

무선 센서 네트워크 기반의 상태 모니터링을 위한 온도 데이터 시각화

서정희*

Temperature Data Visualization for Condition Monitoring based on Wireless Sensor Network

Jung-Hee Seo*

요약

예상치 못한 장비들의 결함은 우리 사회 전반에 막대한 경제적 손실을 초래하고, 이런 상황에서 상태 모니터링은 해결 가능한 방법을 제시할 수 있다. 상태 모니터링은 부착된 다양한 센서 데이터로부터 기계 고장을 예측하기 위해 신호 처리 알고리즘의 개발이 요구된다. 상태 모니터링에 사용되는 신호 처리 알고리즘은 높은 계산 효율과 고해상도를 요구하고 있다. 무선 센서 네트워크상(WSN)에서 상태 모니터링을 개선하기 위해서 데이터의 시각화는 데이터의 특징적인 표현을 극대화할 수 있다. 따라서 본 논문은 대규모 기반 시설에서 장비의 환경 상태를 식별하기 위해 WSN 기반의 상태 모니터링을 위한 온도 데이터의 시각적인 특징 추출을 제안한다. 실험 결과, 시간-주파수 분석은 시간에 따른 온도 변화를 시각적으로 확인할 수 있으며 온도 데이터 변화의 특징을 추출하는데 용이하였다.

ABSTRACT

Unexpected equipment defects can cause a huge economic losses in the society at large. Although condition monitoring can provide solutions, the signal processing algorithms must be developed to predict mechanical failures using data acquired from various sensors attached to the equipment. The signal processing algorithms used in a condition monitoring requires high computing efficiency and resolution. To improve condition monitoring on a wireless sensor network(WSN), data visualization can maximize the expressions of the data characteristics. Thus, this paper proposes the extraction of visual feature from temperature data over time using condition monitoring based on a WSN to identify environmental conditions of equipment in a large-scale infrastructure. Our results show that time-frequency analysis can visually track temperature changes over time and extract the characteristics of temperature data changes.

키워드

Condition Monitoring, Wireless Sensor Network, Data Visualization, Time-Frequency Analysis
상태 모니터링, 무선 센서 네트워크, 데이터 시각화, 시간-주파수 분석

* 동명대학교 컴퓨터공학과(jhseo@tu.ac.kr)

* 교신저자 : 동명대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2020. 02. 17

• 수정완료일 : 2020. 03. 17

• 게재확정일 : 2020. 04. 15

• Received : Feb. 17, 2020, Revised : Mar. 17, 2020, Accepted : Apr. 15, 2020

• Corresponding Author : Jung-Hee Seo

Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University

Email : jhseo@tu.ac.kr

I. 서론

예상치 못한 장비들의 결함은 우리 사회 전반에 막대한 경제적 손실을 초래한다. 일례로 2018년 KT 아현지사의 화재로 인해서 광케이블과 교환 장비 등이 집중된 케이블이 손상되면서 통신장치가 발생하여 일대 통신망을 이용한 편의점, 카페, 식당 등에서 카드 결제가 불가능하여 자영업자들에게 경제적으로 심각한 피해를 주었을 뿐만 아니라 휴대폰과 초고속인터넷 등이 불통 되어 많은 시민들이 불편을 겪었다. 이런 상황에서 상태 모니터링은 해결 가능한 방법을 제시할 수 있다.

상태 모니터링은 여러 분야에서의 장비와 다양한 센서로부터 실시간 데이터를 모니터링하고 기계의 상태를 예측함으로써 유지 보수 비용의 절감과 경제성을 달성할 수 있는 가능성을 가지고 있고, 이러한 목표를 달성하는 데 중요한 역할을 한다.

예측 유지 보수는 CNC, 조립 로봇, 레이저 커터, 픽앤 플레이스 머신과 같은 공장에서 가장 경제적인 영향을 미칠 수 있지만, 예측 실패 시스템에 대한 잠재적인 응용 분야는 다양하다. 이것은 운송 (차량 모니터링, 스쿠터에서 점보제트에 이르는 엔진의 상태 기반 유지 보수), 사무실(예 : 엘리베이터 감시), 소매점(예 : 상업용 세탁기)에서부터 고급형 에스프레소 기계 또는 3D 프린터와 같은 소비자 및 취미 용품 등으로 산업용 장비와 IoT (Internet-of-Things) 센서를 결합하여 제조 생산성을 모니터링하고 향상시키는 스마트 제조 기술이 부상하고 있다[1].

또한 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-System) 기반 가속도계 센서의 최근 확산은 진동 및 상태 모니터링 애플리케이션에서 널리 보급되고 있다[2].

상태 모니터링과 관련된 기존의 연구는 회전 기계의 자동 상태 및 오류 감지에 대한 진동 측정도를 사용한 다중 센서 시스템[1], 풍력 터빈의 상태 모니터링[4, 5], 광산의 폭발에 의한 모호한 지진 진동의 적절히 모니터링[2], 진동 신호 스펙트럼을 분석한 변압기 실시간 진단 기법의 구현[6], 진동 신호 기반의 특징을 통해서 오류 및 결함 진단 등이 제안되었다[7-9].

이것은 부착된 다양한 센서 데이터로부터 기계 고장을 예측하기 위한 신호 처리 알고리즘의 개발이 요

구되고 있다.

상태 모니터링에 사용되는 신호 처리 알고리즘은 높은 계산 효율과 고해상도를 요구하고 있다.

시간-주파수 방법이 시간 및 주파수 영역에서 동시에 신호 분석을 수행할 수 있으므로, 단시간 푸리에 변환(STFT)과 같은 상태 모니터링, 고장 진단 및 기계적 수명 예측을 위해 수집된 신호를 처리하기 위한 많은 기술이 도입되었다[7].

또한, 데이터에 관한 센서 네트워크에서 데이터 관리 및 표현은 중요한 문제가 되었다[10].

무선 센서 네트워크상에서 상태 모니터링을 개선하기 위해서 데이터의 시각화는 데이터의 특징적인 표현을 극대화할 수 있다. 기존 논문의 [10-13] 등에서 무선 센서 네트워크의 시각화 연구가 이루어졌다.

따라서 본 논문은 대규모 기반 시설에서 장비의 환경 상태를 식별하기 위해 무선 센서 기반의 상태 모니터링을 위한 온도 데이터의 시각적인 특징을 추출하는 것을 제안한다.

본 논문의 2장은 상태 모니터링과 관련된 연구에 대해서 논한다. 3장은 본 논문에서 제안한 무선 센서 네트워크 기반의 상태 모니터링을 위한 온도 데이터의 시각화에 대해서 설명한다. 4장은 구현 결과 및 분석, 5장 결론, 참고문헌 순으로 기술한다.

II. 관련 연구

계획되지 않은 기계 가동 중지 시간으로 인해 산업 제조업체는 매년 500억 달러의 비용을 부담한다. 이 계획되지 않은 중단 시간의 42%는 장비 고장으로 인한 것이다. 결과는 과도한 유지 보수, 시간 소모적인 수리 또는 장비 교체 비용이다. 그러나 최악의 시나리오인 스마트 예측 기계 고장 시스템으로 산업 장비를 업그레이드하여 피할 수 있다. 이러한 시스템은 센서 네트워크가 있는 장비를 모니터링하고 런타임 중에 비정상적인 시스템 동작을 인식한다. 식별된 고장이 발생하면 시스템은 온-디맨드 유지 보수 서비스를 예약하여 제조업체에 대한 경제적 손실을 피할 수 있다. 예측 실패 시스템을 갖춘 장비를 업그레이드하면 제조 산업뿐만 아니라 비용을 절감하고 효율성과 생산성을 높일 수 있다[1].

O. Janssens 외 등 [3]은 적외선 열화상 데이터와 진동 데이터를 모두 사용하는 시스템을 제안하였고, 다수의 조건/결함을 검출할 수 있을 뿐만 아니라 결함 및 조건의 조합을 검출할 수 있음을 보여준다.

W. Qiao 외 등 [4]에서 풍력 터빈의 유지 보수 비용과 가동 중단 시간을 줄이기 위한 효과적인 방법은 고장이 발생하거나 풍력 터빈의 작동 성능이나 안전성에 영향을 미치기 전에 조건 기반 예측 유지 보수를 수행하는 것이다. 조건 기반 예측 유지 보수를 달성하려면 풍력 터빈의 상태를 상태 모니터링 시스템(CMS)을 통해 지속적으로 모니터링하고 온라인으로 예지해야 한다.

J. Windau 외 등 [1]에서 MMS(Inertial Machine Monitoring System)로 기존 기계를 비침습적으로 업그레이드하여 장비 고장 또는 성능 저하 상태를 탐지하고 분류하는 솔루션을 제시하였다. 실험에서 시스템은 3D 프린터의 여러 위치에 배치된 36개의 관성 센서로부터 데이터를 수집하였다. 이 실험에서 결과는 작은 센서 네트워크와 짧은 테스트 프로그램조차도 기계의 열화 상태를 효과적으로 감지할 수 있으며 조기 정화를 용이하게 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

광산의 폭발로 인한 지진 진동을 측정하기 위해 MEMS 가속도계를 선택하여 평가하고, MEMS 보조 센서는 임베디드 기술 및 무선 센서 네트워크에서 핵심적인 역할을 수행하여, 향후 비용 효과적인 지반 진동 감시로서 신뢰성을 확보하고 있다[2].

기존의 무선 센서 네트워크의 시각화 연구는 다음과 같다.

Y. Hu 외 등 [10]에서 습지 모니터링을 위해 배치된 센서 네트워크는 데이터 및 토폴로지의 시각화로 구축된다. 대기와 토양의 온도, 습도, 습지 주변의 조도 및 PH와 같은 환경 데이터는 무선 센서 네트워크를 통해 PC의 시각화 플랫폼에 연결된 기지국으로 전송된다. 이 백서에 제시된 접근 방식은 직렬 통신, 데이터베이스 관리, 데이터 및 토폴로지 시각화를 활용하여 무선 센서 네트워크에서 수집한 데이터를 시각화한다. 데이터 시각화 플랫폼은 네트워크의 실시간 정보를 가져와서 표시할 수 있으며 시스템을 사용자에게 편리하게 만든다.

C. Schmitt 외 등 [11]의 CoMaDa 1.0의 시각화 서비스는 CoMaDa 1.1에 Google 차트를 포함하여

Xively와 동일한 서비스를 제공하기 위해 업데이트되었다. 특히 수집된 센서 데이터를 저장하는 타사의 개입없이 단일 센서 유형(예: 온도 또는 습도)을 시각화하고 타사의 데이터 스토리지와 무관하게 데이터 시각화 기능을 제공한다.

J. M. Koh 외 등 [12]에서 무선 센서 네트워크(WSN) 데이터의 효율적인 검색 및 시각화를 위해 Android 애플리케이션인 Sensorem을 설계하고 구현하였다. 스마트 시티의 중요한 개발 핵심 요소인 데이터 배포 및 시각화에 비추어 유지 보수 담당자를 대상으로 하는 센서 데이터의 의미있는 시각화를 위한 사용자 친화적인 모바일 애플리케이션(Sensorem)을 개발하여 센서 데이터 액세스 가능성을 향상시키려고 하였다.

D. H. Ryu 외 등 [18]에서 WiFi 기능이 있는 초소형 마이크로컨트롤러와 MEMS 가속도 센서를 이용하여 스마트 팩토리의 이상 고장 예지 및 건전성 관리를 위한 스마트 디바이스를 개발하였다.

B. J. Kim 외 등 [19]에서 무선 통신 및 웨어러블 기술을 활용하여 운전자의 다양한 생체 신호를 측정 및 관찰할 수 있는 시스템을 제안하였다.

III. 상태 모니터링을 위한 온도 데이터의 시각화

무선 센서 네트워크 시스템은 넓은 공간에 분산되고, 접근이 어려운 지역에 설치되는 것이 일반적이다. 이 때문에 유지 보수는 많은 인력과 자원 및 기상 조건에 민감한 제약점이 많다.

대규모 장비 시설의 비정상적인 상황을 피하기 위해 관련 규정에 따라 기계 장비의 정기적인 모니터링과 유지 보수가 진행되어야 한다.

기계 장비들의 상태 모니터링은 유지 비용을 줄이고 장비의 수명을 연장하기 위한 것으로 다양한 센서들로부터 지속적인 모니터링과 실시간의 데이터 분석이 요구된다.

이런 실시간 데이터 분석의 요구 사항에서 데이터의 시각화는 결함을 진단하기 위해 특징을 정확하게 추출하는데 효과적인 방법을 제시할 수 있다.

시각화의 응용 분야는 모터사이클, 무인 자동차와

로봇의 환경 인식, 초음파, 머신 상태 모니터링 등 매우 다양하다[14].

본 논문은 무선 센서 네트워크 기반의 상태 모니터링을 위한 온도 데이터의 시각적인 특징을 추출하는 것을 제안한다.

3.1 무선 센서 네트워크 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템의 무선 센서 네트워크 구성을 나타낸다. WSN 노드들, 라우터, 이더넷 게이트웨이, 그리고 호스트 PC로 구성된다.

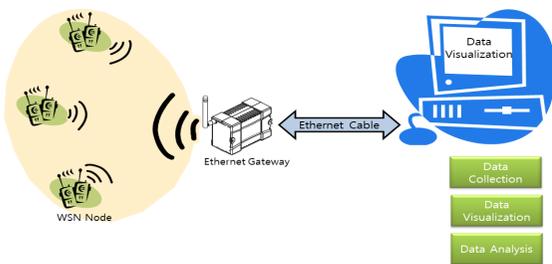


그림 1. 처리 절차
Fig. 1 Processing procedure

WSN 노드들은 장비 시설에 분산 배치되고, 이러한 노드들은 메모리, 계산 용량 및 전력이 제한된다. 따라서 노드는 저전력 프로세서로 노드를 작동하고 컨트롤한다.

또한 WSN 노드는 노드에 개별적으로 부착된 센서들의 데이터를 측정하고 주기적으로 데이터를 수집한다. WSN 노드에 2.4GHz 라디오가 있어 센싱한 데이터를 이더넷 게이트웨이로 무선 전송한다. 따라서 사용자는 개별 센서 데이터에서 수집된 데이터의 적절한 시각화가 필요하다.

이더넷 게이트웨이는 WSN 노드를 인증하고, 호스트 PC와 이더넷 케이블로 연결되어 각 노드로부터 측정된 데이터를 케이블을 통해서 호스트 PC로 전송한다.

라우터는 센싱 노드와 게이트웨이 사이의 무선 통신의 범위를 확장하기 위해서 사용하고, 해당 라우터가 고장이 나면 센싱 노드는 가장 가까운 라우터를 동적으로 선택하여 데이터를 전송하는데 사용한다 [15].

Host PC는 이더넷 게이트웨이를 통해서 전송된 센싱 데이터를 저장하고 시각화 처리를 수행한다.

3.2 센서 데이터의 시각화 기법

과거에는 시간 도메인, 주파수 도메인과 시간-주파수 도메인에서 신호 분석을 수행하기 위해 많은 전통적인 기술이 제시되었다. 시간 영역에서 신호 분석은 기계 결함 진단에 사용되는 가장 간단한 방법이다. 주파수 도메인 방법은 고속 푸리에 변환 (FFT)과 보간 이산 푸리에 변환과 같은 푸리에 변환 기반 신호 처리 기술을 사용한다. 그러나, 별도로 사용되는 시간 도메인 및 주파수 도메인 방법은 진동 신호로부터 유용한 정보의 일부만 추출할 수 있으며, 다른 도메인 각각의 정보는 손실된다[7].

또한 온도에 대한 시간-주파수 분석[16, 17]은 다양한 분야에서 연구되고 있다.

따라서 본 논문은 각각의 무선 센서 노드에서 전송한 온도 데이터를 게이트웨이를 통해 호스트 PC에 저장하고, 시간-주파수 분석을 통해서 시각화 처리를 수행한다. 이런 수집된 데이터의 시각화는 상태에 대한 유용한 정보를 제공하고 데이터에 더 많은 의미를 부여할 수 있다.

기존의 분석과 달리 시간-주파수 공통 분석(Joint Time-Frequency Analysis:JTFA)은 시간과 주파수 영역에서 데이터 신호를 동시에 분석하고 기존의 FFT에서 사용된 대부분의 응용에 적용할 수 있으며 시간과 주파수 영역을 동시에 분석함으로써 더욱 많은 정보를 얻을 수 있다.

먼저, 센싱된 데이터를 입력으로 하여 이산 가보 변환(Discrete Gabor Transform)을 수행하여 신호를 시간 도메인에서 시간-주파수 공통 도메인으로 변환하여 시간 영역 신호의 시간-주파수 표현을 계산한다.

이산 가보 변환은 입력 신호 $S[i]$ 에 대한 Gabor 계수 $C_{m,n}$ 를 계산한다.

$$C_{m,n} = \sum_i S[i] \gamma^* [i - mt] e^{(-j2\pi n i / N)} \quad (1)$$

여기서 $\gamma[i]$ 는 분석 윈도우이다. t 는 time step, N 은 Gabor 기본 함수의 주파수 수를 나타낸다.

그리고 임계값을 적용하여 신호의 노이즈를 제거한다. 노이즈가 제거된 신호의 시간-주파수 계수 값을 강도 그래프로 표시하면 시각적으로 노이즈 감소를 확인할 수 있다.

신호의 시간-주파수 표현의 데이터를 시간 영역의 신호로 재구성하기 위해서 이산 가보 확장(Discrete Gabor Expansion)을 계산한다.

이산 가보 확장은 기본 함수 $F_{m,n}[i]$ 의 선형 조합으로 시간 영역 신호 $S[i]$ 를 나타낸다.

$$S[i] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} C_{m,n} F_{m,n}[i] \quad (2)$$

여기서 $F_{m,n}[i]$ 는 시간-주파수 기본 함수, $C_{m,n}$ 은 $F_{m,n}[i]$ 의 weight로 Gabor 계수이다.

$$F_{m,n}[i] = F[i - mt]e^{j2\pi ni/N} \quad (3)$$

여기서 $F[i]$ 는 합성 윈도우, t 는 time step, N 은 Gabor 기본 함수의 주파수 수를 나타낸다.

$C_{m,n}$ 은 시간과 $F_{m,n}[i]$ 의 주파수 중심에서 JTFA 영역의 신호가 어떻게 동작하는지 보여준다.

그리고 JTFA의 2차(quadratic) 방법을 사용하여 시간-주파수 영역에서 신호의 에너지 밀도가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 표시한다. 그러나 2차 시간-주파수 분석 방법은 신호를 되돌릴 수 없으므로 스펙트로그램에서 시간 영역 신호를 재구성할 수 없다. 따라서 스펙트로그램을 이용하여 온도 신호의 변동을 분석하기 위해 신호의 평균 주파수를 계산하여 신호의 특징을 추출한다.

IV. 구현 결과 및 분석

본 논문의 실험 환경에서 게이트웨이는 NI-9792, 무선 측정 노드는 NI WSN-3226를 사용하여 네트워크를 구성하였고, NI WSN-3226 노드에 Flame Sensor Module(R2808 Module ASSY) 센서를 부착하여 노드에서 수집한 온도 데이터를 이산 가보 변환

및 확장을 수행하고 시간-주파수 도메인으로 변환하도록 프로그래밍하였다.

그림 2의 Temperature Signal은 센서로부터 수집된 온도 데이터를 나타낸다. 그림 2의 Gabor Coefficients(Not Threshold)는 이산 가보 변환을 통해서 스펙트럼 내용이 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지는 보여준다. 여기서는 임계값을 적용하지 않는 경우를 나타내고 신호에 노이즈가 많이 포함된 것을 확인할 수 있다.

그림 2의 Gabor Coefficients(Threshold :0.4)는 이산 가보 변환을 수행하고 임계값을 0.4로 적용하여 시간-주파수 영역에서 노이즈가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

그런 다음 그림 2의 Reconstructed Temperature Signal과 같이 수정된 시간-주파수 표현을 시간 영역 신호로 재구성하였다. 여기서 재구성된 신호는 노이즈 감소가 매우 강력함을 확인할 수 있다.

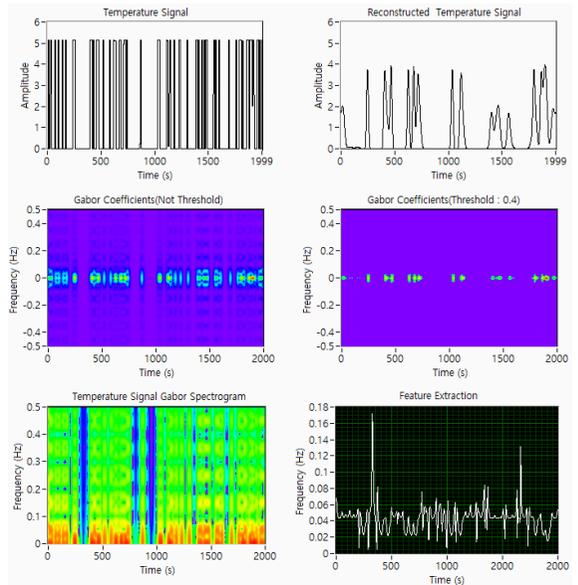


그림 2. 온도 데이터의 시각화

Fig. 2 Visualization of temperature data

그림 2의 Temperature Signal Gabor Spectrogram은 신호의 에너지를 시간 및 주파수의 함수로 계산한다. 신호의 2차 시간-주파수 표현은 시간-주파수 영

역에서 신호의 에너지 밀도를 나타낸다. 따라서 신호의 변동을 분석하기 위해 가우스 가보 기본 함수를 사용하여 시간-주파수 분석을 수행하였고, 또 다른 시간-주파수 그래프를 나타낸다. 그림과 같이 신호의 스펙트럼 내용과 시간 경과에 따른 스펙트럼 내용의 변화를 결정할 수 있는 색상 맵으로 강도 그래프에 스펙트로그램을 표시하였다. 그리고 각 셀의 색상은 온도 빈도 발생을 나타내고, 밝은 색상은 더 많은 발생 빈도를 의미한다.

그림 2의 Feature Extraction은 신호의 2차 시간-주파수 표현의 가보 스펙트로그램에서 신호의 평균 순간 주파수를 계산하여 시간에 따른 신호의 중심 주파수의 변화를 확인할 수 있다. 신호의 평균 주파수는 신호 파워 스펙트럼의 무게 중심을 나타낸다. 따라서 실험 결과와 같이 시간-주파수 분석은 시간에 따른 온도 변화를 시각적으로 확인할 수 있으며 온도 데이터의 특징을 추출하는데 용이하다.

표 1은 상태 모니터링에 대해 기존 논문과 제안된 논문에서의 비교 분석한 결과를 나타낸다.

표 1. 상태 모니터링의 비교 분석
Table 1. Analysis comparison of condition monitoring

Characteristics Papers	Proposed Method	Application Field
Paper [3]	Thermal imaging data and vibration measurements	rotating machinery (multi-sensor system)
Paper [4]	Prognostic condition monitoring	Wind turbine drive trains
Paper [10]	Visualization of data and topology	Data visualization platform
Paper [12]	Sensor data visualization	Smart cities
Proposed Paper	Temperature data visualization	Identify environmental conditions of equipment

V. 결론

본 논문은 장비의 실시간 상태 모니터링에서 발생할 수 있는 비정상적인 온도 측정을 보다 정확하게 만들기 위해 무선 센서 네트워크의 센서에서 수집된 데이터의 효과적인 시각화 방법을 제안하였다. 무선 센서 네트워크 환경에서 센서로부터 수집한 데이터 시각화의 주요 목표는 원시 환경 데이터를 수집하고 시각적으로 변환하여 쉽게 특징을 분석 및 관리하여 초기 단계에서 시스템 환경의 열화가 발생하는 것을 감지하고, 사전에 오류를 예측하여 시설 장비 환경의 문제를 효과적으로 감지하는 데 사용할 수 있다.

References

- [1] J. Windau and L. Itti, "Inertial Machine Monitoring System for automated failure detection," *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA)*, Brisbane, Australia, May 2018, pp. 93-98.
- [2] P. Ragam and D. S. Nimaje, "Selection and Evolution of MEMS Accelerometer Sensor for Measurement of Blast-Induced Peak Particle Velocity," *IEEE Sensors Letters*, vol. 2, no. 4, Dec. 2018, pp. 1-4.
- [3] O. Janssens, M. Loccufier, and S. V. Hoecke, "Thermal Imaging and Vibration-Based Multisensor Fault Detection for Rotating Machinery," *IEEE TransactionS On Industrial Informatics*, vol. 15, no. 1, Jan. 2019, pp. 434-444.
- [4] W. Qiao and L. Qu, "Prognostic Condition Monitoring for Wind Turbine Drivetrains via Generator Current Analysis," *Chinese Journal of Electrical Engineering*, vol. 4, no. 3, Sept. 2018, pp. 80-89.
- [5] M. N. Soares, J. Gyselinck, Y. Mollet, C. Peeters, N. Gioia, and J. Helsen, "Vibration-Based Rotor-Side-Converter Open-Switch-Fault Detection in DFIGs for Wind Turbines," *2018 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management(ICPHM)*, Seattle, WA, USA, June 2018.
- [6] J. Escartín, J. Argandoña, and J. K.

- Gerrikagoitia, "Data-driven Exploration and Process Optimization for a Milling-boring Machine," *2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics(INDIN)*, Porto, Portugal, July 2018.
- [7] F. Jiang, Z. Zhu, and W. Li, "An Improved VMD With Empirical Mode Decomposition and Its Application in Incipient Fault Detection of Rolling Bearing," *IEEE Access*, vol. 6, July 2018, pp. 44483-44493.
- [8] T. Hasegawa, J. Ogata, M. Murakawa, and T. Ogawa, "Tandem Connectionist Anomaly Detection: Use of Faulty Vibration Signals in Feature Representation Learning," *2018 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)*, Seattle, WA, USA, June 2018.
- [9] N. Mussin, A. Suleimen, T. Akhmenov, N. Amanzholov, V. Nurmanova, M. Bagheri, M. S. Naderi, and O. Abedinia, "Transformer Active Part Fault Assessment Using Internet of Things," *2018 International Conference on Computing and Network Communications(CoCoNet)*, Astana, Kazakhstan, Aug. 2018.
- [10] Y. Hu, D. Li, X. He, T. Sun, and Y. Han, "The Implementation of Wireless Sensor Network Visualization Platform based on Wetland Monitoring," *2009 Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, Tianjin, China, Nov. 2009.
- [11] C. Schmitt, T. Strasser, and B. Stiller, "Third-party-independent Data Visualization of Sensor Data in CoMaDa," *2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, New York, NY, USA, Oct. 2016.
- [12] J. M. Koh, M. Sak, H.-X. Tan, and H. Liang, F. Foliato, and T. Quek, "Sensorem-An Efficient Mobile Platform for Wireless Sensor Network Visualisation," *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, Singapore, Singapore, Apr. 2015.
- [13] M. Hammoudeh, R. Newman, C. Dennett, and S. Mount, "Inductive as a Support of Deductive Data Visualisation in Wireless Sensor Networks," *2009 IEEE Symposium on Computers and Communications*, Sousse, Tunisia, July 2009.
- [14] J. H. Seo and H. B. Park, "Sound Visualization Method using Joint Time-Frequency Analysis for Visual Machine Condition Monitoring," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 20, no. 8, Aug. 2015, pp. 53-59.
- [15] J. H. Seo and H. B. Park, "Forest Environment Monitoring Application of Intelligence Embedded based on Wireless Sensor Networks," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 10, no. 4, Apr. 2016, pp. 1555-1570.
- [16] M. R. Barbosa and A. M. Lopes, "Temperature Time Series: Pattern Analysis and Forecasting," *2017 4th Experiment@International Conference(exp.at'17)*, Faro, Portugal, June 2017.
- [17] P. Sharma, N. Murali, and T. Jayakumar, "A Time-Frequency Analysis of Temperature Fluctuations in a Fast Reactor," *2012 5th International Congress on Image and Signal Processing*, Chongqing, China, Oct. 2012.
- [18] D. H. Ryu and T. W. Choi, "Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, Aug. 2018, pp. 751-756.
- [19] B. J. Kim and B. G. Lee, "Biosignal-based Driver's Emotional Response Monitoring System: Part 1. System Implementation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 3, June 2018, pp. 677-684.

저자 소개



서정희(Jung-Hee Seo)

1994년 신라대학교 전자계산학과 졸업(이석사)

1997년 경성대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이석사)

2006년 부경대학교 대학원 전자상거래시스템전공 졸업(공학박사)

현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수

※ 관심분야 : 멀티미디어 응용, 정보보호, 모바일

