

중소형 선박의 엔진에 대한 진동을 통한 고장 감지 시스템 개발

이광용*, 배승현*, 이양민**, 이재기***
*동아대학교 컴퓨터공학과 석사과정
**동아대학교 컴퓨터공학과 박사
***동아대학교 컴퓨터공학과 교수
e-mail:maddragon98@nate.com

Development of Defect Detection System using Vibration for Engine of Small or Middle Size Ship

Kwang-Yong Lee*, Seung-Hyun Bae*, Yang-Min Lee**, Jae-Kee Lee***
*Dept of Computer Engineering, Dong-A Univ. Master course
**Dept of Computer Engineering, Dong-A Univ. Ph.D.
***Dept of Computer Engineering, Dong-A Univ. Professor

요 약

현재 산업 장비의 가동률 최대화를 위한 다양한 모니터링 시스템에 대한 연구들이 이루어지고 있으며, 특히 해양 수송 산업이 중심인 국내에서는 진동 정보를 활용한 선박 엔진의 고장 감지 시스템에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 국내에서 아직 관심이 적은 중소형 선박의 엔진에 대한 고장 감지 시스템의 설계 방안 및 인터페이스 설계 방안에 대해서 연구하고, 기본적인 프로그램의 프로토타입을 구현하였다. RS-View를 통해 구현한 인터페이스 간소화와 센서 수의 최소화를 통한 경제성 확보를 달성하여 중소형 선박에 언제든지 탑재 가능한 고장 감지 시스템의 설계를 수행하였다. 향후 선박에 의무 탑재화가 진행될 e-navigation의 일부분으로서 엔진의 상태 모니터링과 고장 감지를 할 수 있는 프로그램으로서 중소형 선박에 탑재되어 적절하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

현재 국내, 국외를 막론하고 산업 장비의 가동률 최대화와 경제적인 정비를 위한 시스템 도입이 진행 중이다. 특히 국내에서는 많은 분야에서 기기의 진동 등을 통한 고장 진단 시스템의 탑재가 주류를 이루고 있으며, 그 중에서도 특히 선박의 엔진 진동 정보를 중심으로 고장 가능성을 진단하거나 엔진 및 부품의 사전 보전을 위한 시스템을 채택하고 있다. 대형 선박의 경우 엔진 제작사나 선박 제작사에서 주로 미리 탑재된 엔진 모니터링 시스템과 고장 감지 시스템을 제공하고 있지만 중소형 선박에 대해서는 이런 시스템 탑재를 하지 않는 경우가 많다 [1][2][3][4].

본 논문에서는 이와 같은 점을 감안하여 중소형 선박을 대상으로 한 진동을 통한 고장 감지 시스템의 개발 방법과 인터페이스 설계방안을 제안하고자 한다. 목표로 하는 대상이 중소형 선박이기 때문에 가볍고 저렴한 가격으로 제작할 수 있는 고장 감지 시스템과 최소의 센서만을 이용하여 엔진에 있어 필수적인 부분만을 모니터링하는 프로그램 및 인터페이스를 구현함으로써 경제적인 시스템의 공급이 가능하고 주로 외국의 프로그램을 사용하는 엔진 고장 진단 시스템을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문은 1장의 서론으로 시작하여 2장에서는 관련 연구에 대해 기술하였다. 3장은 제안하고자 하는 고장 감지

프로그램 설계 방안에 대해 서술하고 4장은 그에 대한 인터페이스 설계 방법 및 구현 결과물을 제시하였으며 5장의 결론으로 맺는다.

2. 관련 연구

대다수의 고장 진단 또는 고장 감지 시스템은 엔진 진동 분석 정보가 축적된 데이터베이스를 기준으로 하여 고장 진단을 할 수 있는 알고리즘을 설계하고 개발하게 된다. 이번 절에서는 엔진 진동 분석 정보에 따른 고장 진단 알고리즘 설계를 위한 기초적인 내용과 관련 연구들을 간략하게 요약하였다.

2.1 패턴 인식 기법에 의한 고장 감지 기법[2][5][6]

패턴 인식 기법은 엔진 등에 부착된 센서로부터 전달되는 신호를 몇 가지 방법을 동원하여 분석한 후 이를 이용하여 고장을 진단하는 보다 고차원적인 방법이다. 신호를 분석하는 기법은 크게 통계적인 방법과 신경망을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 통계적인 방식은 다시 모수적인 방법과 비모수적인 방법으로 나눌 수 있다. 각 회전체 상태에 대한 확률밀도함수를 정확히 계산할 수 있다면 베이지 정리와 같은 모수적 방법에 의하여 최적 분류 결과를 획득할 수 있으나 확률밀도함수의 정확한 계산이 불가능한 경우에는 비모수적인 방법을 활용할 수 있다. 통계

적인 방법을 이용하는 것이 현재 가장 인기 있는 기법이며, 용어에서 알 수 있듯 실제 엔진 진동에 관한 여러 가지 데이터를 축적하여 두고 데이터베이스화하여 현재 엔진으로부터 센싱 되는 정보와 기존의 데이터베이스의 진동 정보를 비교하여 확률적으로 정상치에서 어느 정도 벗어났는지를 판별하는 방식이다. 이때 적용할 수 있는 알고리즘으로서 FFT가 있으며 이를 이용해서 정상 파형과 비정상 파형을 분리하고 이로부터 확률적인 고장을 감지할 수 있다. 최근에는 신경회로망을 이용하는 방법도 많이 연구되고 있다.

2.2 FFT의 의미와 적용 분야[2][7]

일반적으로 아날로그 신호는 여러 가지 신호로 구성되어 있다. 사람이 보고 듣고 느끼는 것은 하나의 신호로 보이지만 이러한 신호를 분석해보면 주로 Sin, Cos함수로 표현될 수 있는 몇 가지의 파형 신호로 구성되어 있다. 이는 18세기 프랑스 수학자 푸리에에 의해서 고안되었으며, 따라서 FFT는 Fast Fourier Transform의 약자로 고속 푸리에 변환을 의미한다. 간단한 예를 들어보면 아주 오래된 세탁기는 덜거덕 거리며 소리가 아주 심한 경우 이러한 현상을 가속도계(일종의 진동센서)를 이용하여 세탁기에 부착, 진동신호를 받고 이러한 신호는 가속도계를 통해 전기적인 신호로 발생하여 FFT Analyzer를 통해 주파수 분석을 수행할 수 있다.

이와 같은 센싱을 통하여 1kHz 영역에서 0.5g(진동의 크기 값), 2kHz 영역에서는 5g, 3kHz영역에서는 1g가 나왔다. 이와 같은 결과로부터 2kHz영역에서 가장 높은 진동이 발생한다는 것을 알 수 있으며 2kHz 고유진동수를 가지는 세탁기의 부품을 찾아내면 이 부품이 곧 세탁기 진동의 주원인으로 찾을 수 있는 것이다. 이렇게 단순한 구조를 가진 기기로부터 보다 복잡한 엔진이나 대형 설비에까지 진동 주파수를 센싱할 수 있는 장비와 이를 컴퓨터로 전달할 수 있는 중간 접속 장비만 있다면 FFT 알고리즘의 적용 분야는 매우 다양하다.

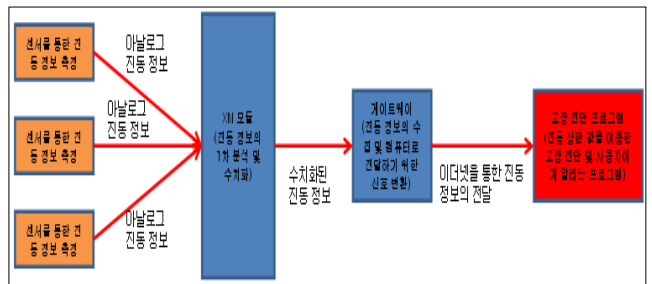
3. 고장 감지 프로그램

3.1 고장 감지 프로그램 설계 방안

본 논문에서는 중소형 선박을 대상으로 하는 고장 감지 프로그램의 설계 방안으로 가장 단순한 방법을 적용하였다. 고장 감지 프로그램이 필요로 하는 정보는 엔진의 진동 데이터이며 이것을 획득하기 위해 엔진 축과 연결된 베어링 부분에 센서를 설치하였다. 센서로부터의 입력은 XM 모듈이라는 상용 모듈을 통과하여 연구를 통해 작성한 게이트웨이 장비에서 수집된 후 컴퓨터로 정보가 전송된다. 게이트웨이 장비는 이더넷을 이용해서 정보를 전달하기 때문에 본 고장 감지 프로그램은 정보를 소켓을 통해서 전달 받도록 설계되었다. 두 군데 이상의 베어링 정보를 수집한 후에 이것을 정상 진동 정보와 비교하고 진동 상한 값을 결정하여 현재 센싱되는 정보가 진동 상한

값 이상일 경우 프로그램에서 소리를 통한 경보와 시각적인 경보가 동시에 나타나도록 프로그램을 설계하였다.

현재까지의 설계된 부분은 연속적인 연구의 일부분으로서 지금은 진동 센싱 정보가 특정 상한 값을 넘어서는 경우 엔진에 이상이 있음을 사용자에게 알리고 버튼 등을 이용해서 엔진의 긴급 정지나 출력 조절을 하도록 설계되어 있다. 고장 감지 프로그램의 처리 구조와 설계 형태는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 고장 감지 프로그램 설계 형태

3.2 고장 감지 알고리즘 설계 방법론 및 특징

3.2.1 고장 감지 알고리즘 설계 방법론[5][6][7]

본 논문에서의 고장 감지 알고리즘 설계 방법론은 단순하다. 기존에 여러 종류의 엔진으로부터 수집된 정상적인 진동 파형과 비정상 진동 파형이 데이터베이스화 되어 있다는 가정 하에 고장 감지 알고리즘을 설계하게 되는데 수학적인 부분과 실용화면에서 우수성을 인정받고 있는 FFT 알고리즘을 두 가지 파형을 비교, 분석하는데 적용하게 된다.

따라서 본 연구에서 고장 감지 알고리즘 설계는 여러 종류의 엔진에 대한 정상적 진동 파형과 비정상적 진동 파형에 대한 정보들이 데이터베이스로 구성되어 있다는 것과 대상으로 하고자 하는 엔진에 대한 센싱 정보를 정확하게 획득할 방법이 구성되어 있다는 점을 전제로 한다.

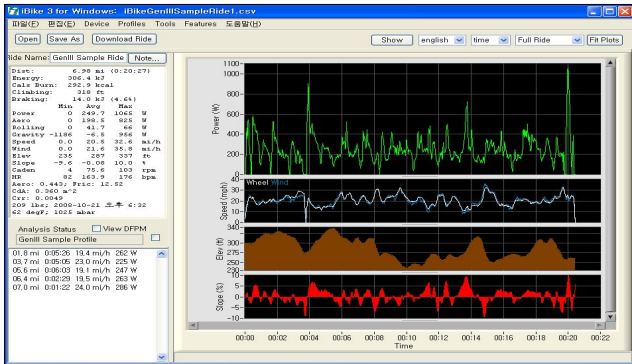
이 같은 전제를 기반으로 하여 고장 감지 알고리즘을 설계하는데, 본 논문에서는 2000t 급 이상의 선박 엔진에 대해서 명확한 범위를 설정하고 베어링 및 축에 대한 진동 정보를 센싱한다. 센싱된 진동 정보를 데이터베이스화할 수 있도록 알고리즘 및 프로그램을 구성한다. 실시간 분석을 위해서 센싱되는 진동 정보가 시간의 흐름을 타고 프로그램을 통과할 수 있도록 알고리즘을 이원화하여 구성한다.

실시간적인 분석이든지 향후 데이터베이스를 활용한 분석이든지 간에 알고리즘은 기존의 선박 진동 파형을 가지고 있는 데이터베이스를 동시에 로딩할 수 있는 기능을 가지고 있도록 구성한다. 이는 저장되어 있는 진동 파형과 현재 센싱 중인 엔진의 파형을 비교하고 고장 가능성을 진단하기 위한 필수 조건이다. 기존의 상용화 프로그램에도 이와 같은 기능들은 대부분 포함되어 있다.

실시간 센싱 진동 파형과 데이터베이스로부터의 정상

진동 파형 및 고장 진동 파형을 동시에 로드하여 이들간을 비교하고 분석하는 방법으로 기존의 FFT를 적용하여 알고리즘을 설계하게 된다. FFT 또한 오차 범위가 있는 알고리즘이며 경우에 따라서는 전혀 잘못된 결과를 나타내는 경우도 있기 때문에 알고리즘을 적용한 후 다양한 실험을 통해서 오차 범위 조정 및 주요 비교 인자를 조정하는 작업을 거쳐야 한다.

대략적인 알고리즘이 설계 되었을 경우 프로그램의 외부 레이아웃은 (그림 2)와 같은 형태로 구축될 수 있다.



(그림 2) FFT 알고리즘이 적용된 파형 분석기 예제

기존의 엔진 진동 정보가 반드시 누적되어 있고, 선박 엔진에 대한 정확한 센싱 정보를 획득할 수 있다면 엔진 진동 정보를 활용한 고장 감지 시스템의 핵심 알고리즘은 FFT를 적용한 후 엔진 파형에 최적화될 수 있도록 조정하는 작업과 특정 임계값을 넘어설 경우 고장에 대한 진단을 즉시 판단할 수 있도록 하면 알고리즘의 기본적인 설계를 달성할 수 있다.

3.2.2 고장 감지 프로그램의 특징

본 논문에서 작성한 고장 감지 프로그램의 특징은 간소화에 의한 가벼운 프로그램이라는 점과 적은 센서를 활용하여 고장 진단을 할 수 있는 시스템을 구현함으로써 중소형 선박에 즉시 탑재 가능하다는 것이다. 시스템 전체가 간소화되기 때문에 경제적인 가격으로 고장 감지 프로그램을 제공할 수 있다. 또한 고장 감지를 위해 필수적인 인터페이스 이외에 불필요한 기능들을 모두 제거함으로써 중소형 선박에 적합하도록 인터페이스를 구성할 수 있다.

향후 인공 지능적 판단 능력을 추가할 수도 있지만 현재로서는 진동 임계값을 지정하여 엔진의 고장 유무만을 판단할 수 있는 상태로 프로그램이 구현되어 있다.

4. 구현 결과물

4.1 고장 감지 프로그램 인터페이스 개발 방법

본 논문에서의 중소형 선박 엔진을 대상으로 하는 고장 감지 프로그램 인터페이스는 RS-View라는 개발용 도구를 사용하였다. RS-View의 경우 엔진이나 생산 시설 등의 모니터링 도구를 개발하기에 적합한 컴포넌트와 라이

브러리가 다수 포함되어 있어 인터페이스 개발에 적합하다.

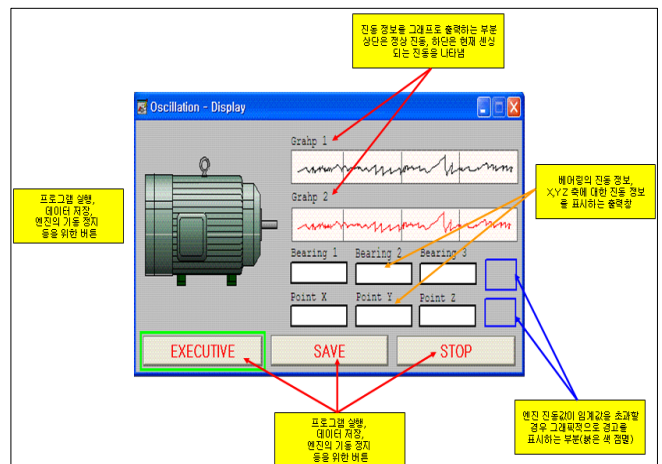
프로그램 인터페이스 개발 형태는 보통의 GUI를 제작하는 기법과 큰 차이는 없다. 즉 화면에 출력되는 윈도우에 해당하는 화면들 사이에 계층적인 기법을 적용하여 설계 하였다. 본 프로그램은 대화 상자 기반으로 구성되어 있는데 메인 대화 상자에 해당되는 화면을 중심으로 하여 엔진 그림의 특정 부위를 클릭하던지, 또는 특정 버튼을 선택하게 되면 다른 팝업창이 나타나서 추가적인 정보 등을 확인할 수 있도록 설계하였다.

인터페이스 설계에 있어서 가장 크게 고려한 부분은 한 가지 대화창은 가능한 단순하게 구현하는 것이었는데, 이는 중소형 선박의 경우 전문적인 엔진 모니터링 요원이 없을 가능성이 높고, 프로그램의 사용자가 따로 특별한 교육 없이도 즉시 고장 감지 프로그램을 사용할 수 있도록 하기 위해서이다.

프로그래머 측면에서의 인터페이스 설계는 실제 현장 적용에서 진입 장벽을 높이고 사용자의 교육을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 인터페이스를 설계할 때 실제 프로그램을 사용할 프로그램 비전문가에 대한 편의성과 사용성을 최대한 고려하여 설계하였다.

4.2 고장 감지 프로그램 인터페이스 구현 결과

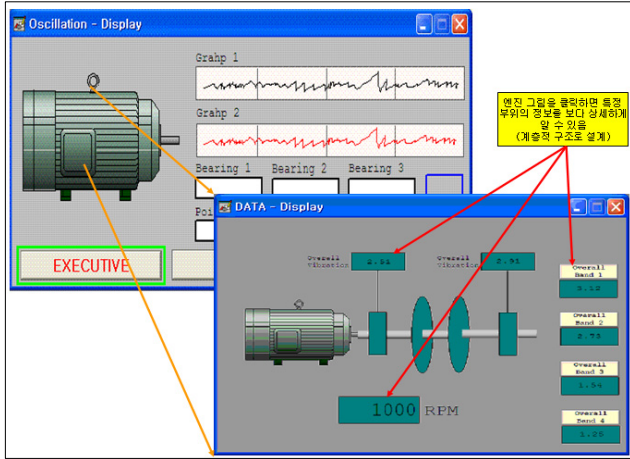
중소형 선박을 대상으로 한 인터페이스를 개발하였기 때문에 메인 화면은 (그림 3)과 같다. 좌측 상단에 엔진의 그림과 각 부분을 표시할 수 있으며, 오른쪽 부분은 설치된 센서로부터 전달되는 정보들이 그래프와 수치로 표현될 수 있도록 그래프 컴포넌트와 출력 창을 배치하였다. 하단 부분은 프로그램의 기동, 정보의 저장, 그리고 엔진의 고장 감지가 이루어졌을 경우 엔진의 긴급 정지를 담당자에게 전달할 수 있는 버튼이 배치되어 있다. 그리고 고장 감지 시 알람과 화면상의 경고 신호가 동작하도록 구성되어 있다.



(그림 3) 구현된 고장 감지 프로그램 메인 대화창

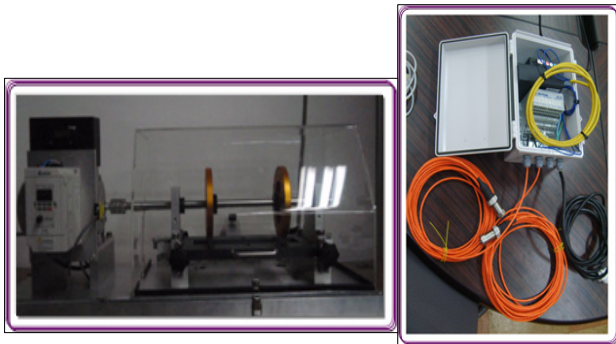
(그림 4)는 엔진 부위의 특정 배어링 부분을 클릭하였

을 때 나타나는 팝업창을 보여주고 있다. 메인 대화창의 단순성과 부족한 정보를 이러한 형태로 보완하고 있으며 추가적인 정보는 부가적인 정보를 보여줄 수 있는 팝업창을 여러 개 작성하여 언제든지 확인할 수 있도록 구현하였다.

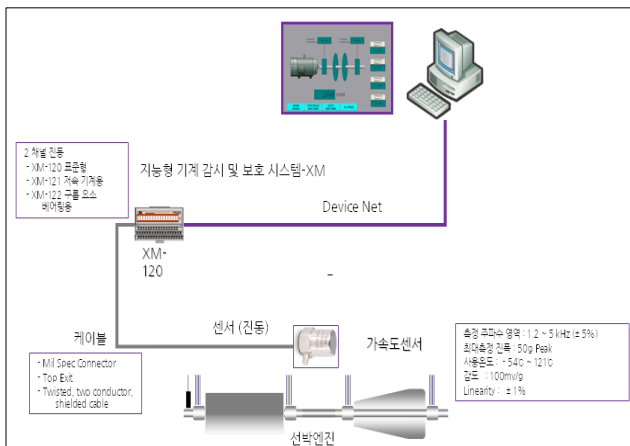


(그림 4) 추가정보를 위한 팝업 창

(그림 5)는 본 논문의 연구 개발을 위해 사용된 실험용 진동 발생 장치의 사진이다. 이 실험 장비를 사용하여 진동 감지 시스템을 구현하였으며 실험적인 데이터를 일부 획득하였다.



(그림 5) 진동 정보 수집용 장비



(그림 6) 시스템 구성도

(그림 6)은 전체적인 시스템의 구성도 이다. 이와 같은 고장 감지 프로그램을 실제 선박 엔진과 연결 시켰을 때의 모습을 보여주고 있으며, 사용되는 하드웨어와 센서의 측정 범위가 나타나 있다.

5. 결론

본 논문은 중소형급 선박에 대해서 진동을 통한 엔진 고장 감지 시스템의 설계 방안과 인터페이스 설계 방안을 연구한 것이다.

중소형 선박에 바로 적용할 수 있도록 최소의 센서를 사용해서 엔진 축과 연결된 베어링의 진동 정보를 수집하고 이 정보를 정상 진동 정보와 비교하여 진동의 상한 값을 넘어서는 경우에 엔진의 고장을 감지하여 이를 선박의 승무원에게 즉시 알릴 수 있도록 프로그램을 구현하였다.

자본이 충분한 대형 선박과는 달리 중소형 선박에 탑재하기 좋도록 가능한 적은 수의 센서를 사용하고, 비전문가가 프로그램을 사용하기 편하도록 직관적이고 간편한 인터페이스를 설계하였다. 즉 기존의 대형 선박 등에 탑재되는 엔진 모니터링 및 고장 감지 시스템과의 주요 차이점은 간소화 및 경제성을 최대화하여 설계하였다는 점이다.

이는 고장 감지 알고리즘 설계 방안, 인터페이스 방안에도 영향을 주어 알고리즘의 간소화 및 계산량 최소화와 인터페이스의 계층적 설계를 중심으로 한 사용하기 편리하고 가벼운 프로그램의 설계로 연결되었다.

본 논문에서의 고장 감지 프로그램은 앞으로 도래할 각 선박의 안전 운항을 위한 e-navigation 탑재가 의무화될 때 엔진의 모니터링 및 고장 방지를 위한 프로그램으로서 외국의 기술을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 과제로는 지금의 고장 감지 시스템에 인공 지능적 추론 엔진과 판단 능력을 포함시켜 엔진의 고장 판단을 보다 정교하게 할 수 있도록 발전시키는 것이다.

“참고문헌

- [1] 남택근 외2, 선박의 진동 계측 프로그램 개발에 관한 연구“, 한국마린엔지니어링학회, 한국엔지니어링학회 학술대회 논문집, 2008. 06, pp73 ~ 74.
- [2] 박성규 외3, “FFT 알고리즘을 이용한 장비 예지보전 전문가 시스템의 설계”, 한국정보과학회, 한국정보과학회 학술발표논문집, 제30권 제2호, 2003. 10., pp514 ~ 516.
- [3] 김상환 외3, “디젤엔진의 비틀림진동 모니터링 시스템에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집, 2003.10, pp197 ~ 204.
- [4] 김창구 외3, “Windows NT 기반의 회전 기계 진동 모니터링 시스템 개발“ 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, 2000. 07., pp98 ~ 105.
- [5] 한학용, 패턴인식개론, 한빛미디어, 2005. 07. 01
- [6] 오일석, 패턴인식, 교보문고, 2008. 08. 20.
- [7] 최행진, 물리학자 푸리에와 고속 푸리에 변환, 교우사, 2003. 08. 15.