

환자 모니터링을 위한 인트라베드 및 인터베드 통신망

박승훈, 우응재, 김경수*, 최근호*, 김승태*, 이희철*, 서재준*, 김형진*
건국대학교 의과대학 의공학과
*삼성종합기술원 의료기기팀

Intrabed and Interbed Networks for Patient Monitoring

Seung Hun Park, Eung Je Woo, Kyung Soo Kim*, Keun Ho Choi*, Seung Tae Kim*,
Hee Cheol Lee*, Jae Joon Seo*, and , Hyung Jin Kim*
Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Kon Kuk University
*Samsung Advanced Institute of Technology, Medical Electronics Team

ABSTRACT

In this paper, we describe the intrabed and interbed network in a developed patient monitoring system. Intrabed network handles data communication among the main unit of a bedside monitor and parameter modules plugged in it. Interbed network deals with a higher level data communication among many bedside monitors, central stations, DB servers, and clinical workstations. Analyzing the data communication requirements in each stage of the system, we designed the intrabed network based upon RS-485 and HDLC protocol with 1Mbps data rate. Interbed network is designed to utilize the industry standard 10Base-T Ethernet with TCP/IP and UDP protocol. We present the specifications and the performances of the developed data communication networks in the patient monitoring system.

I. 서론

본 논문은 개발된 환자 모니터링 시스템에서 사용하고 있는 인트라베드 및 인터베드 통신망에 대하여 기술한다[1]. 인트라베드 통신망은 모듈형 환자 모니터의 본체와 이에 연결되는 여러 종류의 생체 신호 측정 모듈들 사이의 데이터 통신망이고, 인터베드 통신망은 환자 모니터와 중앙 환자 모니터, DB 서버 및 임상 의사 용 워크스테이션 사이의 데이터 통신망을 의미한다. 두 단계의 통신망에서의 필요 사항들에 대한 분석을 기초로 하여, 인트라베드 통신망은 1Mbps의 통신 속도를 가지도록 하였고, RS-485와 HDLC 통신 규격을 채용하였

다[2]. 인터베드 통신망은 10Mbps의 10Base-T Ethernet을 기본으로 하고 TCP/IP 및 UDP 통신 규격을 따라서 구현하였다[3]. 개발된 환자 모니터링 시스템에서의 인트라베드 및 인터베드 통신망의 설계 및 구현과 그 사양 및 성능을 기술한다.

II. 통신망의 전체 구조

그림 1은 본 논문에서 기술하는 환자 모니터링 시스템에서의 통신망의 구조를 보여주고 있다. 한 환자에게는 여러 종류의 생체 신호 측정 모듈들이 사용되며, 이러한 모듈들은 신호 데이터를 수집, 처리하여 전송하기도 하고, 또 환자 모니터 본체로부터의 명령을 수신하여 각 모듈의 동작에 관한 여러 가지 변수들을 조정한다. 이렇게 한 환자로부터 여러 종류의 생체 신호 데이터들을 수집, 처리, 전송, 관리하기 위한 통신망을 인트라베드 통신망이라 한다

통상 환자 1인 당 1대 씩 설치되는 환자 모니터 여러 개를 하나의 통신망으로 묶어서, 여러 환자에게서 발생한 신호 데이터를 중앙 집중 모니터링 및 관리하는 기능을 구현하기 위해서는 또 다른 통신망이 필요하다. 이것을 인터베드 통신망이라 하고, 여기에는 여러 대의 환자 모니터들과 중앙 환자 모니터, DB 서버, 및 임상 의사 용 워크스테이션 등이 상호 연결된다.

최근에는 환자 모니터링 시스템 뿐 아니라, 거의 모든 의료기기들이 전산화되고 컴퓨터 통신망에 직접 접속할 수 있는 형태로 개발되고 있으나, 구체적인 통신 규격의 통일이 이루어 지지 않아서

서로간의 연동에는 많은 문제가 발생하고 있다. 그러므로, 의료기기의 각 분야 별로 데이터 통신 규격의 제정이 활발히 논의되고 있으며, 이미 상당한 진척을 이룬 분야도 있다. 이러한 의료기기 관련 통신 규격들 중에서, 환자 모니터링 시스템에서와 같은 1차원 신호를 대상으로 하는 의료기기에 관한 규격은 IEEE P1073 MIB(medical information bus) 규격이다[4]. 본 논문에서는 이러한 규격을 바탕으로 하여, 인트라베드 및 인터베드 통신망을 설계하고 구현하였다.

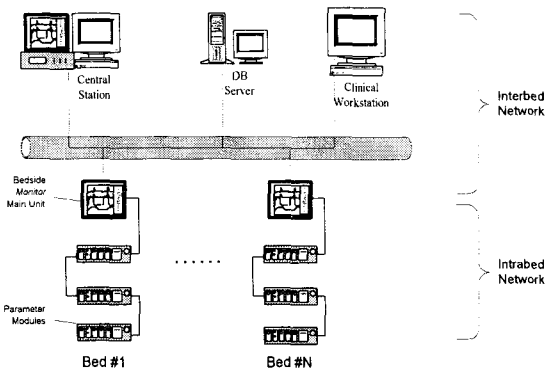


그림 1. 환자 모니터링 시스템에서 통신망의 구조.

III. 인트라베드 통신망

인트라베드 통신망의 설계에 있어서 가장 중요한 것은, 모듈형 환자 모니터에서 필요로 하는 요구 성능을 충분히 제공할 수 있도록 하여야 한다는 점이다. 본 논문에서는 현재 모듈로서 개발되어 있는 심전도, 관혈적 혈압, 비관혈적 혈압, 호흡, 체온, 동맥 산소 포화도 등의 6가지 생체 신호 뿐만 아니라 심박출량, 정맥 산소 포화도, 호기시 CO₂ 및 capnograph 등의 앞으로 추가될 모듈들도 모두 수용할 수 있도록 하기 위한 요구 성능 분석을 수행하였다.

이를 위해서, 각 생체 신호 별로, 데이터의 발생량, 신호처리의 결과에 따른 특징점 및 관련 메시지(message)의 발생량, 센서의 상태나 경보의 발생 등에 관한 사건의 발생량 등을 분석하였다. 또한, 신호의 실시간 도시 및 정보 전달이 가능한 범위 내에서의 허용 가능한 지연 시간(delay time)들을 구하였다. 한 종류의 생체 신호를 측정하는 모듈들 뿐만 아니라, 여러 종류의 생체 신호들을 하나의 모듈에서 측정하는 복합형 모듈의 경우에 대해서도 동일한 요구 성능 분석을 시행하였다. 인트라베드

통신망의 성능은, 가장 많은 데이터와 사건을 발생시키고, 명령의 전달을 위한 메시지의 전송 필요성 또한 가장 큰 3 채널의 심전도 모듈을 21 개 까지 처리 가능한 수준으로 설계하였다. 이러한 분석을 기초로 하여 인트라베드 통신망의 기본 사양을 다음과 같이 결정하였다.

1. 최대 21 개의 모듈이 multi-drop 구조로 접속
2. 1Mbps 의 기본 통신 속도 (최대 2Mbps)
3. RS-485 의 물리 계층
4. NRZI(nonreturn-to-zero-inverted) 인코딩 및 NRM(normal response mode) 사용
5. 누설전류의 최소화를 위해 광 결합기 사용
6. HDLC 프로토콜에 의한 데이터 링크 계층
7. 모듈들의 HDLC 주소를 동적으로 할당
8. 모듈의 장착 및 탈착을 자동 인식

각각의 모듈에서 인트라베드 데이터 통신을 처리하는 부분을 모듈 통신제어기(MCC, module communication controller)라 한다. 환자 모니터 본체에는 모듈제어기(module controller) 또는 환자 모니터 통신제어기(BCC, bedside communication controller)가 이러한 각종 모듈들과의 인트라베드 통신 기능을 수행하게 된다. 그림 2는 인트라베드 통신망에서의 데이터 교환 구조를 보여주고 있다. 각 모듈 내에서 MCC는 모듈의 주 CPU와 공유 메모리를 통하여 패킷(packet)의 형태로 데이터를 교환한다. MCC와 BCC 사이의 데이터 교환은 RS-485 전송 선로를 통하여 HDLC 프레임(frame)의 형태를 취하며, 프레임은 여러 패킷의 내용을 포함할 수도 있다. 환자 모니터 본체에서 BCC와 본체 CPU 사이의 데이터 교환은 공유 메모리를 이용하며, 스트림(stream)의 형식을 취하고, 스트림은 여러 개의 프레임을 포함할 수 있다.

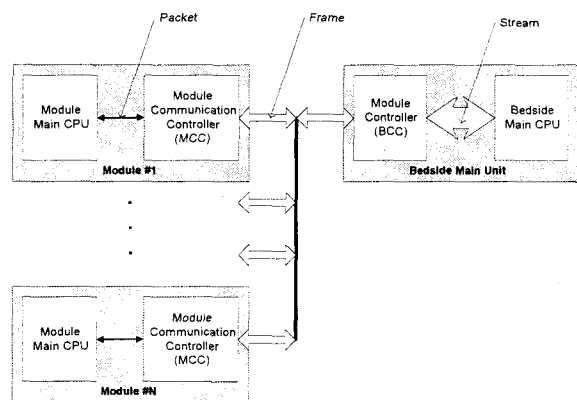


그림 2. 인트라베드 통신망에서의 데이터 교환.

인트라베드 통신망에서 데이터 교환의 기본 단위는 메시지이다. 메시지의 전달자가 패킷과 프레임 및 스트림이고, 메시지에는 "COMMAND"와 "CONTENT"의 두 종류가 있어서, 각각 명령이나 상태의 전달과 데이터 및 사건의 전달을 담당한다.

각 모듈 내에서 패킷의 교환과 환자 모니터 본체 내에서의 스트림의 교환은 특별한 제약이 없고, 일정한 시간 간격으로 또는 각자의 어떠한 요구에 의해서 이루어 질 수 있다. 그러나, 하나의 BCC와 여러 개의 MCC 사이의 HDLC 프레임의 교환은, 이들이 multi-drop 구조로 하나의 직렬 통신 채널을 공유하므로, 한 순간에는 하나의 장치(BCC 또는 MCC)만이 프레임을 전송할 수 있다. 따라서, 일정한 시분할 방식에 의해 통신 채널의 사용권을 제어해야 한다. 이를 위해서, BCC가 주(primary)이고 MCC들이 종(secondary)이 되는 NRM을 사용하였다[18]. BCC는 정해진 규칙에 따라 순서대로 특정 MCC에게 폴링(polling) 프레임을 송신하여, 그 MCC에게 응답 프레임을 전송할 기회를 준다. 각 MCC는 이렇게 폴링이 된 경우에 한하여 BCC로 프레임을 전송할 수 있다. BCC와 MCC는 HDLC 프로토콜을 지원하는 마이크로콘트롤러를 기본으로 하여 구현하였다[19].

IV. 인터베드 통신망

중환자실에 있는 각 환자의 병상에는 대부분의 경우 1개의 모듈형 환자 모니터가 설치되어 있어서 각 환자들의 상태를 관찰할 수 있게 되어 있다. 중앙 환자 모니터는 여러 개의 환자 모니터들을 연결하여 소수의 간호사들이 한 곳에서 여러 명의 환자들의 상태를 집중적으로 관찰할 수 있게 해준다. 이러한 목적으로 여러 병상들에 있는 기기들을 연결해 주는 통신망을 인터베드 통신망이라 한다.

RS-232C와 같이 디지털 신호를 직렬 통신을 통해 보내는 방법이 개발된 이후, 디지털 형태의 생체 신호 및 추출된 데이터들을 점-대-점(point-to-point)의 직렬 통신 방식으로 전송하여, 중앙에서 다중화한 다음, 1개의 중앙 환자 모니터에 출력하는 방식이 한동안 널리 사용되었다. 이 방법은 확장성과 배선에 많은 어려움이 있고 특히, 일반 컴퓨터 통신망과의 접속을 위해서는 접속 환경에 따른

많은 맞춤 작업이 필요하다.

최근 들어, 병원에서 LAN(local area network)이나 WAN(wide area network)과 같은 일반 컴퓨터 통신망의 사용이 보편화됨에 따라, 환자 모니터들을 일반 컴퓨터 통신망에 연결하여 한 곳에서 집중적으로 관찰하려는 시도가 많아지고 있다. 환자 모니터들을 일반 컴퓨터 통신망에 연결함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 이점은 일반 컴퓨터 통신망이 연결되어 있는 곳에서는 어디에서든지 중앙 환자 모니터를 통해 환자의 상태를 관찰할 수 있다는 점이다. 일반 컴퓨터 통신망은 병원의 거의 모든 곳에서 접속할 수 있을 뿐 아니라, 공중 통신망을 사용하면 다른 곳에 있는 병원이나 가정에서도 접속할 수 있어서 많은 종류의 새로운 서비스를 창출할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 여러 개의 모듈형 환자 모니터들과 중앙 환자 모니터들을 10Base-T 규격의 이더넷 통신망으로 연결하였고, TCP/IP와 UDP 통신 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하는 방법을 기술한다. 모듈형 환자 모니터와 중앙 환자 모니터는 각각 이더넷 접속 카드를 내장하게 하였다. TCP/IP 통신 프로토콜은 ISO/OSI 참조 모델에서 네트워크 계층과 트랜스포트 계층에 해당하는 통신 프로토콜이기 때문에 물리 계층 및 데이터 링크 계층의 통신 프로토콜에 대해서는 영향을 받지 않는다. 따라서, 접속을 위한 하드웨어 장치만 바꾸면, TCP/IP와 UDP를 지원하는 토큰 링(token ring) 방식이나 ATM 방식과 같은 다른 종류의 통신망에 접속할 수 있다.

본 논문에서는 인터베드 통신망을 통해 현재 모니터링이 진행되고 있는 환자를 알아내어 연결해주는 환자 위치 결정 서비스(patient locator service)와 모니터링 중인 환자의 생체 신호 및 추출된 정보를 원격지에서 실시간으로 관찰할 수 있도록 하는 원격 환자 모니터링 서비스(remote patient monitoring service)를 구현하였다. 모든 서비스는 Windows NT 환경 하에서 C++와 WIN32 API(application programming interface) 및 WinSock API를 사용하여 구현하였다. 환자 위치 결정 서비스는 UDP의 멀티캐스팅 기능을 이용하여 구현하였고, 원격 환자 모니터링 서비스는 TCP 통신 프로토콜을 이용하였다. 그림 3은 환자 위치 결정 서비스와 원격 환자 모니터링 서비스를 제공하기 위하여 구현된 객체들의 관계를 Booch 다이어그램

을 사용하여 나타낸 것이다.

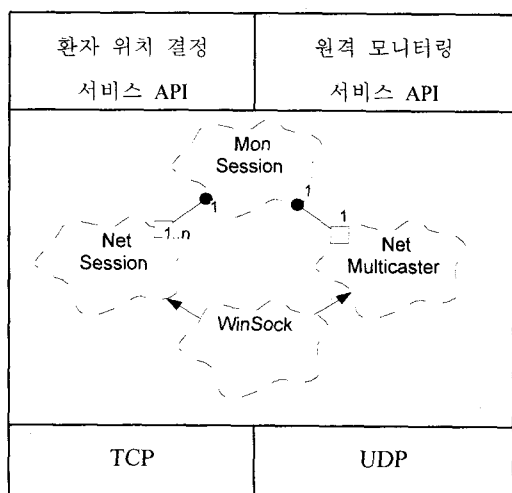


그림 3. 계층 구조화된 인터넷 통신 서비스.

V. 실험

모듈형 환자 모니터와 중앙 환자 모니터를 본 대학 부속병원의 중환자실에 설치하였고, 현재 3개월째 임상실험을 진행하고 있다. 그림 4는 인터넷 통신을 통하여 모듈로부터 전달된 데이터를 화면에 출력하는 모듈형 환자 모니터의 실행 화면을 보여주고 있다. 사용자의 입력을 받아 모듈의 하드웨어를 제어하는 명령을 모듈 쪽으로 보낼 수도 있다.

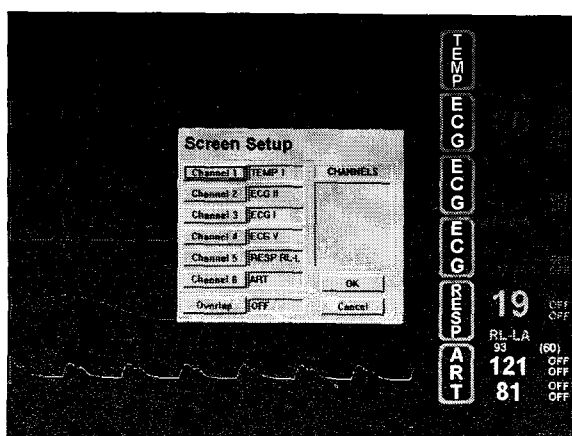


그림 4. 인터넷 통신에 의해 전달된 생체 신호 데이터의 모듈형 환자 모니터 화면 출력

모듈형 환자 모니터를 시동할 때 수행되는 또 다른 작업은 환자 위치 결정 서비스를 통해 그 존재를 통신망에 연결된 다른 모니터링 세션들에게

알리는 것이다. 특정한 환자에 대한 원격 모니터링을 수행하기 위해서는 우선 그 환자가 현재 모니터링 중인 지를 알아야 한다. 그림 5의 대화상자에는 중앙 환자 모니터의 화면에 나타나는 것으로서, 환자 위치 결정 서비스에 의해 알아낸 현재 모니터링 중인 환자들의 목록이 나타나 있다. 이 대화상자를 통해서 사용자는 원격 모니터링을 수행할 대상 환자를 선택할 수 있다.



그림 5. 중앙 환자 모니터의 화면에 나타난, 현재 모니터링 중인 환자들의 목록을 포함한 대화상자.

원격 모니터링 세션이 생성되면, 원격 모니터링 서비스에 의해 모듈형 환자 모니터에서 수집된 각종 생체 신호 정보들이 실시간으로 전달된다. 그림 6은 중앙 환자 모니터가 원격 모니터링 서비스를 통해 모듈형 환자 모니터로부터 전달된 생체 신호 정보들을 실시간으로 화면에 출력하는 장면을 보인 것이다.



그림 6. 중앙 환자 모니터에서의 원격 모니터링 세션의 한 장면.

VI. 토의

현재 구현된 인트라베드 통신망은 기본적인 사양에 있어서는 IEEE P1073 MIB의 규격을 따랐으나, 세부적인 부분에 있어서는 차이를 가진다. 최근에는 인트라베드 통신망 용 P1073 MIB 소자들이 상용화되었고[4], 앞으로 그 채용이 늘어날 것으로 추정된다. P1073 MIB의 완전한 채용은 관련 의료기기의 변화 추세를 보아 가면서 결정하여야 할 것이다.

인터베드 통신망에서, 현재 모니터링이 진행 중인 환자들을 알기 위한 환자 위치 결정 서비스는 한 개의 세그먼트로 이루어진 LAN에서는 잘 동작하였다. 원격 모니터링 서비스에서 현재와 같이 연결형 전송로를 사용해 생체 신호 정보들을 보낼 경우, 한 개의 원격 모니터링 세션에게 서비스를 제공하는 것은 별 다른 문제가 없다. 그러나, 여러 개의 원격 모니터링 세션들에 서비스를 제공해야 할 경우에는 점 대 점 연결 방식만을 지원하는 연결형 전송로의 특성 때문에 같은 데이터를 원격 모니터링 세션들에게 각각 따로 보내주어야 한다는 문제점이 있다. 따라서, 통신량이 많아지고, 데이터 전송에 많은 시간이 걸린다.

멀티캐스팅을 사용하여 원격 모니터링 서비스를 구현하는 경우에는 한꺼번에 여러 개의 원격 모니터링 세션들에게 데이터를 보낼 수 있다는 장점은 있으나, 송신 측에서 전송한 순서로 수신하는 방법을 구현해야 하고, 전송 실패를 극복할 수 있는 대책이 수립되어야 한다. 한 개의 세그먼트로 이루어진 LAN에서 사용할 경우에는 위에서 지적한 문제점이 없으나, 라우터를 통한 전송이 필요한 경우, 데이터들을 송신하는 순서대로 수신할 수 없고, 손실 없는 데이터 전송을 보장할 수 없다는 문제점이 있다.

앞으로, 압축율이 높은 생체 신호 데이터 압축 알고리즘을 고안하여 대역폭이 좁은 공중망을 통해서도 중환자 모니터링에 필요한 여러 채널의 생체 신호를 원격에서 모니터링할 수 있도록 할 예정이다.

VII. 결론

본 논문에서는 개발이 완료되어 현재 임상 실험 중인 환자 모니터링 시스템의 인트라베드 및

인터베드 통신 방법에 대해 기술하였다. 인트라베드 통신망은 1Mbps의 RS-485와 HDLC 프로토콜을 기반으로 하였다. 접속이 가능한 모듈은 최대 21개이다. 개발된 심전도, 관혈적 혈압, 비관혈적 혈압, 호흡, 체온, 동맥 산소포화도 등의 6가지 생체 신호 측정 모듈들을 사용하여 장기간의 작동 실험을 수행한 결과 목적인 기능과 성능을 확인할 수 있었다.

인터베드 통신에서는 현재 모니터링이 진행 중인 환자들에 대한 정보들을 얻기 위한 환자 위치 결정 서비스와 특정한 환자에 대한 생체 신호 정보들을 원격지에서 실시간으로 모니터링할 수 있게 하는 원격 환자 모니터링 서비스를 개발하였다. 현재 널리 사용되는 10Base-T 방식의 LAN 환경에서 8개의 원격 모니터링 세션에 대해 이러한 인터베드 서비스들을 실험한 결과, 실시간 모니터링에 필요한 충분한 성능을 가짐을 확인하였다. 파형의 도시 등과 관련된 중앙 환자 모니터의 데이터 처리 능력은 별도로 하고, 인터베드 통신망만의 성능에 의한 최대 접속 가능한 원격 모니터링 세션의 개수는, 10Base-T 이더넷의 실제 데이터 전송 속도와 각 모듈형 환자 모니터의 송신 데이터의 분량에 따라 달라질 것이나, 약 64개 이상은 가능할 것으로 생각된다.

VIII. 참고문헌

1. 우 응제, 박 승훈, 김 경수, 최 근호, 김 승태, 문 창욱, 전 병문, 이 회철, 김 형진, 서 재준, 채 경명, 박 종찬, "환자 모니터링 시스템의 개발: 전체구조 및 기본사양," 의공학회지, 인쇄중, 1997.
2. J. H. Spragins, *Telecommunications: Protocols and Design*, NY, Addison Wesley, 1991.
3. D. E. Comer and D. L. Stevens, *Internetworking with TCP/IP*, NJ, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1994.
4. ILC Data Device Corporation, *1073 Prototype Development Kit DD-51002X3-300 Instruction Manual*, Bohemia, NY, ILC Data Device Co., 1995.