

간접광을 이용한 생체신호의 전송에 관한 연구

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 의공학과학교실
허수진

=Abstract=

A Study on the Optical Biotelemetry using Indirect transmitted light

Soo-Jin Huh

Department of Biomedical Engineering, College of Medicine University of Ulsan, Asan Medical Center

The characteristics of the near infra-red lights were experimented to check the feasibility of telemetry using indirect transmitted light. The results of the experiments show that the diffusely reflected light can be utilized as the carrier of biotelemetry even after several scattering and reflections.

An optical telemetry system using the indirect infra-red lights was developed. 3 channel ECG's are multiplexed in time domain and modulated into a PIM(pulse interval modulation) pulse sequence. The optical telemetry from a subject is carried out with the prototype system. A stable data acquisition was demonstrated.

Key Words : Infra-red, Biotelemetry, Optical telemetry.

I. 서론

생체 신호를 측정하여 원격 전송하는 데에는 전파를 이용한 전파 텔리메트리(radio telemetry)가 주로 이용되고 있다. 그러나 전파 텔리메트리 송신기의 출력에 대한 규제가 강화되고 있고 의료기기 간의 전자적 상호간섭등의 문제가 있어 전파 이외의 빛, 초음파 등을 반송파로 하는 신호 전송 기술의 개발 필요성이 점점증하고 있다.¹

이에 따라 적외선을 이용한 신호 전송에 대한 관심이 최근에 높아지고 있다. 적외선은 대부분의 물체를 거의 투과할 수 없고, 반사되며, 적외선 복사

에너지는 실내에 남게 된다. 빛을 이용한 신호전송 방식에는, 발광 소자에서 복사(radiation)된 빛이 수광소자로 직접 입사되는 방식, 즉 직접광을 이용하는 방식과 일단 벽, 천정등에 입사하여 반사, 산란을 반복한 후에 수광 소자로 입사되는 간접광을 이용하는 방식으로 나누어진다.²

직접광에 의해 전송 가능한 범위는 눈에 보이는 범위내이다. 즉 빛의 전파로가 차단되면 신호 전송이 불가능하기 때문에 그 응용범위는 제한적이다. 이에 반해 간접광에 의한 전송은 벽면 등에서의 반사, 산란을 반복하여 간접광 전파로를 경유하여 온 빛을 반송파로 사용하므로 장애물 등에 의해 빛의 전파로가 차단된 경우에도 신호의 전송이 가능하게

되어 송신장치의 이동에 대한 제약이 적은 통신이 실현된다. 그러나 지금까지 개발된 광전 소자들이 주로 광섬유 통신에 사용하기 위한 것들이어서 광전소자의 출력 등의 문제로 아직 널리 응용되고 있는 것은 아니다.

빛에 의한 원격 전송 방법이 기존의 전파를 사용하는 방식과 비교하여 갖는 잇점은 빛과 전파계는 비간섭성이므로 주위의 전자 환경의 영향을 받거나 주지 않고, 전파 관리법에 의해 송신 출력 등에 관한 규제가 없고, 비교적 쉽게 넓은 대역의 신호전송을 할 수 있다.³

본 연구에서는 폐쇄공간 내에서의 근 적외선 특성 즉 반사, 산란, 공간 분포 등에 관하여 연구한 후, 이러한 적외선의 간접광을 반송파로 이용하여 심전도 신호의 전송 실험을 하고 그 실용 가능성을 보인다.

II. 대상 및 방법

1. 근 적외선 특성

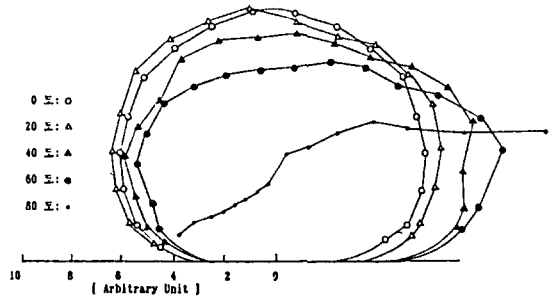
광 원격 측정 시스템을 모의한 근 적외선 송,수신 장치를 사용하여 신호광에 의한 벽면의 반사, 산란 특성의 조사 및 벽면에서의 반사율을 측정한다. 송신기는 7개의 적외 발광 다이오드를 병렬로 연결하여 500 mA의 순시 전류를 흐르게 하고 폭 2 μ s의 펄스를 단속적으로 발생시켰으며 수신기는 3개의 PIN 포토다이오드를 사용하고, 빛의 강도는 포토다이오드의 출력 전압(전류)치로 평가하였다.⁴

1.1. 근 적외선의 반사, 산란 특성

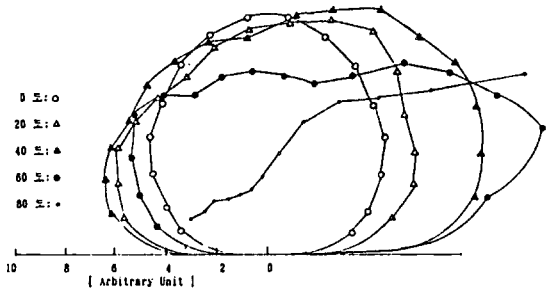
세 종류의 벽면(흰색 수성도료가 칠해진 콘크리트 벽, 흰색 흡음재로 된 벽, 노란색 철재 벽)의 반사, 산란 특성을 측정하였다. 벽면의 법선 방향에 대해 0도, 20도, 40도, 60도, 80도의 방향에서 근 적외선(파장 940nm)이 입사했을 때 각각의 경우에서 반사, 산란광의 복사광도의 방향분포를 측정하였다. (그림 1)

람버트의 법칙에 의하면 완전 확산체에 빛이 입사한 경우의 산란광의 복사광도의 방향 분포는 원이 된다.⁵ 실험의 결과 세가지 종류의 벽은 극히 작은 지향 특성을 갖지만 반사체라고 하기 보다는 거의 완전 확산체라고 생각할 수 있는 특성을 갖는

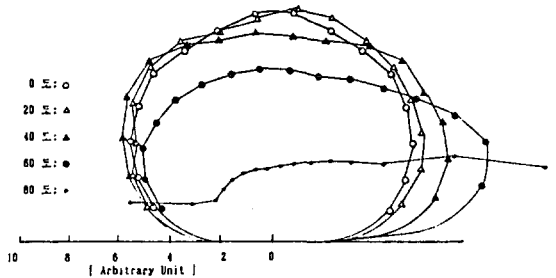
것을 알 수 있다.



a. Wall, concrete



b. Wall, steel



c. Wall, sound absorbing materials

Fig.1. Scattering & reflection characteristics of 3 kinds of walls.

1.2. 반사율 측정

앞서 말한 세 종류 벽면에 법선 방향으로 빛이 입사한 경우의 입사광속에 대한 동일 방향으로의 산란광의 반사, 조도(irradiance)의 비는 벽면의 재질에 관계없이 색깔에 따라 0.21, 또는 0.26이었다. 이 값은 벽면이 완전 확산체인 것으로 가정하여 계산하면 반사율은 각각 66%, 82%가 된다.⁶

2. 광 원격 신호 전송 시스템

근 적외선 간접광을 이용하여 3 채널 심전도 신호의 원격 전송의 가능성을 실험하기 위해 원격 신호 전송 시스템의 시작품을 제작하였다. 이 시스템의 블록도가 <그림 2>이다.

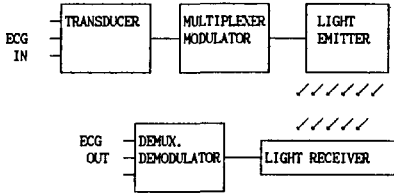


Fig. 2. Block diagram of optical telemetry.

2.1 트랜스듀서 부

전극 리드로 부터의 심전 신호는 버퍼 앰프를 경유한 후 제 1, 제 2, 제 3 유도에 대응하는 3개의 앰프로 입력된다. 각 앰프에서는 직류 성분을 차단하고, 험 잡음을 제거한 후, 다중화 변조부로 입력된다.

2.2. 다중화, 변조부

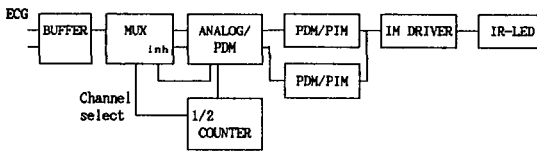


Fig. 3. Block diagram of multiplexer & modulator.

다중화 변조부의 블록도가 <그림 3>이다. 전치 증폭기의 출력 심전도 3 채널 중 2 채널과 나머지 1 채널을 각각 시분할 다중화한다. 채널 1-3의 변조 입력을 동기채널보다 짧은 지속 시간으로 하기 위해 버퍼 앰프로 입력되는 심전도 신호에 오프셋 전압을 중첩한다. 다중화된 전위에 대응하여 펄스의 폭을 변화시키는 것에 의해 펄스폭 변조(pulse duration modulation, 이하 PDM이라 함) 신호가 얻어진다. PDM 펄스열의 상승 및 하강시, 양쪽에서 단안정 발진회로를 구동하여 펄스 간격 변조 (pulse interval modulation, 이하 PIM이라 함)신호로 변환한다. 이렇게 하여 3 채널 신호의 다중화와 동시에 PIM에 의해 송광장치의 소비 전력을 작게 할 수 있다.

2.3. 송 광 부

송광부는 다중화 변조부에서 얻어진 PIM 펄스열을 발광소자의 휘도변화로 주 반송파(적외선)를 송신한다. 송광부는 적외 발광 다이오드(EL-1L1, 발광 파장 940nm) 20개 1조로 되어 있다. 송광부에는 펄스 발광시에 순간적으로 대전류가 소비되기 때문에 송신시스템의 다른 부분과 전원을 공유하지 않도록 한다.

2.4. 수 광 부

수광부의 블록도가 <그림 4>이다. 수광소자에는 포토다이오드(중심 파장 940nm, HP-3MLR2)를 6개 사용하였다. 신호광과 배경광의 파장 및 발광 주파수가 다르므로 각각 광학적 필터링 및 전기적 필터링에 의해 신호광과 배경광을 분리하였다. 형광등은 적외선보다 긴 파장측의 빛을 거의 포함하지 않는다. 따라서 광학필터(LP-900, Micro Coatings)를 사용하여 형광등의 영향을 억제한다.

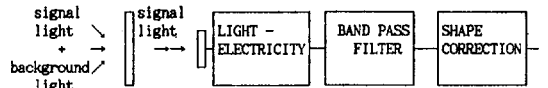


Fig. 4. Block diagram of optical receiver.

신호광 재생에 불필요한 고주파 대역에서의 잡음을 감소시키고, 넓은 파장역의 빛을 포함한 태양광의 영향, 형광등 잡음등을 제거하기 위해 대역통과 필터를 사용한다.

2.5 분리, 복조부

분리, 복조부는 다중화된 신호를 펄스의 간격과 펄스의 순서로서 채널로 분리하여 펄스 간격으로 변조된 신호를 복조 재생하는 부분이다. 분리, 복조부의 블록도가 <그림 5>이다. 수광기로 부터 얻어진

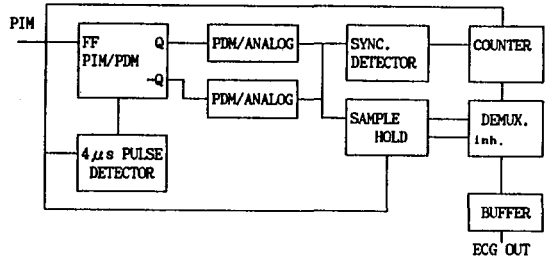


Fig. 5. Block diagram of demultiplexer & demodulator.

PIM 신호는 플립 플롭(Flip-Flop, 이하 FF라고 함) 회로에 의해 PDM 신호로 복원된다.

FF 회로의 출력을 적분하는 것에 의해 각 채널의 정보를 갖는 삼각파가 얻어지고, 이 삼각파의 파고 값을 샘플 홀드하는 것에 의해 각 채널을 시분할 다중화 신호가 얻어진다.

III. 결 과

1. 근 적외선 특성

벽면의 높은 반사율로, 송광 출력의 크기에 따라 유용한 반사 횟수는 다르지만 여러번 반사된 간접광이라도 원격 신호 전송에 이용 가능한 강도 범위에 있게 됨을 알 수 있으며, 실내라고 하는 특별한 환경, 즉 비교적 좁고, 벽, 바닥, 천정 등에 의해 둘러싸인 곳에서는 벽면의 완전 확산체의 성질로서 발광소자로 부터의 국소적인 발광도 벽 등에 의한 반사, 산란을 반복하는 것에 의해 실내 전체로 확산하여 가며, 이렇게 여러 광로를 거쳐온 간접광을 원격 전송 장치의 반송파로서 이용할 수 있다.

2. 광 원격 신호 전송 시스템

실험은 유리창이 없는 6m x 6m x 3m (높이)의 크기의 방에서 형광등이 점등된 상태에서 수행되었다. 수광기의 포토다이오드는 천정의 중앙에, 아래를 향하도록 고정하고, 송광기의 발광 다이오드는 피측정자의 어깨에 부착하여 천정을 향하게 한 후, 3채널 심전도(표준 유도)신호를 원격 측정하였다.(그림 6)

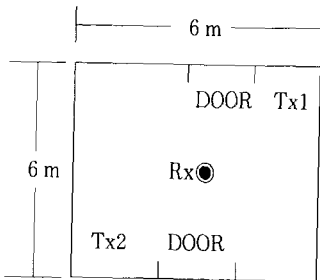


Fig. 6. Layout of transmitter(Tx) & receiver(Rx).

성인 남자의 서있는 상태에서, 유선 심전계(HP. Page Writer, 4745A)로 심전도 파형을 얻은 후, Tx1, Tx2로 이동하였을 때의 심전도를 본 시험장치

로서 측정하였다. 유선 심전계에 의해 얻어진 파형이 <그림 7>이고 Tx1, Tx2 위치에서 송신되어 얻어진 파형이 각각 <그림 8>, <그림 9>이다. 동시 측정이 아니므로 약간의 차이가 있지만 거의 동일한 심전도 파형이 얻어지는 것을 알 수 있다. 몸의 움직임을 나타내는 근전도 신호의 혼입 및 기선의 흔들림이 매우 미세하게 보이고 있지만 신호 전송 자체는 확실하게 되고 있다.

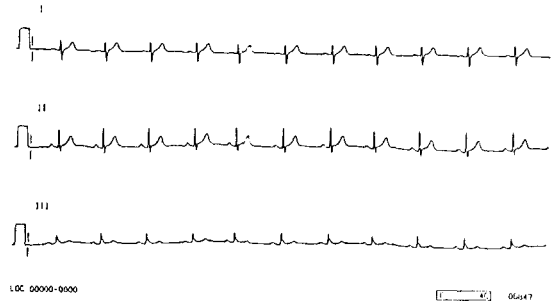


Fig. 7. 3 channel ECG signal by wired ECG.

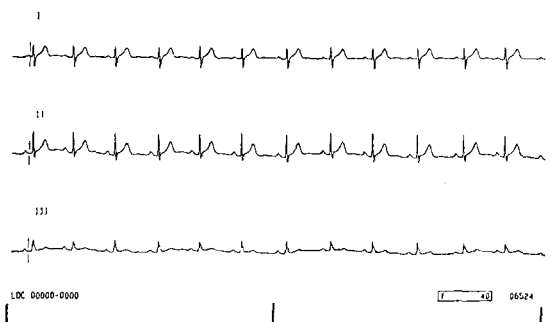


Fig. 8. 3 channel ECG signal by infra-red telemetry from transmitter 1(Tx1).

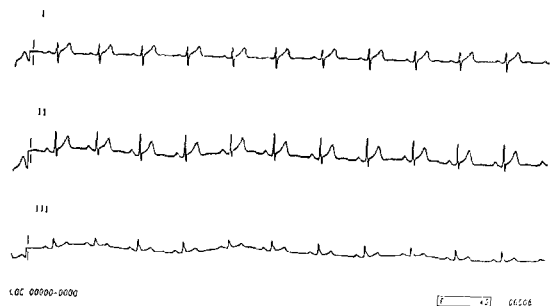


Fig. 9. 3 channel ECG signal by infra-red telemetry from transmitter 2(Tx2)

IV. 고 찰

적외선이라 함은 가시광선보다 파장이 길며 750nm 에서 1mm 정도의 범위의 파장을 갖는 전자기파를 말한다. 파장이 750nm-3 μ m의 적외선을 근적외선이라고 한다. 적외선은 파장이 길기 때문에 자외선이나 가시광선에 비하여 미립자에 의한 산란 효과가 적어서 공기중을 비교적 잘 투과한다. 광원격 신호 전송에 사용되는 빛은 파장이 750nm-1500 nm인 근 적외선이 적합하다. 340nm 이하의 자외선은 인체에 유해하며 200nm 이하의 자외선은 공기에 흡수되기 쉬우며, 이를 감지하는 반도체의 감도도 나쁘다.⁷ 가시광선은 눈에 보이므로 피측정자에게 부담을 주게된다.

간접광을 반송파로 사용하는 경우, 다중 반사되는 신호의 중첩에 의해 수광 펄스간에 간섭이 일어날 것으로 생각이 되나 다음의 예에서 알 수 있듯이 반송파의 펄스 주파수가 보통 수 KHz 정도이므로 펄스간의 간섭은 전혀 없다고 생각해도 된다.

1) 예를들어 10m 떨어져 마주보는 반사율 0.8인 벽면 사이를 빛이 왕복하는 경우에 발생하는 광 펄스간의 간섭을 생각할 때, 고차의 반사광 강도는 벽면에서의 반사에 따라 등비 급수적으로 감쇠하여 광도가 1/100로 되는데 0.7 μ s 밖에 걸리지 않는다.

2) 10m x 10m 크기의 방에서 직접광과 간접광이 수광 소자에 입사할 때 그 빛의 진행 거리의 차이는 30m 정도이다.⁸ 따라서 광 펄스간의 영향을 없애려면 수신 신호의 주기는 100ns 이상이 되어야 하며 이것은 최대 동작 주파수가 10MHz이하로 되어야 함을 의미한다.

본 연구에서는 근 적외선의 폐쇄공간 내에서의 특성에 관하여 연구하고, 이러한 적외선의 간접광을 반송파로 이용하여, 생체 신호의 전송을 구현하기 위한 광 원격 신호 전송 시스템을 시험 제작하고, 실험하였다. 실험 결과, 몸의 움직임을 나타내는 근전도 신호의 혼입 및 기선의 흔들림이 매우 미세하게 보이고 있지만 신호 전송 자체는 확실하게 되고

있다. 본 시스템의 사용 실험을 통해 본 기법의 실용성을 확인하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실내에서 산란광 신호 강도는 텔리메트리에 충분히 응용 가능한 강도 범위이고 이러한 간접광을 반송파로 사용하여 3 채널 심전도 신호의 원격 전송이 가능하다.
- 2) 광학적, 전기적 필터링으로 태양광, 형광등이 존재하여도 빛에 의한 텔리메트리가 가능하다.
- 3) 반사율이 낮은 재질이 많이 사용된 실내에서는 직접광을 이용한 방식을 고려해야 한다.

본 연구 결과에 따른 앞으로의 광 원격 신호 전송 시스템 연구를 효과적으로 추진하기 위해 해결해야 할 문제는, 송광 거리 및 범위의 확대, 다중통신의 실현, 소모 전력의 극소화 등이 있다.

참 고 문 헌

1. Watanabe S : New Telemetry System for Medical Use. Masui 1989 ; 38(7) : 954-959.
2. Kudo N, Shimizu K, Matsumoto G : Fundamental study on transcutaneous biotelemetry using diffused light. Frontiers Med. Biol. Eng. 1988 ; 1 (1) : 19-28.
3. Shimizu K : Optical Biotelemetry. BME 1988 ; 2 (2) : 64-67.
4. 허수진, 정찬수 : 생체 신호의 무구속 측정을 위한 근 적외선 특성 연구. 대한 의공학회지 1992 ; 13 (2) : 141-145.
5. Jurgen R. Meyer-Arendt : Introduction to Classical and Modern Optics. Prentice-Hall, Inc., 1989 ; 367-379.
6. Miles V. Klein, Thomas E. Furtak : Optics. John Wiley & Sons, Inc., 1986 ; 203-222.
7. Takahashi M, Pollak V : Near Infra-red telemetry system. Med. & Biol. Eng. & Comput. 1985 ; 23 : 387-392.
8. Webster J G : Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. John Wiley & Sons, Inc., 1988 ; 409-422.