

실시간 다중고장진단 제어기법에 관한 연구 (A Study on Real time Multiple Fault Diagnosis Control Methods)

배 용 환 (Bae.Y.H)**, 배 태 용(Bae.T.Y)**, 이 석 회 (Lee.S.H)*

* 부산대학교 생산기계공학과

** 부산대학교 생산기계공학과 대학원

Abstract

This paper describes diagnosis strategy of the Flexible Multiple Fault Diagnosis Module for forecasting faults in system and deciding current machine state from sensor information. Most study deal with diagnosis control strategy about single fault in a system, this studies deal with multiple fault diagnosis. This strategy is consist of diagnosis control module such as backward tracking expert system shell, various neural network, numerical model to predict machine state and communication module for information exchange and cooperate between each model. This models are used to describe structure, function and behavior of subsystem, complex component and total system. Hierarchical structure is very efficient to represent structural, functional and behavioral knowledge. FT(Fault Tree), ST(Symptom Tree), FCD(Fault Consequence Diagram), SGM(State Graph Model) and FFM(Functional Flow Model) are used to represent hierarchical structure. In this study, IA(Intelligent Agent) concept is introduced to match FT component and event symbol in diagnosed system and to transfer message between each event process. Proposed diagnosis control module is made of IPC(Inter Process Communication) method under UNIX operating system.

1. 서 론

오늘날 과학의 발전과 더불어 기계분야에서 수많은 장치들이 만들어 졌다. 그리고 이러한 장치들은 가능한 한 자동기능을 첨가함으로써 인간의 간섭을 최소화하려는 쪽으로 계속 발전해간다. 따라서 현대의 첨단시스템은 주로 어느 한사람에 의하여 설계되기 보다는 여러 사람의 기술이 집약된 지식의 총합체이다. 따라서 이러한 추세는 시스템을 더욱 복잡하게 만들고 고장발생시 그 진단을 아주 어렵게 만든다. 이러한 자동기능에도 불구하고 시스템에서 발생하는 고장으로 인한 생산손실 방지와 빠른 복구를 위해서는 빠른 진단시간과 효율적인 진단전략이 절실히 요구된다. 일반적으로 현재 설비진단시스템에서 주로 이용되고 있는 진단기법은 주로 시스템의 각 부품에서 작동중 발생하는 물리량(열,진동, 힘)의 변화를 알맞는 센서 및 점점 신호상태를 이용하여 연속적으로 감시하는 방법을 사용하고 있다.^(1,2) 이러한 방법은 센서에서 채취된 신호를 여러 분석기법^(3,4)을 이용하여 패턴인식에 의한 사고유형분석에 의존하고 있다. 그리고 이러한 기법을 이용하여 컴퓨터에 센서의 신호패턴 즉 증상에 따른 원인을 컴퓨터에 이식시켜 사용하는 규칙기반생성(rule-based production)형태의 전문가 시스템이 가장 활발히 사용되고 있다. 그러나 이러한 규칙기반전

문가시스템은 기계의 증상에 대한 원인지식만을 보유하고 있고, 알려지지 않는 고장에 대하여는 해결책을 제시하지 못한다. 그리고 또한 시스템의 상세한 내부 표현을 제공하지 못한다. 시스템의 고장진단을 위해서는 주로 시스템의 구조표현, 동적표현, 기능표현, 인과관계가 명확히 표시되어야 한다. 시스템의 구조는 설계자의 설계지식에서 추출할 수 있으며, 이것은 진단시스템 내부의 추론방향을 제시한다. 반면, 시스템의 동적표현은 센서로 부터 읽어들이는 물리적 상태변화값에 따라 시스템이 어떻게 반응하는지에 대한 예측을 제공함으로써 다른 요소에 대한 영향을 제시한다. 기능표현은 각 기계요소사이의 연결도를 정의하고, 이러한 각 기계요소를 단위모듈로 하여 모듈의 특수한 기능을 정의함으로써 진단시스템 부속시스템 구성에 아주 중요한 정보를 제공한다. 시스템의 동정은 각종 파라메타에 의한 상태공간 모델식으로 표현되므로 이와 같은 상태공간모델식을 사용하여 시뮬레이션을 하면 시스템의 동정을 알 수 있다. 따라서 실제 시스템이 작동되면서 시스템이 고속 운전하는 경우는 각 부품의 노화 및 마모가 다르게 진행되어 결과적으로 운전자는 한꺼번에 그 시스템의 동정을 파악하기 힘들다. 그리고 다중고장이 일어났을 경우에는 더욱더 진단이 어렵고, 조치를 신속히 해 주어야만 대형정밀시스템의 안전이 보장되므로 진단시스템은 각 파라메타에 따른 시스템의 동정을 빠르게 예측할 수 있어야 한다. 특히 우주선, 원자로, 고속컴퓨터에서는 어떤 한 부분에서 이상이 생기면 빠른 시간 이내에 전체 시스템으로 전파되어 대형사고를 초래하거나 아주 돌이킬 수 없는 상황을 발생시킨다. 이와 같은 경우 무조건 시스템을 정지시키는 것만이 능사가 아니다. 왜냐하면 시스템을 세우고 난뒤 시스템을 다시 시동하는데에 필요한 경비가 있을 뿐 아니라 시스템이 한번 작동중지 되면 특정의 초기운전조건까지 가는데 걸리는 시간이 있고 또한 에너지 방출로 인한 에너지 보충 등을 고려하여야 하므로 신속히 검토해야 한다. 즉 시스템을 세우기 보다 빠른 대처방안 즉 온라인 상태에서 다른 대책안 여분의 장비가동등이 필요하다. 따라서 이러한 경우는 시스템의 내부구조를 정성적으로 시뮬레이션하여 현재의 상태에 관한 정확하고 상세한 정보를 제공하고, 향후 일어날 사고나, 기계의 내부변화를 미리 예측함으로써 대형사고를 미연에 방지할 수 있도록 해야한다. Nakamura등⁽⁵⁾은 고장진단모델(FDM: Fault Diagnostic Model)을 이용하여 고장진단을 시도하였는데, 이것은 고장이 일어나는 원인을 그와 연관된 징후(symptom)에 의하여 추론하도록 되어있다. 그러나 이러한 방법은 주로 징후에 의한 고장원인을 검색하는 것으로 시스템 자체에서 요소의 결합이 전체 시스템고장에 어느 정도의 영향을 미치는 지는 정확히 알 수 없다. 그리고 Piotr, Hassberger, John등⁽⁶⁾은 FT에 담긴 정보를 이용한 퍼지증상의 관찰로부터 고장요소를 식별하는 연구를 수행하였고, Spur는 진단작업에서 모

델기법 학습방법에 의한 진단규칙획득 방법에 대하여 연구하였고, Yun과 James등은⁽⁷⁾ 고장진단 문제해결을 위한 2층 형태의 확률인과 네트워크모델을 제시하였으나 아직 이것을 구현하는데는 문제점이 많고 또한 컴퓨터에 이러한 각각의 모델들을 어떻게 구체화시키느냐에 대하여는 아직 제시하지 않았다. 일반적으로 시스템 내부에서 일어나는 현상은 다양한 수식모델과 다양한 정보패턴을 가지고 있으므로 이러한 정보를 빠르게 처리하기 위해서는 프로세스의 다중화(multitasking)가 필요하고, 또한 각각의 다른 형태의 정보를 모듈별로 처리함으로써 진단시스템의 효율성 구조를 간략화 시킬 수 있지만 이들사이의 연관관계는 각 프로세스의 협조(cooperation)를 통하여 이루어져야만 한다. 본 연구에서는 모델식을 이용한 진단방법과 FTA 기법을 이용한 고장사례를 통하여 얻어진 시스템의 구조적, 기능적 특성에 기초한 정보를 바탕으로 FT를 구성하는 각 사상요소(Event Symbol)를 UNIX운영체제의 IPC 설비를 이용하여 추론, 시뮬레이션, 패턴매칭, 메시지송수신등을 수행할 수 있는 하나의 지능형 에이전트(Intelligent Agent)를 대응 시킴으로써 이들 사상요소 사이를 연결해 나감으로써 진단을 수행하는 실시간진단제어기법을 제시코자 한다.

2. 이론적 배경

진단은 어떤 주어진 진상에 대한 고장이나, 고장들을 결정하는 과정이다.⁽⁸⁾ 진단은 의학, 제조, 농업등 다양한 많은 분야에서 수행되고 있다. 진단되어야하는 시스템들, 수행되어야 하는 진단의 종류, 여러 분야에서 진단을 위해 전문가를 요구한다. 그러나 인간이 그와 같은 복잡한 분야에서 효과적으로 진단할 수 있는 지면에 있는 특성들은 진단되어야하는 시스템에 대한 그들의 지식과 그와 같은 시스템을 진단하는데 대한 그들의 경험이다. 최근 몇년 내의 관심은 진단기법의 강화, 개발, 설계에 기울어지고 있는데 이것은 진단과정의 속도증가 요구, 진단되어야하는 시스템들의 복잡성 증가, 진단결과의 일관성 요구, 다양한 분야에 인간진단전문가에 상당하는 추론능력 요구등이다.

진단에 대한 전통적인 접근방법은 특정분야에서 고장을 진단하고 그에 대한 처리방법을 추천하는 인간전문지식이 사용되었다. 현재에는 인간전문지식을 추출하여 이것을 보존하고 널리 보급하는 것을 자동화하는 다양한 시도가 행하여지고 있다. 특수한 영역에서 Fig.1과 같은 인간진단전문가의 추론과정에 필적하는 시스템과 연결되어 질때 다양한 진단장치 개발 등의 여러 시도가 이루어지고 있다.⁽⁹⁾ 현재 진단전문가시스템의 개발과 설계에 두가지 중요한 접근이 수행되고 있다. 첫째 접근은 소위 "the shallow reasoning" (혹은 fault tree type reasoning)접근으로 유한개의 트리로써 표현되는 휴리스틱, 경험지식사용 접근방법이다. 이와같은 접근에 기초한 진단시스템들은 일반적으로 "rules of thumb", 특정한 영역에서 오랫동안 종사한 전문가로 여겨지는 인간 진단가의 경험, 직관에 기초한 것이다. 이와같은 접근에서 진단되어지는 실제 시스템의 구조, 설계 표현들은 기술되지 않거나 아주 약하게 기술된다.이 시스템의 성공은 주로 진단되어야하는 시스템에 아주 깊은 이해 보다는 주로 인간진단전문가가 지닌 경험의 강점에 의존한다. Shallow reasoning based systems의 예들은 MYCIN(혈액병의 진단과 치료), REACTOR(원자로 고장을 위한 진단시스템), ARBY(전기고장 진단시스템)이다. 두 번째 접근방법은 "the deep reasoning" (Causal Reasoning or Reasoning First Principles)으로 이것은 고장을 진단하기 위하여 문제영역의 "deep" 혹은 underlying knowledge structures를 사용하는 것이다. deep reasoning은 예측된 시스템 동태와 관찰된 시스템 동태사이의 불일치가 고장으로 규정하는 전문가 시스템과 고장의 가능한 원인을 결정하기 위하여 장치의 동정, 구조, 기능에 대한 지식⁽¹⁰⁾을 사용한다(Fig.2). Deep,

shallow reasoning접근방법은 둘다 그들의 장단점을 가진다. Deep reasoning방식은 전문가가 새로운 고장에 대하여 진단할 수 있게 문제 영역의 세부관련지식의 완벽한 표현 때문에 매우 강력하고, 인간전문가의 실제적인 진단추론과정을 추출하는데 알맞다. 그러나 deep reasoning은 문제영역의 인과모델을 개발하기 어렵고, 표현하기 어려워져 비실제적이고, 개발비용이 매우 많이 든다. Shallow reasoning은 비록 표현하기는 쉽지만, 문제영역 하부에 깔려있는 인과지식의 사용이 불가능하기 때문에 인간전문가의 실질적인 인지과정을 모방하기란 불가능하다. Shallow reasoning은 문제영역의 완벽한 설계기술표현이 불가능하거나, 불필요한 곳에서 새로운 정보나, 새로운 고장진단이 필요하지 않는 곳에서 가장 잘 작동한다. 인간전문가들은 그들이 진단하는 기계의 인과이해로 진단작업을 수행한다. 이것은 그들이 문제에 부딪히기 전이나 후나에 상관없이 그들에게 기계가 가진 어떤 문제를 진단할 능력을 제공하는 기계의 하부체계(구조, 기능, 동정)에 관한 그들의 이해이다. Deep, shallow reasoning진단전략은 인간진단전문지식을 효율적, 효과적으로 모방하기 위하여 적당하게 통합되어야 한다. 이러한 노력의 주요한 목표는 인간전문가의 진단추론과정을 모방해서, 기계고장진단전문가시스템의 빠른 개발을 가능하게 하는 customized diagnosis shell을 개발하는 것이다.

3. 고장진단사례

복합장치 시스템인 압연시스템은 정밀한 자동제어가 행하여지고, 이 시스템을 구성하는 요소는 유압시스템, 모터, 기어, 베어링, 로울, 콤퓨러, 냉각장치, 전기장치 등으로 이루어지는 시스템으로 특정기간 동안 쉬지 않고 작동되어야 하고 또한 예기치 않는 사고로 인하여 막대한 손실을 초래하여 생산성 저하를 가져올 뿐만 아니라 수리에 어려움이 많다. 따라서 이와 같은 시스템은 각 부분별로 나누어 진단을 수행해야하고 고장종류도 단일고장(single fault), 다중고장(multiple fault)이 생길 수 있다. 본 사례에서는 시스템에서 생길 수 있는 모든 종류의 고장을 고려할 수 없고, 이중 몇가지 고장사례를 기준으로 하여 이 시스템의 효율적인 고장진단제어기법을 제시한다.

3.1 모델기반 고장진단 사례

모델기반고장진단 사례대상은 열간압연공정에서 발생하는 작업물의 수명예측모델이다.작업물의 수명예측모델은 재질에 관한 초기 데이터를 입력 조건으로 각각의 작업조건에 따라 작업물 내부응력을 계산하는 응력계산모델, 응력조건에 따라 롤 표면에 발생하는 미세크랙의 전파를 시뮬레이션 하는 크랙전파계산모델, 그리고, 작업물의 마모를 계산하는 마모계산모델, 그리고 마지막으로 마모와 응력변화에 따른 작업물 내부의 피로도를 계산하는 피로계산모델로 구성된다. Fig.3에 롤 수명예측모델 고장진단흐름을 나타내었다.⁽¹¹⁾

1) 균열전파계산모델

균열전파모델에서는 작동물의 굽힘모멘트를 계산하고 작용토크와 조합된 응력은 식 (1)과 같이 나타낼수 있고, 균열전파식은 식 (2)와 같다. 여기서 $\Delta K = FS_s\sqrt{a}$, 이다.

$$S_s = Z_p(M + \sqrt{M^2 + T^2}) \quad (1)$$

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m \quad (2)$$

2) 마모계산모델

작동물에서 발생하는 마모프로파일을 예측하기 위한 마모예측

식은 3개의 영역 I, II, III 의 영역으로 구성될 수 있다. 이들 영역에 있어서 마모량 W_r 는 마모 프로파일 함수 $W_p(x)$ 를 이용하여, 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$W_r = W_c W_p(x) \quad (3)$$

$$W_p(x) = \begin{cases} 1.0 & \text{영역 I} \\ \frac{(k-1)}{l_2-l_1} (\pm x - (\frac{W}{2} - l_2) + 1) & \text{영역 II} \\ k & \text{영역 III} \\ 0.0 & \text{나머지 영역} \end{cases} \quad (4)$$

3) 피로계산모델

마모가 전혀 없음을의 물결축부 변형체적을 V_0 라 하고, 마모로 인한 물 변형체적을 V_1 이라 하면 부피의 체적변화비는 여기에 부여된 응력에 비례²¹⁾하므로 응력증폭계수를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f_s = \frac{(V_1 + V_0)}{V_0} = 1 + \frac{V_1}{V_0} \quad (5)$$

만약 마모가 심하여 마모시 축간 변화거리가 마모깊이보다 작으면

$$f_s = f_{\sigma} \quad (f_{\sigma} = \frac{L}{L-W}) \quad (6)$$

벤더와 마모에 의한 응력증폭을 고려한 수정된 Miner 법칙을 다음과 같이 제안하였다.

$$F(i, x, Z) = H \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m n_{jk} \exp[\alpha P_{\max}(f_b, f_s) \left(\frac{-(x+j\Delta r)}{b_i} \right) \left(1 - \frac{(x+j\Delta r)}{\sqrt{(x+j\Delta r)^2 + b_i^2}} \right)] \quad (7)$$

3.2 휴리스틱 고장진단 사례

일반적으로 휴리스틱을 이용한 고장진단의 예를 *shallowing reasoning*이라고 하는데 대표적인 예로써 가장 널리 사용되는 FT 고장진단사례가 있다. Fig.4는 콤퓨러서의 내부구조 및 작동메카니즘을 나타낸 것이다.¹²⁾ 구동모타에서 피니언을 통하여 관심 대상인 콤퓨러서 M-rotor를 구동시키고, 양 끝에서 M-timing 기어를 통하여 F-timing 기어로 동력이 전달되어 상부 F-rotor를 구동시키므로써 하우징 내부의 공기를 압축시킨다. 각 로터(rotor)축은 오링(O-ring)과 카본링(carbon-ring)에 의하여 지지되고, 기어와 축은 트러스트 베어링(trust bearing)과 로울러 와 볼로 구성된 복열베어링에 의하여 지지된다. 먼저 파손된 에어 콤퓨러서를 진단하기 위하여는 고장을 일으킨 시스템의 육안관찰을 통하여 많은 진단 정보를 얻을 수 있으므로, 기어의 파손상태, 베어링 마모 및 파손상태, 하우징 파손상태, 링 파손상태, 축 파면 및 표면손상 상태를 중점적으로 관찰을 통하여 사고의 개략적인 고장트레인을 설정하고, 여러 실험을 통하여 고장트레인을 규명하였으며, 이를 토대로 에어 콤퓨러서의 FT를 작성하였다. 위의 콤퓨러서의 경우는 메인모듈과 부속모듈의 고장진단에 해당한다. 그러나 베어링고장의 경우는 하나의 부속모듈의 요소고장에 해당하므로, 또 다른 형태의 정밀한 FT작성이 용이하다. 이렇게 함으로써 세부적인 형태의 FT작성이 가능하고, 요소고장의 각 요인들의 물리적현상은 수식모델과 정성모델로서 시뮬레이션 되어진다. 따라서 여기서 베어

링 요소로 이루어진 고장진단의 사례를 들어보자. Fig.5는 베어링의 내부구조 및 작동메카니즘을 나타낸 것이다.¹³⁾ 베어링 구동모타에서 구동사프트와 구동기어를 통하여 관심 대상인 복렬로울러 워킹범 베어링의 내부 캠축을 구동시킴으로 슬라브의 하중이 베어링에 작용한다. 본 사례는 윤활유 이상에 의한 고장도 역시 고장트레인을 통하여 FT로 표시될 수 있다.

4. 고장진단제어모듈

Fig.6에 본 연구에서 사용된 실시간 다중고장진단시스템의 예를 표현하였다. 먼저 진단대상이 되는 시스템에서 서브시스템의 상태를 대표하는 기계의 각종 상황을 센서를 통하여 입력되면 예물레이터에서는 이러한 센서의 정보와 위치코드를 결합하여 호스트에 보낸다. 호스트에서는 각 센서의 정보를 입력받아 온라인 모니터링과 기타 실시간 수명예측모듈로 보내어 수명이 다하는 요소나 물체에 대하여 교체시간을 *signal()* 함수를 이용하여 메인모듈 알려 주고 다른 기타 모듈들에 대한 특성의 입력조건에 맞도록 신호전처리를 실시하는 전처리 모듈들로 보내어진다. 이때 프로세스는 공유메모리를 이용하여 두개의 모듈에 동시에 센서정보를 보낸다. 보내진 정보는 이것을 참조하여 호스트 *look up table*에 저장되어 있는 각종 정상상태값과 비교하고, 정해진 기준치를 넘으면 고장부위(fault location)가 정해지는데 이 고장부위는 주로 서브시스템으로 분리된다. 서브시스템에 이상이 생기면 정밀진단에 들어간다. 메인진단모듈은 부속시스템의 정밀진단을 위하여 특성의 부속시스템진단 전문가시스템셀을 *fork()*와 *exec()* 함수를 이용하여 정밀진단에서는 먼저 서브모듈을 대표하는 센서의 입력을 근거로 현재의 고장이 어느 위치로 부터 일어났는지를 신경망을 이용하여 추측한다. 특성의 부위에 이상이 감지되면 고장진단은 휴리스틱 기법을 이용하여 수행되는데 이때 경험적인 진단이 부족한 경우 수식모델이나 기타 정성모델, 그리고 신경모델의 보조를 통하여 진단을 수행해 나간다. 이렇게 휴리스틱부분이 끝나면 고장요소가 정해지는데 이 고장요소를 상위모듈로 메시지를 이용하여 전송하면 고장난 요소에 대한 처치에 관한 정보를 안내해 준다.

4.1 FT와 IA

일반적으로 FT의 구성은 각 기계요소들 사이의 구조 및 기능, 동정에 관한 계층적인 구성으로 이루어진다. 또한 가장 최상단에는 일반적으로 시스템 전체고장을 목표사상으로 하고, 그 하부에는 각 부속모듈(sub-module)로 연결되고, 최하부에는 각 기계요소의 종류와 그에 다른 고장요인으로 이루어진다. 그러나 컴퓨터화된 진단시스템을 구축하기 위해서 컴퓨터속에 시스템에 대한 구조적인 정보와 기능적정보, 시스템 동정에 관한 정보를 컴퓨터에 이식시키고, 시스템의 각 부분 센서로부터 들어오는 신호에 따른 증상과 예상되는 동정과의 차이점을 바탕으로 고장요소와 그 부위를 판단한다. 현재의 연구는 모델기반, 휴리스틱이 조합된 통합진단시스템(Integrated Diagnosis System)에 관한 연구가 진행되고 있다. 복잡한 시스템의 단일고장시는 고장진단이 순차적으로 진행되어 문제가 되지 않지만 다중고장이나 기타 단일고장에 기인하여 다른 부속시스템이나 기타 요소가 영향을 받으면 감시해야 할 요소가 많아진다. 따라서 이 경우에는 순차적 진단이 수행되는 동안에 시스템의 시간응답특성에 따라서 다른 부속시스템이나, 요소에서 고장이 일어나 시스템 전체로 파급되어 버린다. 따라서 이러한 것을 감시하기 위해서는 컴퓨터에 시스템 동정지식베이스를 이용하여 한 부분에서 고장이 일어나면 그와 연관된 다른 부분을 다중감시해야 한다. 이렇게 될때 감시프로세스중 어느 하나라도 위험수위에 도달하면 정보를 발생시키거나 이에 상응하는 메시지를 계속 발생해야 한다. 따라서 고장진단시스템은 다중화되

어야 하고, 또한 모듈화되어야하며 각 모듈과 요소에 대응되는 진단프로세스가 생성되어야하고 이 진단프로세스는 상하부계층과 동등계층과의 정보를 교환하기 위한 설비를 갖추고, 또한 각 모듈과 요소의 동정과 물리적인 성질을 시뮬레이션하기 위한 수식모델과 비선형고장을 진단하기 위한 신경망모델을 내장하고 있어야 한다. 이 경우 모델기반추론과 휴리스틱기반 추론이 조합된다. 여기서 휴리스틱 추론을 위한 전문가시스템셀과 모델추론을 위한 가중 모델, 통신설비를 가진 지능화된 대리자(IA: Intelligent Agent)라 부른다. IA는 UNIX시스템에서 주로 fork()와 execl()에 의하여 프로세스가 생성되고, signal()에 의하여 소멸되며, 주로 시스템의 서브모듈별로 생성된다. 이것의 생성과 소멸은 주로 FT와 마찬가지로 최상부에는 각 서브모듈의 상태를 파악하고, 진단을 제어하는 메인진단모듈과 각 서브모듈에 진단제어호출에 따라 이루어진다.

4.2 IA 구성요소

1) 전문가시스템셀 모듈

본 연구에서 전문가 시스템셀은 진단과정의 순서를 결정하는 heuristic지식으로 이루어져 있고, 이것은 고장종류와 고장의 속성으로 이루어져 있다. 본 고장진단시스템은 다수의 전문가시스템이 상호협조하는 방식으로 이루어져 있는데 메인모듈에서의 전문가 시스템셀의 역할은 전체시스템의 증상과 이것에 관련된 부속모듈의 고장정보를 담고 있다. 따라서 센서로 부터 들어오는 입력데이터를 신호전처리를 거쳐 현재의 운전상태에 기대되는 출력과 다르면 고장이 발생한 것으로 하여 진단추론을 시작한다. 메인모듈의 진단추론은 가장 확률높은 고장부속모듈을 찾는 것이다. 이렇게 하여 후보(candidate)로 확정된 부속모듈의 전문가시스템셀은 부속모듈의 고장진단을 위하여 새로운 프로세스로 생성된다. 부속모듈전문가시스템셀도 메인모듈과 마찬가지로 휴리스틱에 의한 방법으로 진단을 수행한다. 즉 그 모듈에 속해 있는 부품요소의 고장종류에 따른 고장속성의 매칭을 if-then의 production rule에 의하여 추론해 나가는데 여기서 고장속성을 알기 위하여 수식모델, 정성모델, 신경망모델 등으로 현재 시스템 상태데이터를 보내서 그 고장속성여부를 진위를 조사한다. 이렇게 휴리스틱 기법과 모델진단의 통신을 통하여 고장원인에 해당하는 고장부속요소가 밝혀지면 시스템은 이것의 진위를 확인하기 위하여 운영자에게 메시지를 전달해야 하는데 우선 고장부속모듈과 고장부속요소를 출력하고, 예상되는 고장원인을 출력한다. 또한 이것에 대한 처치를 컴퓨터 화면을 통하여 출력하고, 이제까지의 추론과정을 표시한다. 또한 현재의 고장부속요소의 도면과 정비이력을 화면을 통하여 출력함으로써 수리를 지원할 수 있도록 해야 한다.

2) 신호전처리모듈

각종 수식모델이나 신경망, 정성모델에 알맞는 입력조건을 만들어 준다. 시간영역의 데이터 전처리모듈은 average, RMS치이고, 주파수 영역은 fft 처리모듈등이 있다. 본 모듈의 특징은 언제든지 필요한 전처리모듈을 첨가할 수 있고 또한 정이 용이하도록 입력, 출력, 처리모듈을 따로 분리시켰고, 각종의 데이터 처리모듈은 하나의 프로세스를 형성하므로 다른 신호전처리 프로세스로 인하여 간섭을 적게 만들었다.

3) 수식모델

이것은 센서로 부터 시스템에 관한 동정을 표시하는 정보가 들어오면, 전처리모듈과 신호처리모듈에서 처리된 데이터가 입력데이터가 된다. 그 다음 각 서브모듈과 각 부품요소의 동정과 상태를 표현하기 위한 각종 수식모델(예: 피로모델, 윤활유 점도모델, 마모모델, 열전도모델...)이 작동되고 수식모델의 시뮬레이션 결과

값에 따라 현재의 상태를 파악할 수 있다. 이 경우는 주로 진단시스템이 현재의 시스템의 상태보다는 주로 정확한 데이터를 요구할 때 주로 구동된다.

4) 정성모델 (Qualitative Model)

일반적으로 물리계는 수식표현으로 다루이지 않는 부분이 있다. 이 경우는 현재 상태의 정확한 수치값보다는 현재의 물리적 상태 표현이 더 중요할 경우가 있다. 따라서 이 경우는 물리적 법칙을 지식베이스 형태로 저장하고 있다가 요구시 마다 활성화되어 각 입력 조건에 따른 물리적인 상태를 상위로 전달한다.

5) 신경망

하나의 부속시스템이나 부품요소에서 고장은 정확하게 각 고장마다 센서에서 나타나는 응답이 같지 않다. 따라서 이 경우는 고장 사례를 기초로 하여 그때의 특정부위의 증상(센서신호)이 서로 대응된다. 베어링, 기어등의 여러가지 요소고장 종류에 따른 신호패턴을 fft에 의하여 전처리한 입력데이터를 입력받거나, 그 고장의 물리적 형태(후각센서, 시각센서)에 따라 각기 다른 신경망 모델을 사용한다. 여기서는 진동센서로 부터 들어오는 패턴은 백프로파게이션을 이용한 다층퍼셉트론을 사용하고, 시각센서정보로 부터 들어오는 시각패턴은 홉필드 신경망을 이용한다. 신경망모델은 요구되는 순간에 특정의 사례고장패턴에 대한 데이터를 데이터베이스에서 읽어들이어서 학습을 시작후, 입력데이터를 읽어들이어서 패턴 매칭을 시도한다.

6) 메시지설비

상위 모듈과 동등레벨의 요소를 상호간의 협동(cooperate)과 추론을 위해서는 정보의 전달이 필요하다. 일반적으로 전달되는 정보의 형태는 센서로부터 입력값과 신호처리단계를 거친 패턴값, 그리고, 시각정보와 각각의 모델들로부터 상위레벨로 전달되는 판단결과등의 문자열에 해당된다. 본 연구에서 이용한 메시지 설비는 UNIX 시스템의 IPC(Inter Process Communication) 설비중 메시지 큐를 사용하였다. 메시지 큐의 설비는 하나의 상위 모듈은 하나의 메시지큐를 이용하여 다수의 하위모듈과 통신 할 수 있다. 다수 프로세스간 메시지전달은 다음과 같은 3가지 과정을 거쳐 이루어진다.

(1) 메시지큐 생성 : 특정의 메시지큐를 생성한다.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>

int msg_qid;
key_t key;

msg_qid=msgget(key, IPC_CREAT|0666);
```

(2) 메시지 수신 : 특정의 메시지를 수신한다.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>

int msg_qid, size, flags, retval;
struct my_msg{
long mtyp;
char mtext[SOMEVALUE];
}message;

retval=msgsnd(msg_qid, &message, size, flags);
```

(3) 메시지 송신 : 특정의 메시지를 송신한다.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>

int msg_qid, size, flags, retval;
struct my_msg{
long mtyp;
}
```

```
char mtext[SOMEVALUE];
}message;
long msg_type;
```

```
retval=msgrcv(msg_qid, &message, size, msg_type, flags);
```

7) 공유메모리 설비

고장진단시스템에서 메인진단모듈로부터 각 서브모듈로 센서 입력값이 신호처리되어 메세지큐를 통하여 전달된다. 그러나 일반적으로 특정의 값이 각각의 다른 서브모듈이나 기타 다른 요소에 공통의 관심이 있거나 입력이 되어야 할때 프로세스의 동기화와 효율을 위하여 공유메모리를 사용한다. 공유메모리에 등록된 프로세스는 공유메모리에 자신의 출력을 쓰면 이것에 등록된 프로세스는 입력으로 받아들인다. 공유메모리도 메세지큐와 같은 형식으로 생성, 송신, 수신등으로 이루어진다.

8) 다중프로세스 생성설비

일반적으로 퍼스널 컴퓨터와는 달리 UNIX시스템에서는 프로그램을 통하여 프로세스를 생성하는데 이때 사용되는 함수가 fork() 이다. fork()가 실행되면 두개의 프로세스(부모프로세스, 자식프로세스)가 형성된다. 자식프로세스는 fork()호출이전의 부모데이터를 상속하여 공유하고, 그 이후에는 자신의 독자적인 프로세스를 가진다. 그러나 고장진단시스템에서 진단추론과정에서 정밀진단을 위해서 수식모델이나 신경망모델등을 기동시켜야 하는데 이때 자식프로세스는 기존의 부모프로세스와는 다른 데이터와 알고리즘을 가져야 한다. 따라서 이때 자식프로세스는 자신의 프로세스를 다른 모델프로세스로 대체시켜야 하는데 이때 exec()을 사용함으로써 가능해진다. 이와같이 다수의 진단모듈을 연속적으로 만들기 위해서는 fork()와 exec()을 번갈아 사용하면 가능한 수 만큼의 진단프로세스가 만들어진다.

9) 시그널

위에서 fork(), exec()을 이용하여 생성된 연속감시 진단모듈은 진단제어에 따라 강제적으로 소멸시켜야 하는데 이때 프로세스의 소멸방법은 UNIX시스템에서 제공되는 시그널을 이용한다. 먼저 소멸하려고하는 프로세스는 getpid()함수를 이용하여 자기자신의 프로세스번호를 획득하고 자기 자신에게 kill명령을 송신함으로써 소멸시킨다.. 이때 이제까지 이용하던 데이터는 완전히 메모리에서 없어지고, 열려있던 파일을 자동적으로 close된다. 또한 시그널은 두개의 프로세스 사이에 협조를 위한 동기화과정에 필요하다.

5. 결 론

기존의 고장진단기법은 정적인 전문가시스템에 의하여 이루어지고 있어서 수정시 전체시스템을 수리해야하고, 이를 위하여 시스템의 전체메카니즘을 알아야한다. 또한 시스템을 처음 설계한 사람만이 수정가능하고, 새로운 진단모듈 첨가시 기존의 진단모듈과 상호협조에 많은 문제점이 있다. 또한 기존의 시스템은 주로 순차적 처리에 의한 진단을 수행하지만 이렇게 될 때 전파속도가 빠른 시스템은 진단이 진행되는 동안에 시스템 전체에 고장이 전파되어 커다란 손실을 초래한다. 따라서 고속, 복잡시스템은 다중고장을 진단할수 있어야 한다. 그리고 기존의 시스템은 프로그램을 한꺼번에 로딩시켜 사용하는 반면 본 연구에서 제시된 기법은 필요시 메모리 속으로 읽어들이고 사용하고, 사용후 제거함으로써 메모리를 동적으로 사용할수 있다. 본 연구에서 주로 사용되는 진단제어모듈은 후향추론 전문가시스템설모델, 자기 다른 신경망회로모델, 그리고 각 기계의 상태를 예측하기 위한 수식모델, 그리고 각 모델간의 정보교환과 상호협동을 위한 통신모델이 사용된다. 이러한 모델

들은 각각 기계시스템에 하나의 부속시스템이나, 중요한 모듈, 혹은 복합요소(complex component)의 동정을 기술하기 위하여 각각 사용된다. FT에서 얻어진 구조적, 기능적 지식을 이용하여 고장원인을 추론한다. 각각의 모듈은 메인모듈의 필요에 따라 생성되거나 소멸되고, 또한 생성된 프로세스는 또한 필요한 각각의 모듈을 생성하고, 소멸시킨다. 각각의 모듈간 제어는 메세지전달에 의하여 행하여진다. 본 시스템에서 제시된 제어기법은 UNIX운영체제의 IPC(Inter Process Communication) 설비를 이용하였다.

6. 참고문헌

- (1) Chryssoulouris.G, Domroese.M, Beaulieu.P,1992," Sensor Synthesis for Control of Manufacturing Processes", Transactions of the ASME, Vol.114, pp.158~174.
- (2) Barschdorff.D, Dressler.T and Nitsche.W, 1986," Real-time Failure Detection on Complex Mechanical Structures via Parallel Data Processing",Computers in Industry, No.7, pp.23~30.
- (3) Bocklish.S.F,1986, " A Diagonosis System Based on Fuzzy Classification" Computers in Industry, No.7, pp.45~51.
- (4) Mratins.L.G and Gerges.N.Y, 1984, " Comparison between Signal Analysis for Detecting Incipient Bearing Damage", Condition Monitoring '84, 10th~13th, pp.191~204.
- (5) K.Nakamura and S.Kobayashi, 1990,"An Interactive Case Based Reasoning Model and Its Application to Supporting Fault Diagnosis" J.Japanese Soc. for Artificial Intelligence, Vol.4, No.6, pp.704~713.
- (6) Piotr, Hassberger and John, 1990, " Fault Tree Based Diagnostics Using Fuzzy Logic" IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12, No.11, pp1115 ~ pp.1119
- (7) Yun,P and James A.R, 1987, " A Probabilistic Causal Model for Diagnostic Problem Solving Part II: Diagnostic Strategy", IEEE Trans. on Syatems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-17, NO.3, pp.395~406
- (8) M.R. Genesereth, 1984," The use of design descriptions in automated diagnosis", Artificial Intelligence, Vol.24, pp.411~pp.436
- (9) Murali.K and Don.T.P, 1992, " An Expert System Framework for Machine Fault Diagnosis ", Computers ind. Eng., Vol.22, No.1, pp.67~pp.84
- (10) Milne R. W., 1987, " Strategies for Diagnosis ", IEEE Trans. on Syatems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-17, NO.3, pp.333~pp.406
- (11) Bae.Y.H , Jang.S.K and Lee.S.H, 1993, "Work Roll Diagnosis by Roll Life Prediction Model in Hot Rolling Process", Journal of the KSPE, Vol.10, No.3, pp.69~pp.80.
- (12) Bae.Y.H, Lee.S.H and Choi.J.W, 1994, " Diagnosis of Compressor Failure by Fault Tree Analysis", Journal of KSME, Vol.18, No.1, pp.127~pp.138.
- (13) Bae.Y.H, Lee.H.K, Lee.S.H and Lee.S.J, 1994, " Fault Diagnosis of Walking Beam Roller Bearing by FTA", Journal of KSPE, Vol.11, No.5, pp.110~pp.123.

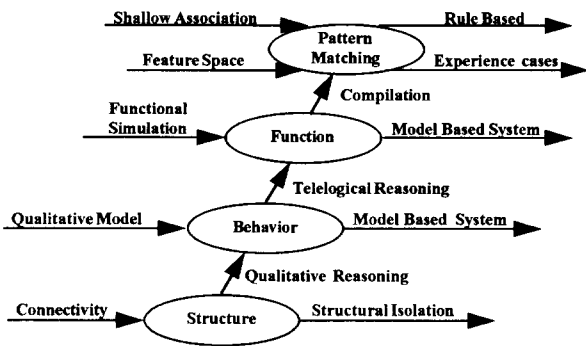


Fig. 1 The levels of diagnosis reasoning

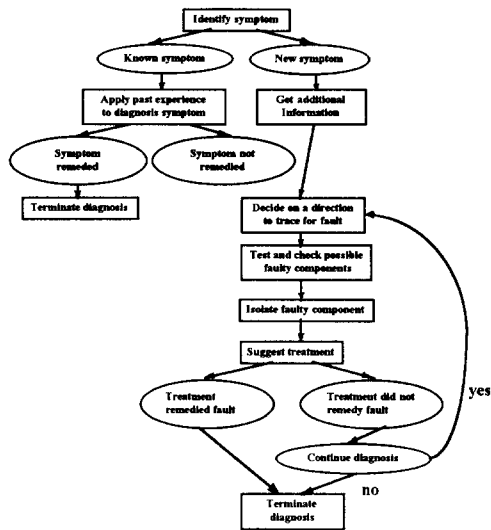


Fig. 2 The basic steps in the human diagnostic reasoning process

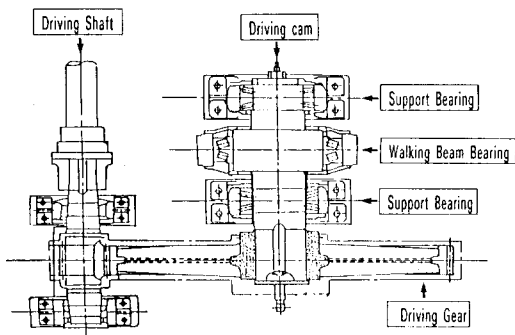


Fig. 5 An example of heuristic fault diagnosis in bearing failure

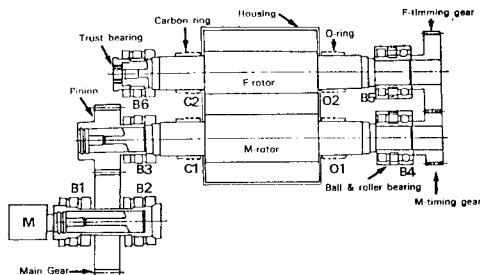


Fig. 4 An example of heuristic fault diagnosis in air compressor failure.

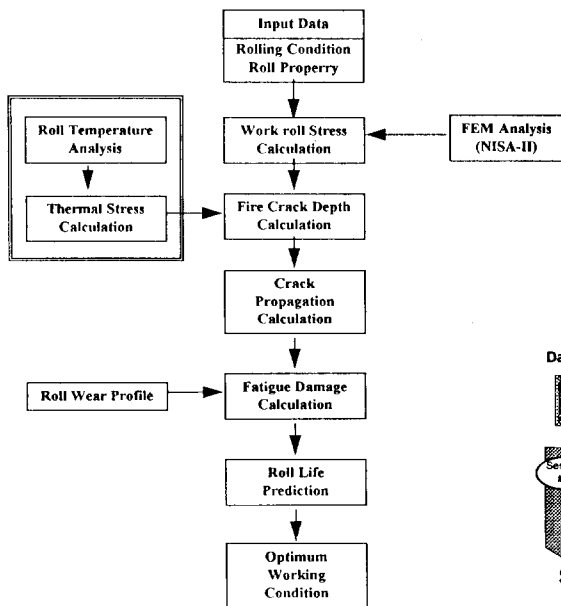


Fig. 3 An example of model based fault diagnosis in roll breakage.

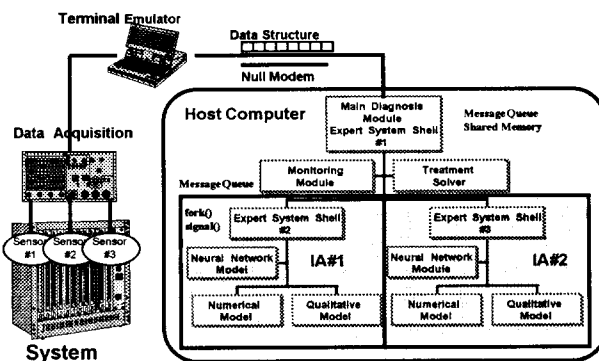


Fig. 6 The proposed fault diagnosis system and IA (Intelligent Agent)