

멀티미디어기반 통합 방식 고장 진단 시스템

양찬범* · 양석훈* · 박영택**

A Multimedia-based Hybrid Diagnostic System

Chan-Bum Yang* · Suk-Hoon Yang* · Young-Tack Park**

요 약

현재 산업의 고도성장과 함께 주기적으로 고장을 진단하여야 하는 기기의 수와 종류도 급속도로 증가하고 있다. 이에 따라 여러 산업 분야에서 고장진단 시스템의 이용이 늘고있는 추세이다. 이러한 고장진단 시스템은 경험적 고장진단 방식과 모델기반 고장 진단 방식으로 크게 나눌 수 있다. 경험적 고장진단 방식은 전문가가 경험한 사실의 범주에서는 신속하게 고장의 원인을 진단할 수 있지만 전문가가 경험하지 못했던 상황에 대해서는 융통성 있게 진단하지 못한다. 한편 기기의 물리적 기능적 지식을 기반으로 하는 모델기반 고장진단 방식은 변화하는 상황에 적절하게 대처하여 고장의 원인을 진단할 수 있다. 그러나 모델기반 고장진단 방식은 기기의 구조로부터 증상들을 추론하여 원인을 파악하므로 탐색 범위가 넓어 진단속도가 늦다는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 경험적 고장진단 방식과 기기의 모델기반 고장진단 방식의 장점을 결합하여 신속하고 정확하게 고장진단을 할 수 있는 통합방식 고장진단 시스템을 제시한다. 통합방식 고장진단 시스템은 대상 기기의 진단 상태에 따라서 동적으로 적절한 진단 방식을 선택하기 위해서 블랙보드 추론기관을 이용한다. 또한 각 진단방식이 생성하는 가설 및 사실들을 효과적으로 통합하여 추론하기 위해서 제어지식을 정의하여 적용한다. 그리고 사용자와 진단 시스템간에 원활한 의사소통을 위해서 멀티미디어 기반 인터페이스를 채용하여 통합방식 진단 시스템을 구축한다.

Key words: 전문가 시스템(Expert System), 진단 시스템(Diagnostic System), 통합방식 고장진단

* 본 연구는 과학재단 핵심전문(과제번호: 951-0906-056-2)의 지원을 받았습니다.

* 숭실대학교 컴퓨터학부 석사과정

** 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

1. 서론

고장진단 시스템이 등장하기 이전에는 일반적으로 전문가의 수작업에 의존하여 기기의 고장을 진단해 왔다. 그러나 전문가의 수작업에 의존하여 진단할 때에는 다음과 같은 문제가 발생한다. 첫째, 기기를 담당하는 전문가가 시간이 지남에 따라 교체될 수 있고 새로운 담당자는 고장이 발생한 경우에 그 원인을 알아내는데 많은 시간을 필요로 한다. 둘째, 기기를 여러 담당자가 관리하고 유지보수하기 때문에 유지보수 지식이 축적되지 못하는 단점이 있게 된다.

이와 같은 문제점은 고장진단 시스템을 이용함으로써 해결할 수 있다. 진단 시스템을 구축하는 형태로는 크게 전문가의 고장진단 경험 지식을 지식베이스로 구축하여 진단에 활용하는 경험적 분류(Heuristic Classification) 방식과 대상 기기의 동작지식과 구조지식을 기본으로 하여 고장의 원인을 추론하는 모델기반 진단 방식으로 나눌 수 있다.

경험적 지식에 근거한 고장진단은 일단 양질의 고장진단 지식베이스가 구축된 경우에는 가장 효율적인 방식이 될 수가 있다. 그러나, 이와 같은 방식의 단점 중의 하나는 양질의 지식베이스를 구축하는데 많은 시간과 인력이 소모된다는 점이다. 즉, 전문가로부터 효율적으로 양질의 지식베이스를 추출하기 위해서는 지식공학자의 능숙한 인터뷰와 좋은 지식습득 도구의 활용이 필요하다. 또한 예전에 경험하지 못했던 문제가 발생할 경우에 유연성 있게 대처하지 못하는 단점을 가진다.

모델기반 고장 진단은 대상 기기의 모델에 기반을 두는 방식이다. 즉, 대상으로 하는 기기가 정상적으로 동작할 때에 기기의 동작지식과 구

조지식을 기반으로 하여 비정상적으로 동작을 수행하는 기기의 고장 원인을 파악하는 방식이다. 모델기반의 고장진단은 모델의 올바른 동작 지식을 가지고 있기 때문에 과거의 경험과는 무관한 새로운 종류의 고장이 발생하더라도 그 고장의 원인을 알아낼 수 있다. 그러나 모델기반 고장진단은 대상 기기의 입출력 값들과 구조로부터 증상들을 추론하여 원인을 파악하게 되므로 진단속도가 늦은 단점이 있다. 또한 진단 대상이 되는 기기가 복잡할수록 구조지식과 동작 지식을 정확히 파악하여 이를 지식베이스로 구축하기가 어렵다.

이와 같은 경험적 고장진단 방식과 모델기반 고장진단 방식은 각 장단점을 가지고 있으며 두 가지 고장진단 방식을 통합한 진단 방식을 통해서 효율성(Efficiency), 견고성(Robustness), 유연성(Flexibility)을 갖춘 진단 시스템을 구축할 수 있다. 모델기반 고장진단은 과거에 경험하지 못했던 상황에서도 융통성 있게 대처할 수 있어 경험적 고장진단의 단점을 보완할 수 있다. 한편 경험적 고장진단은 경험적 지식을 사용하여 어느 정도 탐색공간을 축소하기 때문에 신속한 진단이 가능하여 모델기반 고장진단의 단점을 보완할 수 있다. 그러므로 이러한 각각의 장점을 가지고 있는 진단방식들을 통합하여 현재의 진단상황에 적절하게 적용하여 신속하고 정확하게 고장을 진단할 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 고장진단 시스템의 관련연구를 설명하고 3장에서는 통합방식 고장진단 시스템의 구조에 대해서 설명한다. 4장에서는 통합방식 진단에서 이용된 블랙보드 시스템에 대해서 설명하고 5장에서는 경험적 지식과 모델 지식, 그리고 효율적인 추론을 위해 사용되는 전략적 지식에 대해서 설명

한다. 6장에서는 통합방식 고장진단 시스템을 구체적인 사례에 적용하여 경험적 진단, 모델기반 진단방식과 비교를 한다. 7장에서는 통신회사 장비인 교환기 영역에서 멀티미디어 기반 통합방식 진단 시스템을 구현한 예를 설명한다. 8장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 IDEA

IDEA(Integrated Diagnostic Expert Assistant) 시스템은 이태리에 Fiat 연구소에서 개발된 모델기반 고장진단 시스템으로 자동차의 여러 전자부품을 진단하고 수리하는데 도움을 주는 시스템이다[1].

IDEA는 두 가지의 제약조건 전파(Constraint Propagation) 방식과 집중화(focusing) 전략을 이용하여 추론을 한다. 첫 번째 제약조건 전파 방식은 입력 신호가 정상일 때 이와 기능적으로 연결된 요소들을 이상이 발생할 가능성에서 배제한다. 두 번째 제약조건 전파 방식은 입력 신호가 비정상일 경우에 이와 기능적으로 연결된 요소들 중에 이상이 있다고 보고 고장 가설 리스트에 추가한다. 그리고 추론 기관은 이상 신호가 발생한 부분을 집중적으로 진단한다.

모델기반 진단 방식은 경험적인 지식을 전혀 필요로 하지 않지만 좀 더 효율적인 진단을 위해서 사용될 수 있다. IDEA는 과거에 발생했던 증상들의 우선 순위, 각 요소와 연관된 통계적 수치, 각 요소의 접근 용이성에 따라서 오류 가설 리스트에서 검사 순서를 결정한다. 또한 우선 순위 정보는 편집 가능하여 현장의 전문가의 경험 지식을 반영하여 추론 가능하다.

그러나 IDEA에서는 모델기반 진단방식이 진단의 중심이 되고 전문가의 지식은 보조적으로 사용되기 때문에 전문가의 경험 지식을 충분히 진단에 반영하지 못하고 있다. 어느 한쪽의 진단방식이 중심이 되면 다른 진단 방식의 장점을 최대한 활용하기 어렵다. 그러므로 각 진단 방식의 장점을 손상하지 않고 극대화할 수 있는 통합방식 진단 시스템이 필요하다.

2.2 Sparse

Sparse는 포르투갈에서 개발된 통합방식 진단 시스템으로 변전소에 사고가 발생할 경우에 상황실에서 근무하는 요원을 돕기 위해 개발되었다[2]. Sparse는 사고 발생시에 각 변전소에 설치된 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템이 생성하는 많은 량의 경보 메시지를 실시간으로 해석하고 전력이 차단되는 부분을 최소화한다. 그리고 이상 상황 발생 시에는 필요한 경보 메시지를 출력하고 상황실 근무자에게 처리해야 할 작업을 추천한다.

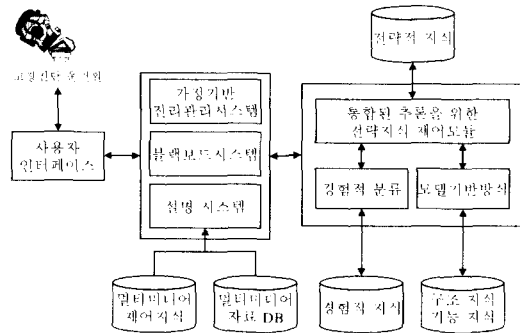
Sparse의 지식베이스는 모델기반 지식과 경험적 지식으로 이루어 진다. 모델기반 지식은 변전소의 동작 행위와 데이터 전송 시스템의 행위를 모델링한 지식이다. 경험적 지식은 상황실에 근무하는 현장 전문가의 지식으로 많은 량의 경보 메시지들 중에서 중요하고 의미있는 메시지를 선별하여 신속하게 처리할 수 있는 지식들이다.

Sparse 시스템의 추론기관은 많은 양의 경고 메시지를 입력으로 받아들여 사용자에게 꼭 필요한 메시지만을 출력하도록 하기 위해 전방추론을 수행한다. 그러므로 문제영역이 변하게 되면 추론기관에도 많은 변화를 필요로 한다. 본 연구에서 제안하는 추론방식은 추론을 수행하지

전에 미리 전방추론 또는 후방추론이 정해지는 것이 아니라 고장진단 과정의 동적인 상태에 따라서 다양한 추론이 가능한 범용성 있는 추론방식이다.

3. 시스템 구조

기기의 효율적인 고장진단을 위해서 본 연구에서는 기기의 모델기반 지식과 전문가의 경험적 지식의 혼용을 통한 지식기반 시스템을 구축하여 전문가와 같은 문제해결 능력을 보유한 범용성 있는 통합방식 고장진단 시스템을 제시한다.



(그림 1) 통합방식 고장진단 시스템 구조

통합방식 고장진단 시스템에서는 기기의 모델기반 지식과 전문가의 경험적 지식은 서로 다른 형태로 표현되며, 다른 방식으로 추론에 이용되게 된다. 따라서 통합화된 새로운 추론방식이 설계되어야 한다. 또한 추론방식이 전방추론이나 후방추론과 같이 실행 전에 미리 정해져서 효율을 떨어뜨리면 안되고 고장진단 과정의 동적인 상태에 따라서 다양한 추론을 할 수 있도록 설계가 되어야 한다. 그리고 복잡한 기기의 경우에 많은 추론과정을 필요로 하므로 고장

진단의 효율을 극대화하기 위해서 추론보조기관을 이용하여 불필요한 추론과정을 제거할 필요가 있다. 그림 1은 통합방식 고장진단 시스템의 전체구조를 설명하고 있다.

통합방식 고장진단 시스템은 고장진단의 현재 상태에 따라서 가장 적절한 추론방식과 추론과정을 선택할 수 있는 블랙보드 구조를 채용하고 있다. 또한 추론보조기관의 일종인 가정기반진단관리시스템을 이용하여 효율적인 추론과 설명 및 불필요한 추론을 방지할 수 있도록 한다.

3.1 경험적 고장 진단

전문가는 어떤 문제가 발생하였을 때 과거에 비슷한 문제를 풀었던 경험에 근거하여 문제를 해결한다. 이러한 고장진단 방법은 과거의 경험 결과를 그대로 사용하므로 빠른 시간 내에 문제를 해결하는 특성을 가지고 있다. 이러한 전문가의 진단방식을 경험적 분류(Heuristic Classification)라고 한다[3,4,5].

일반적으로 경험적 분류방식을 고장진단에 이용할 경우 입력은 고장 기기의 증상이 되고, 이와 함께 다양한 지식을 적용하여 그 고장을 설명할 수 있는 고장의 원인을 출력하게 된다. 경험적 분류의 출력인 고장의 원인은 입력인 가설의 집합중의 하나이다. 왜냐하면 고장진단에 있어 알지 못하는 내용을 고장의 원인으로 제시할 수 없기 때문에 항상 고장증상을 설명하는 고장의 원인은 미리 정의된 가설의 집합중의 하나가 된다. 이와 같이 고장의 원인을 미리 정의된 가설의 집합에서 알아내기 위하여 경험적 분류는 새로운 사실을 알아내고, 고장원인의 가설을 추론하고 그 가설들에 대한 평가를 수행하는 등 다양한 지식과 방법을 적용하게 된다.

경험적 분류방식의 추론구조는 다음과 같이 크게 세 단계로 구성된다. 처음 단계는 주어진 고장증상을 추상화하는 과정이다. 이 과정에서는 여러 종류의 추론 규칙을 적용하여 추상화를 실현한다. 일단 증상의 추상화가 완료되면, 경험적인 규칙을 이용하여 추상화된 증상을 설명할 수 있는 추상화된 문제해결 방식을 알아내는 단계를 거치게 된다. 이러한 추상화된 문제해결 방식은 매우 많은 가설들 중에서 하나의 그룹을 지칭하게 되므로, 탐색공간을 축소하는 의미를 가지게 된다. 마지막 단계에서는 추상화된 문제해결 방식을 좀더 구체화하여 관찰된 고장증상을 파악하는 작업을 수행한다.

경험적 분류 고장진단 과정의 일반적인 프로세스는 다음과 같다. 먼저 시스템 운영자나 고장진단 시스템이 고장을 발견하면 주요 증세를 입력하게 된다. 이와 같은 증세를 바탕으로 하여 고장증세수집 전략적 지식은 사용자나 시스템의 운용기록으로부터 좀더 구체적인 자료와 증세를 수집한다. 경우에 따라서는 분야지식이나 고장진단 지식으로부터 미처 발견되지 못하였던 증세를 추론하고 검토하기도 한다. 이와 같이 수집된 고장상태를 바탕으로 하여 전략적 지식들은 초기가설을 설정하게 된다.

일반적으로 하나의 고장증세는 여러 개의 가설에 의해서 설명이 가능하므로 초기 가설은 가능한 모든 가설들의 집합이다. 그러므로 초기가설들은 검토될 가치가 충분히 있는 가설들이지만 이중에는 좀 더 신빙성이 높은 가설들, 즉 발견된 고장증세를 잘 설명할 수 있는 가설들을 가려내는 작업이 필요하다.

신빙성 있는 가설설정 전략적 지식은 분야 특유의 지식을 사용하여 초기가설들을 테스트하고 검토하여 그 중에서 매우 높은 가능성이 있는

가설들을 추출한다. 일반적으로 전문가들은 5개 이하의 신빙성 있는 가설을 설정하여 그 중에서 문제해결 방안을 제시하는 것으로 인지과학의 실험은 입증하고 있다. 일단 신빙성 있는 가설들을 설정한 후에는 이들을 비교하고 검토하여 고장의 원인을 알아내는 작업이 수행된다. 이러한 작업은 두 개의 가설을 구별시킬 수 있는 고장증세나 고장진단 지식을 효율적으로 알아내는 과정으로 구성되어 있다.

3.2 모델기반 고장 진단

모델기반 고장진단은 대상 기기의 모델에 기반을 두고 진단하는 방식이다. 모델기반의 고장진단은 모델이 완전하게 구현되었을 때에 정상적으로 동작하는 시스템의 동작과정을 참조하면서 비정상적인 시스템의 고장원인을 파악하는 방식이다[6,7,8,9,10]. 그러므로 경험적 지식에 기반을 둔 진단시스템의 단점인 유연성 부족을 보완할 수 있다. 즉, 경험적 지식에 기반을 둔 진단시스템은 경험적인 지식에 의존하여 과거의 경험과 같거나 아주 유사한 고장만을 효율적으로 진단할 수 있는 반면에, 모델기반의 고장진단은 모델의 올바른 동작지식을 가지고 있기 때문에 과거의 경험과는 무관한 새로운 종류의 고장이 발생하더라도 그 고장의 원인을 알아내는 기능을 가질 수 있다.

모델기반 고장 진단에서는 대상으로 하는 기기의 구조지식과 동작지식을 모델로 표현하여 예상치와 관측 결과치를 비교함으로써 고장 진단 과정을 진행한다. 만약에 두 값이 일치하지 않는 경우에는 모델이나 실제의 대상 기기 중에 하나가 이상이 있는 것인데, 모델기반 고장진단에서는 모델이 정확하다고 가정을 하고 실제 기기

의 이상 원인을 알아내는 방식을 취하고 있다.

모델기반 고장진단은 크게 모델 구축과정과 추론과정으로 구분이 된다. 또한 모델은 구조모델과 동작 모델로 구분이 되는데 구조지식은 대상 기기 요소들의 연결상태를 나타내고 동작지식은 각각의 요소들의 동작기능을 표현한다[8].

구조지식과 동작지식을 바탕으로 모델을 구축한 후에는 이를 이용하여 모델기반 추론기관이 고장의 원인을 알아낸다. 이와 같은 추론 기관은 여러 가지 방식이 있으나, 일반적으로 고장의 원인이 될 수 있는 후보들을 제약조건 전파 (constraints propagation) 방식을 이용하여 알아낸 후 가장 적절한 측정지점을 결정하여 측정치를 구하고 고장후보들을 구별하게 된다[11].

모델기반 진단과정은 일반적으로 각각의 요소에 대한 제약조건들을 설정하고 구조지식에 기반을 두고 제약조건에서 생성된 값들을 전파한다. 이 때에 하나의 노드가 서로 다른 두 개 이상의 비일치성을 가지는 경우가 발생하면 그 비일치성에 관련이 있는 요소들이 고장의 원인이 될 수 있다. 이와 같은 방식으로 고장의 원인이 될 수 있는 요소들을 알아낸 후에 그 중에서 가장 신빙성 있는 요소를 선택하여 이를 테스트할 수 있는 테스트 패턴을 생성하고 그 결과에 따라서 그 요소가 이상이 있는지를 알아낸다. 일반적으로 테스트 패턴은 테스트 값과 예상되는 결과치를 가지고 있어서 예상되는 결과치에 대한 고장의 원인을 제시하는 지식이다. 이와 같은 테스트 지식은 미리 시스템 설계자가 지정하거나 통계적으로 모델을 사용하여 결정하게 된다.

3.3 통합방식 추론을 위한 제어

경험적 지식기반 고장 진단과 모델기반 고장

진단을 통합한 진단방식은 고장진단의 현재상태에 따라서 가장 적절한 추론방식과 추론과정을 선택할 수 있도록 블랙보드 구조를 채용하고 있다. 통합방식 고장진단은 블랙보드의 상태에 따라 적절한 전략적 지식을 적용할 수 있도록 하여 각 추론방식이 가질 수 있는 문제점을 최소화한다.

통합방식 고장진단은 3단계의 제어과정을 반복 수행함으로써 관측된 고장증세를 가장 잘 설명할 수 있는 고장의 원인을 알아내고 설명을 제시할 수 있다. 각 단계는 추론방식의 결정 단계, 가설의 생성 단계, 가설의 구별 단계이며 각 단계별로 전략적 지식을 사용하도록 하여, 전체적으로 체계화된 제어구조를 갖는 시스템이 되도록 한다.

먼저 추론 방식의 결정 단계에서는 블랙보드의 현재상태에 근거하여 가능한 추론방식을 결정한다. 이 단계에서는 각각의 다른 추론방식을 선택하거나, 어느 특정 추론방식의 특정한 행위를 결정하기도 한다. 즉, 지금의 상황이 과거에 경험한 사실이 있는지, 경험하거나 예상했던 행위가 있는지, 기기의 동작예측이 필요한지 등을 결정할 수 있는 전략적 지식을 사용하여 추론방식을 결정하게 된다.

다음으로 가설의 생성 단계에서는 결정된 추론방식에 근거하여 고장진단 행위에 도움을 줄 수 있는 진단 가설을 생성한다. 적절한 진단가설을 생성하기 위해 각각의 추론방식들은 현재의 블랙보드 상태에 따라 적절한 추론과정을 결정한다. 경험적 고장 진단은 전략적 지식을 사용하여 가설을 생성하며, 모델기반 진단 방식은 블랙보드에 제시된 현재의 진단 초점을 중심으로 동작예측을 통해 가설을 생성한다. 각 추론방식을 통해 제시된 진단가설들은 블랙보드의

상태를 변화시키며, 이것은 각각의 추론기관의 수행에 영향을 미치게 된다.

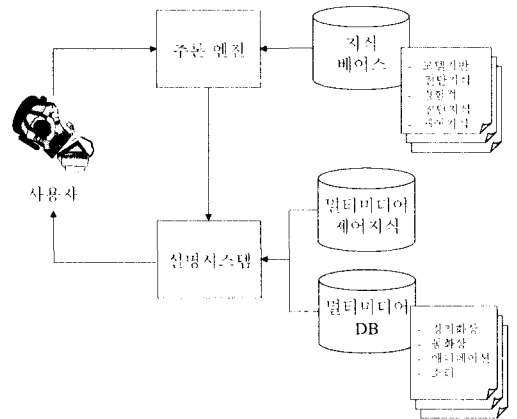
가설의 구별 단계에서는 생성된 가설들 중에서 실제 문제해결에 도움을 줄 수 있는 가설들을 구별해야 한다. 각각의 추론방식은 현재의 블랙보드 상태에 따라서 적절한 진단행위를 결정하고 시행하게 된다. 사용자에게 모르는 사실에 대해 질문을 한다든지, 새로운 측정지점을 통해 측정을 하는 등을 통해 생성된 가설들을 구별하는 작업을 수행하게 된다. 이러한 일련의 진단행위들은 다시 블랙보드의 상태를 변화시키며, 이를 통해 다음 사이클에서 다시 적절한 추론방식을 결정하고 가설을 생성하고 구별하는 과정을 반복하게 된다.

3.4 멀티미디어 자료 제어

고장진단 전문가 시스템은 고장 진단 추론 과정에서 추론된 결과 또는 필요 정보를 사용자가 이해하기 쉽게 제시한다. 진단시스템에 있어서 정확하고 신속한 진단은 매우 중요하다. 또한 이러한 진단의 결과에 대해 사용자에게 정확하게 전달하는 것도 중요하다. 이러한 이유로 멀티미디어기반 고장 진단 시스템은 사용자와의 대화환경의 개선과 설명기능의 강화를 위하여 멀티미디어 인터페이스를 사용한다. 진단시스템의 진단과정 중에 사용자에게 필요한 정보를 요청할 때 문자와 더불어 음성으로 들려주며 진단 결과에 대해 동화상으로 원인과 조치사항을 제시하게 된다. 또한 진단과정에서 발생하는 상태의 변화를 그래픽 화면으로 제시한다. 그림 2는 멀티미디어를 이용한 설명시스템의 구조이다.

멀티미디어를 이용한 진단을 하기 위해 설명시스템과 멀티미디어 제어지식, 데이터 베이스

가 이용된다. 설명시스템은 멀티미디어 제어지식과 멀티미디어 데이터 이용하여 사용자에게 쉽게 진단과정에 참여할 수 있도록 질문과 설명을 생성한다. 설명 시스템에서 사용하는 멀티미디어 제어지식은 사용자에게 어떤 멀티미디어 자료를 이용하여 설명할 것인가에 대한 판단 지식이다. 그림 3은 멀티미디어 제어 지식의 예이다.



(그림 2) 멀티미디어를 이용한 설명 시스템 구조

```

multimedia_rule(question2030, sound([s4030.wav]),
image([i1020.gif, i1030.gif]),video([v3050.mpg])
multimedia_rule(conclusion1030, sound([s4430.wav]),
image([i1430.gif, i1420.gif]), video([v3230.mpg])
    
```

(그림 3) 멀티미디어 제어지식

멀티미디어 데이터 베이스에서는 설명시스템에서 필요로 하는 실제 멀티미디어 데이터들이다. 멀티미디어 데이터 베이스는 정지화상, 동화상, 애니메이션, 음성 요소들로 구성된다. 추론기관에서 생성된 내용은 추론에 필요한 정보를

사용자에게 질문할 내용과 추론된 결과이다. 추론 결과에 따라 설명시스템은 멀티미디어 제어 지식을 이용하여 쉽게 사용자가 이해할 수 있는 질문이나 설명을 생성한다.

4. 블랙보드 추론기관

통합방식의 추론기관은 고장진단의 현재 상태에 따라서 가장 적절한 추론방식과 추론과정을 선택할 수 있는 블랙보드 구조를 사용하였다[15]. 통합방식 진단 시스템에서는 통합제어 지식 등 다양한 지식표현 방식이 표준화되어서 지식베이스로 구축이 되며 추론기관은 이러한 지식베이스를 활용하여 고장의 원인을 알아낸다.

블랙보드 기반의 추론기관은 블랙보드, 지식원(knowledge source), 인터프리터로 구성된다. 블랙보드는 추론 중에 발생하는 모든 종류의 동적 상태를 보유하고 있으며 여러 개의 계층구조로 이루어져 있다. 블랙보드는 크게는 사실과 가설의 두 가지의 집합으로 구성되어 있는데 각각의 사실 집합과 가설의 집합도 개념에 따라 계층적인 구조를 가지고 있다.

블랙보드 추론 기관은 지식원을 기반으로 추론을 수행한다. 지식원이란 블랙보드 추론기관의 지식구조에 해당하는 것으로, 매우 다양한 종류의 형태가 될 수 있다. 예를 들면 경우에 따라서는 규칙이 될 수도 있고 프레임 구조의 제어 규칙이나 분야규칙이 될 수도 있다. 그러므로, 경험적 방식의 추론시스템에서는 경험적 지식을 지식원으로 생각할 수 있고, 모델기반 시스템에서는 구조지식과 동작지식이 지식원이 되는 것이다.

블랙보드의 구조는 동적 상태를 개념화하는 데, 각각의 개념화 상태에 따라서 계층을 가지

게 된다. 지식원은 해당 블랙보드 계층에만 반응한다. 즉, 모든 지식원이 모든 블랙보드의 계층의 변화에 동작반응을 하는 것이 아니고 해당 하는 블랙보드 계층의 변화에만 반응을 보인다.

이와 같은 계층적 구조로 설계된 시스템은 필요 없는 추론의 양을 줄인다. 이러한 추론의 양을 줄이는 계층적인 구조는 각 계층의 변화를 감지하는 모듈을 필요로 한다. 즉, 각각의 계층의 변화를 탐지하여, 변화가 있으면 그 계층에서 변화된 지식원들만 인터프리터할 수 있는 기능이 있어야 한다. 이와 같은 기능을 수많은 지식원들에 모두 평가하는 과정은 많은 시간을 요구하므로 꼭 필요한 지식원들만을 알아내야 한다. 블랙보드 시스템에서는 블랙보드 모니터라는 모듈을 활용하여 계층의 변화를 감지하고 해당하는 지식원을 알아내는 역할을 수행한다.

블랙보드 모니터는 계층의 변화와 그 변화에 관련이 있는 지식원을 알아내는 테이블을 시스템이 시작하는 과정에서 동적으로 생성하여 사용한다. 블랙보드 모니터는 이와 같은 테이블을 동적으로 생성하기 위해서, 각각의 지식이 명시적으로 표현하고 있는 트리거 조건을 표현하고 있는데, 이러한 조건은 블랙보드 모니터가 블랙보드 변화와 관련이 있는 지식원들을 파악하는데 유용하게 이용된다.

5. 지식베이스

본 연구에서는 통합방식 고장진단 시스템을 구축하기 위해 세 가지 범위에서 지식베이스를 구축하였다. 첫째는 전문가의 오랜 경험을 통하여 얻어진 경험적 고장진단 지식이며 두 번째는 기기의 구조 및 동작 지식을 지식베이스로 구축한 모델기반의 고장진단 지식이다. 마지막으로

위와 같은 여러 지식들을 효율적으로 제어하면서 실시간 고장진단을 가능케 해주는 제어지식이다.

5.1 경험적 진단 지식

규칙 기반의 경험적 고장진단 지식은 전문가가 보유한 지식을 가장 적절하게 표현한 것으로 지식공학자의 도움을 받으면 효율적인 고장진단 시스템을 구현할 수 있다[3,12,13,14,]. 그러므로 고장진단 시스템의 진단 성능은 전문가의 지식을 지식 공학자를 통해 얼마나 정확히 지식베이스로 구축 할 수 있는냐에 따라 결정된다.

경험적 분류 고장진단 지식은 크게 해당하는 기기의 구조와 고장진단 지식을 표현하는 분야 특유의 지식, 경험적 분류의 범용성 고장진단 과정을 표현하는 여러 가지 메타 지식, 여러 가지 메타지식 중에서 어느 것을 실행할 것인지를 결정해 주는 스케줄러지식 등으로 이루어진다. 이 스케줄러 지식은 고장진단 추론 과정에서 가장 적절한 메타지식을 결정하는데 활용된다. 그림 4는 경험적 지식이 추론과정에서 어떻게 사용되는지를 설명하고 있다.

```
rule(rule1000, trigger([a4000, a4020]),
[ask( SCSI_cable_off)], conclude(state(ask SCSI_cable, _)),
condition([true]).
rule(rule1010, trigger([a4000, a4020]),
[s_test(c0700)], conclude(state(dkubb, _)),
condition([state(ask SCSI_cable, _)])).
```

(그림 4) 경험적 지식의 예

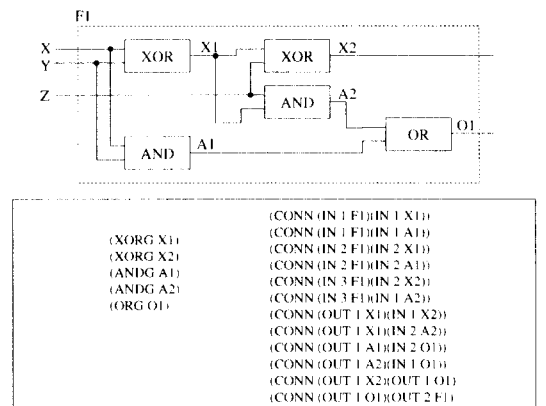
고장진단지식과 스케줄러지식은 모두 조건문과 결과문으로 구성된 규칙 형태로 표현된다. 고장진

단 지식은 대상 기기에 종속이 되는 특징이 있는 반면에 스케줄러지식은 고장진단 과정에만 의존함으로 대상 기기에 종속이 되지 않는 범용성을 띄게 된다.

5.2 모델기반 진단지식

모델기반 고장진단은 대상 기기의 모델에 기반을 두는 방식이다. 즉 대상으로 하는 기기가 정상적으로 동작하는 지식을 지식베이스에 구축하여 추론함으로써 비정상적으로 동작을 수행하는 기기에 대한 고장 원인을 알아낸다[6,7,8,9,10]. 즉 대상 기기의 구조와 동작 원리를 완전히 이해하여 지식베이스에 동작지식과 구조지식으로 구축한다. 모델의 구조적 지식은 대상 기기의 요소들의 연결상태를 나타내고 동작지식은 각각의 요소들의 동작 기능을 표현한 것이다.

모델기반 고장진단은 크게 모델 구축과 추론 과정으로 구분이 된다. 또한 모델은 구조모델과 동작 모델로 구분이 되는데 구조지식은 대상 기기 요소들의 연결상태를 나타내고 동작지식은 각각의 요소들의 동작기능을 표현한다.



(그림 5) 전가산기의 구조지식 표현

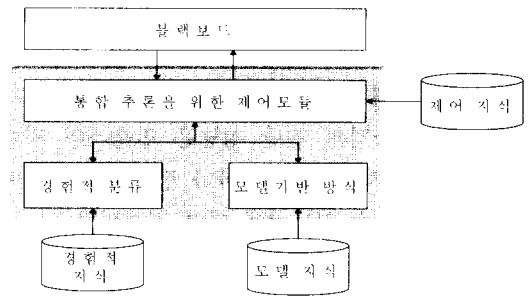
구조 지식을 표현하기 위해서는 각각의 모듈들의 타입과 연결상태들을 표현해야 한다. 예를 들면 그림 5와 같은 전가산기의 내부구조에서의 구조지식 표현을 생각해 볼 수 있다. 즉, 전가산기 내부에 있는 게이트의 종류를 정의하고 각각의 터미널 사이의 연결을 표현하고 있다. 여기서 (IN 1 F1)는 F1의 첫 번째 입력을 표시하고 있다. 마찬가지로 (OUT 1 A2)는 A2의 첫 번째 출력을 의미한다. 이와 같은 방식을 사용하면 임의의 기기의 내부구조를 표현할 수 있다.

5.3 통합방식 추론을 위한 제어지식

경험적 지식기반의 추론 방식과 모델 기반의 추론 방법을 함께 사용하기 위해서는 두 가지 추론방법을 함께 사용할 수 있도록 제어하는 제어지식이 필요하다. 일반적인 추론 방식을 가진 고장진단 시스템은 복잡한 기기를 진단하는 경우에도 한가지 진단방법만을 적용하여 진단한다. 그러나 현실에서 전문가는 자신의 경험적 지식뿐만 아니라 대상 기기의 구조적 기능적 지식을 적절하게 적용하여 진단을 내린다. 이런 방식의 추론을 위해서는 제어 지식이 필요하다.

일반적인 고장진단 시스템들은 하나의 진단 방법을 사용하기 때문에 단일한 지식의 표현 기법을 사용한다. 그리고 간단한 생성규칙이나, 프레임(frame)구조 등을 사용하여 규칙과 사실들을 표현한다. 그러나, 두 가지 이상의 고장진단 기법을 통합하기 위해서는 한가지 지식의 표현 방법으로 여러 추론 방법들의 장점과 특성을 살리기 힘들다. 그래서 각각의 방법들에 적절한 지식 표현 방법을 사용하여 각 추론기관이 생성하는 가설 및 사실들을 하나의 표현방법을 사용하여 블랙보드에 기록해야 한다. 블랙보드에 기록

된 내용들은 제어지식에 의해 각 추론기관의 내부표현으로 변환되어 이용된다. 즉 제어를 위한 일관된 지식베이스는 전체적으로 제어구조를 단순하게 한다. 그림 6은 제어지식을 이용한 통합추론 방식을 설명하고 있다.



[그림 6] 제어지식을 이용한 통합추론

이렇게 제어지식을 이용하여 고장진단 시스템을 통합적으로 제어하게 되면 진단 결과의 효율을 높일 수 있다. 예를 들면 모형기반 고장진단의 경우 주어진 상태에서 관심 있는 부분만을 집중적으로 진단할 때 계층적 구조를 갖는 모형과 제어지식을 이용하여 적절한 측정지점을 계산함으로써 전체적인 계산 양을 줄인다. 각각의 진단 방법들을 제어지식에 의해 제어함으로써 전체적으로 단순화되고 체계적인 제어가 가능하다.

```

A) goal(change_reasoning(Status, Focus, cr) :-
    new_state(Status),
    changed_focus(Focus),
    no_appliable(Focus),
    current_method(M,heuristic),
    goal(diagnose(Focus,model_based)).

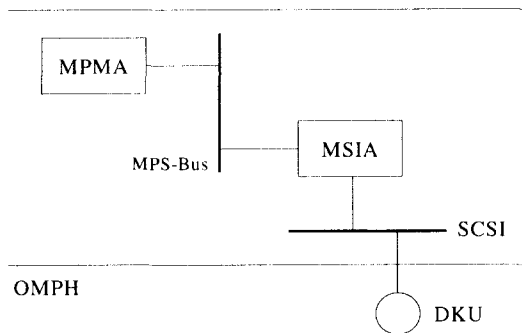
B) goal(process_hypothesis(Hyp, ph5) :-
    new_hypothesis(Hyp),
    not differential(Hyp),
    subsumed_other(Hyp, Hyp1),
    input_port(Hyp1, Input),
    goal(test_measurement(Input)).
    
```

[그림 7] 제어지식

그림 7은 다양한 고장진단 방법을 적용할 수 있도록 한 제어지식의 예이다. 위의 A지식은 고장진단 상태가 변경되고, 진단 초점이 변경되었을 때 그리고 지금의 진단방법을 더 이상 적용할 수 없는 경우에 다른 진단 방법으로 변경한다는 제어지식이다. B지식은 모형기반 고장진단에서 새로운 후보집합이 생성되었을 때, 그 집합의 요소 중에 이전에 생성된 집합에 모두 있는 요소를 찾아서 그 요소의 입력 단자를 측정하도록 하는 제어지식이다.

6. 통합방식 진단시스템 적용 사례

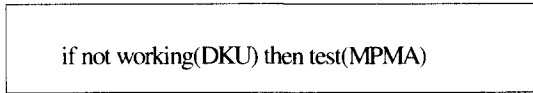
이번 장에서는 통합방식 진단시스템, 경험기반 진단 시스템, 모델기반 진단 시스템의 성능을 비교한다. 각 진단 시스템의 성능을 비교하기 위해서 실험을 통한 통계적인 수치를 얻기가 어려움으로 구체적인 사례를 통해 각 진단 방식의 성능을 비교한다. 그림 8은 통신 교환기에서 이상이 발생한 모듈의 개략도를 나타낸다.



(그림 8) 이상모듈 개략도

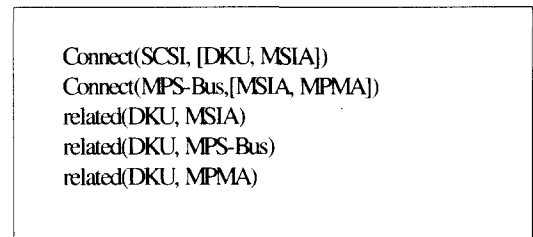
그림 8의 모듈에서 경험적 진단을 수행할 경우에 그림 9와 같은 전문가의 지식을 표현할 수

있다. 이 규칙은 DKU에 이상이 있는 경우에 MPMA를 검사하라는 규칙인데, 일반적으로 DKU 이상의 원인이 MPMA의 이상에 의한 경우가 빈번할 때 매우 효과적이다. 그러나 만약 고장의 원인이 MSIA에 있는 경우에는 진단할 수 있는 지식이 없으므로 더 이상 진단을 진행할 수 없게 된다. 경험적 지식기반 진단방식은 숙련된 전문가의 경험을 지식베이스로 구축하기 때문에 매우 신속한 진단을 수행할 수 있는 반면에 주어진 상황이 지식베이스의 규칙에 적용될 수 없을 때는 진단을 하지 못하는 단점을 가진다.



(그림 9) 경험적 지식

모델기반 진단방식에서는 진단하려는 대상 기기의 모델 지식을 표현함으로써 전문가가 경험하지 못했던 상황에 대해서도 진단을 수행할 수 있는 장점이 있다. 위의 이상모듈 개략도에 해당하는 모델지식은 그림 10과 같다.



(그림 10) 모델 지식

이와 같은 규칙은 각 구성요소의 연결구조를 표현함으로써 각 요소의 연관관계를 파악할 수 있게 해준다. 경험적 지식기반 진단방식에서는

MSIA에 이상이 있는 경우 진단을 할 수가 없었지만 모델기반 진단방식에서는 DKU가 MSIA와 연관이 있다는 구조지식을 가지고 있으므로 MSIA의 이상 유무를 검사할 수 있다. 그러나 모델기반 진단방식은 복잡한 기기의 경우에 모델 지식의 표현 너무 복잡해져서 진단 속도가 늦어지는 단점이 있다.

통합방식 진단 시스템에서는 이러한 경험적 지식기반 시스템과 모델기반 진단 시스템의 장점을 결합한 진단방식을 취한다. 통합방식 진단 시스템은 주어진 상태에 대해서 우선 경험적 진단 방식을 구동한다. 경험적 진단방식은 신속한 진단이 가능하므로 경험적 진단방식을 먼저 시도한다. 위의 개략도에 적용을 하면 경험적 지식에 의해 MPMA의 이상 유무를 검사한다. 이때 MPMA에 이상이 없으면 모델기반 진단방식을 적용한다. 모델기반 진단방식에서는 MPMA이외에 MPIS와 MPS-Bus를 검사하는 규칙이 있으므로 각 구성요소를 차례로 검사해 나간다. 이렇게 모델기반 진단을 수행하게 되면 경험적 진단방식에서 진단하지 못했던 문제를 해결할 수 있다. 또한 모델기반 진단방식의 단점인 추론속도의 저하문제도 해결할 수 있다.

7. 시스템 구현

멀티미디어 기반 통합 방식 고장진단 시스템은 멀티미디어 인터페이스를 채용하여 진단과정에서 사용자와의 대화를 정확하고 효율적으로 할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 PC 환경에서 전문가시스템의 추론기관과 멀티미디어 시스템을 동시에 제어할 수 있는 효율적인 고장진단 전문가 시스템을 구축하였다. PC에서 멀티미디어를 지원하는 전문가 시스템을 구현함으로써 문

자 위주의 단순한 인터페이스가 아닌 소리와 정지화상, 동화상을 제공하는 인터페이스를 구축하였다. 즉 사용자가 여러 감각을 이용하여 전문가 시스템과 상호 작용을 함으로써 진단 효과를 최대화하였다.

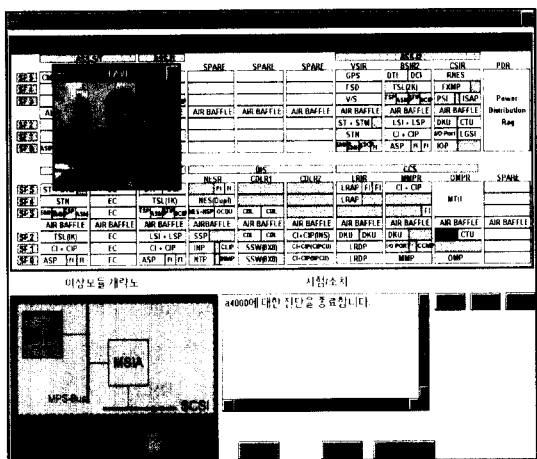
멀티미디어 기능을 제공하는 전문가시스템을 구축하기 위해 PC 기반의 Windows환경에서 멀티미디어 기능을 구축하였고 추론기관은 인공지능 언어인 LPA Prolog를 이용하였다. LPA prolog를 선택한 이유는 인공지능 언어로서 추론기관을 구현하기에 적합한 기능을 제공하면서, Windows 프로그램을 수행하기 위한 다양한 기능과 멀티미디어기능을 제어할 수 있는 기능을 제공하기 때문이다.

프롤로그는 다른 언어와 양방향 통신을 함으로써 멀티미디어 기능을 구현했다. 다른 언어로 작성된 DLL(Dynamic Link Library)를 이용하여 Prolog에서 함수를 호출하게 된다. 프롤로그를 이용하여 기기의 고장원인을 알아내는데 필요한 지식베이스와 추론엔진을 구축하였다.

고장진단 전문가시스템의 사용자 인터페이스 부분은 크게 4가지 부분으로 구성되어 있다. 위쪽 부분은 통신기기의 전체적인 블록 구조도를 타나내며, 왼쪽 아래 부분은 경고 메시지를 보여준다. 중간부분은 사용자에게 질문을 할 때 사용하며, 오른쪽은 경고메시지와 진단결과에 대한 설명을 위한 버튼들로 구성된다.

고장진단 전문가시스템은 경고 메시지가 발생했을 때, 해당 경고 메시지가 왜 발생하는지에 대한 발생원인과 조치에 대한 개략적인 설명을 사용자에게 미리 녹화된 동화상을 이용하여 제시한다. 그결과 사용자는 동화상으로 제시되는 설명을 들으면서 입력을 하게 된다. 전문가시스템은 진단이 진행됨에 따라 사용자에게 몇 가지

질문을 하기도 하며, 모형을 시뮬레이션하기도 한다. 이때 사용자에게 제시되는 질문은 문자와 음성으로 제공된다. 즉 음성만으로도 질문을 파악하여 신속하게 전문가시스템에게 응답해 줄 수 있으며, 친숙감을 느낄 수 있는 것이다. 그림 11은 음성과 동화상을 이용하여 사용자와 통신하는 화면을 보여준다.



(그림 11) 음성과 동화상을 이용한 진단 결과

고장 진단이 종료되면 진단이 종료했음을 사용자에게 알리고 진단결과에 대해 사용자에게 녹화된 비디오를 이용하여 설명하게 된다. 즉, 경고가 발생한 원인과 어떤 조치를 취했는지에 대해 사용자에게 비교적 상세하게 설명함으로써 사용자가 진단 과정을 전반적으로 이해할 수 있게 했다.

7. 결론

본 연구에서는 경험적 고장진단 방법과 기기의 모델기반 고장진단 방법의 장점을 결합하여

효율성, 견고성, 유연성을 가진 범용성 있는 통합방식 고장진단 시스템을 제안하였다. 경험적 고장진단 방식은 진단을 신속하게 처리할 수 있는 효율성을 장점으로 하지만 경험적 지식의 범위를 넘어선 문제에 대해서는 진단하지 못하는 단점을 가진다. 반면에 모델기반 고장진단 방식은 기기의 모델기반 지식에 의해서 진단을 수행하므로 견고성, 유연성을 장점으로 하지만 효율성에 있어서는 떨어진다. 이러한 두 가지 진단 방식을 통합함으로써 진단 시스템의 성능을 높일 수 있다.

통합방식 진단 시스템에서 각 진단 방식을 효율적으로 통합하기 위해서는 제어지식을 기반으로 동적으로 각 진단 방식이 선택되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 요구사항을 만족하는 블랙박스 추론기관과 제어지식을 정의하여 각 진단방식을 효과적으로 통합하였다.

전문가 시스템의 사용자는 전문가 시스템의 구체적인 원리에 대해서 알 필요가 없으므로, 사용자들이 용이하게 시스템을 운용하기 위해서는 멀티미디어 기반의 설명 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 진단시스템의 사용자를 효과적으로 도와주기 위해서 음성, 동영상 등의 멀티미디어를 이용한 인터페이스를 구축하였다.

참 고 문 헌

- [1] Marialuisa Sanseverino and Fulvio Cascio, "Model-Based Diagnosis for Automotive Repair", *IEEE Expert & Their Applications*, pp. 33-37, 11/12. 1997.
- [2] Zita A. Vale et al., "Sparse : An Intelligent Alarm Processor and Operator Assistant", *IEEE Expert & Their Applications*, pp. 86-93,

- 5/6. 1997.
- [3] Clancey, W., "The advantages of abstract control knowledge in expert system design", *In proceedings of the National Conference on AI*, pp. 74-78, 1983.
- [4] Clancey W., Bock C., "Representing Control Knowledge as Abstract Tasks and Metarules", *Technical Report KSL85-16, Knowledge Systems Lab.*, Stanford Univ., 1985.
- [5] Bylander, T. and Chandrasekaran, B., "Generic tasks for knowledge-based reasoning: the right level of abstraction for knowledge acquisition", *International Journal of Man-Machine Studies* 26, pp. 23-243, 1987.
- [6] de Kleer, J. and Willams, B. C., "Diagnosing multiple faults", *Artificial Intelligence* 32, pp. 97-130. 1987.
- [7] Reiter, R., "A theory of diagnosis from first principles", *Artificial Intelligence* 32, pp. 57-95. 1987.
- [8] Genesereth, M. R., "The use of design descriptions in automated diagnosis", *Artificial Intelligence* 24, pp. 411-436, 1984.
- [9] Davis, R. and Buchanan, B., "Meta-level knowledge: overview and applications", *In Proceeding of International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 920-927, 1988.
- [10] Davis, R., "Diagnostic Reasoning based on structure and behavior", *Artificial Intelligence* 24, pp. 347-410, 1984.
- [11] Sussman, G. J., Steele, G. L., "CONSTRAINTS: A language for expressing almost-hierarchical descriptions", *Artificial Intelligence* 14, pp. 1-39, 1980.
- [12] Buchanan, B. G. and Smith, R.G., "Fundamentals of expert systems", *The Handbook of Artificial Intelligence*, Vol. IV, Addison Wesley, 1989.
- [13] Clancey, W., "Extensions to rules for explanation and tutoring", *In Rule-based expert systems*, Addison-Wesley, 1984.
- [14] Clancey, W., "Model construction operator", *Artificial Intelligence* 53, pp.1-115, 1992.
- [15] Erman, L. D., Hayes-Roth, F., Lesser, V., and Reddy, R., "Hearsay-II: Integrating knowledge to resolve uncertainty", *In Blackboard System*, pp. 31-86, Addison-Wesley, 1988.