

# 지능형 수면다원 진단 시스템 개발

박광식\*, 한주만\*\*, 박해정\*\*, 정도연\*\*\*

\*서울대학교 의과대학 의공학교실

\*\*서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학 전공

\*\*\*서울대학교 의과대학 정신과학교실

## Development of Intelligent Polysomnographic Diagnosis System

K. S. Park\*, J. M. Han\*\*, H. J. Park\*\*, D. U. Jeong\*\*\*

\*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul Nat'l Univ.

\*\*Interdisciplinary Program of Medical and Biological Engineering Major, Seoul Nat'l Univ.

\*\*\*Department of Psychiatric Science, College of Medicine, Seoul Nat'l Univ.

### Abstract

We are developing computer integrated polysomnography system. This system integrates conventional polysomnography with computer for data management, automatic analysis, scoring, and data transmission.

In the first stage, we have developed the signal interface and user interface for the manual scoring and data management.

For the automatic scoring of sleep stage, we have developed the protocol and have applied the analytic method in its primitive form.

In the second stage we will develop a partially automatic scoring system, and finalize the fully automatic system in the final third stage.

### 1. 연구 개발 필요성

본 연구는 인간 생활의 1/3이 수면이라는 것과 임상적으로도 수면과 관련된 질병이 인구의 상당수(미국 통계에 의하면 불면증의 경우 인구의 30%, 무호흡증은 1% 정도)가 된다는 점에서 매우 중요한 연구의 가치가 있을 뿐만 아니라 수면 검사기는 생체에서 발생하는 대부분의 신호들을 복합적으로 다룬다는 점에서 기술적으로 주목을 받게 된다.

종래에는 수면 전문의나 전문 수면검사사가 기록된 수면기록지를 직접 판독함으로써 진단을 내리고 그에 따른 처방을 해왔다. 환자 1인을 측정하려면 수면검사사는 여러 진극을 환자에게 접촉시키고 환자가 잠자는 동안 수면기록지에 기록되는 과정을 계속적으로 감시해야 한다. 뿐만 아니라 검사가 끝난 후에도 전문의나 수면검사사가 수면의 단계와 증후를 판독하게 되는데 이에 소요되는 시간이 6-7 시간에 이르러 있어서

수면 검사의 대중화가 어렵고 고액의 진료비가 책정되고 있는 상황이다.

이에 따라 수면 진단의 정량적인 객관화에 대한 요구가 점차 증대 되고 있다. 이에 부응하기 위해서 최근 들어 컴퓨터화된 수면 검사기가 연구 발표되고, 초기 단계이기는 하지만 그 기능중의 일부가 임상에서 활용되고 있는 추세이다.

지능형 수면다원 진단 시스템의 개발에 따라 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다.

- 1) 현재 사용되고 있는 수동형 판독방법(human scoring)에 따른 6-7시간의 판독 시간을 1-2시간으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 전산화 분석기법에 따라 현재 수동형 판독으로는 불가능한 특수 미세 분석이 가능해져 수면 검사가 제공하는 정보의 질적, 양적 향상이 이루어질 수 있을 것이며 현재 임상진단 분류로는 파악하지 못하고 있는 새로운 질환을 감별해 낼 가능성도 있다.
- 3) 여러 특성의 생체 신호를 전산망을 통해서 전송 및 처리함으로써 기존의 의료영상과 함께 의료 정보의 통합화를 향한 기술적인 기반을 구축하게 될 수 있다. 그 결과 빠르고 효율적인 의료 서비스를 제공할 수 있게 될 수 있다.

### 2. 연구 개발 목표

수면다원검사에 있어서 방대한 데이터의 관리와 분석을 효율적으로 수행하기 위해 컴퓨터화된 시스템이 필수적으로 요청되었으며 현재 임상에서도 도입되기 시작한 상태이다. 본 연구에서는 이미 상용화된 디지털 수면다원검사 시스템의 여러 한계들을 개선하고 실질적으로 임상에 적합하고 생리 및 병리적 수면연구에 필요한 여러 기능이 갖추어진 지능형 수면다원검사시스템을 개발하는데 있다.

### 3. 연구 개발 과정 및 결과

수면 다원 검사 신호를 디지털 화하여 수집하고 이를 자동 분석 알고리즘으로 수면 단계를 분석하였다.

#### 1) 데이터 수집 과정

##### ① 환자 관리

수면 다원 검사에 필요한 환자의 정보와 환경을 데이터베이스화하여 저장한다.

##### ② 측정 정보 관리

측정에 사용한 증폭기의 설정 및 수집 환경을 데이터베이스화하여 저장한다.

##### ③ 데이터 수집

###### a. 프로토콜

데이터 수집을 위한 프로토콜 설정은 두 가지로 구분된다. 데이터는 고주파 신호와 저주파 신호의 두 분류로 구분하여 상위 8채널 ( EEG 2ch, EOG 2ch, EMG 2ch, ECG, Sound ) 은 250Hz 로, 하위 8채널(비공기 호흡, 혈중산소 포화농도, 호흡음, 사지운동, 흉곽운동, 복부운동)은 25Hz 로 각각을 샘플한다. 디지털 부분의 전체 시스템은 호스트인 PC와 타겟보드(DSP 프로세서 내장)로 구성되어 있다.

호스트인 PC에서 데이터 수집 수행 코드를 포함한 타겟 프로세서의 프로그램을 듀얼포트 RAM을 통해서 대상시스템의 코드 영역에 전송하면 DSP보드는 그 프로그램을 수행하게 된다. 타겟 보드의 역할은 먼저 데이터를 수집하는 역할과 신호처리와 분석을 통해 유의한 정보를 호스트인 PC에 전송하는 것이고 PC는 이 데이터를 실시간에 화면에 출력하고 하드디스크에 저장하며 사용자와 상호 작용을 하는 것에 있다. 사용한 DSP보드는 Innovative Integration 사의 PC31을 사용하였는데, 이 시스템은 TI사의 TMS320C31(40MHz) 프로세서를 사용하며 128K x 4 byte SRAM을 메모리로 소유하고 있다. PC와의 상호전송은 2K x 4 byte의 듀얼포트램을 사용하여 이루어지며 세마포(semaphore) 방식을 이용하여 메모리 액세스를 효율적으로 처리하였다.

데이터를 실시간으로 처리하기 위해서 데이터 수집하는 과정과 신호분석하는 시간을 적절히 분배하도록 했는데 이를 위해서 데이터 수집은 내부 타이머에 의해 인터럽트 방식으로 샘플링을 한 후 링버퍼에 저장하였다. DSP는 링버퍼가 일정한 크기의 블록만큼 차게 되면 이를 듀얼포트 램의 बैं크가 공백임을 확인한 후 하위 및 상위 बैं크 영역으로 순차적으로 이동시키고 PC에게 बैं크가 가득 찼음을 알려준다. 이를 모니터하고 있던 PC가 해당하는 बैं크를 읽어 가고 다 읽은 후 읽었다는 메시지를 타겟보드에 알려준다. 샘플링 주파수가 다른 두 부류의 신호를 수집하기 때문에 링버퍼를 고주파 링버퍼와 저주파 링버퍼를 별개로하여 구현하였다.

#### b. 데이터 저장

데이터 저장은 고주파 신호와 저주파 신호를 각각 분리하여 저장하는데 고주파 신호는 채널 1에서 채널 8까지 순차적으로 기록이 되도록 하였다. 데이터 양이 많으므로 시간에 따라 파일을 생성하는 것도 고려하였으나 관리의 측면상 한 파일에 전체 시간의 데이터를 기록하였다.

10시간의 수면기간동안 저장되는 데이터의 총량은  $(250+25) \text{ Hz} * 2 \text{ byte} * 8\text{ch} * 3600 \text{ sec} * 10\text{hour} = 158\text{MB}$ 로 이 데이터를 검사 소견과 함께 CD-ROM Recorder를 이용해서 CD를 생성한다.

#### 2) 자동 분석 과정

##### ① 자동 분석 환경 조성

전산화 수면다원시스템을 바탕으로 수면다원신호를 수집하고 이를 분석하기 위한 다양한 신호처리 및 분석 알고리즘의 개발을 수행하고 있는데, 자동분석의 특성상 여러 분석 방법을 적용하는 과정을 통하여 최적의 방법을 구하는 연구를 수행하고 있다. 먼저 분석의 첫 단계로 기존에 발표된 알고리즘 사용에 대하여 검토하였다. 이러한 경우뿐 아니라 새로운 알고리즘을 구현하는 데에는 정확도등에 대한 재확인 과정, 오동작 여부등이 검증되어야 하는데 이를 일반적인 C++ code를 기반으로 구현하는 것은 많은 시간을 소모하게 한다. 그러므로 알고리즘 개발의 효율성의 증대와 상용 알고리즘의 재사용성등을 위해 신호분석용으로 널리 사용되고 있는 Mathworks 사의 MATLAB과 인터페이스를 구현하였다. 개발된 응용 프로그램 SigL50이 데이터 서버의 역할을 하게 하여 수면 데이터를 DDE(Dynamic Data Exchange)방식으로 MATLAB 프로그램에게 전송하고 MATLAB에서는 여러 알고리즘을 시뮬레이션 한 후 그 결과를 응용프로그램에 넘겨주는 방식을 선택했다. 그 결과 다소 계산속도가 떨어지기는 하였지만 개발의 효율성이 매우 증가되고 개발시간의 상당한 단축을 가져왔다.

##### ② 자동 분석

수면다원진단의 자동화는 크게 수면단계의 자동설정, 수면중 사건의 검출로 구분할 수 있다. 수면단계의 자동설정은 뇌파와 같은 배경 특성과 함께 스핀들, K-복합체와 같은 사건의 검출등의 복합적인 정보를 통해서 추론되어야 하는 만큼 종합적인 분석이 되어야 한다. 전체적인 분석의 계통을 아래 계통도와 같이 설정하고 각 부분을 병렬적으로 수행하고 있는데 대략적인 과정은 그림1과 같다.

수면다원신호의 자동분석의 과정은 하층부에서 먼저 전처리 과정에서 잡음등을 제거하고 배경신호에 대한 정보를 구하고 구간내에 신호의 형태에 따라 세그멘테이션을 하게 된다. WD(waveform detector)에서는 하층부에서 얻어진 정보와 세그멘테이션 결과를 이용하여 파형을 분류한다. 현재 구간 추론기는 추출된 파형과 배경정보를 이용하여 수면단계를 설정한다. 문맥 추론엔진에서는 현재 페이지의 전후를 판단하여 수면 단계를 보완 및 확정하게 된다.

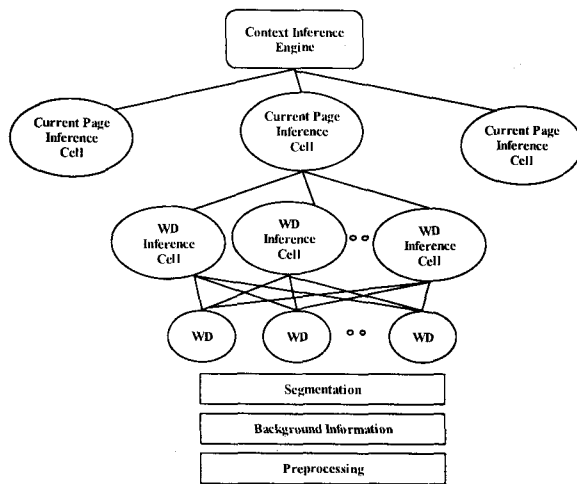


그림1. 수면다원자동분석 알고리즘 계통도

**a. 전처리 과정**

수면중에 얻어진 뇌파는 전원노이즈, 심전도, 안전도, 근전도 같은 다양한 노이즈에 영향을 받는 경우가 많다. 이러한 노이즈는 환자에 따라 다른 양상을 보이는데 아직 전처리가 필요한 신호인지의 여부를 컴퓨터가 자동적으로 판단하는 기능이 없으므로 사용자가 선택을 할 수 있도록 여러 알고리즘을 구현하였다. 대표적인 FIR 필터링 뿐만 아니라 적응잡음제거 방식(Adaptive Noise Cancelling with LMS and RLS)등을 구현하여 시뮬레이션하였다.

**b. 배경신호 정보 추출과정**

Waveform을 추출해내거나 수면단계의 판단을 위해서는 배경신호가 가지고 있는 다양한 정보를 우선적으로 추출하는 것이 필요하다. 먼저 뇌파 배경신호의 정보를 위해서는 각 구간(30초)을 통계적으로 Stationary하다는 가정에서 통계적 방법과 스펙트럼 방법의 큰 두가지 영역에서 여러 지표들을 계산하였다. 다음은 그 지표들을 나타낸다.

- 통계적 방법 : 신호를  $x[n]$  이라 하고  $d[n]=x[n]-x[n-1]$ 이라고 설정한다.
  - 기본 statistic :  $mean(x)$ ,  $mean(abs(x))$ ,  $var(x)$ ,  $mean(d)$ ,  $var(abs(d))$ ...
  - 응용 statistic : 영점교차율, 바이스펙트럼 분석의 Gaussianity, Linearity Test 등
- 파워스펙트럼 방법:
  - 기본 : 델타(2-4 Hz), 세타(4-7.5Hz), 알파(8-14Hz), 베타 I (14-20), 베타 II(20-30), 베타 III(30-50), sleep spindle(12-16Hz) 영역에서의 절대적 파워 및 평균 파워
  - 응용 : 최대 파워 주파수 영역, 파워중심 주파수 구하기 등

근전도는 분산을 구함으로 근육의 활동도를 비교적 쉽게 표시할 수 있고, 안전도는 좌우 양측의 상관계수 값을 구하고 파워정보를 구함으로 추후 REM을 판독하는 지표로 설정하였다. 상관계수가 -1에 가까울수록 REM 현상을 특징짓는 현상을 나타낸다.

한편 수면다원검사를 수행할때는 측정초기에 환자의 데이터를 Calibration 하는 과정이 있는데 이때의 정보를 별도로 관리하여 실제 수면중의 데이터를 판독할 때 판단의 증거로 사용할수 있도록 동일 지표를 계산하였다.

**c. 세그멘테이션**

이러한 지표들은 위에서 언급한 바와 같이 한 구간에서 통계적으로 안정하다는 가정에서 계산한 것인데, 실제 데이터는 한 구간안에서도 그 변화가 다양하기 때문에 시간에 따른 통계적 특성을 각 구간안에서도 구하여야 한다. 이를 위해서는 시간-주파수 분석 방법(time-frequency analysis)을 도입하게 되었다. 한 구간(30초)안에서 기본 분석 윈도우를 1초(250 포인트)로 하고 중첩을 0.8초 단위로 하여 실질적으로 0.2초 간격의 시간에 따른 각 통계 및 스펙트럼 지표를 계산하였고 이에 대한 변화량을 지표로 두었다. 이러한 방법은 일종의 신호의 세그멘테이션 과정이라 볼 수 있다. 한 구간내에서 특정 현상이 얼마나 지속되는가를 파악하기 위해서는 세그멘테이션 기법이 중요한데 이를 위해 위에서 언급한 시간-주파수 같은 편의적인 계산 방식외에 더 정확하고 효율적인 방법을 연구하는 중이다. 이러한 세그멘테이션이 어느 정도 되면, 시간축 시퀀스를 바탕으로 Temporal Context 읽기등의 특징 추출을 시도할 수 있을것으로 여겨진다. 첫 번째 시도는 기존의 알려진 Gunter Bodenstern method를 구현하였다. 이러한 세그멘테이션은 수면중 사건을 찾는 데도 필수적이다. 시간-주파수 분석을 바탕으로 하는 세그멘테이션은 비교적 깨끗한 데이터의 경우 성능이 좋으나 잡음이 있는 경우는 모호한 결과를 가져오는 특징이 있었다. 시간-주파수 분석의 일종으로 최근 주목을 받고 있는 웨이블릿 분석방법을 시도하여 그 가능성을 찾기 위해 노력하였다. 웨이블릿 분석은 널리 사용하는 DTW의 경우 time-varient 하는 특징이 있으므로 인해 패턴인식에 한계가 있지만 그 적용가능성은 열려 있다고 사료된다.

**d. Classification 과정**

위의 여러 시도들을 통해 대략적인 수면단계의 신호 특성에 대한 정보는 얻을수 있지만 실질적인 단계설정이라는 판독과정은 수행할수 없다. 그래서 스테이징을 위해 각 구간의 특징들을 근거로하여 이미 전문판독가에 의해 설정된 단계를 Target으로 하는 Classfing 과정을 수행하였다. 그 과정은 두가지 방법적인 접근으로 볼 수 있겠는데, if-then을 바탕으로 하는 초기적 전문가 추론을 수행하는 것과 이미 얻어진 결과들을 유사한 집단으로 분류하고 그것에 해당하는 수면단계를 설정하는 방법이다.

첫 번째 방법을 이용하여 수면단계중 비교적 구분이 쉬운 3, 4단계를 구하는 방법을 구현하였다. 75uV이상이 되는 델타 웨이브가 50% 이상이면 4단계, 이하이면 3단계로 특징지우는데 시간-주파수 방식과 RMS를 이용한 통계적 방식을 조합하여 추론하게 하였다.

두 번째 방법으로는 위의 배경신호특성을 입력으로 하고 전문가의 판독 스테이지를 타겟으로 하는 신경회로망을 테스트하여 보았다. 신경회로망은 역전파 망

을 사용하였고 은닉층은 1단계로 하였으며 입력 노드 수를 20, 은닉층 노드수를 10, 출력노드수를 수면단계인 7단계로 하여 시행하였으나 더 세밀한 실험을 구상하고 있다.

#### 4. 결론

본 project를 통해 개발된 시스템으로 데이터 수집의 자동화, 전산화가 이루어 졌고, 수면 단계의 자동 분석이 기초적 수준으로 실행되었다.

앞으로는 수면 단계 자동 분석의 정확도를 높이기 위해 많은 양의 수면 검사 신호 데이터의 수집이 필요하고 전문가 시스템, 퍼지 알고리즘, 신경망 알고리즘 등의 종합적인 적용과 새로운 분석 알고리즘의 개발이 요청된다.

\* 본 연구는 보건복지부의 G7 의료공학기술개발 사업의 지원으로 이루어졌음.