

회전기계의 이상진동진단을 위한 사례기반 추론 시스템의 개발

이창목*, 양보석**

Development of Case-based Reasoning System for Abnormal Vibration Diagnosis of Rotating Machinery

C. M. Lee, B. S. Yang

Abstract

The necessity of diagnosis of the rotating machinery which is widely used in the industry is increasing. If rotating machinery has fault, we can detect fault using vibration or noise. But, in diagnosing rotating machinery, the end user who doesn't have expert knowledge needs the help of vibration diagnosis expert. However, vibration diagnosis experts who well satisfy the demand of end user are rare. So, this paper propose a development of the case-based reasoning system for abnormal vibration diagnosis of rotating machinery. we construct the past experiences of vibration diagnosis expert into case base and shear the experiences of diagnosis expert with the end user.

In this paper, we describe that process of structured system and adapting result of abnormal vibration diagnosis of electric motor.

1. 서론

회전기계는 산업현장에서 다양한 작업을 수행하면서도 중요한 위치를 차지하고 있다. 회전기계의 기구학적 특성상 진동을 포함하지 않고 운전될 수 없으며, 이러한 진동은 사람의 몸에 이상이 있을 때, 열을 발산하듯이 회전기계에 어떠한 결함이 존재할 때 진동을 함으로써 그러한 사실을 나타낸다. 그리고 이러한 진동을 동정(identification)함으로써 진동의 원인을 발견하고, 발견된 원인을 바탕으로 대책을 수립하여, 수리를 할 것인지, 새로운 기계로 대체 할 것인지 등을 결정하게 된다.

그러나 현재 발생하고 있는 현상을 바탕으로 원인을 발견하고, 그 대책을 수립하는 데에는 상당한 기간의 경험과 지식이 요구된다. 진동은 기계의 이상 혹은 결함을 진단할 때 중요한 인자로 고려되고 있지만, 진동을 이용한 기계의 이상 및 결함진단을 수행할 수 있는 진동진단 전문가는 절대적으로 부족한 것이 오늘의 현실이다. 이에 본 논문에서는 전문가의 지식을 공유하기 위해 인공지능(AI: Artificial Intelligent)의 한 분야인 사례기반추론(Case-based Reasoning)¹⁾²⁾ 시스템의 진동진단분야에 적용 가능성을 검토하고, 진동진단 전문가가 현장에서 발생했던 다양한 현상을 관찰하여, 진동의 원인을 발견하고, 이에 따른 대책수립을 수행하였던, 많은 양의 기술보고서²⁾를 표준사례(standard case)의 형태로 정리하고, 사례기반추론이

* 부경대학교 대학원 기계공학과

** 부경대학교 기계공학부

가능한 형태의 라이브러리로 구축하였다. 또한, 사용자의 편의를 도모하기 위해 최근 급속도로 확산되고 있는 인터넷(internet)에서 사용이 가능한 시스템을 개발하였다.

사례기반추론 시스템은 얼마나 빠르고, 정확하게 과거에 전문가가 진단을 수행했던 유사사례(similar case)를 찾아내는가가 시스템의 성패를 좌우한다. 본 시스템에서는 유사사례검색의 속도를 향상시키기 위해서 라이브러리 개념을 도입하였고, 인터넷을 통해 산업현장에 설치된 사용자의 PC에서 본 연구실의 Web Server에 접속함으로써, 실시간 진단(real-time diagnosis)이 가능한 시스템을 실현하였다.

본 연구의 유용성을 검토하기 위해, 전동기와 관련된 사례에 적용을 하였다. 시스템은 27개의 표준사례로 구성되어 있다.

2. 사례기반추론¹⁾

Riesbeck과 Schank의 정의에 의하면, 사례기반추론이란 과거의 어떤 문제를 해결하기 위해 사용했던 해결방법(경험)을 적용 시킴으로서 새로운 문제를 해결하는 방법이라고 할 수 있다.

그러면 사례기반추론이란 무엇인가? 앞의 정의를 간단히 설명하면 기본적으로, 예전의 비슷한 상황을 기억(remember)하고, 그 상황에서의 정보와 지식을 재사용(reuse)함으로써 새로운 문제(new case)를 해결하는 것이다. 여기서 몇몇의 전형적인 문제해결 상황을 예로 설명한다.

어떤 은행의 대출 책임자가 고객으로부터 대출을 요구받았을 때, 대출책임자는 대출을 요구하는 모든 사람에게 아무 근거 없이 돈을 빌려주지 않을 것이다. 대신에 대출을 요구한 사람들 중에서 이자나 원금을 갚을만한 고객에게 돈을 대출해 줄 것이다. 이것을 결정하는 방법 중의 하나는 새로운 대출 희망자들의 상황(급여재산세, ...)이 이전에 돈을 대출했다가 갚은 고객들의 상황과 유사한지를 검토하여 유사한 고객에게는 대출을 허락

하고 그렇지 않은 고객에게는 대출을 거부하는 것이다. 또 다른 예로 의사가 새로운 환자를 받았을 때, 과거에 진찰했던 환자의 진단기록과 증상을 참고로 하여, 새로운 환자의 증상과 가장 유사했던 과거 환자의 진찰기록을 이용함으로써 의사는 새로운 환자를 진단하는데 있어서, 많은 비용절감을 할 수 있을 것이다.

이상의 예와 같이, 사례기반추론 기법은 과거에 경험했던 다양한 문제와 이에 따른 해결방법을 기억하고 이러한 기억을 바탕으로 현재 발생하고 있는 새로운 문제에 과거 발생했던 문제의 해(solution)를 재사용함으로써 해결하고자 하는 방법이다.

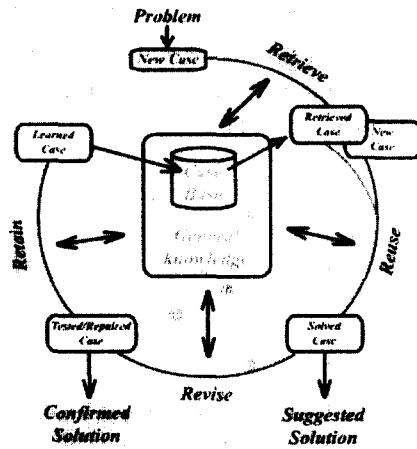


Fig. 1 Basic reasoning cycle of CBR

Fig. 1은 사례기반추론의 기본적인 추론과정을 나타낸다. 먼저 새로운 문제가 발생하면, 그와 가장 유사한 이전사례를 검색하고, 검색된 사례와 새로운 문제를 바탕으로 재사용의 과정을 거쳐 해를 제안하고, 제안된 해를 이용하여 새로운 문제를 검증하며, 성공하였을 경우는 새로운 사례로, 실패하였을 경우에는 같은 실수를 반복하지 않기 위해 실패의 사례로 사례베이스에 저장된다.

3. 유사도 평가

사례기반추론시스템에서 유사도(similarity)

를 평가하는 것은 2가지의 의미를 가진다. 즉, 새로운 문제와 근접한 가장 유용한 사례를 검색하는 것과, 새로운 문제와 관계없는 사례를 무시하기 위한 것이다. 유사도를 평가하는 함수로는 최근접 이웃 알고리즘(Nearest Neighbor Algorithm)⁴⁾⁵⁾ 등 다양한 평가함수들이 제안되고 있고, 본 논문에서는 최근접 이웃 알고리즘을 이용한 방법과 여현 일치함수(cosine matching function)⁵⁾를 이용한 방법에 대해 설명하고, 실제 시스템에 이들을 적용하였다.

3.1 최근접 이웃 알고리즘

최근접 이웃 알고리즘은 새로운 문제(new case)와 가장 가까운 거리에 위치하는 이전 사례를 발견하는 알고리즘으로 이미 여러 인공지능 분야에서 그 유용성이 검증되었으며, 기계학습(machine learning)분야에서도 최근 널리 이용되고 있다.

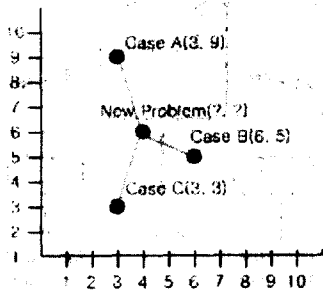


Fig. 2 Simple example of NN algorithm

예를 들면 Fig. 2에 나타내듯이 2차원 해 공간에서 사례 A, B, C가 있다고 할 때, 새로운 문제는 어떤 사례와 가장 가까운가를 정의하는 알고리즘이라 할 수 있다. 여기서 가장 가까운 사례의 해를 새로운 문제의 해로 적용시킨다면, 사례기반추론의 기본 개념을 만족하게 된다. 최근접 이웃 알고리즘은 다음과 같이 정의된다.⁵⁾

$$S_{NN} = \frac{\sum_{i=0}^n w_i \cdot \{ \sim(a_i^n, a_i^{P_i}) \}}{\sum_{i=0}^n w_i} \quad (1)$$

여기서 $\sim(a_i^n, a_i^{P_i})$ 는 이전 사례 k 와 새로운 사례의 키워드 쌍(keyword pair)에 따르는 유사도이다. 일치하면 1, 일치하지 않으면 0의 값을 가진다. w_i 는 키워드가 가지는 가중치(weight)이다. 여기서 가중치는 새로운 문제의 해를 제안한다는 목표에 따르는 키워드의 중요도를 나타낸다. 만일, 찾는 대상이 '빨간색'이라고 했을 때, '주황색'은 '푸른색'보다 높은 가중치를 가지게 될 것이다.

3.2 여현일치함수

정보검색시스템에서 여현일치함수는 데이터베이스에서 문서(document)에 대한 질의 일치(query matching)에 널리 사용되고 있다.

$$S_{CMF} = \frac{\sum_{i=0}^n w_i^n \cdot w_i^{P_i}}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (w_i^n)^2 \cdot \sum_{i=0}^n (w_i^{P_i})^2}} \quad (2)$$

여기서 w_i^n 은 새로운 사례의 i 번째 키워드의 가중치이고, $w_i^{P_i}$ 는 이전 사례의 i 번째 키워드의 가중치이다. 여현일치함수는 키워드의 발생 빈도수 비교를 통해 두 사례의 전체 유사도를 평가한다. 여기서 키워드의 일치여부를 평가하는 $\sim(a_i^n, a_i^{P_i})$ 부분을 여현일치함수에 추가함으로써 수정된 여현일치함수를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_{MCMF} = \frac{\sum_{i=0}^n w_i^n w_i^{P_i} \cdot \sim(a_i^n, a_i^{P_i})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (w_i^n)^2 \cdot \sum_{i=0}^n (w_i^{P_i})^2}} \quad (3)$$

수정여현일치함수는 새로운 사례와 이전 사례의 일치되지 않는 키워드의 효과를 고려함과 동시에 유사도의 평가에서 키워드의 일치 효과를 부과함으로써 보다 정밀한 유사도 평가가 가능하게 된다. $\sim(a_i^n, a_i^{P_i})$ 항으로 인해 키워드 일치여부 판별이 가능하게 된다.

4. 표준 사례 및 라이브러리

여기서는 예로 전동기 진단관련 사례³⁾를 이용하여 키워드를 추출하고, 추출된 키워드를 바탕으로 라이브러리를 구축하는 과정을 설명한다.

4.1 표준 사례(Standard Case)

전동기 관련 사례는 국내·외의 각종 기술 자료³⁾를 바탕으로 재정리하였으며, Fig. 3과 같이 Web browser를 통해 읽을 수 있는 HTML(Hyper Text Mark-up Language)형태의 표준 사례 형식으로 사례베이스를 구축하였다.

각각의 사례는 사례제목, 대상기계, 발생현상, 해석 및 자료분석, 실시한 대책, 교훈, 인용문헌의 형태로 정리되었으며 표준사례는 27건으로 전동기에서 발생하는 현상을 정리하였다.

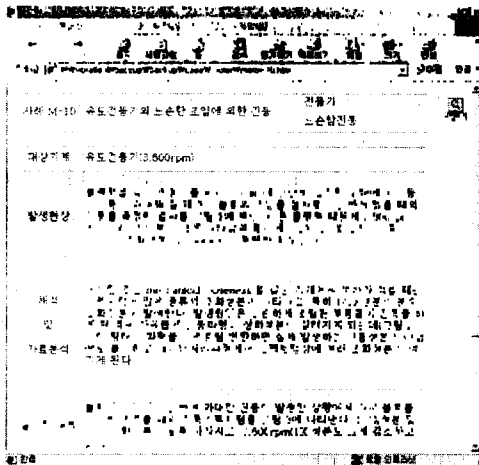


Fig. 3 An example of standard case format

이러한 자연어로 구성된 표준사례를 이용하여 추론을 하는 것은 계산비용 면에서 효율적이지 못하므로, 추론 시간을 줄이기 위해 Fig. 4와 같은 형태의 라이브러리를 구축하였다.

4.2 라이브러리(Library)

라이브러리의 각 라인은 하나의 사례를 나타낸다. 각 라인의 첫 번째 단어는 사례의 제목을 나타내고, XX=숫자의 형태로 XX는 키워드를 숫자는 가중치를 나타낸다. 모든 키워드는 기본적으로 가중치 1을 가지게 되고, Fig. 5에서 보이는 입력창(input window)을 통해서 각각의 키워드는 입력된다.

Fig. 5와 같은 입력창을 통해 사용자는 추정되는 원인과 그에 따르는 가중치를 입력할 수 있다.

```

motor1  c4=1 c5=3 c9=1 e3=1
motor3  c1=3 e1=1
motor4  c3=3 cf=2 e1=1
motor5  c6=1 cb=2
motor6  c6=1 c7=2
motor7  c7=3
motor11 c9=3
motor12 c2=3 e2=1
motor15 c8=3
motor16 c4=2 c8=1 e2=1
motor19 c6=3
motor20 c4=2 c6=1 c7=2
motor22 c4=1 c9=2
motor23 ca=2 cb=3
motor25 cc=3 e5=1
motor26 c0=2 cc=1
motor27 c6=3
motor28 c4=2 cd=3
motor29 c6=3 e1=1
motor31 cf=3
motor32 c4=3 cb=1 ce=1
motor33 c6=3
motor34 c6=2 c8=1
motor35 c6=3
motor40 cf=3
motor41 c0=1 c6=3
motor43 c7=2 c8=2 cf=1
    
```

Fig. 4 Library of motor cases

이들 입력을 바탕으로 추론엔진에서는 최근 접 이웃 알고리즘과 수정된 여현일치함수를 이용하여 사용자가 입력한 키워드 및 가중치를 이용하여 추론을 수행하고 입력된 키워드와 가장 유사한 이전의 사례를 찾아내게 된다.

Fig. 6은 사용자의 입력을 바탕으로 유사도를 계산한 추론의 결과화면이다.

추론결과는 전동기 12번 사례가 가장 유사한 사례로 판명되었으며, 사용자는 Fig. 6에서 나타낸 전동기 사례 12번에서 실시했던 대책을 발생하는 문제에 적용하게 된다.

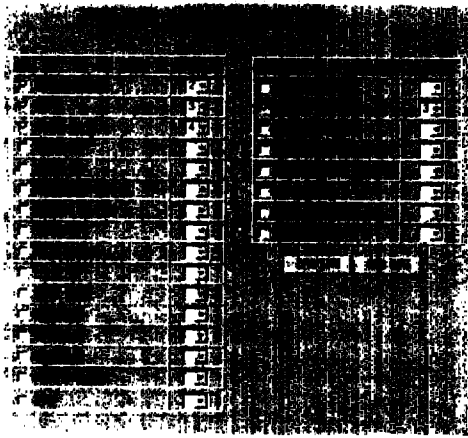


Fig. 5 Input window

motor3의 CMF적용 결과 = 0.153896752812773
 motor4의 CMF적용 결과 = 0.130066495428618
motor12의 CMF적용 결과 = 0.615547011251032
 motor26의 CMF적용 결과 = 0.290190500044005
 motor29의 CMF적용 결과 = 0.153896752812773
 motor41의 CMF적용 결과 = 0.102597835208515

Fig. 6 Result of user input

만약 전동기 사례-12로부터 도출된 결과를 적용하여 문제해결에 성공하였다면 새로운 문제는 성공의 사례로 저장되고, 실패하였다면 동일한 실패를 회피하기 위해 실패의 사례로 저장하게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 인터넷상에서 사례를 검색하고, 추론을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다. 사례기반추론 시스템은 지식을 복잡한 규칙(rule)이나 특정한 형태(예: Tree, 함수 등)로 일반화할 필요가 없다는 장점을 가지고 있다. 그리고 학습을 통해 성공 혹은 실패의 사례를 계속적으로 추가함으로써 사례를 증가시킬 수 있으며, 사례를 추가시키는 것만으로도 좀더 전문가의 조언에 가까운 해결책을 제시할 수 있다. 즉 시간이 지나면 지날수록 더욱더 강력한 추론 시스템이 생성

되는 것이다. 그리고 인터넷을 이용함으로써 실시간 진단(real-time diagnosis)이 가능한 시스템이며, 전문가와 화상을 통한 회의 및 토론 등 다양한 형태로 의 확장이 가능한 종합 진단 시스템을 구축하였다.

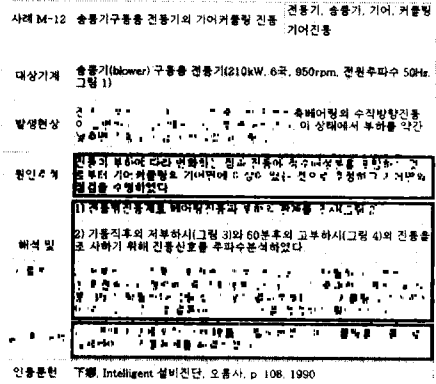


Fig. 7 Reasoning result

참고문헌

- 1) A. Aamodt, E. Plaza, 1994, "Case-based Reasoning : Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches
- 2) R. Bergmann, S. Breen, M. Goeker, M. Manago, S. Wess, 1999, "Developing Industrial Case-based Reasoning Application : The INRECA Methodology"
- 3) 양 보석, 1998, "기계건강진단 사례집", 효성출판사
- 4) 이 창환, 1997, "엔트로피를 이용한 데이터베이스 환경에서의 최근접 이웃 알고리즘", 정보과학회논문지(B), 제 24권, 제 9호, pp. 986-994
- 5) K. M. Gupta, A. R. Montazemi, 1997, "Empirical Evaluation of Retrieval in Case-Based Reasoning System Using Modified Cosine Matching Function", IEEE Transaction on system Man And Cybernetics-Part A: System and Humans, Vol. 27, No. 5, pp 601-612