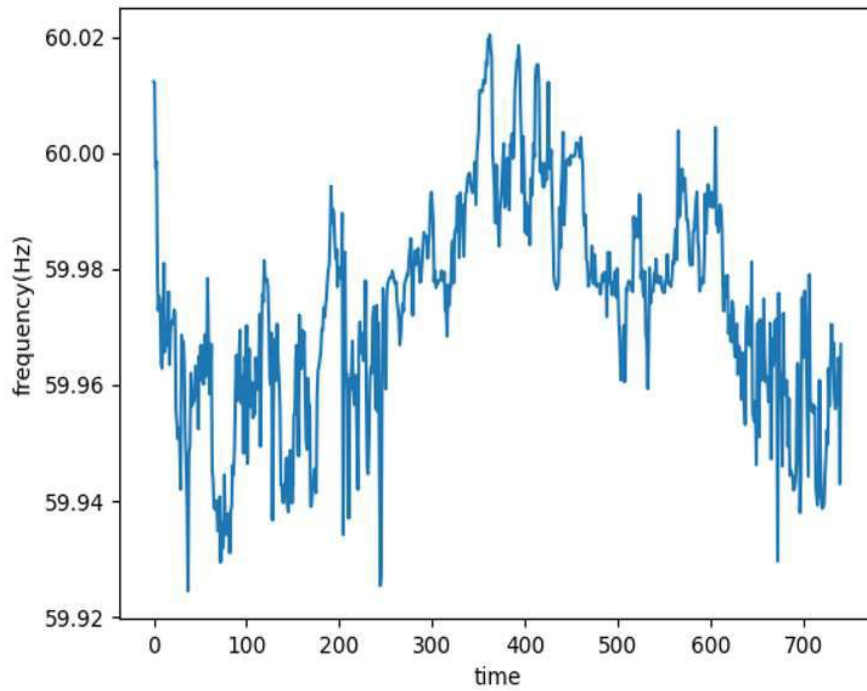
도면3



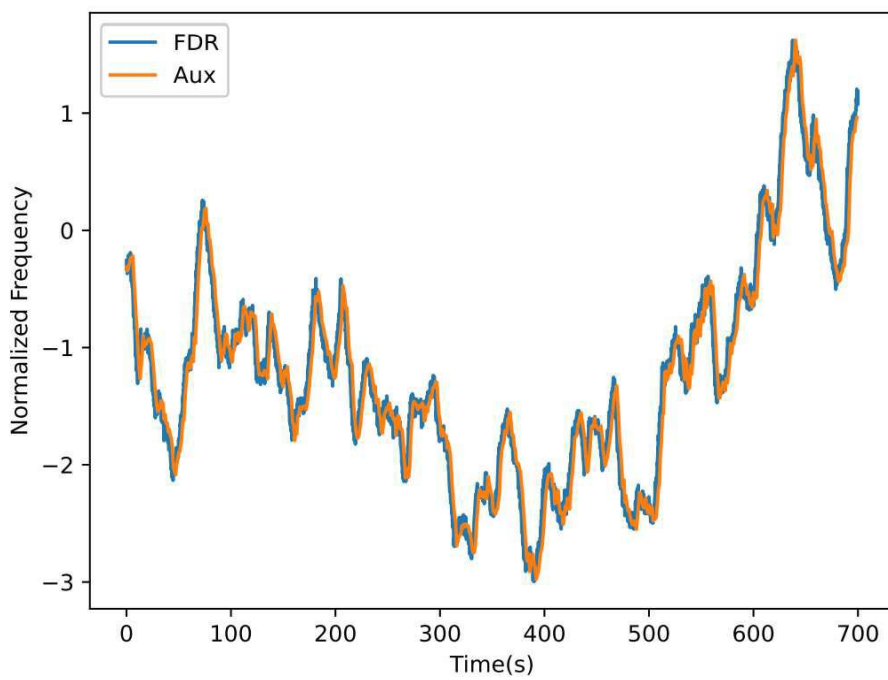
도면4



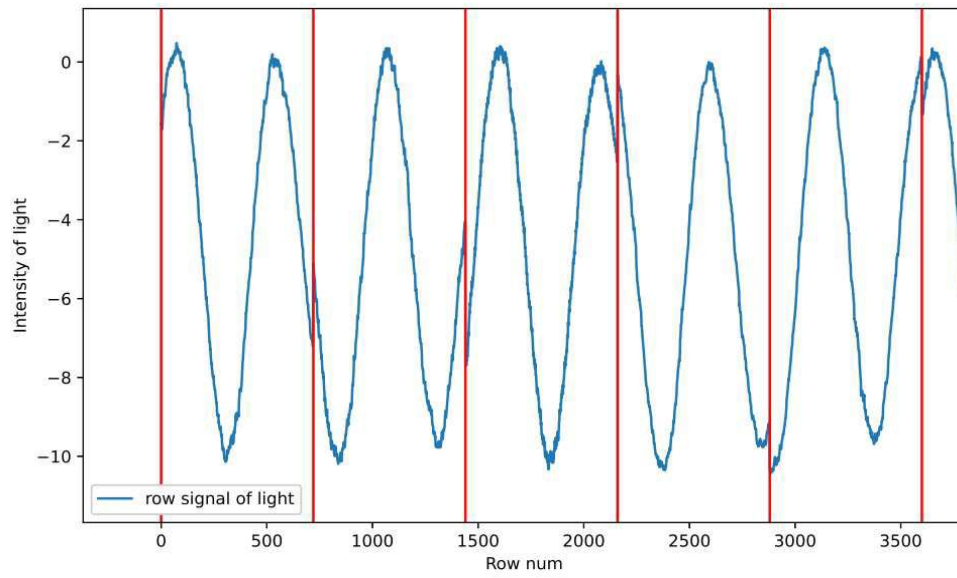
도면5



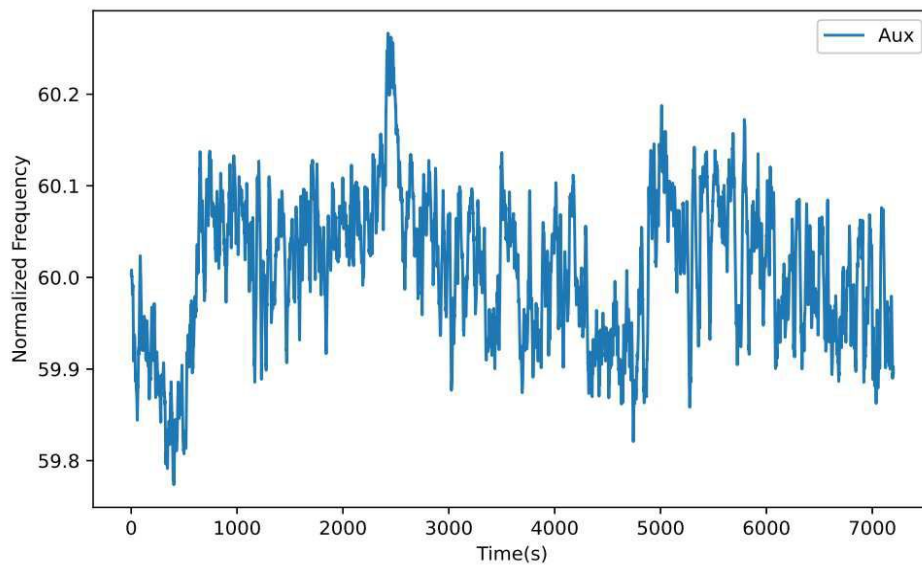
도면6



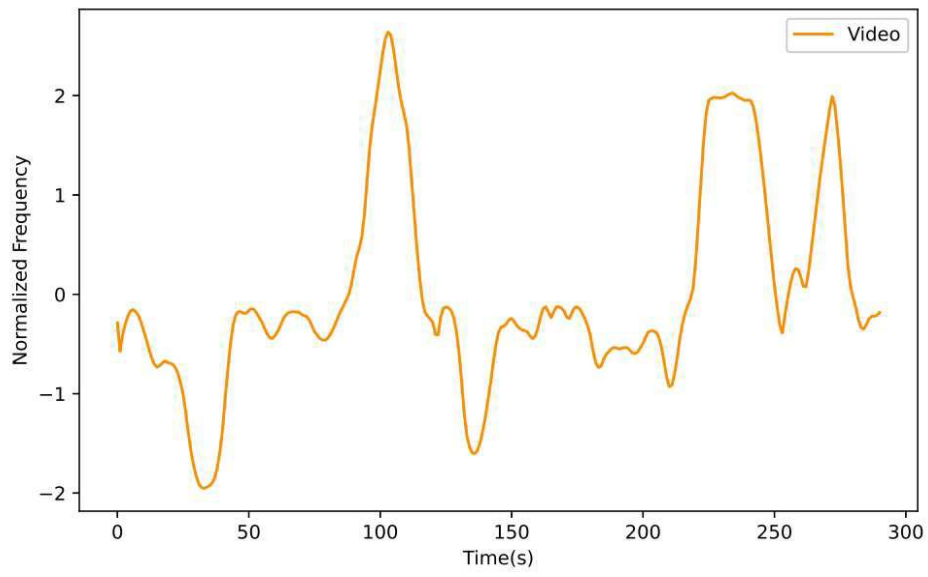
도면7



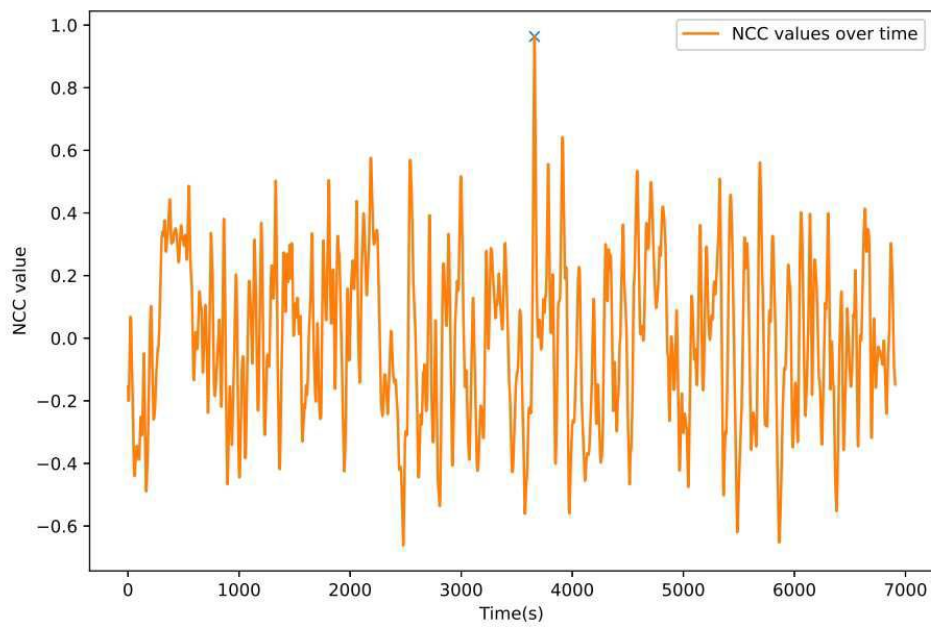
도면8a



도면8b



도면9a



도면9b

