

디지털 수면다원검사 시스템 개발

박해정*, 박광석**, 정도언***

*서울대 대학원 협동과정 의용생체공학 전공

*서울대 의과대학 의공학교실

**서울대 의과대학 정신과학교실

A Study on the Development of Digital Polysomnograph System.

H. J. Park, K. S. Park, D. U. Jeong

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

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

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

ABSTRACT

We have developed the digital polysomnograph system to enhance the manual sleep study.

This system is composed of host PC and target board. The host computer is IBM-PC Pentium 133 MHz and the target board is PC31(processor type: TMS320C31). These two processors communicate with each other by dualport RAM. Target board acquire 16 channel sleep signals from the Polysomnographic system (GRASS model 78, USA) and digitize them.

We used high resolution monitor(1600x1280) to simulate the paper-recording quality of polysomnographic signal. We also implemented the GUI based polysomnographic staging program on the windows environment. Clinicians can score the sleep stage, and edit and mark the event efficiently. Finally it can support making patient database.

서론

인간의 신체의 내부 상태는 여러 종류의 생체신호를 통해서 외부에서 간접적으로 확인할 수 있다. 그 중의 대표적인 것으로 뇌파, 안전도(안구 운동), 근전도, 심전도, 호흡 및 호흡운동 등을 들 수 있다. 이러한 생체 신호들에 대한 연구는 오랜 역사를 가지고 있다. 최근 들어 컴퓨터가 생체 신호분석의 핵심적인 도구로 사용되기 시작하면서 이 분야의 중요성은 의학의 핵심적 부분으로 더욱 커져왔고 이에 따라 관련된 여러분야에서 연구가 진행되어 왔다.

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 중

요한 가치가 있을 뿐만 아니라 수면 검사는 생체에서 발생하는 대부분의 신호들을 복합적으로 다루는 점에서 의학 및 기술적으로 주목을 받게 된다.

종래에는 수면 전문의나 전문 수면검사기사가 10시간 분량의 잉크로 기록된 수면기록지를 직접 판독함으로써 진단을 내리고 그에 따른 처방을 해왔다. 환자 1인을 측정하기 위해 수면검사기사는 여러 전극을 환자에게 접촉시키고 환자가 수면중에 있는 동안 수면기록지에 기록되는 과정을 계속적으로 감시해야 한다. 뿐만 아니라 검사가 끝난 후에도 전문의나 수면검사기사가 수면의 단계와 증후를 판독하게 되는데 이에 소요되는 시간이 6-7시간에 이르고 있어서 수면 검사의 대중화가 어렵고 고액의 진료비가 책정되고 있는 상황이다. 또한 기록된 기록지는 환자당 1000 페이지 이상되며 이를 법적으로 5년동안 보관해야 하기 때문에 보관 및 관리에 있어서 많은 문제점을 가지고 있다.

이에 따라 수면다원검사에 있어서 디지털화된 시스템의 필요성이 요청되었다. 이에 부응하여 컴퓨터를 이용한 자동화된 수면 검사기가 연구 발표되었고, 초기 단계이기는 하지만 그 기능중의 일부가 임상에서 활용되고 있는 추세이다.

디지털화된 수면다원진단시스템(Digital Polysomnographic System) 개발에 따른 이점은 다음과 같다.

1) 현재 사용되고 있는 수동형 판독방법(human scoring)에 따른 6-7시간의 판독 시간을 1-2시간으로 줄일 수 있다. 또한 수면검사 데이터의 효율적인 저장 및 관리가 가능하게 될 것이다.

2) 전산화 분석기법에 따라 현재 수동형 판독으로는 불가능한 특수 미세 분석이 가능해져 수면검사가 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 의료정보의 통합화를 향한 기술적인 기반을 구축하게

디지털 수면다원검사 시스템 개발

될 것이다. 그 결과 빠르고 효율적인 의료 서비스를 제공할 수 있게 될 것이다.

이러한 목적아래 수면 다원 검사 시스템의 지능화 전단계로서 디지털화된 수면다원검사 시스템을 구성하였다.

현재 상용화되어 있는 수면다원검사시스템은 실제 임상에 사용함에 있어서 다음 몇가지 한계를 가지고 있다.

1. 낮은 화면출력 해상도(1280 x 1000)를 사용하기 때문에 한 화면에 30초의 데이터를 표시해야 하는 경우 최대 신호의 40Hz 정도만을 표시할 수 있다. 실제로 뇌파의 경우 차단 주파수가 30Hz 정도 임을 고려하면 간섭(alising)이 일어난다.
2. 방대한 신호를 디스플레이할 때 화면 스크롤과 탐색에서 속도가 느려서 사용자에게 불편을 준다.
3. 사용자 인터페이스가 미비하고 편집이 불편하다.

본 시스템은 이러한 일반 문제를 해결하기 위해 고해상도의 모니터와 디스플레이 컨트롤러(1600 x 1200)와 Wide SCSI-II 하드디스크를 사용하였고 많은 양의 메모리를 사용하여 직접 하드디스크 액세스로 인한 지연시간을 줄이도록 하였다. 윈도우 95 환경에서 사용자 인터페이스를 구현하였다.

본문

1> 시스템 구성

디지털 수면다원검사 시스템의 전체구성은 <그림 1>에 나타나 있는데 이 시스템은 on-line(실시간) 처리와 off-line 처리로 구분할 수 있다. 실시간 처리 과정은 다음과 같다.

종래 수면다원검사기(polysomnograph)로부터 증폭된 생체 신호를 A/D 변환기를 통과 시켜서 디지털 데이터로 바꾼 후 고해상도 모니터에 디스플레이함과 동시에 직접 하드디스크에 고속으로 저장한다. 8시간 이상의 데이터가 축정이 되면 약 100M byte 이상의 많은 데이터 용량이 되므로 이를 CD-ROM Writer를 이용하여 CD-ROM에 저장하고 관리한다.

Off-line 처리는 6배속이상의 고속 CD-ROM 드라이브를 통해서 환자의 데이터를 읽은 후 화면에 출력하고 에디팅이 가능하게하여 판독하는 전문의나 기사가 수면의 단계를 지정할 수 있도록 한다. 진단결과는 수면 전문의의 소견과 함께 데이터베이스화되어서 환자 관리를 보다 유용하게 한다. 한편 장기적으로는 네트워크 연결을 하여 원거리에서 결과들을 살펴 볼 수 있도록 계획되어 있고 환자를 모니터링하는 VCR 영상신호에서 환자의 움직임이나 상황을 자동으로 감지하고 기록하는 연구도 진행중이다. 위의 과정을 블록도로 나타낸 것이 <그림 2> 이다.

호스트 시스템은 펜티엄 133, RAM 128 Mbyte, Wide SCSI-II HDD 4Gbyte, 6배속 SCSI-II

CD-ROM Drive, Stealth 64 VRAM 4M 로 구성되어 있고 윈도우즈 환경에서 Visual C++ 4.0을 프로그래밍되어 있다. 종래 수면다원검사는 1280 x 960 정도의 해상도로 매우 만족스럽지 못한 환경이다. 현재 외국에서 2560 x 2048 정도의 모니터와 이미지 컨트롤러 보드가 나오기는 하지만 고가인데다가 아직 실용화되지 않은 상태이므로 현재는 1600 x 1280 정도의 해상도를 지원하는 방향을 선택하였고 차후에 변경하도록 하였다.

2> 데이터 수집 및 수면 검사

<데이터 수집>

수면 신호 데이터는 서울대 병원 수면다원검사실의 수면다원검사의 증폭기(GRASS model 78, Grass instrument Co., USA)를 통하여 뇌파(EEG), 안전도(EOG), 근전도(EMG), 심전도(ECG), 비공기 흐름(nasal air flow), 혈중 산소 포화농도(ear oximeter), 호흡음(breathing sounds), 사지운동(limb movement), 흉곽 운동(chest movement), 복부운동(abdominal movement) 등을 측정함으로써 얻게 된다. 이 신호들은 주파수의 크기에 따라서 고주파 신호 8 채널과 저주파 신호 8채널로 구분하게 되는데 고주파 8채널은 EEG 2 채널, EOG 2 채널, EMG(chin), ECG, Sound로 채널당 샘플링 주파수는 250Hz이고 나머지 8채널은 각각 25Hz 샘플링 주파수로 데이터를 수집한다.

디지털 부분의 전체 시스템은 호스트인 PC와 타겟 보드(DSP 프로세서 내장)로 구성되어 있다.

호스트인 PC에서 데이터 수집 수행 코드를 포함한 타겟 프로세서의 프로그램을 듀얼포트 RAM을 통해서 대상시스템의 코드영역에 전송하면 DSP 보드는 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 DSP 보드는 Innovative Integration사의 PC31을 사용하였는데, 이 시스템은 TI사의 TMS 320C31(40MHz) 프로세서를 사용하며 128K x 4 byte SRAM을 메모리로 소유하고 있다. 아날로그 부분은 2개의 200KHz 샘플링 주파수를 갖는 16비트 해상도의 시리얼 AD 컨버터가 있고 각각의 입력단에 8채널 멀티플렉서가 장착되어 총 16 채널의 아날로그 입력 데이터를 수집할 수 있다. PC와의 상호 전송은 2Kx4 byte의 듀얼포트램을 사용하여 이루어지는데 듀얼포트램은 DSP 보드에서 메모리 맵핑이 되어 있고 PC영역에서도 D000:0000 세그먼트에 맵핑이 되어 있어서 메모리 액세스만으로 데이터를 공유할 수 있다. 여기에 세마포 방식을 이용하여 메모리 액세스를 효율적으로 처리하였다. 이를 위해서는 다음과 같은 프로토콜을 작성하였다.

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

블럭만큼 차게 되면 이를 듀얼포트 램의 뱅크가 공백임을 확인한 후 하위 및 상위 뱅크 영역으로 순차적으로 이동시키고 PC에게 뱅크가 가득 찼음을 알려준다. 이를 모니터하고 있던 PC가 해당하는 뱅크를 읽어 가고 다 읽은 후 읽었다는 메시지를 타겟 DSP에 알려준다.

샘플링 주파수가 다른 두 부류의 신호를 수집하기 때문에 링버퍼를 고주파 링버퍼와 저주파 링버퍼를 별개로 하여 구현하였다.

구성된 시스템을 이용하여 실제 환자들에게서 데이터를 수집하였다. 10시간의 수면기간동안 저장되는 데이터의 총량은 $(250 + 25)Hz * 2 \text{ byte} * 8 \text{ ch} * 3600 \text{ sec} * 10 \text{ hour} = 158400000$ 로 이 데이터를 검사 소견과 함께 CD-ROM Writer를 이용해서 CD를 생성한다.

<수면검사예디터>

윈도우즈 환경에서 저장된 데이터를 수정하고 각 수면단계를 지정하는 예디터를 구현하였다.

일반적으로 매 30 초를 단위로 페이지가 형성되고 이에 따른 수면의 단계가 결정이 된다. 수면의 단계는 REM과 NREM의 1-4단계로 이루어 지는데 검사자는 각 페이지에 해당하는 수면단계를 기입하게 된다.

먼저 CD-ROM에 저장되어 있는 데이터를 고용량의 메모리에 30분 간격으로 분할하여 올리도록 하였다.

저장된 신호의 고속 탐색과 스크롤, 단계판독(staging)이 가능하게 하였고 각 이벤트에 해당하는 마킹 및 커멘트 처리도 여러 옵션으로 가능하게 하였다.

최종적인 스테이징 결과를 화면에 디스플레이 하고 환자의 데이터 베이스를 구현하도록 하였다.

<그림 3> 은 수면신호를 디스플레이한 예이다.

토의

본 시스템은 지능형 수면다원진단 시스템을 개발하기 위한 전 단계의 작업으로서 현재 아날로그 수면다원검사를 디지털화하며 전문의나 전문 기사의 수면단계 판독을 보조하는 시스템이다.

기존의 상용 시스템에 비해서 기본 시스템의 고용량화를 통해서 빠른 디스플레이 속도와 상대적으로 고해상도의 디스플레이 해상도를 높였다. 타겟 보드인 DSP 보드를 사용하여 작업의 분산화가 가능하게 하였고 윈도우즈 95 환경에서 사용자 인터페이스를 효율적으로 하였다. 방대한 수면 검사 결과들을 전체적으로 파악할 수 있는 기본 환경을 구성하였고 이를 데이터베이스화 하였다.

네트워크 부분과 영상처리 부분은 계속 구현중에 있고, 지능화 단계인 자동 수면판독 알고리즘은 연구중에 있다.

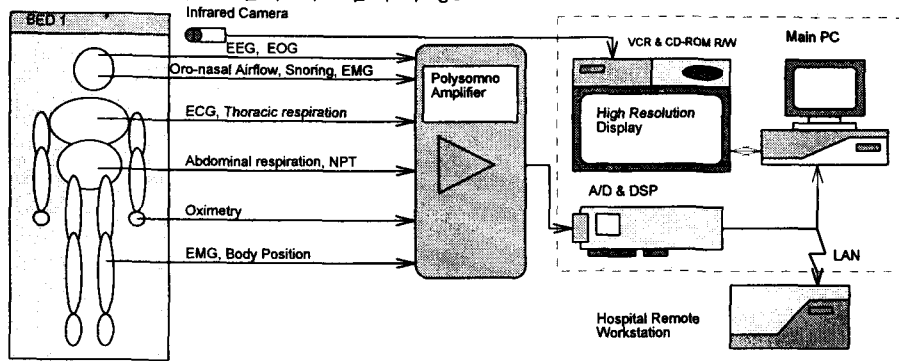
현재 데이터 수집 부분은 윈도우즈 95 환경하에서 구현이 되지 못하였는데 이 문제를 해결하기 위해 직접적인 물리 메모리 접근과 DSP가 PC로의 인터럽트 방식으로 메시지를 전달하는 부분에 대해 디비이스 드라이버를 개발중에 있다.

참고문헌

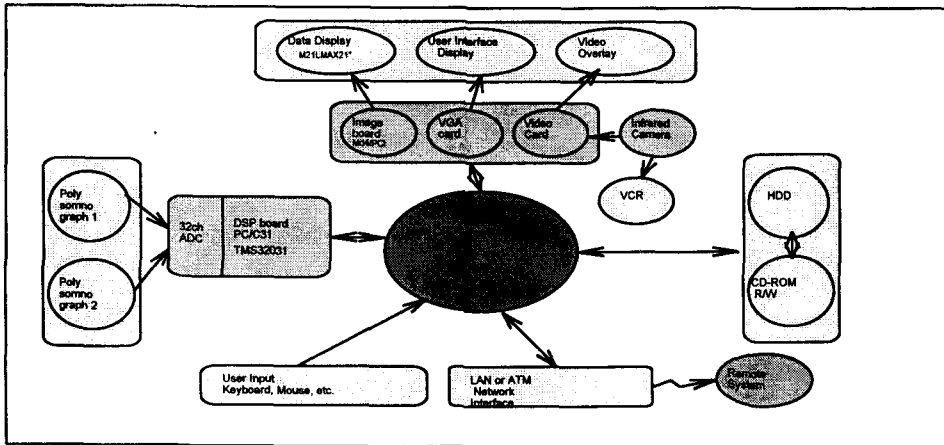
- [1]Guideline Fifteen : Guidelines for Polygraphic Assessment of Sleep-Related Disorders (Polysomnography), J. of Clinical Neurophysiology, vol.11(1), pp. 116-124, 1994
- [2]Medialog SAC Operator's Manual,1991
- [3]생체신호 자동해석 기술에 관한 연구 , 한국과학재단, 1994
- [4] PC31 Hardware manual, Innovative Integration,1995
- [5] PC31 C language supplement, Innovative Integration,1995

디지털 수면다원검사 시스템 개발

<그림 1> 디지털 수면 검사 시스템의 구성도



<그림 2> 디지털 수면 검사 시스템의 블럭도



<그림 3> 수면 데이터 편집기

