

선로전환기의 전류신호를 이용한 SVM 기반의 노후화 탐지 시스템

최용주*, 이종욱*, 박대희*[†], 정용화*, 임철후**, 윤석한**

*고려대학교 컴퓨터정보학과

** (주)세화

e-mail:{aaa928, eastwest9, dhpark, ychungy}@korea.ac.kr,
{pedal7, shy5406}@sehwa.biz

Deterioration Detection System for Railway Point Machine Using Current Signal and SVM

Yongju Choi*, Jonguk Lee*, Daihee Park*[†], Yongwha Chung*,
Chulhoo Lim**, Sukhan Yoon**

*Dept of Computer Information Science, Korea University

**Sehwa Company

요 약

고속철도 산업의 핵심 요소 중 하나인 선로전환기는 열차의 진로를 제어해주는 부품으로, 해당 설비의 노후화를 조기에 탐지하여 적절한 시기에 선로전환기를 교체하는 것은 안정적인 철도운영에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 선로전환기의 작동 시 발생하는 전류 신호를 이용하여 선로전환기의 노후화를 탐지하는 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 선로전환기로부터 전류 신호를 취득한 후, 주파수 도메인의 특징인 SK값으로 변환하여 특징벡터를 추출하고, PCA를 이용하여 SK벡터의 차원 축소와 동시에 중요한 특징들만을 선택한다. 마지막으로, 선로전환기의 노후화를 탐지하는 문제를 이진 클래스 문제로 해석하여, 기계학습의 대표적 모델인 SVM을 이용하여 선로전환기의 노후화 여부를 탐지한다. 실제 국내에서 운행 중인 선로전환기의 전류 신호를 취득하여 실험한 결과, 선로전환기의 노후화 상황을 안정적으로 탐지함을 확인하였다.

1. 서론

고속철도 산업의 핵심 요소 중 하나인 선로전환기는 열차의 진로를 제어해주는 부품으로, 해당 설비의 노후화를 조기에 탐지하여 적절한 시기에 선로전환기를 교체하는 것은 안정적인 철도운영에서 매우 중요하다[1]. 특히, 외부 환경에 노출되어 작동하는 선로전환기의 특성 상, 선로전환기의 부품들은 외부 충격을 자주 받게 된다. 이러한 외부 충격들로 인해 선로전환기는 지속적으로 손상을 받게 되며 이는 선로전환기의 미세한 균열이나 누적 손상을 야기하게 되어 결국 선로전환기의 노후화로 이어진다[2]. 그러므로 안정적인 철도의 운영을 위하여, 선로전환기가 받는 스트레스를 해석하여 선로전환기의 적절한 교체시기를 결정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다[3].

선로전환기에 관한 최근의 연구 동향들을 살펴보면, 선로전환기의 결함 및 스트레스를 조기에 탐지하고자 하는 많은 노력들이 철도 선진국을 중심으로 진행되고 있다. 예를 들면, Asada 등[1]은 선로전환기를 작동시키는 모터의 전류 신호와 전압 신호를 이용하여 선로 전환기의 상태를 모니터링 하는 시스템을 제안하였다. Vileiniskis 등[4]은 선로전환기의 전류 신호의 변화를 이용하여, 미리 설정해

둔 threshold를 벗어나는지의 여부를 근거로 선로전환기의 이상상태를 판단하였다. 또한 Eker 등[5]은 모터 전류측정 센서 등을 이용하여 취득한 특징 정보들을 PCA(Principal Components Analysis)와 SVM(Support Vector Machine)을 이용하여 drive rod가 비정상적으로 작동하는 상태인 불일치 상태 여부를 탐지하였다. Lee 등[6]은 선로전환기의 실제 작동 시 발생하는 소리 정보를 이용하여, MFCC(Mel-Frequency Cepstrum Coefficients) 특징 벡터를 추출하고, SVM을 이용하여 선로전환기의 이상상태를 탐지 및 분류하는 연구결과를 발표하였다.

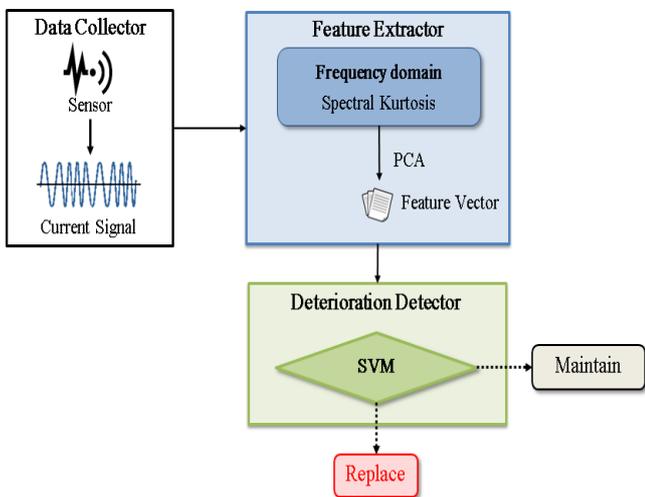
본 논문에서는 선로전환기의 작동 시 유입되는 전류 신호를 이용하여 선로전환기의 노후화 상황을 탐지하는 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 선로전환기로부터 전류 신호를 취득한 후, 전류 신호를 주파수 도메인의 특징인 SK(Spectral Kurtosis)값으로 변환하여 특징벡터를 추출하고, PCA를 이용하여 SK벡터의 차원 축소와 동시에 중요한 특징들만을 선택한다. 또한 제안된 시스템은 선로전환기의 노후화 문제를 이진 분류 문제로 해석하여 이진 분류기의 대표적 모델인 SVM을 노후화 탐지기로 설계하였다. SVM기반의 노후화 탐지기는 노후화된 선로전환기의 교체전과 새롭게 교체 후의 선로전환기의 전류 신호를 구분하여 미리 학습하고, 노후화된 선로전환기의

[†] 교신저자

전류 신호가 실시간으로 탐지될 경우 선로전환기의 관리자에게 알람을 경고한다. 제안된 시스템은 선로전환기의 노후화 여부를 조기에 판단하여 노후화로 인한 선로전환기의 적절한 교체시기를 판단함으로써 예정된 사고를 사전에 예방할 수 있는 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 선로전환기의 전류 신호를 이용한 SVM 기반의 노후화 탐지 시스템

본 논문에서 제안하는 선로전환기의 전류 신호를 이용한 SVM 기반의 노후화 탐지 시스템은 그림 1과 같다. 시스템은 데이터 수집(Data Collector) 모듈, 특징 추출(Feature Extractor) 모듈, 노후화 탐지(Deterioration Detector) 모듈로 구성된다.



(그림 1) 선로전환기의 전류 신호를 이용한 SVM 기반의 노후화 탐지 시스템 구성도

2.1 데이터 수집 모듈

데이터 수집 모듈에서는 센서로 부터 선로전환기를 작동 시키는 모터의 전류 신호를 실시간으로 수집한다.

2.2 특징 추출 모듈

특징 추출 모듈은 선로전환기의 노후화 탐지를 위하여 데이터 수집 모듈로부터 받은 전류 신호를 STFT(Short Time Fourier Transformation)을 이용하여 주파수 도메인으로 변환 한 후, SK값[7]을 추출하고 PCA를 이용하여 SK벡터의 차원의 크기를 축소함과 동시에 중요한 특징들만을 선택한다. 전기 신호 분석에서 자주 쓰이는 웨이블릿 분석은 변환과정에서 정보의 손실이 발생하나, SK는 주파수 도메인에 있는 기존의 값을 증폭시켜서 사용하기 때문에 정보의 손실 없는 효과적인 방법으로 평가된다[8].

2.3 노후화 탐지 모듈

노후화 탐지 모듈에서는 선로전환기의 노후화 탐지를

위해 미리 훈련을 마친 SVM을 기반으로, 실시간으로 유입되는 전류 신호의 노후화 여부를 탐지한다.

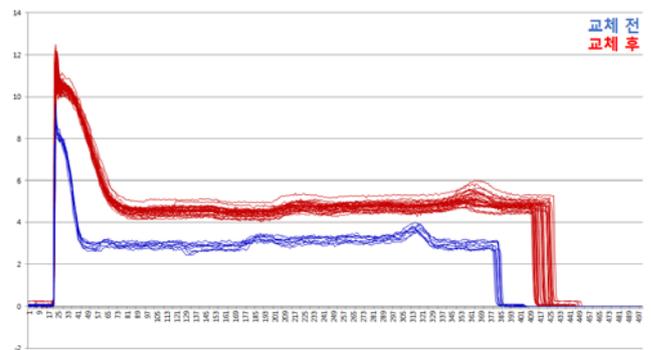
3. 실험 및 결과 분석

3.1 실험 데이터 획득

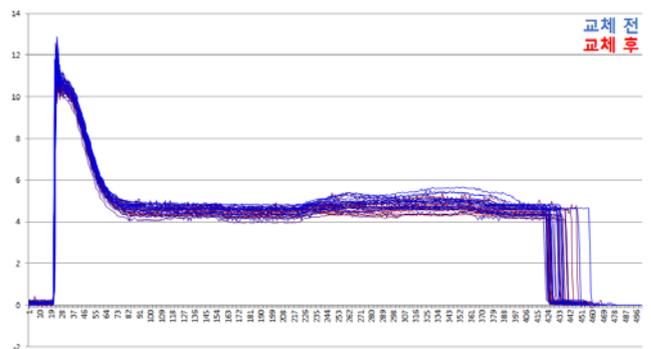
SVM 기반 선로전환기의 노후화를 탐지하는 실험을 위하여 실제 국내 7개 역사의 선로전환기의 전류 신호를 이용하였다. 실험에 사용한 데이터는 총 1,061개의 데이터로, 선로전환기를 교체한 날짜를 기준으로 교체 전과 교체 후의 2개의 Class로 분류하였다(표 1 참조).

<표 1> 노후화 탐지를 위한 데이터 셋

	개 수
교체 전	Total : 528개
교체 후	Total : 533개



(a) 선로전환기의 전류 신호(이상적인 그래프)



(b) 선로전환기의 전류 신호(구분이 힘든 그래프)

(그림 2) 전류 신호 그래프

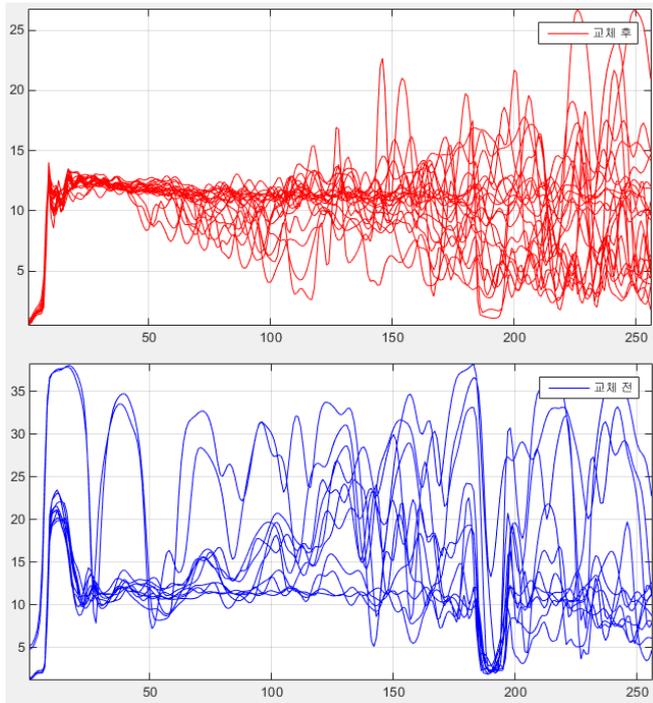
교체 전과 교체 후의 전류 신호를 비교해보면 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 선로전환기의 이상적인 전류 신호로써 교체 전과 교체 후의 그래프 형태 차이가 확연하게 드러나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 선로전환기의 모든 전류 신호가 그림 2(a)와 같이 이상적인 형태를 가지지는 않는다. 그림 2(b)를 보면 그림 2(a)와는 다르게 육안으로는 교체 전과 후를 결정하기 어렵다는 것을 확인할 수 있다.

3.2 특징 추출 및 특징 선택

선로전환기에서 취득한 전류 신호에서 특징을 추출하기 위하여 Matlab 2014b를 사용하여 주파수 도메인에서의 SK값들을 추출하였다(식 1 참조).

$$SK(f) = \#T * \frac{\sum_{t \in T} |STFT(t, f)|^4}{(\sum_{t \in T} |STFT(t, f)|^2)^2} - 2 \quad (1)$$

1번 수식에서 f 는 주파수 대역을 의미하며 $SK(f)$ 는 f 에서의 SK값을 뜻한다. T 는 계산된 STFT의 개수이며, STFT의 네제곱은 첨도 기댓값(분포의 뾰족한 정도의 측도), STFT의 제곱은 분산을 뜻한다. 추출된 SK의 차원은 총 256차원이며, 교체 전과 교체 후의 SK 그래프는 그림 3과 같다. 추출된 256차원의 SK벡터는 PCA를 이용하여 기존 대비 약 92.18%인 20차원으로 축소하였다.



(그림 3) 전류 신호에 대한 SK값의 그래프

3.3 전류 신호를 이용한 선로전환기의 노후화 탐지

전류 신호의 SK값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 실험은 표 1에서 명시한 바와 같이, 교체 전의 데이터 528개와 교체 후의 데이터 533개의 전류 데이터를 대상으로 R 3.2.3 버전을 이용하여 SVM 실험을 수행하였다. 전체 데이터 셋의 50%를 랜덤으로 선택한 데이터로부터 grid search 방법을 이용하여 SVM의 상대적 중요성을 조정하는 상수(trade-off constant) C 값은 5.0으로, RBF(Radial Basis Function) kernel의 계수 값인 gamma는 0.0625로 설정하였다. Grid search에서 사용하지 않은 나머지 50%의

데이터 셋에 대해서 10 fold-cross validation으로 노후화 탐지의 성능 실험을 수행하였다.

실험 성능 측정을 위한 지표로는 DDR(Deterioration Detection Rate: 노후화 탐지율), FPR(False Positive Rate: 노후화가 아닌 데이터가 노후화 데이터로 오탐지된 비율), FNR(False Negative Rate: 노후화된 데이터가 노후화가 아닌 데이터로 오탐지된 비율)을 사용하였고, 각각의 수식은 다음과 같다.

$$DDR = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (2)$$

$$FPR = \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{\sum_{i=1}^l N_i} \quad (3)$$

$$FNR = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} F_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (4)$$

위 식들에서 I_i 는 노후화 데이터의 개수, T_i 는 노후화 데이터를 노후화라고 정상적으로 탐지한 데이터의 개수, N_i 는 노후화가 아닌 데이터의 개수, P_i 는 노후화가 아닌 데이터를 노후화라고 잘못 탐지한 데이터의 개수, F_i 는 노후화 데이터를 노후화가 아니라고 잘못 판단한 데이터의 개수를 의미한다.

실험 결과는 표 2와 같으며, 선로전환기의 DDR은 95.83%, FPR과 FNR은 각각 0.00%, 4.17%라는 안정적인 실험 결과를 확인하였다.

<표 2> 선로전환기의 노후화 탐지 실험 결과

DDR	FPR	FNR
95.83%	0.00%	4.17%

4. 결론

본 논문에서는 선로전환기의 전류 신호를 이용하여 선로전환기의 노후화를 탐지하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 먼저, 선로전환기의 운행 시 발생하는 전류 신호를 취득하여 주파수 도메인으로 변환 한 후, SK값을 구하여 특징을 추출하고 PCA를 이용하여 특징 벡터의 크기를 축소하였다. 마지막으로, 선로전환기의 노후화 탐지를 이진 클래스 문제로 해석하여, 기계학습의 대표적 모델인 SVM을 이용하여 선로전환기의 노후화 여부를 탐지하였다. 실제 국내에서 운행 중인 역사에서 취득한 데이터를

사용하여 본 논문에서 제안하는 선로전환기의 진류 신호를 이용한 SVM 기반의 노후화 탐지 시스템을 실험적으로 검증하였다.

5. 감사의 글

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

참고문헌

- [1] T. Asada, C. Roberts, and T. Koseki, "An algorithm for improved performance of railway condition monitoring equipment: Alternating-current point machine case study," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.30, pp.81-92, 2013.
- [2] C.S. Kim and G.H. Kang, "Fatigue analysis of reduction gears unit in rolling stock considering operating characteristics," *Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society*, Vol.12, No.3, pp.1085-1090, 2011.
- [3] W. Jin, Z. Shi, D. Siegel, P. Dersin, C. Douziech, M. Pugnali, and J. Lee, "Development and evaluation of health monitoring techniques for railway point machines," In *Prognostics and Health Management 2015 IEEE Conference*, pp.1-11, 2015.
- [4] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Priscott, and D. Rama, "A fault detection method for railway point systems," In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol.230, No.3, pp.852-865, 2016.
- [5] O. Eker, F. Camci, and U. Kumar, "SVM based diagnostics on railway turnouts," *International Journal of Performability Engineering*, Vol.8, No.3, pp.289-398, 2012.
- [6] J. Lee, H. Choi, D. Park, Y. Chung, H.-Y. Kim, and S. Yoon, "Fault detection and diagnosis of railway point machines by sound analysis," *Sensors*, Vol.16, No.4, pp.549, 2016.
- [7] J. Obuchowski, A. Wyłomańska, and R. Zimroz, "Selection of informative frequency band in local damage detection in rotating machinery," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.48, No.1, pp.138-152, 2014.
- [8] V. C. M. N. Leite, J. G. Borges da Silva, G. F. C. Veloso, L. E. Borges da Silva, G. Lambert-Torres, E. L. Bonaldi, and L. E. de Lacerda de Oliveira, "Detection of localized bearing faults in induction machines by spectral kurtosis and envelope analysis of stator current," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.62, No.3, pp.1855-1865, 2015.