

적응적 자가 튜닝 서포트벡터머신을 이용한 베어링 고장 진단

김재영⁰, 김종면^{*}, 최병근^{**}, 손석만^{***}

⁰울산대학교 전기전자컴퓨터공학과, ^{*}교신저자: 울산대학교 전기공학부,

^{**}국립경상대학교 에너지기계공학부, ^{***}한국전력공사 전력연구원

e-mail: jmkim07@ulsan.ac.kr^{*}

Bearing Fault Diagnosis using Adaptive Self-Tuning Support Vector Machine

Jaeyoung Kim⁰, Jong-Myon Kim^{*}, Byeong-Keun Choi^{**}

⁰School of Electrical, Electronics, and Computer Engineering, University of Ulsan,

^{*}School of Electrical Engineering, University of Ulsan,

^{**}Dept. of Energy Mechanical Engineering, Gyeongsang National University

^{***}Power Generation Laboratory, KEPCO Research Institute

● 요약 ●

본 논문에서는 서포트 벡터 머신 (SVM)의 분류 성능에 영향을 주는 인수인 C 와 σ 값을 적응적으로 최적화할 수 있는 적응적 자가튜닝 SVM을 이용한 베어링의 상태 진단 방법을 제안한다. SVM의 각 인수의 변화에 따른 베어링 상태 진단의 성능 변화 패턴을 분석하여 적합한 인수를 적응적으로 찾을 수 있는 방법을 제안하고, 제안한 방법의 우수성을 검증하기 위해 실제 베어링 신호를 이용하여 기존방법인 격자탐색과의 성능을 비교하였다.

키워드: 고장 진단(Fault Diagnosis), 베어링(Bearing), 서포트벡터머신(Support Vector Machine, SVM), 격자탐색(Grid Search)

I. Introduction

베어링은 회전기계의 축을 고정시켜주고 축과 기계사이의 마찰을 줄여주는 중요한 요소이다. 따라서 베어링의 상태를 진단하는 것은 기계의 유지보수에 있어서 매우 중요하다[1].

서포트벡터머신(support vector machine, SVM)은 지도식 기계학습 분류기로 기계 상태 진단에 사용되는 분류기 중 하나이다[2]. 비선형적인 특징벡터들을 분류하기위해서 커널트릭(Kernel trick)이 사용되는데 커널함수로 Radial basis function(RBF)을 주로 사용한다[2]. 그러나 RBF 커널을 사용하는 SVM으로 높은 분류 성능을 달성하기 위해서는 분류 에러에 대한 페널티를 조절하는 인수인 C 값과 커널함수의 비선형성을 조절하는 인수인 σ 값의 최적 조합을 찾아야 한다. 기존 방법으로는 격자탐색(grid search)이 있다[2]. 그러나 격자탐색은 모든 인수에 대해 SVM을 학습시키고 분류 성능을 평가하여야하기 때문에 실행시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

본 논문에서는 RBF커널을 이용한 SVM의 최적 인수를 적응적으로 빠르게 탐색할 수 있는 방법을 제안하고, 이를 베어링 상태 진단에 적용 및 기존 방법과 비교하여 제안한 방법의 우수성을 검증한다.

II. Self-Tuning Support Vector Machine

1. A Pattern of classification accuracy

그림1은 SVM의 두 인수인 C 와 σ 값을 변화에 따른 베어링 상태 진단의 분류성능을 보인 것이다. 그림1에서 볼 수 있듯이 분류 성능이 C 와 σ 값의 변화에 따라 불룩한 곡선 패턴으로 변화한다. 이는 두 인수의 조합이 분류 성능에 대해 방향성을 갖는다는 것이므로 분류 성능이 증가하는 방향을 찾을 수 있다면 모든 인수 조합에 대해 분류 성능을 평가하는 것보다 분류 성능이 증가하는 방향으로 일부 조합에 대해서만 분류 성능을 평가하는 것이 최적 인수를 찾는 데 더 적은 시간이 걸린다는 사실을 알 수 있다.

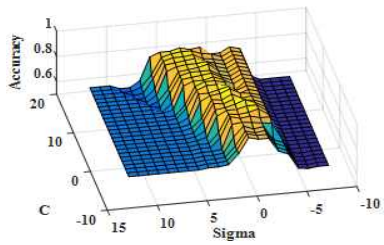


Fig. 1. A Pattern of classification accuracy

2. Self-tuning C and sigma values

그림 2에서는 C 값은 y축, σ 값은 x축인 2차원 공간을 보인다. 2차원 공간의 각 칸에 대응되는 C와 σ 값으로 SVM의 분류 성능을 계산할 수 있다. 그림에서 검은 칸은 현재 탐색 칸을 의미한다. 시계 방향으로 이웃한 칸들을 탐색하여 분류 성능의 증가폭이 가장 높은 점을 찾는다. 그림 2에서 회색 칸을 성능 증가폭이 가장 높았던 칸이라 하면 다음 단계에서는 회색 칸을 현재 탐색 칸으로 변경하고 탐색을 반복한다. 더 이상 분류 성능이 증가하는 방향이 없을 경우 탐색을 멈추고 현재 칸에 대응되는 C와 σ 값을 최적의 SVM 인수로 결정한다.

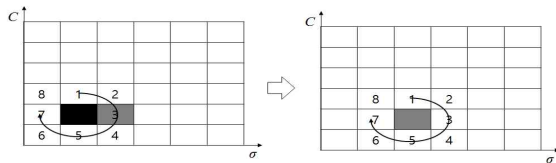


Fig. 2. A searching scheme of a proposed methodology

3. Experimental Results

본 연구에서는 베어링 상태 진단에 사용되는 분류기를 적용적으로 최적화 할 수 있는 자기튜닝 SVM을 제안한다. 제안한 방법의 우수성을 검증하기 위해 구름요소 베어링(FAG NJ206-E-TVP2)에 3mm길이의 외륜, 내륜, 롤러 결합을 내어 300RPM(revolution per a minute)으로 회전하는 자체 제작한 폴트 시뮬레이터에 장착한 후 음향방출 센서를 베어링 하우징에 부착하여 5초길이의 신호들을 각 결합별로 90샘플씩 취득하였다. 각 결합의 30샘플은 SVM을 학습시키는데 사용되었고 60샘플은 베어링 상태 진단 실험에 사용하였다. 그림3은 외륜과 내륜의 분류에 대한 격자탐색의 결과(검은 점)와 제안한 방법의 결과(하늘색 점)를 보인다. 각 칸의 색은 SVM의 분류 성능을 의미하며 붉은색에 가까울수록 100%에 가깝다. 노란색 점은 제안한 방법의 탐색 경로를 보인다. 그림3에서 보듯이 제안한 방법으로 3번의 탐색을 거쳐 최적의 인수를 찾은 것을 알 수 있다.

베어링 상태 진단의 분류 성능은 99.8%를 보였고 실행시간에서는 격자탐색을 이용한 SVM의 경우 SVM 최적 변수 조합을 찾는데 11.3초의 시간이 걸렸으나, 제안한 방법으로 SVM의 최적 변수 조합을 찾는 데는 1.7초가 소요되어 제안한 방법이 기존 방법보다 약 6.6배 더 빠르게 최적 변수 조합을 찾았다.

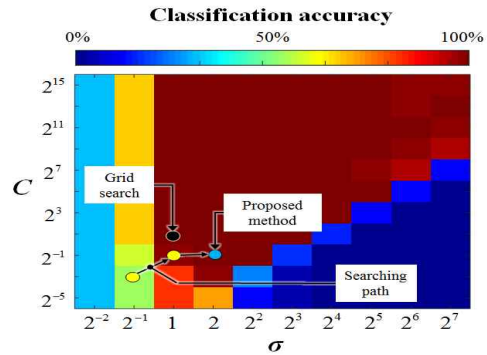


Fig. 3. Searching results of the proposed and grid search methods

III. Conclusion

본 연구에서는 베어링 상태 진단에 사용되는 SVM 분류기의 최적 인수를 찾는데 기존 방법인 격자탐색의 실행시간이 오래 걸린다는 문제점을 제시하고 이를 해결하기 위해 자기튜닝 SVM을 제안하였다. 인수의 변화에 따른 SVM 분류 성능의 패턴을 분석하고 방향성을 찾았다. 분류 성능이 증가하는 방향에 따라 인수를 변화하며 분류 성능을 평가하여 최적의 인수를 단시간에 찾을 수 있었다. 또한, 실제 취득한 베어링 결합 신호를 이용하여 우수성을 검증하였다.

Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부 전력산업융합원천기술개발(201301010170D)과 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2015K2A1A2070866)

References

- [1] X. Jin, M. Zhao, T. W. S. Chow, and M. Pecht, "Motor bearing fault diagnosis using trace ratio linear discriminant analysis," *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, Vol. 61, No. 6, pp. 2441–2451, May 2014.
- [2] M. Kang, J. Kim, J.-M. Kim, A. C. C. Tan, E. Y. Kim, and B.-C. Kim, "Reliable Fault Diagnosis for Low-Speed Bearings using Individually Trained Support Vector Machines with Kernel Discriminative Feature Analysis," *IEEE Trans. on Power Elec.*, Vol. 30, No. 5, pp. 2786-2797, May 2015.