

심전도 데이터 전송용 디지털 모뎀의 설계에 관한 연구

이명호 · 황시돌 · 신호용 · 안재봉

== Abstract ==

Design of a Digital Modem for ECG Data Transmission

Myoung-Ho Lee, See-Dole Hwang, Ho-Yong Shin, Jae-Bong Ann

This paper represent the design of a digital modem which transmits the ECG data from an ambulatory arrhythmia monitor over the telephone lines to a large hospital for the instantaneous interpretations.

The digital modem provides on-line communications between the patient and the central computer located near cardiologists. For commercial telephone lines, the transmitting error rates of the digital modem were measured 200 times at a speed of 300 baud.

In those measurements, the block errors-results, due to the misinterpretation of start and stop bits, did not occur. The data bit errors which were due to a single bit interpreted incorrectly were 0.78(bits/10⁶). Since the acceptable data bit error limit is 10 per 10⁶ bits transmitted, the digital modem designed in this paper can be used for the clinical applications without any difficulty.

1. 서 론

지금까지 심장병 환자의 일반적인 진단을 위한 응급 심전도 기록에는 Holter 기록계가 많이 이용되어 왔으나 이 방법은 환자가 심전도(ECG)데이터를 기록한 후 진단결과를 받아 보기까지 많은 시간이 소요되며 눈으로 확인하는 과정에서도 오차가 발생할 수 있다. 특히 일시적인 부정맥(arrhythmia) 현상은 대부분의 경우 병원이 아닌 일상적인 생활속에서 갑자기 발생하는 데 이러한 경우에 대한 적용 문제가 아직 해결되지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법의 하나로 마이크로 프로세서를 이용한 휴대용 부정맥 모니터(portable arrhythmia monitor)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 휴대용 부정맥 모니터내의 마이크로

프로세서는 심전도 데이터의 압축, 부정맥 판정등을 실시간으로 처리하게 된다. 즉 휴대용 부정맥 모니터에 의해 부정맥 데이터가 검출되면 전화선 혹은 무선으로 병원의 중앙컴퓨터나 심장 전문의에게 전송하여 환자의 상태를 진단하도록 한다.

본 논문에서는 이와같은 휴대용 부정맥 모니터의 심전도 데이터를 전화선을 이용하여 정확하게 병원의 중앙컴퓨터로 전송하기 위한 디지털 모뎀을 설계하고, 완성된 모뎀의 성능을 평가하기 위하여 ECG 시뮬레이터의 ECG 신호와 1,600 byte 랜덤 신호에 대한 송수신 실험을 행하여 비트 오차와 블록 오차를 정량적으로 분석하여 보고자 한다.

2. 디지털 모뎀의 설계

2.1 직/병렬 인터페이스

컴퓨터에 인터페이스되는 최로는 병렬 데이터를 직렬데이터로, 직렬 데이터는 병렬 데이터를 변환시키는

<1986.6.12 접수>
* 연세대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Engineering Yonsei University

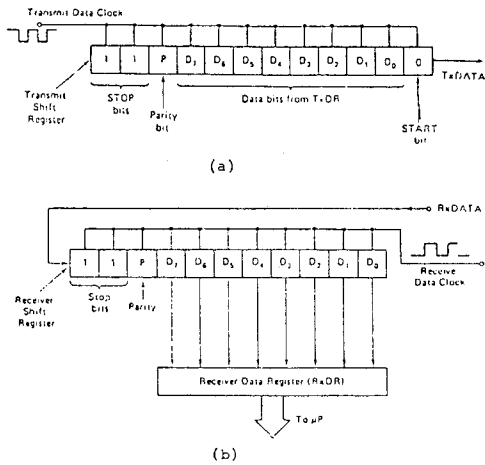


그림 2-1. (a) 송신쉬프트 레지스터
(b) 수신쉬프트 레지스터
Fig. 2-1. (a) Transmit shift register.
(b) Receiver shift register.

역할을 하여야 한다. 이는 UART(universal asynchronous receiver/transmitter)에 의하여 수행되며 다음과 같이 동작한다. 마이크로 프로세서로부터 출력장치로 데이터를 전송하는 경우, 먼저 데이터를 UART의 송신 데이터 레지스터(TxDR)로 보낸다. Tx 부분에 있는 제어 로직은 데이터를 받은 다음 시작비트, 패리티비트, 종료비트를 첨가시킨다. 이렇게하여 완성된 하나의 완전한 데이터는 그림 2-1(a)과 같은 송신 쉬프트 레지스터(transmit shift register)에 놓여지게 된다. 이 레지스터의 내용은 송신 데이터 클럭에 의해 정해진 속도로 오른쪽으로 이동하며 이것이 출력장치로 전송될 직렬데이터(TxDATA)가 된다. 여기서 송신 데이터 클럭은 baud rate와 동일한 주파수를 가져야 한다.

직렬 입력장치가 마이크로 프로세서에 데이터를 보낼 때에는 RxDATA 입력을 통해 UART의 수신부에 직렬데이터를 전송한다. Rx부에 있는 제어로직이 RxDATA 선 위에서 high-to-low 반전을 감지하면 이것을 시작비트로 인식한다. 그 다음 직렬데이터의 나머지 부분이 그림 2-1(b)와 같이 수신 데이터 클럭에 의해 정해지는 속도로 수신 쉬프트 레지스터(receiver shift register)로 이동해 간다. 쉬프트 레지스터에 직렬데이터가 가득 차면 데이터(D₀-D₇)가 RxDR로 병렬 전송되며 마이크로 프로세서는 이 데이터를 읽게 된다.

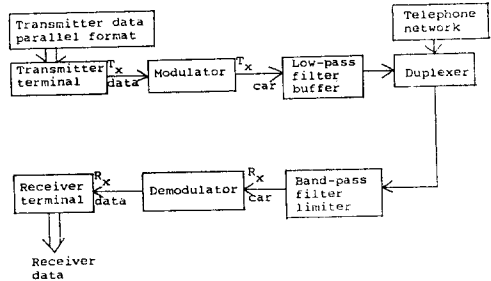


그림 2-2. 디지털 모뎀의 블럭선도
Fig. 2-2. Block diagram of digital modem.

2.2 모뎀

디지털 모뎀은 반복조 주파수에 따라 Bell 103방식과 CCITTV 방식이 있으며 본 연구에서는 Bell 103방식을 이용한 저속도 모뎀을 설계하였다.

Bell 103방식은 데이터 전송의 경우 논리 1상태(Mark state)의 주파수를 1,270 Hz, 논리 0상태(Space state)를 1,070 Hz로 변조하고 데이터 수신 경우에는 논리 1상태의 주파수를 2,225 Hz, 논리 0상태를 2,025 Hz로 복조한다.

본 연구에서 설계한 모뎀은 휴대용 부정맥 모니터의 일부분을 구성하는 것이므로 부피가 작고 소비 전력이 적으며 가격이 저렴하고 휴대하기에 편리해야 하므로 가능한 한 부품수를 적게 하였다. 그림 2-2는 디지털 모뎀의 블럭선도이다.

이 모뎀에서 송신신호는 논리 1상태에서 1,270 Hz, 논리 0상태에서 1,070 Hz의 주파수로 변조되므로 이 두 주파수 이외의 신호를 제거하기 위하여 대역통과 필터를 거쳐야 하며, ac신호로 변환하기 위해 콘덴서를 거쳐 전화기와 결합되는 트랜스의 1차측으로 들어간다.

수신의 경우, 전화선에 연결된 트랜스를 통하여 들어오는 신호는 필요한 신호 이외에 다른 주파수와 큰 레벨의 음성신호가 함께 섞여서 들어온다. 이로부터 논리 1상태의 2,225 Hz와 논리 0상태의 2,025 Hz의 두 주파수만 포착하기 위해 이들 주파수만 통과시킨 후 모뎀을 통하여 디지털 직렬 데이터를 만들도록 하였다.

본 연구에서 설계한 모뎀회로는 그림 2-3과 같으며, 주파수대역의 정확성이 잡음성분을 줄이고 전송오차를 줄이는데 중요한 역할을 하기 때문에 단일 칩으로된 CMOS IC(MC 145440)모뎀용 필터를 사용하여 설계하였다.

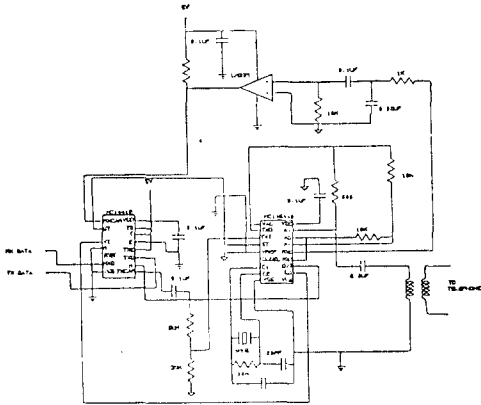


그림 2-3. 디지털모뎀 회로도
Fig. 2-3. The circuit diagram of digital modem.

3. 실 험

본 연구에서 제작한 모뎀의 성능을 평가하기 위해서 IBM PC XT를 사용하였으며, 동일한 모뎀을 두개 만들어 송신측과 수신측 전화기에 연결시켰다. 이를 위한 전체 실험 시스템의 구성은 그림 3-1과 같으며 모뎀의 전송속도는 300 baud로 하였고 UART로는 Intel 8251을 사용하였다. 컴퓨터에서 나온 8비트 병렬 데이터는 UART에 의하여 직렬데이터로 변환한 후 Tx 출력으로 내보내고, Rx 입력으로 들어온 직렬데이터는 UART에서 병렬데이터로 바뀌어 컴퓨터에 입력된다.

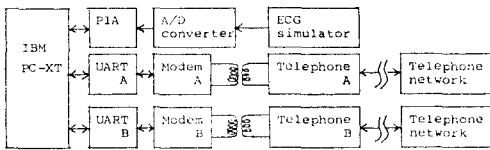


그림 3-1. 디지털 모뎀의 실험시스템.
Fig. 3-1. Experimental system of digital modem.

3.1 ECG 전송 실험

ECG 시뮬레이터에 의한 ECG 신호를 A/D 변환하여 컴퓨터에 입력시킨 후 그림 3-1의 A 모뎀을 통해 데이터를 송신하여 B 모뎀으로 수신한 다음 컴퓨터에 저장시킨다. 두 모뎀의 번복조 역할을 서로 바꾸는 실험을 함께 하기 위해 다음에는 컴퓨터에 수신된 데이터를 B 모뎀을 통하여 송신하여 A 모뎀으로 하여금 복조시키도록 한 뒤 최초로 PIA를 거쳐 컴퓨터에 입력시킨 데이터와 비교하였다.

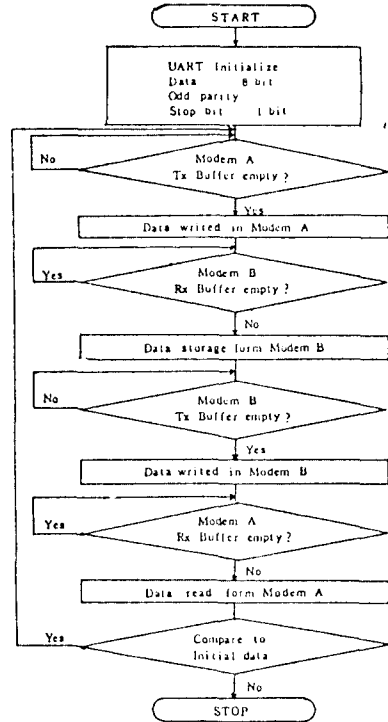


그림 3-2. 송수신 ECG 데이터의 비교 흐름도.
Fig. 3-2. The comparing flowchart of the receiver/transmit ECG data.

전송실험은 (1) 모뎀—모뎀전송 (2) 지역전화 전송 (3) 장거리 전화전송의 3가지로 구분하여 실험하였다. 각 전송실험에서 파형의 비교를 위하여 사용한 입력데이터는 KONTRON MEDICAL INC의 부정맥 ECG 시뮬레이터로부터 정상파형, 근잡음이 섞인 파형, 심실조기수축, 심실세동 파형등을 기준 입력데이터로 사용하여 이들 파형이 송신측 모뎀을 통과하기 전의 데이터 값을 일정한 샘플링 비로 샘플링한 후 각 샘플링 값에 고유번호를 주어 컴퓨터의 기억장치에 저장시킨다. 그런다음 수신측 모뎀을 통과한 출력데이터에 대해서도 동일한 방법으로 샘플링하여 이미 컴퓨터의 기억장치에 저장되어 있는 데이터와 새로 얻어진 데이터를 비교하는 방법으로 모뎀의 정확도를 검증하였으며 그림 3-2와 그림 3-3과 그림 3-4는 이에 대한 플로우 차트와 실험결과를 각각 나타낸다.

3.2 랜덤 데이터 전송실험

실제 부정맥이 발생하였을 경우 전화선으로 전송되는 양과 동일한 1,600 byte의 랜덤데이터를 컴퓨터에

알 수 있다.

우측의 표는 좌측 그래프에서 순서대로 임의의 점 18개를 취하여 이들 각각에 대하여 전송하기 전의 심전도 데이터 값과 수신한 뒤의 데이터 값을 표로 작성한 것이다. 그래프로 비교한 것은 파형이나 진폭을 눈으로 비교하였으므로 정확한 비교가 어려우나 표에 의한 비교는 정량적인 식별이 가능하였다. 그림 3-3(b)는 근잡음이 섞인 파형에 대한 실험 결과로서 이러한 잡음신호가 섞인 파형을 정확하게 전송하는 것은 ECG 데이터 전송에 있어서 대단히 의미있는 결과로 보아진다. 그래프와 우측표에 나타나 있는 것처럼 오차없이 정확하게 데이터가 송수신되었다. 그림 3-3(c)는 심실조기수축의 경우로 앞의 두가지 파형과 같이 송수신데이터가 서로 일치하였다. 그림 3-4는 실제환자의 데이터를 송수신한 결과로서 그림 3-3의 경우와 마찬가지로 정확한 전송특성을 보였다.

또한 랜덤 데이터 전송결과는 비트 에러가 0.78 bits/10⁶으로 이는 모뎀의 허용 오차한계인 10 bits/10⁶ 보다 훨씬 적은 값이므로 본 연구에서 제작한 모뎀이 임상 심전도 데이터의 전송에 사용하기 적합하다는 것이 입증되었다.

4. 결 론

본 논문은 심전도 데이터를 전화기를 통하여 병원의 중앙컴퓨터로 전송하기 위한 모뎀을 설계, 제작하여 성능을 평가한 것으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. FM 방식을 사용한 아날로그 전송에 비하여 잡음에 대한 영향을 줄일 수 있으며 아날로그 전송으로는 할 수 없는 환자의 이력사항 부정맥 발생 일시등의 정보도 전송이 가능케되었다.

2. 심전도 신호와 랜덤 데이터의 전송 실험 결과, 비트에러가 허용 범위보다 훨씬 낮은 0.78 bits/10⁶로 임상 심전도 데이터의 전송에 적합한 것이 입증되었다.

3. IC 칩을 3개만 사용하여 설계하였으므로 부피가 작아 휴대용 모니터에 적용할 수 있으며 상업용 모뎀

에 비해 저렴하게 구성할 수 있었다.

〈본 연구는 1985년도 한국과학재단 IBRD 차관연구비의 지원으로 이루어진 연구의 일부로 상기 기관에 깊은 감사를 드린다.〉

참 고 문 헌

- 1) W.J. Tompkins *Design of microcomputer-based medical instrumentation*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1981.
- 2) J.E. McNama, *Technical aspects of data communication*. Bedford, MA. Digital, 1977.
- 3) P.W. Macfarlane, *An introduction to automated electrocardiogram interpretation*, Butterworth & Co., LTD, London, 1974.
- 4) R.J. Tocci, *Microprocessors and minicomputers*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- 5) N.V. Thakor, J.G. Webster, and W.J. Tompkins, "Design implementation and evaluation of a microcomputer-based portable arrhythmia monitor." *Med. & Biol. & comput.*, Vol. 22, pp.151~159, 1984.
- 6) W.J. Tompkins, "Trends in ambulatory electrocardiography," *IEEE Frontiers of Engineering in Health Care-September*, pp.1~4, 1981.
- 7) Misscha Schwartz, *Information transmission, modulation, and noise*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
- 8) W.p. Holsinger and K.M. Kemper, "Portable EKG telephone transmitter," *IEEE Trans Bio-med. Eng.*, Vol. BME-19, pp.321~323, 1972.
- 9) A.A. Schoenberg and H.E. Booth, "Errors in digital and analog ECG telephone transmission," *Comput. Car diol., IEEE Comput. Soc.*, pp.383~386, 1979.