

광변조를 이용한 다채널 무선 통신에 관한 연구

조 성 민* , 이 혁*
서울대학교 전기공학과*

Multi-channel wireless communication using light modulation

Sungmin Cho, Hyuk Lee
Dep. of Electrical Eng. , Seoul Nat'l Univ.

Abstract

Wireless communication has become a hot issue for its simplicity. Using light wave instead of micro wave has many advantages. It is simple to design a circuit because we can make a circuit with discrete components such as photo diode, photo detector, OP Amp[2]. And we can have many communication channels for we can use every frequency domain.

In this paper, we design the wireless communication system and analyze the pulse signal. Then using ray tracing technology we simulate the distribution of light beam.

1. 서론

무선통신(wireless communication)은 선이 필요 없는 간편함 때문에 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 무선 통신 연구의 대부분은 마이크로 파(micro wave)를 중심으로 이루어지고 있다.

마이크로 파를 이용한 시스템은 개별 소자로 구성할 수가 없고 회로를 설계하기가 어려우며 사용할 수 있는 주파수 대역이 좁아서 많은 채널을 얻는 것이 힘들다. 마이크로 파는 지향성이 없기 때문에 쉽게 도청 당할 수가 있어서 보안이 요구되는 경우 신호를 암호화 시켜야 한다. [3,4]

빛을 이용한 무선 통신 시스템은 위에서 본 마이크로 파를 이용한 무선 통신 시스템의 단점을 극복할 수 있다. 빛을 이용한 통신 시스템은 송수신 장치로 다이오드나 레이저 다이오드, 광 센서 등을 사용하기 때문에 개별 소자로 회로 구성이 가능하다. 회로가 처리할 수 있는 범위 안에서 변조 주파수를 마음대로 정할 수 있으므로 얼마든지 채널의 수를 증가시킬 수 있다.

변조 주파수는 보통 수십에서 수백 키로 헤르쯔(Herz) 정도로 수 기가 헤르쯔의 주파수 대역을 이용하는 마이크로 파에 비해서 작으므로 쉽게 회로를 설계할 수 있다. 또 빛은 지향성이 있어서 송신기를 수신기가 있는 방향에 두어야만 정보를 얻을 수 있기 때문에 정보가 누설될 염려가 없다.

그러나 빛은 장애물을 통과할 수 없고 공간을 통과하므로 쉽게 에너지가 감소한다. 또 지향성이 있기 때문에 센서를 광원이 있는 방향에 정확히 맞추지 않으면 정보를 읽어 내기가 거의 불가능하다. 그러므로 빛을 이용한 무선 통신은 많은 채널을 이용한 대용량, 단거리 통신에 적합한 특성을 가지고 있다.

본 논문은 빛의 이러한 특징을 중심으로 빛을 이용한 무선통신 시스템을 설계하고 분석해 보았다. 송 수신 시스템을 개별 소자를 이용해서 구성하고 송수신 신호가 어떠한 형태가 되어야 하는지를 분석했다.

레이 트레이싱을 이용해서 다이오드에서 발생된 빛이 공간 안에 어떻게 분포하는지 시뮬레이션 해보았다.

2. 본론

2.1 송,수신 시스템

빛을 이용한 통신 시스템은 송신 모듈과 수신 모듈로 구성되어 있다. 송신 모듈은 모듈레이션 신호와 데이터 신호를 곱한 다음 LED를 구동하는 회로로 이루어져 있다(그림1).

수신 모듈은 포토 다이오드(photo diode)를 이용해 전 송된 신호를 받은 다음 노이즈를 제거하고 신호를 증폭해서 구형파를 만들어 주는 회로로 이루어져 있다(그림 2).

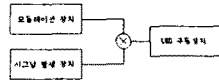


그림1. 송신 모듈



그림 2. 수신 모듈

2.2 송신 시그널의 분석

송신 모듈에서 LED에 모듈레이션 해주는 펄스 트레인은 수신 모듈의 밴드패스필터가 가장 잘 신호를 구분할 수 있는 형태로 이루어 져야 한다. 펄스 트레인의 모양은 다음과 같다.

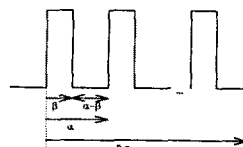


그림 3. 펄스 트레인

펄스 하나의 주파수 특성은 다음과 같이 구형파를 푸리에 트랜스포하면 얻어진다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} 1 \cdot e^{-j\omega t} dt = \int_{n\alpha}^{n\alpha+\beta} 1 \cdot e^{-j\omega t} dt = \frac{2}{\omega} \sin\left(\frac{\omega\beta}{2}\right) e^{-j\frac{\omega\beta}{2}} e^{-j\omega n\alpha}$$

펄스 트레인은 이 펄스들이 n 개 합쳐진 것이므로 펄스 트레인의 주파수 특성은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathfrak{F} &= \int_0^{\beta} 1 \cdot e^{-j\omega t} dt + \int_{\alpha}^{\alpha+\beta} 1 \cdot e^{-j\omega t} dt + \dots + \int_{(n-1)\alpha}^{(n-1)\alpha+\beta} 1 \cdot e^{-j\omega t} dt \\ &= \frac{2}{\omega} \sin\left(\frac{\omega\beta}{2}\right) e^{-j\frac{\omega\beta}{2}} \sum_{n=0}^{n-1} e^{-j\omega n\alpha} \\ &= \beta \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega\beta}{2}\right) \frac{\sin\left(\frac{\omega\alpha n}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega\alpha}{2}\right)} e^{-j\frac{\omega\beta}{2}} e^{-j\frac{\omega\alpha(n-1)}{2}} \end{aligned}$$

이 식에서 $1/\alpha$ 은 모듈레이션 주파수이고 $1/(n\alpha)$ 는 시그널 주파수가 된다.

모듈레이션 주파수를 10kHz로 하고 시그널 주파수를 500Hz, 듀티비(duty ratio, β/α)를 각각 0.1 과 0.5로 해서 주파수 분포를 보면 다음과 같다.

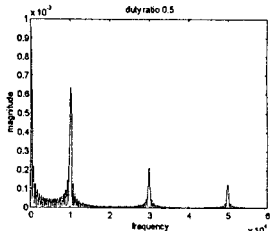


그림 3. 듀티비가 0.5 인 경우 시그널의 주파수 분포

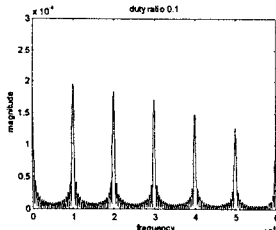


그림 4. 듀티비가 0.1 인 경우 시그널의 주파수 분포

여기에서 보는 것처럼 듀티비가 0.5 일때 기본 주파수 ($1/\alpha$) 의 짝수 배 주파수 성분이 나타나지 않는다. 이 결과는 다음과 같이 이해할 수 있다. β/α 가 0.5 일때 다시 계산해 보면 다음과 같다.

$$\mathfrak{F} = \frac{1}{\omega} \frac{\sin \frac{\omega\alpha n}{2}}{\cos \frac{\omega\alpha}{4}} e^{-j\frac{\omega\alpha}{4}} e^{-j\frac{\omega\alpha(n-1)}{2}}$$

이제 이 식에서 분모의 $\omega\alpha/4$ 가 $\pi/2$ 의 홀수배일 때와 짝수배일 때의 결과를 크기 성분만 보면 다음과 같다.

1. $\omega\alpha/4$ 가 $\pi/2$ 의 홀수 배일 경우

$$\lim_{\frac{\omega\alpha}{4} \rightarrow \frac{\pi}{2}(2n-1)} \frac{1}{\omega} \frac{\sin \frac{\omega\alpha n}{2}}{\cos \frac{\omega\alpha}{4}} = \lim_{\frac{\omega\alpha}{4} \rightarrow \frac{\pi}{2}(2n-1)} \frac{1}{\omega} \frac{\cos \frac{\omega\alpha n}{2}}{\sin \frac{\omega\alpha}{4}} 2n = \frac{2n}{\omega}$$

2. $\omega\alpha/4$ 가 $\pi/2$ 의 짝수 배일 경우

$$\lim_{\frac{\omega\alpha}{4} \rightarrow \frac{\pi}{2}(2n)} \frac{\sin \frac{\omega\alpha n}{2}}{\cos \frac{\omega\alpha}{4}} = 0$$

여기에서 보는 것처럼 $\frac{2\pi f}{f_0} \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2} m$ 에서 m 이 짝수일

때 결과는 0 이 된다.

송신 모듈에서 보내는 시그널의 β/α 값이 0.5 일때 수신 모듈이 가장 효율적으로 변조된 신호를 구분해 낼 수 있음을 알 수 있다.

3. 레이 트레이싱

광원에서 방출되는 빛이 공간 중에 어떠한 형태로 분포되는지 컴퓨터를 이용해서 시뮬레이션해 볼 수 있다. 이것은 여러 가지 방법으로 구현될 수 있는데 본 논문에는 레이 트레이싱 방법을 사용했다. 본 논문에서 사용한 레이 트레이싱법은 가상광원법과 면적비례법을 이용한 알고리즘을 사용했다.

3.1 가상광원법

소스에서 발사된 빛은 벽에 부딪히면 입사각과 같은 각도로 반사된다. 반사된 빛의 양은 벽의 반사율을 η 라고 했을 때 $(1 - \eta)$ 에 비례해서 광량이 줄어들게 된다. 이것은 소스에서 발사된 빛의 크기를 σ 라 하면 벽 뒤에 $(1 - \eta) \cdot \sigma$ 의 크기의 가상소스가 있고 이 소스에서 빛이 반사된 방향으로 빛을 발사했다고 가정해도 된다. 가상소스의 위치는 빛이 어느 벽에 부딪혔는가에 따라서 달라지게 된다.

다음 그림처럼 하나의 방을 모델링 한다.

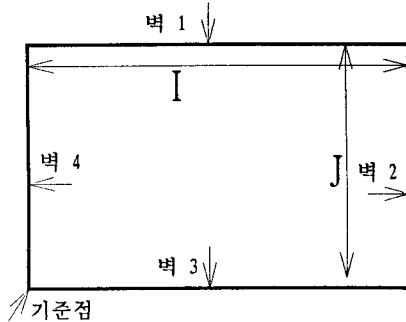


그림 5. 벽의 모델링

빛이 벽 1에서 반사되는 경우 가상광원의 위치와 크기는 다음과 같이 계산된다.

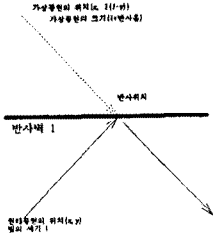


그림 6. 벽에서 반사된 뒤의 가상 소스 위치 계산

같은 방법으로 빛이 벽 2, 3, 4에 부딪혀 반사될 때의 가상 광원의 위치를 구할 수 있다. 벽에 부딪히기 전의 가상 광원의 위치는 x, y , 벽의 크기는 I, J 라고 하자.

- 벽 1 : $(x, 2*(J - y))$
- 벽 2 : $(2*(I - x), y)$
- 벽 3 : $(x, -y)$
- 벽 4 : $(-x, y)$

한번 벽에 부딪힌 다음에 빛의 세기는 $1/(\text{벽의 반사율})$ 만큼 작아진다.

3.2 면적 비례법

빛은 공간 중을 진행하므로 진행한 거리의 제곱에 반 비례해서 빛의 세기가 감소한다. [1] 광원에서 발사된 빛이 공간 중에 어떻게 분포하는지는 알기 위해서 실제로 빛을 따라 다니면서 값을 계산해 주어야 한다. 그러기 위해서 우선 공간에 분포하는 빛의 세기를 기록하는 2차원 배열을 만든다. 광원에서 빛 1과 빛 2를 발사했을 때 이 두 빛 사이에 위치하는 2차원 배열의 셀들에 빛의 세기를 계산하고 그 결과를 넣는다.

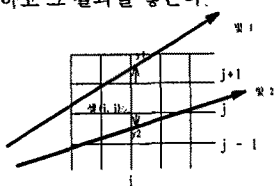


그림 7. 면적 비례법을 적용하기 위하여

위의 그림과 같이 빛이 i 번째 열을 지날 때 각각 y_1, y_2 값을 갖는다고 하자. 이 경우처럼 하나의 빛이 진행하면서 하나의 셀을 온전히 채우지 못했을 때 채운 셀의 길이에 비례해서 값을 채워 넣는 것이다. 위의 그림에서는 셀 $(i, j-1)$ 과 셀 $(i, j+1)$ 에는 각각 $(y_1 - (j+1))/(y_1 - y_2), (j - 2)/(y_1 - y_2)$ 에 비례해서 값을 넣어 준다. 셀 (i, j) 는 $1/(y_1 - y_2)$ 값이 들어간다. 위의 그림은 은 빛의 진행을 위해서 분할면도이므로 실제로 하나의 셀에 빛이 통과한 면적에 비례한 만큼의 값을 넣어 주게 되는 것이다.

이렇게 셀을 통과하는 빛의 양에 비례해서 해당하는 셀에 값을 넣어 주는 것이 면적비례법이다. 이 두 가지 방법을 이용해서 레이 트레이싱을 구현하게 된다. 우선 소스에서 빛을 발사한 다음 빛이 벽에 부딪힐 때까지 진행한다. 그 다음 가상 변위법을 이용해서 충돌 뒤의 빛의 진행 방향, 충돌한 벽과 그 위치, 가상 소스의 크기와 위치를 기록한다. 이러한 방법으로 빛의 양이 미리 정해준 기준 값보다 작아질 때까지 빛의 경로를 추적한다. 그런 다음 추적한 빛을 따라서 면적비례법을 이용해서 빛의 양을 각각에 해당하는 셀에 기록하게 된다. 가상 소스의 위치가 (x, y) 이고 셀의 위치가 (i, j) 일 때 기록되는 값은 다음과 같다.

$$\frac{A}{(\sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2} + 1)^2} \text{ factor}$$

여기에서 A 는 가상 소스의 크기이다. 다이오드는 그림에서 보는 것처럼 지향각에 따라서 빛의 강도가 달라진다. 이것을 모델링 하기 위해서 빛을 수십 개의 각도로 나누고 그 각도에 해당하는 빛의 양을 초기값으로 해서 레이 트레이싱을 하게 된다. factor는 이 지향각에 따라서 몇 번 레이 트레이싱을 했는지 그 갯수를 의미한다.

가상 소스법과 면적비례법을 이용해서 지향 각도가 120도인 다이오드와 44도인 다이오드를 3 방향으로 쏜 결과는 다음과 같다. 시뮬레이션한 방의 크기는 가로 세로 5m 이고 벽의 반사율은 1로 했다. 다이오드는 방의 중간에 위치한다.

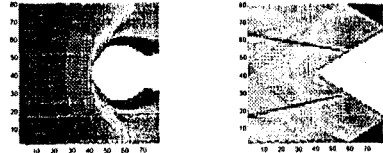


그림 8. 지향각 120도인 다이오드 3 개를 발사한 경우
그림 9. 지향각 44도인 다이오드를 3개 발사한 경우

이 그림에서 보듯이 지향각이 큰 다이오드를 사용하면 공간에 비교적 균등하게 빛이 분포됨을 볼 수 있다.

3. 결론

이 무선통신 시스템은 여러 가지로 응용될 수 있겠다. 특히 휴대용 컴퓨터와 PC간의 데이터 교환에 가장 적절하게 쓰일 수 있다. 휴대용 컴퓨터와 데스크탑 컴퓨터와의 데이터 교환은 주로 RS-232 케이블을 이용하고 있다. 그런데 RS-232 케이블을 이용한 통신은 통신 속도가 제한되고 데이터 송수신 채널이 한 개 뿐이고 케이블을 연결해야 하는 번거로움이 있다.

이에 비해서 무선통신 시스템은 복잡한 케이블을 연결할 필요 없이 간단하게 컴퓨터간에 데이터 송수신을 할 수 있다. 또 수십 개의 채널을 이용할 수 있어서 대용량의 데이터를 쉽게 송수신 할 수 있다.

이 시스템에서 밴드패스필터의 역할은 거의 절대적이다. 그러므로 고주파에도 높은 게인을 갖는 OP앰프를 이용해서 더 효율적인 밴드 패스 필터를 만든다면 더 많은 채널과 더 빠른 전송 속도를 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Frank L. Pedrotti, S.J. and Leno S. Pedrotti, Introduction to Optics 2nd Ed. (Prentice Hall, New Jersey 07632, 1993)
- [2] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits 4th ed. (Prentice Hall International, 1991)
- [3] Simon Haykin, Communication Systems 3rd ed. (John and Wiley & Sons, 1994)
- [4] Thomas A. Adamson, Electronic Communications 2nd ed. (Delmar Publishers Inc., 1992)