모델 베이스를 이용한 지능적 환자 감시 시스템의 설계

김정욱°, 이석필, 지승도*, 박상희

연세대학교 전기공학과 * 한국항공대학교 전자계산학과

A Design of Intelligent Patient Monitoring System using Model Base

Kim Jung Ook, Lee Seok Pil, Chi Sung Do*, Park Sang Hui

Dept. of Electrical Eng. Yonsei University
* Dept. of Computer Science Hankuk Aviation University

Abstract

A design method that can easily construct intelligent patient monitoring systems is proposed. To achieve the design method, the SES/MB concept and a discrete event-based logic control formalism based on a set theory is introduced. In this control paradigm the controller expects to receive confirming sensor responses to its control commands within definite time windows determined by DEVS model of the system under control. Because data to be used for rule-based symbolic reasoning are to be abstracted, several AI methods are applied the processes. These methods are applied to intelligent patient monitoring systems so that they facilitate transformation from low level raw data to high level linguistic data. Model-based system representations have advantages of reusability, extensibility, flexsibility, independent testability and encapsulation.

1. 서론

지능형 환자 감시 시스템은 의공학 분야에서 대두되어 활발히 연구가 진행중인 분야로서 전체 시스템의 개념 및 부분적 구현 방안에 대해서는 많은 연구 결과를 가져왔으나, 전체 시스템의 일관성 있는 구현 방법론에 대한 제시는 아직 미흡한 실정이다[1]. 이러한 종합적인 시스템 구축을 위한 필요 조건은 주어진 데이터의 병리학적 해석을 어떻게 추상화하여 컴퓨터가 처리할 수 있는 정보로 만드는가 하는 점이다. 인간의 경험적 지식을 컴퓨터가 해석할 수 있는 정보형태로 전환시키는 작업 및 인간과 기계간의 통합에 관한 연구[2]를 기반으로 주위 환경 및 입력 데이터의 변화를 감시, 그에 따른 경고나 진단을 할 수 있는 체계적 시스템에 관한 연구가 요구된다.

모델이란 입출력 관계로 표현되는 시스템을 추상적 지식으로 나타낸것을 말한다. 모델은 실제 시스템과 동일한 행동양식이나 특성을 나타내며 각기 목적에 따라 다르게 표현될 수 있다. 모델링이란 주어진 시스템을 모델로 나타내는 과정을 의미하며 실제 시스템과 모델간의 타당성 여부는 중요한 의미를 갖는다. 정보를 주고 받을 수 있는 것을 실체(entity)라 할 때 실체에 대한 관찰로 결과를 얻어 내었다면 이 실체에 대한 표현에 질문을 가하여 얻은 응답이 그 결과와 얼마나 상응하는가, 또한 실체의 상태에 작용을 가해 변화된 상태와 그에 따른 표현의 상태에 동작(예를 들면 연산)을 가하여 변화된 상태가 얼마나 상응하는가를 살펴보는 것은 실체와 표현 양식간의 타당성 판단 기준이 된다. 따라서 실체에 대한 표현이 타당성이 있다는 것은 수렵된 시스템 및 이를 모델링한 것이 실체를 잘 반영한다는 것과 동일하다.

본 논문에서는 이러한 타당성 있는 모델링 방법으로서 사건 기반 제어 형식론[3,4,5]을 제시하고 이를 이용하여 실세계의 수치적 데이터로부터 언어적 성질을 갖는 데이타를 형성하여 진단 및 경고의 기능을 수행함으로써 지식 기반의 경험적 체계를 효과적으로 나타내는 지능적 환자 감시 시스템을 설계할 수 있음을 보이고자 한다.

2. 지능적 환자 감시 관리 시스템의 개요

감시(monitoring) 시스템이란 환자의 위험 상태 경보 조건을 인지하기 위해 입력 데이타를 해석하는 시스템을 의미한다. 그리고 관리(management) 시스템은 인지된 경보조건들을 가지고 처리 결정을 하는 것이다. 그림 2.1은 일반적인 감시 관리 시스템 개념을 도식화 하고 있다.

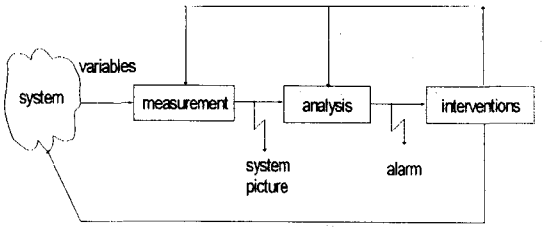

그림 2.1 감시 관리 시스템 개념
Fig. 2.1 Monitoring and Management System Concept

환자 감시 시스템에서 보면 그림 2.1에서 시스템은 환자가 되고 환자로부터 나오는 생체 신호들을 측정하는 기구들이 측정 장비(measurement)가 되고 측정된 신호들을 분석하고 경보를 알리고 진단을 하고 다시 환자에게 투약등의 방법으로 치료를 하게 되는 것이다. 이러한 환자 감시 관리 시스템을 개발하는데 있어서의 주요 문제점은 환자의 진단, 감시 양식의 선택, 치료에 관련된 것이다. 이러한 작업들을 수행하면서 다음과 같은 문제들이 발생한다. 사건의 동시 발생, 변화하는 정보들의 평가, 주어진 치료에 대한 환자의 준비 예고, 치료의 조합, 시간에 따른 사건의 흐름, 순환, 그리고 정확한 응답을 요구하는 복잡성등이다. 그러한 작업들은 첫째 여러분야 - 신호 인식, 병리학적 분석, 약리학 등 - 에서 요구되는 많은 지식들이 필요하다. 둘째, 그 정보량이 대단히 많기 때문에 수치적 정보를 의미적 해석으로 바꿔줄 수 있는, 즉, 추상화할 수 있는 추론 방법이 필요하다. 세째, 시간에 민감한 응답이 요구된다. 네째, 불충분한 데이타와 시간 지연등의 이유로 처리 결

정을 하는 데 있어서 불확실성이 존재한다. 이러한 특성을 고려할 때 지식 베이스 시스템이 가장 적합하다고 할 수 있다.

일반적으로 지능적 환자 감시 시스템은 다음과 같은 단계를 포함한다.

i) 신호 획득 (signal acquisition)

전기적 형태로의 신호 변환, 증폭, 전처리등에 관련된 단계로서 신호 획득 장치의 상태 또한 다루어야 한다.

ii) 특징 추출 (feature extraction)

이 단계에서는 원신호를 표현하는 특징이 결정된다. 예를 들면 R-R interval, QRS폭등이 그것이다. 통계적 신호처리, 모델링 기법, 비선형 방법등과 패턴 인식 기법들이 응용되고 있다.

iii) 경향 분석 (trend analysis)

이 단계에서는 신호의 특징의 시간에 따른 변화에 관한 연구가 수행된다. 시작 시간과 경향 방향이 계산되어 다음 단계인 경보에 관련된 보다 나은 결정에 도움을 줄 수 있다. 단 넘치고 중복되는 데이타 정보들을 적절히 생략할 수 있어야 한다.

iv) 경보 (smart alarm)

이 단계에서는 전 단계에서 온 여러 데이타들이 분석되고 분류되어 경보 단계를 결정하고 문제점을 발견, 가능한 원인은 분석하여 해결 방안을 제시한다.

지능적 환자 감시 시스템은 전례의 전문가 시스템을 확장시킨 개념으로써 다음과 같은 조건을 고려해야 한다[11]. 지능적 프로그램은 관련 장치 및 서로 다른 데이터의 출처와 순차적이자 않은 방식으로 상호작용해야 한다. 또한 프로그램이 문제 영역(여기에서는 감시 시스템)안에서 마주치게 되는 서로 다른 내용들에 적합하게 디자인될 수 있는 유연성이 있어야 한다. 다량의 데이터와 서로 일치성이 없는 다양한 정보를 인식할 수 있어야 하며 주어진 환경안에서 시간적 제약 조건과 각기 특별한 환자에게 요구되는 측면에 적응할 수 있도록 여러 다른 감시 작업에 우선 순위를 정할 수 있어야 한다. 따라서 단순한 전문가 시스템으로는 이러한 복잡한 문제들을 해결하기 힘들며 지능적 기법들의 도입이 불가피 하다.

3. SES/MB 방법론 개요

본장에서는 지능시스템 구축에 필요한 기본적 모델링 도구로서 사용된 SES/MB(system entity structure/model base)개념[5]을 소개한다. SES/MB는 Zeigler에 의해 처음 제안된 개념으로 기존의 동역학적 방법론과 AI의 기호적 방법론을 체계적으로 결합시킨 환경을 제공한다. SES/MB는 system entity structure와 model base의 두 구성원으로 이루어 진다. SES는 시스템의 구조적 특성을 나타내는 것으로 선언적 성격을 가지며 구성관계, 구성원의 종류, 구성원들의 결합구조, 그리고 제약조건등의 구조적 지식을 표현할 수 있는 수단을 제공한다. MB는 시스템의 행위적 특성을 나타내는 것으로 절차적 성격을 가지며 동역학적이고 상징적으로 행위를 표현할 수 있는 수단을 제공하는 모델들로 구성된다[4,5,6].

SES/MB 개념은 지능적 시스템의 계층구조적 설계를 위해 다음 개념들을 구현하기 위한 환경을 제공해 준다.

1) 주어진 목적달성에 필요한 여러 종류의 모델 표현 (다조각 모델링 개념)
2) 여러계층에 존재하는 동역학적 모델과 기호적 모델간의 시스템적 통합 (모델베이스 접근방법)
3) 여러계층의 추상화 (시스템이론적 모델링 기법)
4) 계획, 제어, 고장진단, 복구등의 지능적 기능들의 체계적 모델링(HEAP원칙)

그림 3.1은 SES/MB 개념을 나타내는 것으로 MB에 저장된 모델 A,B,C,D와 SES에 저장된 결합관계에 따라 시스템이 자동생성되고 depth-first method[7]를 사용하는 변환 함수(transform)를 통해 실험장치(EF)[4,5]와 결합되어 최종적인 시뮬레이션 모델을 구성함을 보여 주고 있다.

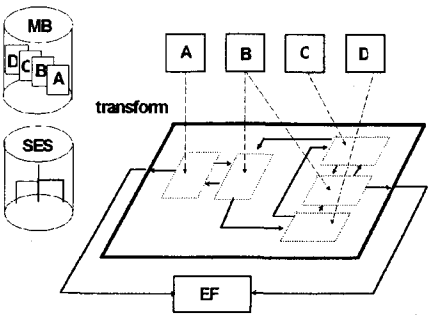

그림 3.1 SES/MB 개념도
Fig. 3.1 SES/MB concept

4. 지능 시스템 모델링 방법론

4.1 엔진 베이스 모델링

Zeigler는 내재원형(endomorphism) 개념[5]을 발표하였는데, 이것은 그림 4.1에 나타난 바와 같이 지능 시스템은 제어대상물의 추상화된 모델을 가져야 하며 그 추상화 모델의 작동을 위한 엔진을 가져야 한다는 지능 시스템 이론이다. 즉, 지능시스템이 어떤 대상을 제어하고자 하려면 그 제어대상물에 대한 주요한 정보(추상화된 모델)를 가져야 한다는 것이다.

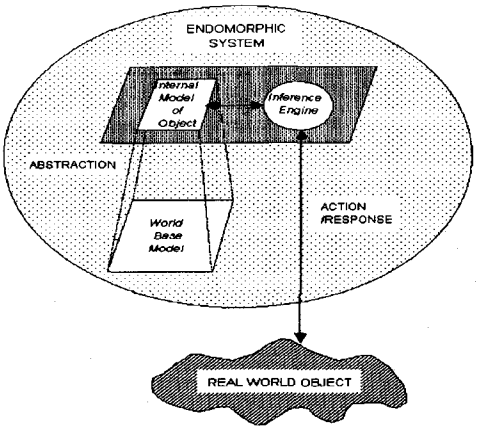

그림 4.1 Endomorphic system 개념
Fig. 4.1 Endomorphic system concept

전문가 시스템의 예에서는 적용분야와는 독립적으로(domain-independent) 설계운용되는 추론엔진(inference engine)과 적용분야에 의존하는(domain-dependent) 지식을 갖는 지식베이스(knowledge base)로 구성된다. 여기서, 추론엔진은 지식베이스를 조사하여 추론에 필요한 순서를 결정한 뒤 추론을 행하여 보고하는 역할을 담당한다. 컴퓨터구조에 비유해 보면, CPU와 memory에 각각 해당될 수 있는 추론엔진과 지식베이스를 분리시킴으로써 지능적 단위모델을 구성하고자 하려는 원칙이 엔진베이스 모델링 방법론의 목적이다. 적용대

상에 독립적인 엔진모델과 적용대상에 의존적인 지식베이스 모델을 분리시킴으로써 모델링 자체가 쉬워지고 시스템의 모듈화와 추상화를 보다 쉽게 할 수 있으며 해당 모델이나 구조체를 다시 사용할 수 있다. 그림 4.2는 엔진베이스 모델링 방법론에 의한 여러 지능적 기능들의 모델링 개념을 보여준다. 사각형의 모델들은 규칙 베이스로 구성되며 실제 세계에 대한 정보가 상술되어 있다. 타원형의 모델들은 추론 엔진으로 해당되는 규칙 베이스 모델의 계획에 따라 동작을 수행하는 역할을 한다.

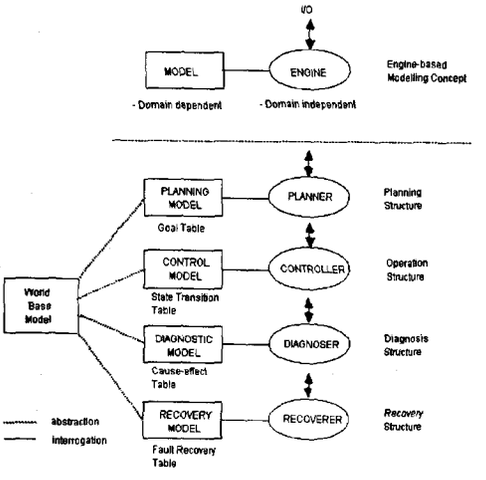

그림 4.2 엔진베이스 모델링 개념
Fig. 4.2 Engine base modelling concept

4.2 HEAP 개념

그림 4.3은 지승도와 Zeigler가 최근 제안한 바있는 계층별 모델간의 추상화 방법론인 HEAP(hierarchical encapsulation and abstraction principle)원칙[8,13]을 적용한 지능시스템의 계층구조적 추상화 관계를 보여준다. 그림에서 계층적 실행구조(hierarchical execution structure)상의 leaf 노드들에 있는 지능단위(intelligent unit)들은 실세계에 관한 기본 모델들로부터 자동적으로 추상화된 내부적 모델들 (각각 플래닝, 작동, 고장진단, 수리등의 기능을 갖음)로 구성된다. 상위계층의 지능단위들도 역시 동일한 내부적 모델들을 갖는데, 이것들은 또한 하위계층의 각 내부모델들로 부터 자동적으로 추상화된 모델을 의미한다. 이와같이 상하위계층간의 체계적 추상화 관계에 의해서 bottom-up 방식으로 계층적 실행 구조를 얻을 수가 있으며, 또한 목적에 따른 실행은 top-down 방식에 의해 연속적으로 분할 수행될 수 있다[9,13].

4.3 사건 기반 제어

지능 시스템과 같이 복잡한 시스템의 구현에 필요로 하는 추론기능은 크게 두종류로 나눌 수 있다. 첫째는 입출력의 관계만을 고려하는 얕은 추론(shallow reasoning)을 들 수 있다. IF-THEN 형식을 갖는 기존의 전문가 시스템이 전형적인 얕은 추론기법이라고 할 수 있다. 둘째는 대상시스템의 입출력 관계보다는 대상시스템의 내부 구조적 지식에 중점을 두어 추론하는 심층추론(deep reasoning)이 있다. 모델베이스를 이용한 시뮬레이션이 심층추론의 전형적인 기법에 해당된다. 다양한 계층구조로 형성될 지능시스템의 구현에 있어서는 두 종류의 추론기법들이 요청된다. 즉, 하위레벨은 단위모델들의 단순 입출력관계를 고려하는 얕은 추론기법이 적절할 것이고, 상위레벨에서는 하위모델들의 구조적 결합에서 비롯되는 심층 추론이 적합할 것이다.

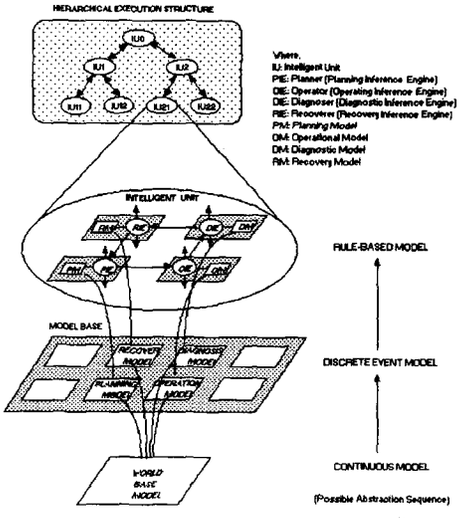

그림 4.3 HEAP원칙에의한 지능시스템의 추상화 계층구조
Fig. 4.3 Abstraction hierarchical structure of intelligent system by HEAP principle

DEVS 형식론을 사용하여 구성된 모델들은 사건 기반(*event-based*)의 논리 제어 디자인에 기본이 된다. DEVS 형식론이 사건 기반의 제어 시스템 디자인에서 하는 역할은 미분 방정식이나 차분 방정식이 전례의 제어 시스템 디자인에서 하는 역할과 같다. 이 제어 형식론에서 컨트롤러는 제어 대상 시스템의 DEVS 모델에 의해 미리 결정된 시간 윈도우의 영역 안에 제어 명령어에 대한 확인 응답을 받아들이게 된다. 만일 이 영역 안에 도달하지 못하면 여러가지 시스템 에러가 발생한 것으로 간주한다. 지능적 제어 시스템은 일반적으로 계층구조적인 구조를 가지며 상위 단계의 지능적 컨트롤러가 하위 단계의 컨트롤러를 관장한다. Zeigler에 의해 도입된 사건 기반 제어 형식론은 DEVS 형식론을 사용하여 제어 논리를 이산 사건의 형태로 나타냄으로서 지능적 제어를 실현시켰다[5,10]. 이러한 사건 기반의 방법론은 상위 단계의 추론 층과 하위 단계의 기존 제어층을 서로 연결시킬 수 있는 단순하고 강력한 제어층을 제공할 수 있다.

사건 기반 제어의 장점으로는 고장 진단 기능을 가진다는 것과 컴퓨터 시뮬레이션으로 논리적 디자인의 타당성 여부를 시스템 구현전에 확인할 수 있다는 것이다.

5. 지능적 환자 감시 관리 시스템 설계

본장에서는 앞서 제안된 지능 시스템구조를 이용한 지능적 환자 감시 시스템의 설계방안에 대하여 설명한다.

지능 시스템은 제어 대상물의 추상화된 모델이 있어야 하며 그 추상화된 모델의 작동을 위한 엔진을 가져야 한다[5,10]. 즉 적용 분야와 독립적으로 설계되는 추론 엔진과 적용 분야에 국한된 지식을 가진 지식 베이스를 분리시켜 지능적 단위 모델을 구성하고자 하는 것이 엔진 베이스 모델링 방법론이다. 이 시스템에는 앞에서 언급한 각종 방법론, 즉 내재원형 개념, 전문가 시스템, 계층적 모듈화 개념, 계층구조적 추상화 기법과 사건 중심 제어 기법등이 적용되어야 할 것이다.

지능적 환자 감시 시스템의 개략적 블럭선도는 그림 5.1과 같으며, 각 모델들은 다음과 같이 요약될 수 있다.

PATIENT : 환자 모델로서 데이타 베이스로 구성되어 있다. 그 환자의 상태는 데이타 베이스에 초기화되어 있다. ECG(electrocardiogram), EEG(electroencephalogram), 심박동수, 호흡, 체온,혈압등의 요소를 환자의 감시 상태 및 대상에 따라 선택할 수 있다. 치료후에는 환자의 상태가 바뀌므로 데

이타 베이스도 바뀌어야 한다.

F.E(feature extraction) : 환자로부터 나오는 여러 변수들에서 특징을 추출하는 모델이다. 여기에는 규칙 베이스와 추론 기관이 있으며 전문가 시스템과 연계하여 각 변수들의 특징을 시간별로 체크하여 의미있는 하위 데이터를 처리한다.

T.A(trend analysis) : 이 모델은 신호의 특징이 시간에 따라 어떻게 변화하는 가를 분석한다. 여기에서는 규칙 베이스와 추론 기관으로 이루어져 있으며 여러가지 특징을 상위 단계의 방법으로 분석한다.

INTEGRATOR : 아래 단계에서 올라온 정보들을 종합하고 불필요한 정보들을 제거하는 역할을 한다. 이것도 역시 규칙 베이스와 추론 기관으로 구성되어 있으며 진단이나 경고를 보내기 위한 상위 단계 데이터의 전처리 과정이다.

SMART ALARM : INTEGRATOR에서 올라온 정보들을 분석하고 처리결정을 하는 모델이다. 여기서 처리결정이 되면 바로 치료가 행해지며 결정이 불가피할 때나 위급한 상황이라고 판단되면 경보를 울려 의사에게 알린다.

상기한 계층구조상의 모델들을 통해 치료과정을 거친 환자는 다시 데이타 베이스를 변환하여 환자의 상태에 맞추어 나가게 된다.

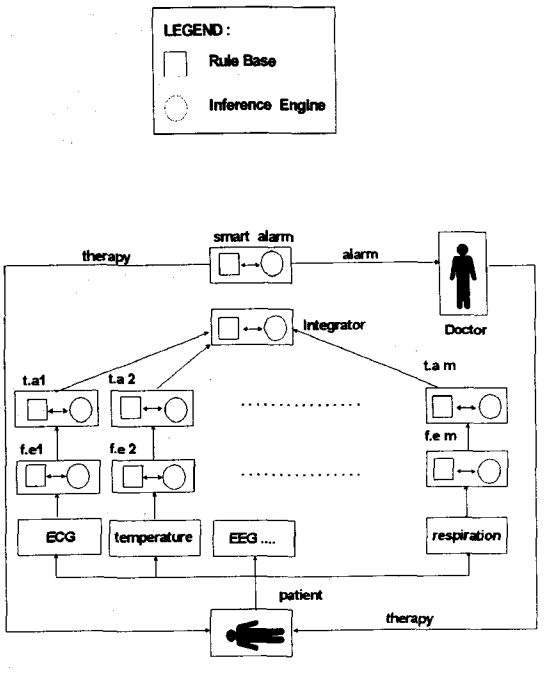

그림 5.1 지능적 환자 감시 관리 시스템
Fig. 5.1 Intelligent Patient Monitoring & Management System

환자에게서 전달받은 실제의 수치적 데이터를 처리하여 추상화된 기호로 표현하기 위한 중간 과정에서 정량적 추론(qualitative reasoning)방법을 사용한다[1]. 이것은 시스템의 입출력 관계를 추상화 과정을 통해 해당되는 조건과 그에 따른 결과를 여러 단계의 언어적 변수로 바꾸는 것으로 fuzzy If-Then 규칙을 이용[12]하거나 다른 AI기법들을 사용하여 나타낼 수 있다. 수치적 하위 데이터는 실세계를 반영하는 자연적 맥락으로, 반면 추상화된 상위 데이터는 인간의 경험적 세계를 나타내는 추론적 맥락으로 이해될 수 있다. 하위 데이터를 처리하는 모델들을 결정론적 모델이라고 한다면 그림 4.2에서 ECG, tenperature, EEG등이 이에 해당한다. 이 단계에서는 관련된 임상학적 정보를 수치적으로 획득하려는 계획을 세우거나 수행하고 장비에서 발생 가능한 오류를 감지하기 위한 수치적 입력들을 사전에 해석하며 입력 정보를 수치적 변수(파라미터)에 할당하여 특별한 경우 이에 해당하는 특이성을 상위 단계에서 고려할 수 있게 만든다. 상위 데이터를 처리하는 모델들을 경험론적 모델이라고 한다면 그림 4.2에서 규칙 베이스와 추론 엔진을 가진 모델들이 에에 해당된다. 이 단계에서는 결정론적 모델에게서 제공받은 의미론적 정보들을 사용하여 전체적인 진단이 가능하도록 상징화 하여 언어적 표현을 이끌어 내어 해당되는 환자의 병리학적 조건이나 위기 상황에 맞는 처방과 경고를 발생시키고 처리하도록 한다. 그림 4.3은 수치적 하위 데이터를 추상화 하여 언어적 상위 데이터를 발생시키는 방법을 개략적으로 나타낸 것이다. 그림에서 파라미터값이 의미론적 수치 형태를 나타낸다고 할 때 이것을 정략적으로 추론하여 이값이 일정한 임계범위를 넘어서면 이상이 발생한 것(위기 상황)으로 간주하여 진단 및 경고를 알리는 상위 단계로 언어적 데이터를 보내게 된다. 최상위 단계에서는 서로 다른 데이터에 대한 여러 처리를 거친 모든 언어적 데이터를 종합, 최종적으로 진단하거나 경고를 보내게 된다.

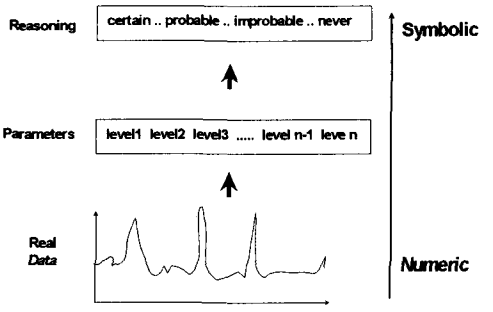

그림 5.2 정량적 추론 방법
Fig. 5.2 Qualitative reasoning

6. Discussion

본 논문에서는 기존의 관련 연구 동향을 살펴보고 타당성 있는 모델링 방법으로서 사건 기반 제어 형식론을 제시하고 이를 이용하여 실세계의 수치적 데이터로부터 추상적 데이타를 형성하여 진단 및 경고의 기능을 수행함으로써 지식 기반의 경험적 체계를 나타내는 지능적 환자 감시 시스템을 설계할 수 있음을 보였다. 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

1) 지능 시스템의 정의 및 배경을 설명하고 이것이 환자 감시 시스템에 적용될 수 있음을 제시하였다.
2) 지능 시스템의 계층구조적 모델링 및 추상화를 위한 방법으로 SES/MB와 사건 기반 제어 개념을 제시하였다.
3) 실세계의 수치적 데이터를 추상화 함으로써 결정론적 체계와 경험론적 체계의 효율적 연계방안을 제시하였다.

제시된 방법의 장점으로는 환자 감시 시스템이 계층 구조적으로 표현 가능하며 모듈화된 객체지향 방법인 모델 베이스와 사건 기반 제어 방법을 사용함으로써 데이터의 추상화를 가능하게 하고 기존에 형성되어 있는 관련 모델들을 다시 사용할 수 있게 하며 시스템의 확장을 용이하게, 독립적인 시험을 각 모델에 행함으로서 시스템의 안정성을 확보하게 한다.

차후의 연구방향으로는 학습 기능을 강화하여 지능도를 높이는 방법, 사용자 인터페이스 환경을 효율적으로 할 수 있는 방안, 실시간 처리를 위한 고속 알고리듬 개발, 인공지능 언어

와 일반적 수치계산용 언어간의 연계 방안, 전문적인 병리학적 지식을 체계적으로 종합할 수 있는 방법등이 있다.

7. 참고 문헌

[1] Fernado, A. Mora, Gianfranco Passariello, "Intelligent Patient Monitoring and Management Systems : A Review," IEEE Engineering in Medicine and Biology, Dec., 1993.

[2] Graines, B., "A Conceptual Framework for Person-computer Interaction in Complex systems", IEEE Trans. SMC, 18(4), 1988.

[3] Zeigler, B.P., "DEVS Representation of Dynamic Systems: Event-Based Intelligent Control", Proc. of IEEE, Vol., 77, No. 1, Jan., 1989.

[4] Zeigler, B.P., Multifacetted Modelling and Discrete Event Simulation, Academic Press, 1984.

[5] Zeigler, B.P., Object-oriented Simulation with Hierarchical Modular Models: Intelligent Agents and Endomorphic Systems, Academic Press, 1990.

[6] Zeigler, B.P., Theory of Modelling and Simulation, New York, NY: Wiley, 1976.

[7] Winston, P.H., Artificial Intelligence, Addison-wesley, 1992

[8] Zeigler, B.P. and Chi, S.D., "Hierarchical Encapsulation and Abstraction Principle (HEAP) for Autonomous System Development," Proc. 3rd Conf. on AI, Simulation and Planning in High Autonomy Systems, Pert, Australia, 1992.

[9] Zeigler, B.P. and Chi, S.D., "Hierarchical Systems Architectures for Artificial Intelligence," Proc. on 34th Int. Soc. System Sciences Conf., Portland, July, 1990.

[10] Chi, S.D., Modelling and Simulation for High Autonomy Systems, Ph.D. dissertation, University of Arizona, 1991.

[11] Moret-Bonillo, V., Alonso-Betanzos, A., Martin, E.G., Canosa, M.C., Berdinas, B.G., "The PATRICIA Project", IEEE EMB, Dec, 1993.

[12] Adlasing K-P, "Fuzzy Set Theory in Medical Diagnosis", IEEE Trans. SMC, 16(2), 1986.

[13] 지승도, 이석필, 이왕재, 박상희, "지능 로보트 시스템의 계층구조적 설계", 제 3회 인공지능, 신경망, 퍼지 시스템 및 종합학술대회/전시회 논문집, 1993.