

소리 정보 기반의 선로전환기 이상상황 탐지

Anomaly Detection for Railway Point Machine using Sound Information이종욱*, 최장민*, 박대희*[†], 이종현**, 정용화*, 김희영***, 윤석한**Jonguk Lee*, Jangmin Cho*, Daihee Park*[†], Jong-Hyun Lee**, Yongwha Chung*,

Hee-Young Kim***, Sukhan Yoon**

Abstract Failure of point machine is one of the major problem which causes a serious railway accident. Therefore, early detection of failures is important for the management of railway condition monitoring systems. In this paper, we propose an anomaly detection method in railway condition monitoring systems using sound data. First, we extract mel-frequency cepstrum coefficients (MFCCs) from sound data, and use support vector machines (SVMs) as an early anomaly detector. As a result of the experiment, this method can be used to detect fault effectively.

Keywords: Railway point machine, Sound analysis, Failure detection

초 록 열차의 진로를 변경시키는 선로전환기는 열차운행 안전 측면에서 열차 탈선 등과 같은 대형 사고를 유발시킬 수 있는 시설이다. 따라서, 해당 설비에 대한 모니터링은 필수적인 요소이다. 본 논문에서는 소리정보를 이용하여 선로전환기의 이상상황을 조기 탐지할 수 있는 프로토타입 모니터링 시스템을 제안한다. 먼저 제안한 시스템은 소리 센서에서 실시간으로 취득하는 소리 정보로부터 MFCC 특징들을 추출한다. 둘째, 추출된 MFCC 특징들을 CFS에 적용하여 특징을 선택한다. 마지막으로, 선로 전환기의 비정상 상황을 정상과 비정상 상황을 분류하는 이진 클래스 문제로 판단하여, 기계학습의 대표적인 모델인 SVM을 이용하여 비정상 상황을 탐지한다. 실제 선로전환기의 전환 시 발생하는 소리 데이터를 취득하여 모의 실험을 수행한 결과, 비정상 상황을 안정적으로 탐지함을 확인하였다.

주요어 : 선로전환기, 소리 분석, 고장 탐지

1. 서 론

철로의 설비 및 시스템을 구성하는 다양한 시설들은 열차 안전 측면에서 신뢰성을 유지해야 하는 중요한 요소들이다. 특히, 역 구내에서 열차의 진로를 변경시키는 선로전환기(그림 1 참조)의 이상상황은 열차운행 안전 측면에서 열차 탈선 등과 같은 심각한 사고를 유발 할 수

[†] 교신저자: 고려대학교 컴퓨터정보학과(dhpark@korea.ac.kr)

* 고려대학교 컴퓨터정보학과

** (주) 세화

*** 고려대학교 응용통계학과

있다. 2000년부터 최근 10년간의 사고 현황 분석 내용을 확인해보면, 선로전환기 장애는 전체 신호장치 장애의 27%를 차지하며, 운영 및 유지보수 측면에서 가장 많은 시간을 소모 하는 설비로 분류된다[1]. 따라서 선로전환기와 관련된 고장 등의 비정상 상황에 대한 조기 탐지 및 관리는 필수적인 요소이다.

최근, 이와 같은 이상상황을 빠르게 탐지 또는 대처하기 위한 다양한 연구들이 보고되고 있다[2-4]. Vileiniskis 등[2]은 선로전환기를 구동시키는 모터에 입력되는 전류(current)값의 변화를 이용하여, 미리 설정해 둔 정상 상황의 전류 값(임계값: threshold)을 초과하게 되면 비정상 상황으로 탐지하였으며, Eker 등[3]은 PCA (Principal Components Analysis)와 SVM (Support Vector Machine)을 이용하여 Drive rod가 잘못 동작되는 불일치(out-of adjustment) 상태를 탐지하였다. Asada 등[4]은 선로전환기로 유입되는 전류(electrical current)와 전압(electrical current)을 이용하여 선로 전환기의 상태를 모니터링 하는 시스템을 제안하였다.

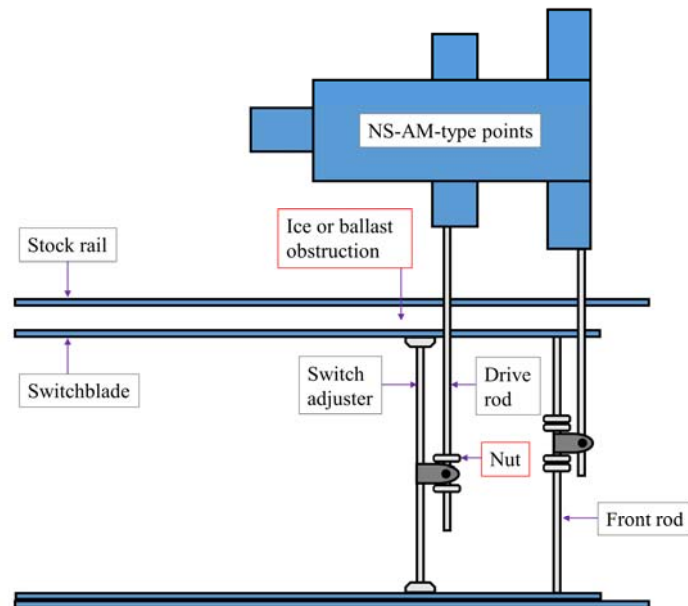


Fig. 1 NS-AM-type railway points

앞서 살펴본 기존의 연구들은 대부분 선로전환기의 모터를 동작시키기 위해 입력되는 전기의 전류·전압 변화를 기반으로 선로전환기의 이상상황을 탐지하는 것과 달리 본 연구에서 이용하고자 하는 소리를 이용한 연구는 현재 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 이미 다양한 분야에서 비정상 상황을 탐지하기 위한 정보로 사용되는 소리[5-6]를 기반으로, 선로전환기의 비정상상황에 대한 조기 탐지가 가능한 프로토타입 모니터링 시스템을 제안한다. 먼저 제안한 시스템은 소리 센서(마이크로폰)에서 실시간으로 취득되는 소리 정보로부터 MFCC(Mel Frequency Cepstrum Coefficients) 소리 특징을 추출한다. 둘째, 취득한 MFCC 특징을 CFS(Correlation-based Feature Selection) 방법에 적용하여 특징들을 선택하고, 이를 소리 특징 벡터로 생성한다. 마지막으로, 소리 특징 벡터는 선로전환기의 이상상

황 탐지기인 SVM에 적용하여 이상상황을 탐지한다.

본 논문에서 제안하는 소리 기반의 선로전환기 이상상황탐지 시스템은 설치 가격이 경제적인 뿐만 아니라 선로전환기의 전기적 신호를 기반으로 한 비정상 상황 탐지 시스템의 부가적인 모듈 또는 단독으로 사용될 수 있다. 실제 선로전환기의 전환 시 발생하는 소리를 이용하여 본 시스템의 우수성을 실험적으로 검증하였다.

2. 선로전환기의 비정상 상황 탐지 시스템

본 논문에서 제안하는 선로전환기의 비정상 상황 탐지 시스템의 구조는 다음 그림 3과 같다. 시스템은 크게 3개의 모듈로 구성된다: 1) 센서로부터 소리를 취득하는 단계, 2) 취득한 소리 데이터에서 MFCC를 추출한 후 CFS를 이용하여 특징들을 선택하고, 이를 소리 특징 벡터로 생성하는 단계, 3) 선로전환기의 비정상 상황을 탐지하기 위하여 미리 훈련된 SVM에 적용하는 단계.

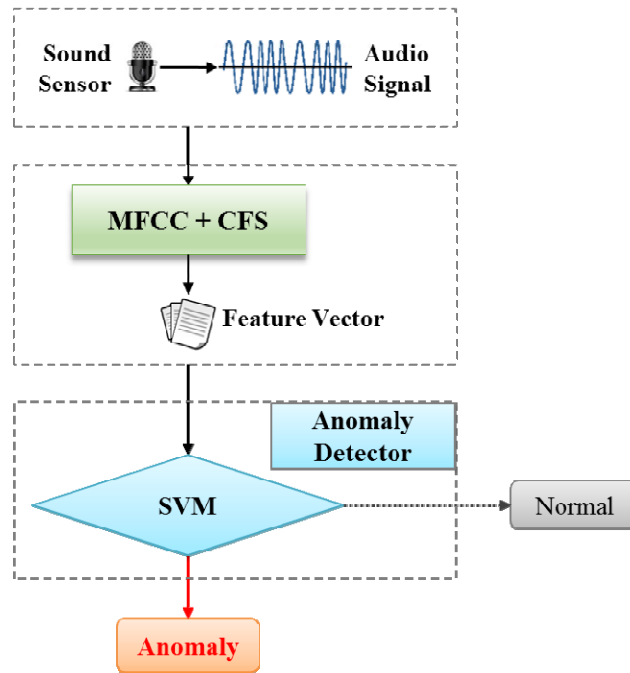


Fig. 2 Architecture for anomaly detection

본 연구에서 탐지하고자 하는 선로전환기의 이상상황은 Asada 등[4]이 정리한 선로전환기 고장들 중 다음 3가지 상황의 데이터를 수집 및 사용하였다: 1) Stock rail과 Switch blade 사이에 자갈(ballast)이 들어간 경우(그림 1 참조), 2) Stock rail과 Switch blade 사이에 얼음 조각이 들어간 경우, 3) Drive rod의 나사(nut)가 풀린 경우(그림 3 참조).



Fig. 3 Photo of Drive rod with slacked nut

2.1 SVM 기반의 선로전환기 이상상황 탐지

통계적 학습이론에 기반을 둔 SVM은 주어진 문제를 항상 전역적 최적해가 보장되는 convex quadratic problem으로 변환하여 해를 구하기 때문에 패턴인식 분야에서 매우 우수한 성능을 보이고 있다[5]. 이상상황탐지 문제는 정상과 이상상황(비정상)을 구분하는 이진 클래스 분류 문제로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이진 클래스 분류에 효과적인 기계학습 방법인 SVM을 선로 전환기의 선로전환 시의 비정상 상황을 탐지하는 알고리즘으로 사용한다.



Fig. 4 Photo of sample data extraction

3. 실험 및 결과

본 논문에서는 선로전환기의 상태를 분석하기 위하여, 소리센서(SHURE SM137)를 선로 전환기의 전면에 위치시킨 후 선로전환기가 전환을 수행할 때 발생하는 소리를 수집하였다(그림 4 참조). 실제, 2016년 1월 1일 하루 동안 대전 유성구의 (주)세화에 위치한 선로전환기(NS-AM형)에서 다양한 상황에 대한 데이터 셋을 취득하였다.

실험에 사용하기 위해 소리의 시그널(그림 5 참조) 및 스펙트로그램을 확인한 후 수동으로 편집하였으며, 각각의 소리 데이터는 약 4.5~5.5초로 구성되었다. 정상적인 데이터 150개,

비정상 데이터 430개{나사가 풀어진 경우: 150, 자갈이 있는 경우: 140, 얼음 조각이 있는 경우: 140}, 총 580개를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 성능측정을 위한 지표로는 비정상 상황 탐지율(ADR: Anomaly Detection Rate: 비정상을 비정상으로 올바르게 탐지한 비율), FPR(False Positive Rate: 정상 동작이 비정상 동작으로 오탐지된 비율), FNR(False Negative Rate: 비정상 동작이 정상 동작으로 오탐지된 비율)을 사용하였다[7].

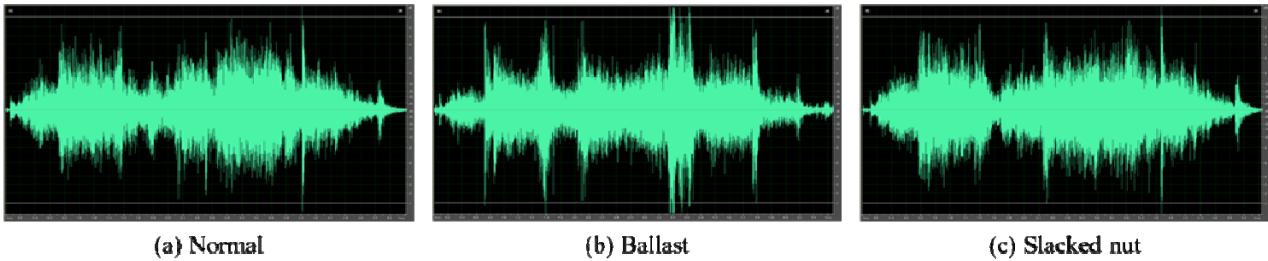


Fig. 5 Waveform for normal and fault sound samples

3.1 특징 추출 및 특징 선택

취득한 선로전환기의 전환 시 발생한 소리에서 MFCC 특징은 프로그램 R의 tuneR 패키지를 이용하여 추출하였다. MFCC 특징은 개별 소리를 60 프레임으로 나눈 후 각각의 프레임에서 12개의 MFCC 특징값을 추출하였으며, 이 때 추출된 특징 차원은 720이다. 추출된 특징의 차원을 줄이기 위하여, Weka 프로그램에서 제공하는 CFS 도구를 이용하였다. 720차원의 MFCC를 CFS에 적용한 결과 총 108개가 선택되었다. 본 논문에서는 선택된 108개의 MFCC 특징값들을 소리 특징벡터로 선정한 후, 이를 선로 전환기의 비정상 탐지 실험에 적용하였다.

3.2 SVM을 이용한 비정상 상황 탐지 결과

선로전환기의 비정상 상황 탐지를 위한 학습 및 테스트는 Weka 3.6.9에서 제공하는 SVM 도구인 SMO를 이용하였다. 테스트 옵션은 10-fold cross validation, 커널 함수는 RBF(Radial Basis Function) Kernel을 사용하였다. gamma값은 0.025, SVM의 상대적 중요성을 조정하는 상수(trade-off constant) C값은 3.5로 설정하였다. 해당 실험 결과 선로전환기의 비정상 상황 탐지율(ADR)은 98.3%, FPR과 FNR은 각각 2.9%, 1.7%라는 안정적인 결과를 기록하였다.

4. 결론

본 논문에서는 선로전환 시 발생하는 비정상 상황을 소리 정보를 이용하여 탐지하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 먼저 실시간으로 유입되는 소리 데이터로부터 MFCC 특징을 추출 후 CFS를 이용하여 최적의 특징 벡터를 생성하였다. 선택된 소리 특징 벡터는 이진 클래스 분류기의 대표적인 모델인 SVM에 적용하여 선로전환기의 비정상 상황을 탐지하였다. 실제 소리 정보는 대전시 유성구의 (주)세화에 위치한 NS-AM 형의 선로전환기에서 2016년 1월 1일 소리 데이터 셋을 취득하였다. 실제 선로전환기에서 수집한 소리 정보 데이터 셋을 이용하여 본

논문에서 제안하는 소리 정보 기반의 선로전환기 이상상황 탐지 시스템의 성능을 실험적으로 확인하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 2015년도 중소기업청 기술혁신개발사업 혁신형기업과제(S2312692)의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] J.-H. Lee, Y.-K. Kim, J.-Y. Park (2015) A study on the field application of switching power measurement by using sensor in electrical point machine, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 64(7), pp. 1130-1136.
- [2] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Prescott, D. Rama (2015) A fault detection method for railway point systems. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 0954409714567487, pp. 1-14.
- [3] O. Eker, F. Camci, U. Kumar (2012) SVM based diagnostics on railway turnouts, *International Journal of Performability Engineering*, 8(3), pp. 289-398.
- [4] T. Asada, C. Roberts, T. Koseki (2013) An algorithm for improved performance of railway condition monitoring equipment: Alternating-current point machine case study, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, pp. 81-92.
- [5] J. Lee, B. Noh, S. Jang, D. Park et al. (2015) Stress detection and classification of laying hens by sound analysis, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), pp. 592-598.
- [6] R. K. Sharma, V. Sugumaran, H. Kumar, M. Amarnath (2015) A comparative study of naive Bayes classifier and Bayes net classifier for fault diagnosis of roller bearing using sound signal, *International Journal of Decision Support Systems*, 1(1), pp. 115-129.
- [7] J. Han, M. Kamber, J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3rd ed., Morgan Kaufmann: San Francisco, USA, 2012.