

사례기반 추론을 이용한 위성 고장진단 전문가 시스템 구축

박 영 택

승실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부

김 재 훈 · 박 현 수

한국전자통신연구원 관제기술연구실

A STUDY ON SATELLITE DIAGNOSTIC EXPERT SYSTEMS USING CASE-BASED APPROACH

Young-Tack Park

School of Computer Science, College of Information Science, Soongsil University

e-mail: park@computing.soongsil.ac.kr

Jaehoon Kim and Hyunsoo Park

Satellite Communications Technology Division, ETRI

e-mail: jhkim@kepler.etri.re.kr, hspark@etri.re.kr

(Received May 15, 1997; Accepted June 2, 1997)

요 약

위성의 수와 복잡도가 증가함에 따라서 다양한 고장이 생기는 경우를 예측하고 고장이 발생한 경우 이를 감지하여 신속히 감지하여 처리하는 노력의 필요성이 증가하게 된다. 현재는 위성 관제소의 전문요원들이 이러한 작업을 수행하고 있지만, 많은 부분이 일상적인 작업이므로 이러한 진단 작업을 자동화할 필요성이 있다. 즉, 일상적인 작업은 전문가시스템이 수행하고, 보다 복잡하고 고차원적인 문제는 전문요원이 해결하는 방식이 바람직하다. 이 논문에서는 이러한 노력의 일환으로 인공지능의 사례기반 방식을 도입한 위성 고장진단 전문가시스템을 구축하기 위한 방법론과 이에 따른 프로토타입 시스템을 설계하고 구현하였다. 사례기반 시스템은 과거의 사례를 기억하고 있는 사례베이스를 구축하고 고장의 증상이 발생한 경우에 이러한 사례베이스로부터 가장 근사한 경우를 인덱스하여 처리하는 기능을 가지고 있다. 이 논문은 이러한 기능을 가지는 사례기반 시스템의 구조와 활용방안에 대해서 서술하고자 한다.

ABSTRACT

Many research works are on going to monitor and diagnose diverse malfunctions of satellite systems as the complexity and number of satellites increase. Currently, many works on monitoring and diagnosis are carried out by human experts but there are needs to

automate much of the routine works of them. Hence, it is necessary to study on using expert systems which can assist human experts routine work by doing automatically, thereby allow human experts devote their expertise more critical and important areas of monitoring and diagnosis. In this paper, we are employing artificial intelligence techniques to model human experts' knowledge and inference the constructed knowledge. Especially, case-based approaches are used to construct a knowledge base to model human expert capabilities which use previous typical exemplars. We have designed and implemented a prototype case-based system for diagnosing satellite malfunctions using cases. Our system remembers typical failure cases and diagnoses a current malfunction by indexing the case base. Diverse methods are used to build a more user friendly interface which allows human experts can build a knowledge base in an easy way.

1. 서 론

위성의 이상상태를 지식기반 방식(knowledge-based approach)을 이용하여 고장진단하는 연구는 미국과 일본 및 유럽에서 활발하게 진행되고 있다(Darroy 1990, Hammac 1993, Hazizza 1990, Kaku *et al.* 1990, Redmond 1990). 위성의 이상상태를 감지하고, 그 원인을 파악하며, 원인 제거를 위한 처리를 수행하는 과정은 인공지능 분야에서 많은 연구가 진행되어온 지식기반 방식 고장진단 처리기법을 이용하면 충분한 가능성을 지니고 있다. 미국의 NASA에서는 Space Environmental Anomalies Expert System을 개발하여 위성의 이상상태 처리를 위한 전문가시스템을 개발하고 있다. 일반적으로 고장의 상태를 파악하고 진단하는 전문가시스템은 경험적 지식기반 방식과 모델기반 방식으로 구별되는데, 선진국에서는 이와 같은 방식을 혼합하여 적절히 사용하고 있다.

무궁화 위성을 시작으로 국내의 인공위성 산업은 지속적으로 성장할 것으로 예측된다. 이러한 상황에서 위성기술의 중요한 문제점 중의 하나는 안전도이다. 인공위성은 매우 열악한 우주환경에서 동작하고 지구상의 관제소로부터 원격명령을 받아야 하기 때문에 신뢰성에 많은 문제가 있다. 따라서, 원격으로 인공위성 임무수행의 신뢰성을 향상시키기 위한 지식기반 방식의 무인진단 전문가시스템의 필요성이 증대할 것으로 판단된다.

무궁화 위성의 성공적인 동작을 계기로 국내의 위성 연구는 보다 신뢰성있는 위성 개발 기술에 역점을 두어야 할 때이다. 신뢰성이 높은 위성만이 제기능을 수행할 수 있고 양질의 서비스를 지속적으로 제공할 수 있게 된다. 그러므로, 위성의 신뢰도 향상을 위한 원격 무인진단 방식에 대한 연구가 필요한데, 인공지능의 지식기반 고장진단 전문가시스템을 활용하면 위성의 이상상태를 파악하고 진단하는 경험적 지식을 지속적으로 활용할 수 있는 시스템을 구축할 수 있다. 따라서, 이 연구는 앞으로 고 신뢰성의 무궁화 위성 구현을 위한 연구에 크게 기여할 것이다.

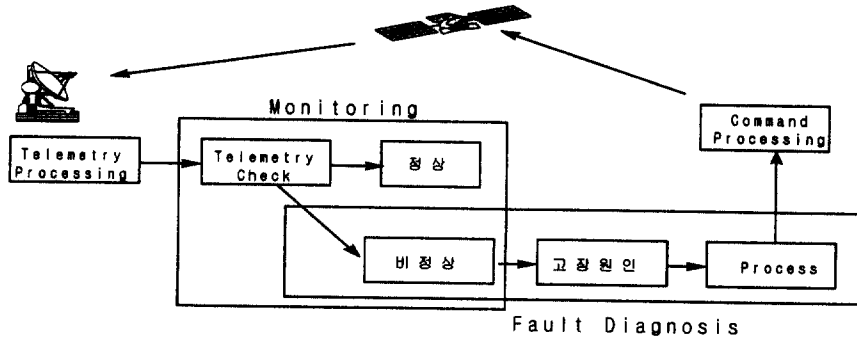


그림 1. 위성 고장진단을 위한 두 종류의 전문가시스템.

일반적으로 위성 고장진단 전문가시스템은 그림 1에서와 같이 감시(Monitoring) 전문가시스템과 고장진단(Fault Diagnosis) 전문가시스템으로 구분된다(Darroy 1990, Hammac 1993, Hazizza 1990, Kaku et al. 1990, Redmond 1990). 물론 이 두 종류의 전문가시스템이 혼합되어야 완전한 시스템으로 구동될 수 있으나, 성격상 이렇게 구분하고 있다. 감시 전문가시스템은 원격측정(Telemetry) 데이터를 수집하고 분석하여 위성이 정상 또는 비정상인지를 알아내고, 고장진단 전문가시스템은 그 결과에 따라 원인과 처리 과정을 지시하게 된다. 전문가시스템은 인공지능 분야에서 오랜 역사를 가지고 진행된 연구이고 다양한 분야에서 성공적으로 이용되고 있다. 따라서, 향후 국내에서도 선진국의 연구 추세에 따라 전문가시스템을 이용한 위성 고장진단 방식에 대한 연구가 많이 진행될 것이다.

이 논문에서는 감시와 고장진단의 전단계를 처리하기 위한 전문가시스템 구축에 대한 연구와 위성의 이상상태를 진단하기 위한 지식기반과 사례기반 방식을 이용한 전문가시스템을 구축하는 방법에 대해서 서술하고자 한다.

일반적으로 전문가시스템의 성공 여부는 다음의 두가지 요소에 의해 결정된다. 첫번째는, 전문가시스템을 위한 지식베이스의 구축이다. 전문가시스템은 인간 전문가의 지식을 충분히 습득하고 있을 때에만 성공적으로 작업을 수행할 수 있다. 아무리 좋은 도구와 방법론을 가지고 전문가시스템을 구축하였다 하더라도 전문가로부터 지식을 습득하기 어렵다면 성공적일 수 없다. 두번째는 구축된 전문가시스템의 지식기반을 효율적으로 관리하고 운영하는 문제이다. 전문가시스템의 지식베이스는 많은 전문가의 지식을 담고 있기 때문에 지속적으로 지식을 축적하면서 일관성있는 지식베이스를 구축하는 것이 매우 중요하다(Clancey 1983, Calncey & Bock 1985, Davis 1976, Eshelman & McDermott 1987).

이 논문에서는 이와 같은 요소를 고려하여 사례기반 방식을 활용한 위성 고장진단 전문가시스템의 프로토타입 시스템을 구축하는 방법론에 대해서 서술하고자 한다(Kolodner 1990, Kolodner & Thau 1988).

2. 사례연구

위성의 고장진단을 위해서 전문가시스템을 활용하고자 하는 연구는 여러 선진국에서 이루어지고 있다. 이 장에서는 이러한 연구 중에서 대표되는 몇 개의 사례를 연구 분석한다.

2.1 일본 통신위성 CS-3의 고장진단 전문가시스템

NASD/Tracking 센터와 Mitsubishi 사(Kaku *et al.* 1990)에서는 두가지의 실험적인 위성 고장진단 전문가시스템을 구축하였다. 하나는 고장진단 시스템이고, 또 다른 하나는 모니터 시스템이다. 위성 모니터 시스템은 위성의 상태를 파악하기 위해서 원격측정 데이터를 분석하는 목적으로 이용되고 있고, 고장진단 시스템은 고장의 원인을 파악하고 진단하는 용도로 이용되고 있다. 위성의 고장진단은 다음과 같은 여러 분야에서 대부분 사람의 손에 의해서 이루어지고 있었으나, 이들의 목적은 이러한 부분의 많은 작업을 자동화하는데 있다. 즉, 전송된 원격측정 데이터와 현재 값을 비교하는 한계검색, 각 명령에 해당하는 자료의 검증같은 작업이 그 대상이다.

고장진단 시스템: 지식기반 방식을 이용하여 구축된 CS-3 위성의 고장진단 시스템의 주 기능은 다음과 같다. 시간별로 전송된 원격측정 데이터 파일이 위성의 상태를 나타낼 수 있도록 되어 있고, 시간에 따른 데이터의 변화 추세를 분석한다. 또한, 위성의 고장을 분석하고 고장의 위치를 지식기반 방식으로 알아내며 비정상 상태의 파악을 위한 프로시듀어를 계산할 수 있다. 이러한 기능 이외에도 위성의 고장진단 상태를 파악하기 위한 추론 과정을 사용자에게 보여줄 수 있는 도움 기능과 추론 과정을 사용자에게 설명할 수 있는 설명기능이 있다. 따라서, 수집된 정보를 지식베이스화할 수 있는 지식습득기의 활용 기능이 있다.

이와 같은 목적을 수행하기 위해서 이 시스템에서는 여러 종류의 지식베이스를 이용하는데, 추론 과정을 개념화하기 위해 구조화된 문맥 클래스 트리, 위성의 고장진단 판단을 내리기 위한 생성 규칙(Production Rule), 생성 규칙에 의해서 계산하기 어려운 알고리즘 지식베이스, 생성규칙과 알고리즘 지식이 필요한 속성들에 대한 지식베이스 구조를 사용하고 있다.

생성 규칙은 전문가의 경험적인 지식을 표현하기 위해서 이용되고 있으며, 알고리즘 프로시듀어들은 해의 위치와 각도 계산, 달의 위치와 각도 계산, 위성이 태양에 노출되어 있는지 또는 지구 그림자 속에 있는지를 판단하는 프로시듀어, 태양 전지에 의해서 생성되는 전력량, 시간에 따라 변하는 원격측정 데이터의 추세 분석, 명령 전송 기록 등과 같은 계산에 이용된다.

모니터 시스템: 실시간 처리가 가능한 자동 고장탐지 시스템, 원격측정 데이터는 계속해서 전송되므로 지속적으로 시스템을 모니터링할 수 있는 기능, 궤도에 있는 위성의 하드웨어나 소프트웨어는 수정하기가 불가능하므로 위성의 상태에 따라 운영 절차가 유연하게 적응할 수 있는 기능, 위급 상황이 발생한 경우에 사람을 대신하여 문제를 해결할 수 있는 기능, 시간이 지남에 따라 일정한 형식으로 처리될 수 있는 경험적 지식의 자동 구축, 시스템은 시간이 지남에 따라 새로운 방식을 추가할 필요가 있으므로 순쉬운 시스템의 확장성과 같은 기능들을 가지고 있다.

이 시스템은 위의 기능을 LISP machine에 LISP를 이용하여 구현되었고 Spacecraft/Tracking &

제어 시스템 시뮬레이터, 고장난 구성 요소의 전처리 및 판단, 일반적인 판단의 추론과 같은 목적을 위해서 이용되고 있다. 위성의 상태를 효과적으로 모니터하기 위해서 이용된 지식 베이스는 지식베이스 구축 도구를 활용하고 있으며, 다음과 같은 세부 지식들로 구성되어 있다. 즉, 원격측정 데이터의 정상 범위 추론, 자료 분석을 위해서 필요한 제약조건, 위성으로의 명령 전달, 판단 결과를 다시 조사, 고장의 위치를 알아내는 기능, 긴급 상황에 대처하기 위한 명령 등을 수행하는 지식베이스로 구성되어 있다.

이러한 두가지 종류의 전문가시스템은 위성의 고장진단 과정을 자동화함으로써 보다 효과적으로 시스템을 정비할 수 있는데 기여하였다. 그러나 이 시스템은 생성 규칙과 알고리즘 방식을 이용하여 지식기반 시스템을 구축하고 있는 제한성을 지니고 있다.

2.2 유럽 우주항공 운영 시스템

유럽의 향후 우주항공 운영 시스템을 구성하는데 있어서 주요한 연구 동향은 지식기반 시스템을 활용하는데 있다(Hammac 1993). 이 시스템에서 제안하고 있는 것은 탑재체와 시설 관리, 네트워크 제어, 위성체 모니터 및 제어와 같은 분야에서 지식기반 방식을 사용하는 것이다.

이 시스템에는 탑재체 및 장비 관리를 위해서 탑재체 상태 모니터, 장비 상태 모니터, 일반적인 장비 재구성을 위한 프로시듀어 실행, 시스템 고장의 발견과 고장 수리를 위한 프로시듀어의 가동 등의 기능이 있다. 그리고, 네트워크 제어를 위해서는 지상 네트워크의 상태 모니터, 긴급 상황이 발생하였을 때 네트워크 재구성의 변화, 자료전달의 완료와 같은 기능이 있다. 또한, 위성체 모니터와 제어를 위해서는 탑재체 시스템의 고장 진단 및 수리, 음성/영상을 이용한 승무원의 동작 상황을 모니터, 탑재체 동작 스케줄, 운행 분석 수행, 정상적인 프로시듀어 실행 완료, 위성체 데이터 저장과 같은 기능도 있다.

이 시스템은 위의 분야 중에서 탑재체 상태 모니터 시스템과 네트워크 상태 모니터 시스템을 전문가시스템으로 구축할 계획이다. 각 시스템은 생성 규칙을 이용한 지식기반 방식의 구성될 것이며, 이를 위한 지식습득 방식이 필요한 것으로 예측하고 있다.

2.3 MATRA ESPACE 전문가시스템 사례

MATRA ESPACE에서는 여러 종류의 전문가시스템에 대한 연구를 수행하고 있다. 이곳에서는 인공지능의 다양한 방식을 위성 고장진단 시스템에 활용하고자 하는 시도를 하고 있다. 다음은 MATRA ESPACE에서 진행하고 있는 인공지능 연구의 내용이다(Darroy 1990, Hazizza 1990).

사례기반 방식을 이용하여 사람의 계획 방식을 모형하고, 이를 위성 고장진단 방식에 활용하고자 하는 연구와 위성 고장진단을 계획 방식으로 처리하기 위한 지식 표현, 이러한 계획 지식을 계층적 구조로 표현하는 방식을 연구하고 있다. 이 연구는 위성 고장진단 지식을 추론하기 위한 추론 구조로써 블랙보드 방식을 활용하고 있는데, 이는 추론 지식원(knowledge source)을 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고, 위성 고장진단 과정을 위한 스케줄링 연구를 위해서는 제약조건을 이용한 제약조건기반 스케줄링 연구가 진행되고 있는데, 이러한 제약조건 방식은 결정 시각과 일정한 시간

간격에서 진행되어야 할 TASK들을 정의하고, 각 TASK의 제약조건을 표현하는 방식을 취한다. 위성 고장진단 전문가의 경험적 지식을 활용하는 경우에는 전문가에 의존하여야 하는 단점이 있으므로, 이를 극복하기 위하여 위성의 구조, 기능, 행위를 모델하여 이를 기반으로 고장의 원인을 알아내어야 한다. 또한, 규칙기반 방식은 전문가가 있는 경우, 단시간내에 가장 훌륭한 전문가시스템을 구축할 수 있기 때문에 이 방식을 이용한 위성 고장진단 전문가시스템 구축에 대한 연구가 진행 중이다.

이곳에서 진행되고 있는 연구는 인공지능의 다양한 방법론을 통합하여 하나의 통합된 전문가 시스템을 구축하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한, 지식 습득을 위한 방법으로 구체적인 동작 지식과 경험적 지식을 습득하는 연구도 진행되고 있다. 여기서 구체적 동작 지식은 모델기반 진단을 위한 기기의 행위, 기능, 구조 지식을 의미하며, 경험적 지식은 전문가의 경험적 고장진단 지식을 의미한다.

3. 사례기반 진단 모델

사례기반 시스템은 과거의 사례를 기억하고 있다가 유사한 경우가 입력되면 비슷한 과거의 사례를 참조하여 고장의 원인을 파악하는 방법이다. 이러한 방식은 전문가로부터 사례 지식을 추출하기가 용이하고, 따라서 지식베이스 구축의 어려움이 비교적 적어 다양한 고장진단 시스템에 이용되고 있다(Kolodner 1990, Kolodner & Thau 1988).

그림 2는 사례기반 방식의 제어 흐름을 보여준다. 일반적으로 사례기반 시스템은 1) 사례추출, 2) 사례적용, 3) 사례 학습 이렇게 3단계로 이루어진다.

사례기반 방식은 사례베이스에 많은 과거 사례를 기억하고 있다. 이러한 사례베이스로부터 특정한 사례를 추출하기 위해서 인덱스를 이용한다. 따라서, 새로운 고장 증상이 입력되면 유사도 함수를

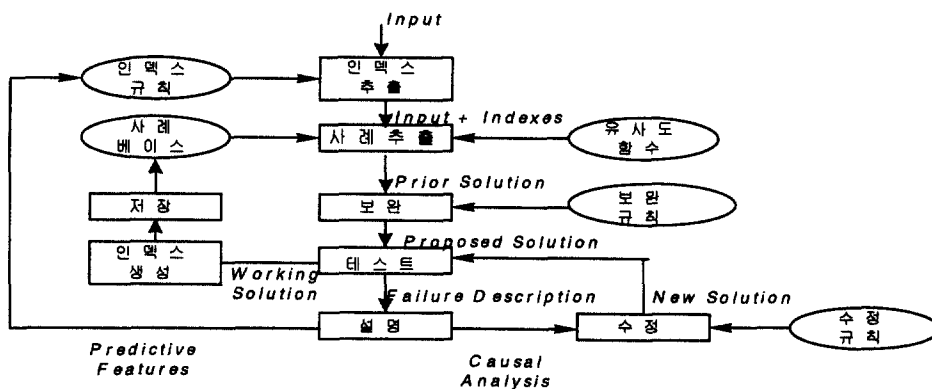


그림 2. 사례기반 추론 과정.

이용하여 인덱스를 추출하게 되고, 이를 이용하여 현재의 고장 상태와 같거나 가장 유사한 사례를 추출하게 된다. 현재의 상태와 똑같은 사례가 있는 경우는 이 사례를 이용하여 현재의 고장 원인을 알아내고 처리하게 된다. 그러나, 대부분의 경우 똑같은 사례가 존재하지 않으므로 비슷한 사례를 이용하여 현재의 고장 원인을 추론하게 된다. 사례기반 시스템에서는 이와 같은 방법으로 보완 규칙을 활용하여 비슷한 사례를 보완하고 현재의 경우에 적용한다. 이러한 과정을 거쳐서 생성된 고장 진단을 사용자가 만족하는 경우, 추출된 사례를 이용하여 고장진단을 수행한다.

일반적으로 사례기반 시스템을 활용하는 경우는 학습과정을 거치게 된다. 이 과정은 전문가로 하여금 보다 편리하게 사례를 입력할 수 있도록 한다. 충분한 학습과정을 거친 후에는 테스트 과정을 거쳐 충분히 실용화할 수 있다고 판단될 때 실제의 시스템으로 적용된다.

이와 같은 학습과정에서 사례기반 시스템은 전문가시스템이 의도하는 바와 실제 전문가의 결과가 다를 때, 전문가와 상호작용을 하면서 새로운 지식을 습득하게 된다. 즉, 전문가시스템과 전문가가 다른 결과를 내었을 때는 사례기반 전문가시스템이 그 차이를 물어 새로운 지식을 축적하게 된다. 또한, 전문가시스템이 추측으로 결과를 내고 전문가가 그 결과를 그대로 수용하는 경우, 전문가시스템은 그 이유를 전문가에게 물어 새로운 지식을 학습하게 된다.

4. 사례기반 위성진단 전문가시스템

3장에서 서술한 사례기반 모델을 기본으로 위성의 고장 원인을 예측할 수 있는 시스템을 Sun 워크스테이션 상에 구현하였다. 이 시스템은 관제소의 전문가가 수행하는 많은 작업을 대체함으로써 전문가는 보다 복잡한 고장 탐지에 전력할 수 있도록 하였다. 이 연구에서 치중한 부분은 사례 습득, 사례 추출, 사례 학습의 세부분이다. 또한, 시스템의 관리를 용이하게 하기 위해서, 사례기반 시스템의 각종 변수 및 변수 값은 메뉴방식으로 처리하였으며 이들은 텍스트 파일의 형태로 자유롭게 변형할 수 있도록 하였다. 즉, 텍스트 파일에서 변수를 선언하고 각각의 변수가 가질 수 있는 값을 지정하면, 사례기반 시스템은 이 텍스트 파일을 읽어들이 메뉴의 변수와 변수 값을 실시간으로 사용자에게 보여준다. 이러한 기능은 현장에서 전문가들이 필요에 따라 시스템의 기능을 확장 및 변화시킬 수 있게 해준다.

이 연구에서 추진하고 있는 사례습득 모듈은 텍스트 파일로부터 변수와 변수의 값을 입력받아 사용자에게 제공하므로써 사용자는 메뉴 방식으로 사례를 입력할 수 있다. 일반적으로 사례는 고장 증세들의 집합과 각각의 증세가 고장의 원인에 얼마나 중요한 가를 나타내는 중요도의 형태로 표현하고 있다. 이와 같은 중요도는 새로운 상황이 들어왔을 때, 어느 고장 증세가 중요한 가를 판단하는데 도움이 된다. 즉, 중요한 고장 증세가 일치하지 않은 경우는 사례와 일치하지 않은 것으로 판단할 수 있으나, 별로 중요하지 않은 증세가 일치하지 않은 경우에는 전체적으로 영향을 주지 않게 된다.

전문가는 각자가 보유하고 있는 사례들을 편리한 메뉴방식의 사례편집기를 이용하여 자유롭게 구축할 수 있다. 또한, 사례편집기는 많은 전문가가 동시에 작업을 할 수 있으므로, 단기간 내에 사례

표 1. 고장진단 사례 표현.

속 성	속성값	신뢰도
증상 ₁	값 ₁	신뢰도 ₁
⋮	⋮	⋮
증상 _n	값 _n	신뢰도 _n
고장의 원인		

지식베이스를 구축할 수 있는 장점을 가지게 된다. 이런 고장 증세를 추출하는 작업은 사례기반 시스템을 구축하는 프로그래머와 전문가 사이의 공동 작업으로 이루어진다. 즉, 전문가와 시스템 프로그래머는 일단 고장진단 범위를 정한 후, 어떤 고장 증세들이 필요한지를 파악하고 각각의 고장 증세들이 가질 수 있는 변수 값을 미리 예상하여 이를 텍스트 파일로 구축한다. 그리고, 이러한 내용이 지식을 입력하는 전문가들에게 보여지므로 보다 편리하게 사례지식을 입력할 수 있게 된다.

일단 사례편집기를 이용하여 충분한 사례가 입력된 후에는 사례지식베이스의 완결성을 테스트하는 작업을 수행한다. 일반적으로 사례지식베이스는 지속적으로 보완되어야 하는 특성을 가지고 있으므로, 일단의 사례지식베이스가 구축되면 이를 테스트하는 작업이 필요하다. 이 과정에서는 전문가가 테스트하고 싶은 테스트 집합을 미리 정의하고, 각각의 경우에 따라 사례기반 시스템이 제대로 동작하는지를 알아본다. 이러한 목적으로 전문가가 새로운 고장 사례를 입력하면, 사례기반 시스템은 입력된 문제를 그림 2의 여러 과정을 거치면서 고장의 원인을 알아낸다.

일반적으로 입력된 사례와 가장 비슷한 사례를 추출하기 위해서는 속성과 사례간의 관계를 이용한다. 즉, 사례지식베이스에 사례가 입력되면, 그 사례의 속성, 속성 값, 중요도 등을 고려하여 속성과 사례간의 규칙 지식이 생성된다. 예를 들어 MWA(Momentum Wheel Assembly) failure인 사례에서 wheel speed가 정상치의 80% 미만으로 떨어지는 증세가 아주 중요하다면 이와 같은 내용을 속성과 사례간의 지식으로써 다음과 같이 자동 표현된다.

If Wheel Speed falls below 80 % of its normal speed

Then MWA failure case.

이러한 속성과 사례간의 지식은 새롭게 입력된 고장 상태와 사례지식베이스에 저장되어 있는 사례의 유사도를 측정하는데 매우 필요한 지식으로 이용된다.

이러한 속성과 사례간의 지식도 중요하지만 속성과 속성간의 관계 지식도 중요하다. 이와 같은 속성과 속성간의 지식은 일반적으로 원인-결과의 관계를 나타내거나 유사한 원인의 결과들을 나타내는데 적절하다. 예를 들면 MWA failure인 wheel speed가 떨어지는 경우는 wheel bearing friction의 결과이므로 다음과 같은 속성과 속성간의 지식으로 표현된다.

If MWA failure

Then equal(Wheel Speed Falls, Bearing Friction).

이러한 속성간의 지식이 있는 경우는 두 속성 중의 어느 하나만 밝혀지더라도 추론이 진행될 수

있게 된다.

사례기반 고장진단 시스템은 주어진 상황과 똑같은 사례를 추출한다. 그러나, 똑같은 사례를 발견하지 못하는 경우는 속성간의 지식을 활용하여 유사한 사례를 발견하게 된다. 그러므로, 속성간의 관계는 위의 예에서 보여지는 바와 같이 equal, cause, approximately same, is related 등의 용어로 표현된다. Equal이나 cause와 같은 경우는 매우 비슷한 속성간의 관계를 나타내며, approximately same, is related 등의 관계는 비교적 관련성이 있다는 것을 의미한다. 사례기반 진단 시스템이 같은 사례를 알아내지 못하는 경우에는 이와 같은 용어의 설정으로써 비슷한 사례를 추출하게 된다. 이러한 상황은 사례학습 과정에서 사례베이스와 속성간의 지식베이스를 보완하는 용도로 이용된다.

사례지식베이스가 어느 정도 구축된 경우에는 테스트 사례를 이용하여 지식베이스를 디버깅하게 된다. 이러한 경우에 사례기반 시스템은 학습 기능을 이용하여 미진한 지식베이스의 내용을 전문가로부터 취득하게 된다. 이 연구에서 구축한 사례기반 시스템이 학습을 하는 경우는 다음과 같다.

- 1) 전문가시스템의 결과에 전문가가 만족하지 않는 경우
- 2) 전문가시스템의 미진한 결과를 전문가가 그대로 수용하는 경우

첫번째, 전문가시스템의 결과에 대해서 전문가가 만족하지 않는 경우는 여러가지 원인이 있을 수 있다. 이 경우 속성과 사례간의 지식, 속성과 속성간의 지식이 불충분하거나 지금까지 알지 못한 새로운 사례가 입력된 경우이다. 속성과 사례간의 지식이나 속성과 속성간의 지식이 부족한 경우 전문가로 하여금 이러한 지식을 입력할 수 있도록 하였다. 이 경우도 전문가는 메뉴방식의 지식베이스에 디터를 이용하여 편리하게 입력할 수 있도록 하여 현장의 전문가가 편리하게 이용할 수 있게 하였다. 또한, 새로운 사례가 입력된 경우 그 사례를 사례지식베이스에 바로 입력할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

두번째, 사례기반 시스템이 부족한 내용에도 불구하고 결과를 내었을 때 전문가가 그대로 받아들이는 경우이다. 예를 들어 사례_n에 속성_m이 매우 중요하며 현재 상황에 속성_m이 없지만 다른 속성들에 의해서 사례_n을 추천하였다고 하자. 이 경우 사례기반 시스템은 사례_n을 최선의 추천은 아니지만 일단 전문가에게 고장의 원인으로 제안한다. 그런데, 전문가가 그 결과를 그대로 수용하면 사례기반 전문가시스템은 사례_n과 속성_m간의 관계에 대해서 전문가에게 문의하고 이에 대한 새로운 지식을 습득하게 된다.

5. 시스템 구현

Sun 워크스테이션 상에 구현된 이 사례기반 진단 시스템은 사례기반 추론을 위한 모든 기능을 가지고 있으면서 새로운 사례들을 추출하는데 이용될 수 있다. 이 논문에서는 이해를 돕기 위해서 그림 3과 같은 예제로 설명하고자 한다. 일반적으로 MWA의 고장 원인을 추론하기 위한 속성과 속성 값들은 표 2와 같다. 또한, MWA에 관련된 고장 원인들을 표 3에 정리하였다.

표 2. 사례 속성.

Wheel Speed
Satellite Body Rotating
Nutation
Unable to Maintain Earth Pointing
No Torque Produced by Motion
Momentum Wheel in Operation
Failure Mode

표 3. 사례 고장원인.

Winding Opened Or Damaged; Hall-Effect Device Detaches Or Loses Adjustment Relative to Stator
Detached From Inertia Wheel
Structural Failure
Lack of Lubrication; Wear; Contamination; Shock And Vibration
Structural Failure; Overstressed Due To Vibration
Defective Fastener

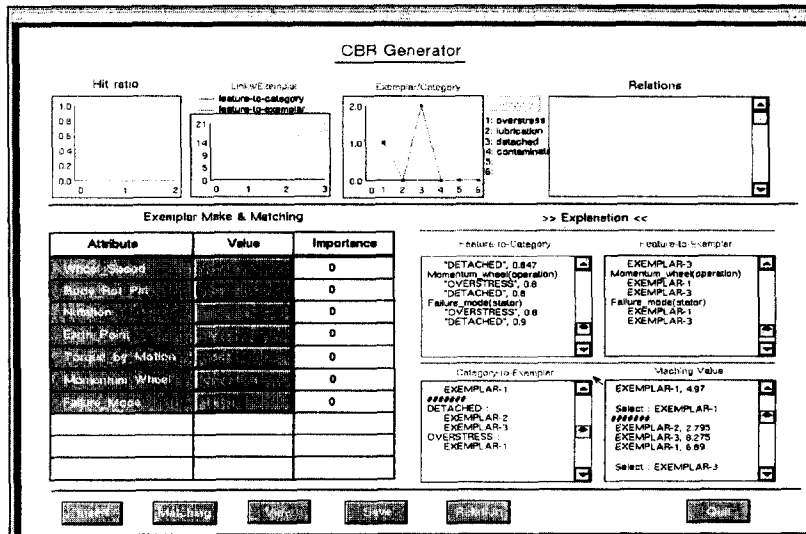


그림 3. 사례 추출 및 결과.

이 연구에서 구현한 사례기반 고장진단 프로토타입 시스템의 화면은 크게 세 그룹으로 구성되어 있다. 그림 3에 보인 바와 같이, 먼저 사례를 추출하기 위해서 시도된 횟수 및 성공도를 나타내고 새로 추출된 속성간의 관련지식이나 속성과 사례간의 관련 지식을 디스플레이하는 화면이 있다. 이는 운용자가 시스템의 성능을 파악하고 사례지식베이스가 얼마나 정확한지를 파악하여 사례기반 시스템의 보안을 판단할 수 있게 한다. 그리고, 고장의 원인과 관련있는 속성들을 보여주고 각각의 속성이 가지는 값, 중요도 등을 입력할 수 있도록 하는 화면이 있다. 또한, 사례기반 시스템의 운용과정을

보여주고 사례의 추출 여부를 확인하기 위한 화면으로 구성되어 있다(박영택 1997).

이 연구에서 구현한 프로토타입 시스템은 사용자가 메뉴방식을 이용하여 사례 속성을 입력하고 속성 값을 선택하여 입력할 수 있게 한다. 또한, 속성 값들과 이들의 중요도를 입력하고 그 고장 사례의 원인을 입력함으로써 하나의 사례가 입력된다. 각각의 사례는 고장의 원인이 입력되도록 설계되어 있다. 속성의 종류, 고장의 종류를 나타내는 값들은 시스템 설계자가 텍스트 화일의 형태로 제공하여 시스템이 이를 자동으로 입력하여 처리할 수 있도록 구현되었다. 따라서, 시스템의 내부 구조를 모르더라도 텍스트 화일의 형태로 속성의 종류, 각각의 속성이 가질 수 있는 값, 고장의 원인들을 입력하면 시스템이 이러한 내용을 바탕으로 메뉴를 생성해준다. 이러한 특성은 현장에서 시스템을 사용하는 사용자들이 편리하게 시스템의 특성을 조절할 수 있도록 하기 위함이다.

위성의 현재 상태를 입력받는 작업이 실시간으로 진행되어야 하는데, 이 논문에서는 이러한 과정이 off line으로 일어난다고 가정하였다. 즉, 원격측정 데이터로부터 각각의 속성을 개념적으로 추출하는 작업은 아직 수작업에 의존한다. 앞으로 이러한 과정을 자동화하는 것이 필요할 것으로 생각한다.

그림 3의 좌측 하단 화면에 있는(다음에 기록된 내용) 바와 같이 현재의 고장 증세가 입력되면, 고장 증세들 중의 일부가 unknown이더라도 입력된 사례들을 탐색하고 기존의 관계 지식을 활용하여 가장 적절한 사례를 발견하게 된다. 그림 3의 우측 하단에 있는 설명 화면 4개는 이러한 과정을 단계별로 시스템 사용자에게 보여주고 있다. 각각의 화면은 이용된 지식과 각 단계별 관련 사례들을 보여주므로써 위성 고장진단 시스템의 중간 결과와 최종 결과를 알 수 있도록 한다.

```

Whee Speed: 80% Decrease
Body Rotation Pattern: Rotating about Positive Pitch Axis
Nutation: Increase
Unable to Establish Earth Pointing
Torque Produced By Motor: Unknown
Momentum Wheel: Operative
Failure Mode: Stator Failure of MWA Motor
  
```

이러한 방식을 통해서 위성 고장진단 전문가시스템은 실제 업무에서 발생하는 고장의 원인을 알아낼 수 있게 된다. 그러나, 실제로 시스템을 사용하기 위해서는 많은 학습과정을 거치게 되고 이러한 과정을 통해서 사례기반 전문가시스템은 많은 사례를 축적하고 각각의 속성들이 가지는 지식을 축적하므로써 보다 완전한 시스템을 구축할 수 있다.

사례기반 시스템은 크게 두 종류의 학습을 필요로 한다. 첫번째는 시스템을 현장에서 사용하기 이전에 충분한 지식베이스를 구축하기 위한 초기 지식베이스 구축 과정에서의 학습이다. 이러한 학습은 앞에서 언급한 바와 같이 전문가가 시스템의 성능을 만족할만한 상태로 올리기 위한 과정이다. 두번째는, 시스템이 현장에서 이용되는 과정에서 예상하지 못했던 고장이 발생하고 전문가시스템이 제대로 동작을 하지 못한 경우의 학습을 예상할 수 있다. 이 연구에서 개발한 시스템은 이러한 경우에도 전문가로부터 새로운 지식을 얻어 지식베이스에 저장하고 추후에 이러한 경우가 발생하면 새로 얻은 지식을 활용하여 같은 실수를 반복하지 않는 기능을 가지게 된다(박영택 1997).

우리가 개발한 위성 고장진단 전문가시스템은 결과를 발생할 때마다 사용자의 만족도를 확인한

다. 이러한 확인과정에서 전문가시스템은 새로운 지식을 얻을 수 있다. 즉, 사례기반시스템이 제공한 고장의 원인을 전문가가 인정할 것인지 또는 불인정할 것인지를 결정하도록 되어 있다. 결과에 만족하면 사용자는 인정 버튼을 누르고 만족하지 않으면 불인정 버튼을 누르게 된다. 이 시스템은 경우에 따라서 사용자의 결과 인정 여부에 관계없이 새로운 지식을 습득하기도 한다. 사용자가 전문가시스템의 결과를 인정한 경우, 전문가에게 질문하여 새로운 지식을 얻게 된다. 예를 들어, 위성 고장진단 전문가시스템이 주어진 고장증세의 Torque-By-Motion 속성 값이 unknown일 때, 사례지식베이스에 저장된 사례-3은 Torque-By-Motion 속성 값이 no임에도 불구하고 다른 증세들이 비슷하여 사례-3을 추출하였는데, 전문가가 이 결과에 만족한다면 전문가시스템은 Torque-By-Motion의 값에 어떤 추가적인 지식이 필요하지 않은가 하는 의구심에서 이러한 내용을 전문가에게 문의한다. 이 과정에서 보면 알 수 있듯이 고장진단 시스템의 부족한 지식을 시스템 스스로 알아내어 전문가에게 물어보게 된다. 따라서, 전문가가 새로운 사례들을 이용하여 테스트를 수행하면, 전문가시스템이 스스로 부족한 지식을 파악하여 전문가에게 물어보는 반자동 방식의 지능형 시스템 방식을 취하고 있다.

이와 같이 위성 고장진단 사례기반 시스템은 시스템의 결과에 전문가가 동의하더라도 자체적으로 미진했던 위성 진단 지식에 대해서 위성 진단 전문가와 상호작용을 하면서 새로운 지식을 얻게 된다. 또한, 전문가시스템의 진단 결과에 전문가가 동의하지 않은 경우도 같은 방식으로 전문가와 상호작용을 하면서 지식을 습득하게 된다. 즉, 사례기반 시스템의 결과에 동의하지 않은 경우는 시스템이 얻은 사례에 어떤 속성이나 지식이 오류인지를 전문가에게 확인을 받으므로써 새로운 지식을 얻게 된다.

6. 결 론

이 논문에서는 사례기반 방식을 이용하여 위성의 이상상태를 진단할 수 있는 고장진단 전문가시스템을 설계하고 프로토타입 시스템을 구현하였다. 사례기반 방식은 위성의 고장진단 사례를 기억하고 있어 고장이 발생하면 기억된 사례 중에서 가장 비슷한 사례를 추출하고 이를 기반으로 고장의 원인을 알아내는 방식이다. 이 논문에서는 사례저장, 사례추출, 사례적용, 사례학습과 같은 기능을 수행하며 현장의 전문가가 지식베이스를 손쉽게 삽입할 수 있는 위성고장진단 시스템을 Sun 워크스테이션 상에서 설계하고 구현하였다. 이 논문에서 제안하고 있는 방식은 위성의 일반적인 고장진단에 이용될 수 있도록 범용성있게 설계하였으므로 앞으로 위성 고장진단에 다양하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 박영택 1997, 무인관계 자동화모델의 비교분석에 관한 연구 최종연구보고서 (한국전자통신연구원: 대전)
- Clancey, W. 1983, Artificial Intelligence, 20, 215

- Clancey, W. & Bock, C. 1985, Technical Report KSL 85-16, Knowledge Systems Laboratory (Stanford University: CA)
- Darroy, J. 1990, Proc. in ESA Symp., 345
- Davis, R. 1976, Technical Report HPP Memo 76-7 (Stanford University: Stanford, CA)
- Eshelman, L. & McDermott, L. 1987, in Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, p.950
- Hammac, J. 1993, Journal of the British Interplanetary Society, 15, 232
- Hazizza, M. 1990, in Proc. ESA Symp., p.385
- Kaku, K., Suzuki, K. & Akashi, T. 1990, in Proc. ESA Symp., p.379
- Kolodner, J. 1990, Technical Report GIT-ICS-90/19 (Georgia Institute of Technology: GA)
- Kolodner, J. & Thau, R. 1988, Technical Report GIT-ICS-88/34 (Georgia Institute of Technology: GA)
- Redmond, M. 1990, in Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, 304