
VLC의 통신거리 확대를 위한 수신측 노이즈 Filter 설계 및 구현

홍승범* · 이규호*

*인제대학교

Design and Implementation of Rx Noise Filters for Expanding VLC Distance

Seung-beom Hong* · Kyou-ho Lee*

*Inje University

E-mail : xere2001@naver.com

요 약

가시광통신(VLC: Visual Light Communication) 시스템은 조명에 통신을 융합하는 개념으로, 조명기능의 깜박임을 최소화(Flickerless)하고 통신기능의 데이터 송수신 거리를 최대화하는 것이 핵심 설계 목표가 된다. 본 논문에서는 VLC 통신시스템의 수신된 신호에 포함된 노이즈를 감쇠시킴으로써 수신측에서 보낸 신호를 정확히 검출할 수 있는 방법을 제안하고 그 구현 결과를 제시하였다. 본 연구의 1,2차 구현을 통하여, 수신측에 설계한 특정주파수 대역의 LPF와 HPF를 단계별로 삽입함으로써 송신 데이터의 인식률이 높아졌고, 이러한 인식률 증대를 통하여 광도가 미약한 보다 먼 거리에서 데이터 수신이 가능함을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

A Visual Light Communication(VLC) system is a concept of converging illumination with communication. Design of the VLC system aims mainly at minimizing flicker for the illumination and maximizing transmission distance for the communication. This paper proposes an effective detection scheme of the transmitted signal by attenuating noises which may be included in the signal, and then presents implementation results. Inserting designated low and high pass filters in first and second implementations, the receiver became to improve the perception rate of transmitted signals. This verified a relatively higher possibility of receiving data in a dim light, so that the communication distance can be expanded in the visual light communication system.

키워드

VLC, LED, 노이즈 필터, 노이즈 감쇠, VLC 통신거리

I. 서 론

VLC 즉 가시광통신은 현재 조명산업에서 새로운 시장을 형성하게 된 LED조명을 기반으로 하여 LED 빛을 통신의 전송 매개체로 하여 데이터를 송/수신하는 통신기술을 말한다.

이러한 VLC는 많은 장점을 가진 새로운 형태 무선통신 기술임에도 불구하고 빛은 전송 매개체로서 사용한다는 점에서 일부 한계점을 나타낸다. 특히 빛의 LOS(Line Of Sight) 특성상 일반적인 무선통신과는 달리 송수신 거리의 제한이 따른다.

통신 거리를 확대할 수 있는 방법으로 신호의 변복조, 송신 LED광원의 출력광도, LED광원의 빔패턴 및 조사각의 집중도 등이 연구되어 왔다 [1][2][3]. 이와 더불어 수신된 신호에서 노이즈 감쇠를 통한 송신신호의 인식도 증대 기술도 필요 연구요소이다. VLC 수신부에 사용되는 광소자의 특성에 따라 낮 시간대의 실외 및 실내, 일몰 전후의 저녁과 같은 환경에서 송신용 LED조명을 사용할 경우 통신용 조명 이외의 기타 일반 외부 조명 및 태양광선에 의한 노이즈 및 간섭현상에 쉽게 영향을 받는 점도 간과할 수 없는 부분이다.

실제 많은 국/내외 VLC의 개발연구 내용을 보게 되면 상기와 같은 한계점으로 인해 대부분이 외부광원 간섭이 배제된 환경 내에서의 근거리 통신 테스트를 진행한 것을 확인할 수 있다[4].

따라서 본 논문에서는 VLC 수신측에 아날로그 필터를 단계적으로 적용하여, 전송 신호상의 불필요한 노이즈를 감쇠시켜 상대적으로 송신 광도가 미약한 먼 거리에서도 데이터 수신에 가능한 방법과 그 구현결과를 제시한다.

II. VLC 시스템

VLC시스템은 LED조명에 의한 송신부와 수광소자(PD: Photo Diode)를 중심으로 하는 수신부로 구분된다. 그림2.1은 일반적인 VLC시스템의 기능구성도이다.

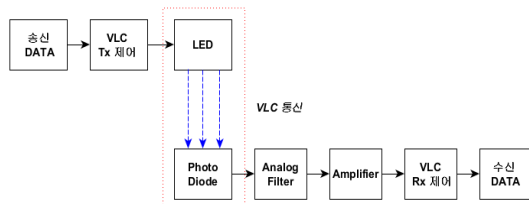


그림 2.1 VLC시스템의 기능구성도

그림 2.1에서 보듯이, VLC시스템의 송신부는 빛을 발하는 LED조명과 송신할 데이터를 LED 조명에 적용하기 위한 VLC송신제어부로 구성되어 있다. 수신부는 전송된 빛을 감지하는 PD와 감지된 미세한 신호를 증폭하는 증폭부, 불필요한 노이즈를 감쇠시켜 송신된 신호만 추출하는 노이즈 필터, 추출된 신호로부터 원 데이터를 복원하는 VLC수신제어부 등이 포함된다.

이러한 VLC시스템이 효과적으로 실현되기 위해서는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다. 조명 및 송신 역할을 하는 LED의 선택에 있어서는 LED의 색상, 시야각, 주파장, 광도 등이 고려되어야 하며, LED 구동을 위해서 고속 On/Off 스위칭 소자, 신호왜곡 및 Delay를 최소화 할 수 있는 소자 등이 고려되어야 한다. 수신측은 PD의 수신감도, 광전류의 전압으로의 전환, DC offset의 최소화, 낮은 delay time, 충분한 BW(Band width) 제공가능한 증폭기, 효과적인 노이즈 필터 설계, GBWP(Gain-bandwidth product), 낮은 delay time 소자 등이 고려되어야 한다[5][6].

III. 수신부 설계

수신부 설계에서 가시광으로 통신할 수 있는 최대 거리를 실현하기 위해서는 광 신호 감지, 광에 포함된 통신 신호의 구분, 감지된 신호로부터 원 신호의 복원 등이 요구된다. 이를 위한 수신부의 세부기능은 그림 3.1과 같이 구성하였다.

수신부 PD의 미세한 광전류를 일정레벨 전압으

로 전환하여 증폭하기 위한 Preamp(전치 증폭기)는 그림 3.2와 같은 일반적인 TIA(Transimpedance Amplifier) 방식을 사용하는 것으로 한다.



그림 3.1 수신부의 세부 기능 구조

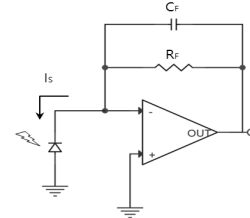


그림 3.2 Photodiode TIA

여기서 노이즈에 최적화된 Preamp 모델설계를 위해서는, 그림 3.2의 PD를 전류원과 등가저항 R_D , 등가커패시턴스 C_D 를 병렬로 구성한 등가회로를 통한 검토가 필요하다. 이때 OP Amp의 입력 커패시턴스는 전체 시스템에서 미미한 수준으로 등가커패시턴스 C_D 에 포함될 수 있다. 이러한 등가회로에서 노이즈에 대한 시스템 안정성을 결정짓는 Noise Gain (A_{CL} : 비반전 폐쇄 루프이득)은 수식 3.1의 전달 함수를 통해 결정된다[7].

$$A_{CL}(f) = \frac{R_F + R_D}{R_D} \times \frac{1 + j2\pi f \left(\frac{R_F R_D}{R_F + R_D} \right) (C_F + C_D)}{1 + j2\pi f R_F C_F} \quad (3.1)$$

$$A_{CL}(f) = \frac{R_F + R_D}{R_D} \times \frac{1 + j \frac{f}{f_Z}}{1 + j \frac{f}{f_P}} \quad (3.2)$$

수식 3.2의 극주파수 f_p 는 transimpedance함수의 피드백 네트워크에 의해 설정되고 제로주파수 f_z 는 PD 커패시턴스와 피드백의 합, 그리고 PD저항과 피드백의 병렬조합으로 설정된다.

그림 3.3은 Op Amp Open Loop Gain과 수식 3.2에서 나타나는 f_p , f_z 와의 관계를 나타낸 것이다.

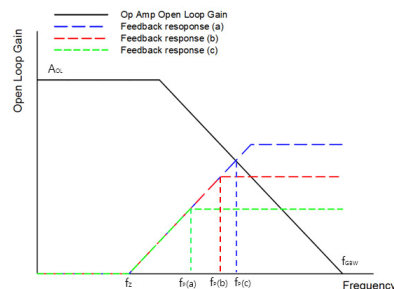


그림 3.3 Op Amp Open Loop Gain vs. 피드백 응답 특성

여기에서 Op Amp Open Loop Gain과 f_p 가 서로 교차하는 주파수에 적합한 PD 및 회로소자를 선택하는 것이 최적 노이즈에 안정된 TIA Preamp를 결정하는 요소가 된다[7]. 노이즈를 감소시키기 위해서 설계된 특정 주파수만 여파하는 Sallenkey형의 Butterworth 특성 LPF와 HPF는 그림 3.4와 같다[6].

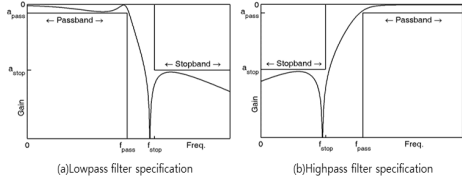


그림 3.4 필터 특성

그림 3.5는 RC 1차 필터와 2차 필터가 결합된 형태이다. 1차 필터설계는 수식 3.3과 수식 3.4를 이용하고, 2차 필터는 표3.1 수식을 이용하여 결정한다. 이 중 Q팩터와 각 차수별 -3dB 컷오프 주파수 f_{c1} 은 Butterworth LPF의 정규화표를 이용한다[8]. 이를 이용하여 각 차수별 R, C값을 라운딩하여 가계산한 후 재계산을 통해 최종값을 결정한다(표3.2).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.3) \quad |Z_{IN}| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.4)$$

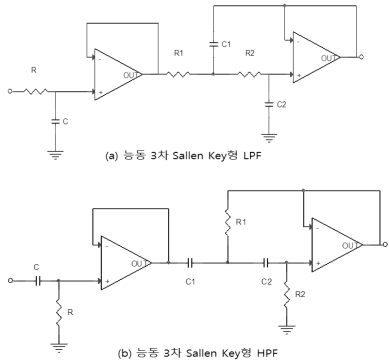


그림 3.5 능동형 3차 Sallen key Filter

표 3.1 Butterworth LPF의 정규

Order	f_1	f_n	Q_1	Q_n
2차	f_1	1.0	Q_1	0.707107
	f_2	1.0	Q_2	0.5
3차	f_1	1.0	Q_1	1.000000
	f_2	1.0	Q_2	0.541196
4차	f_1	1.0	Q_1	1.306563
	f_2	1.0	Q_2	0.707107

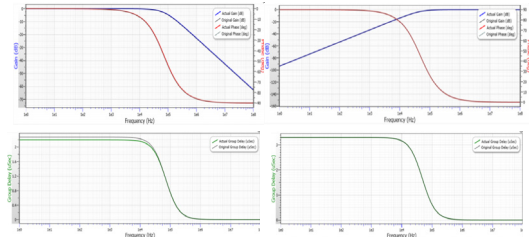
IV. 구현 및 시험 결과

4.1 테스트 수신부 구현

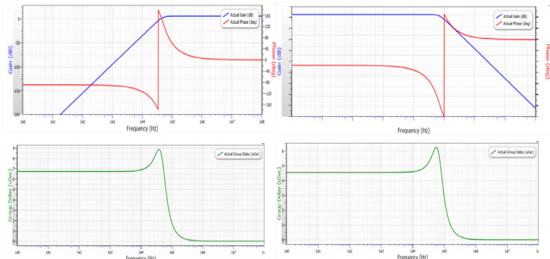
3장의 설계결과에 기반하여 PD Array와 Preamp, 그리고 송신 설계 주파수 62.5 KHz를 여파하는 70KHz LPF, 50KHz HPF 필터를 구현하였다. 필터의 구성 및 특성에서 그림 4.1은 1차수 필터, 그림 4.2는 3차수 필터이다.

표3.2 Sallenkey형 필터 상수 설계식

LPF 상수 설계	HPF 상수 설계
$f_{c_n} = f_n \times f_o$ (설계주파수)	$f_{c_n} = \frac{1}{f_n} \times f_o$ (설계주파수)
$R_f = R_1 = R_2$	$C_f = C_1 = C_2$
$C_f = \frac{1}{2\pi f_{c_n} R_f}$	$R_f = \frac{1}{2\pi f_{c_n} C_f}$
$C_1 = 2QC_f$	$R_1 = \frac{R_f}{2Q}$
$C_2 = \frac{C_f}{2Q}$	$R_2 = 2QR_f$



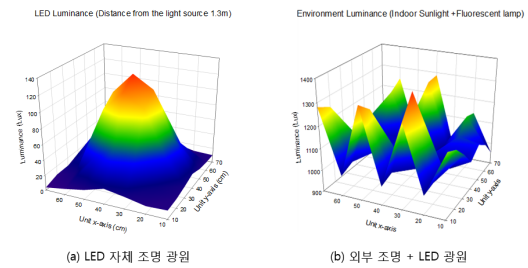
(a) Low Pass Filter (b) High Pass Filter
그림 4.1 Realpole 1차수 필터



(a) Low Pass Filter (b) High Pass Filter
그림 4.2 Sallenkey 3차수 필터

4.2 테스트 결과

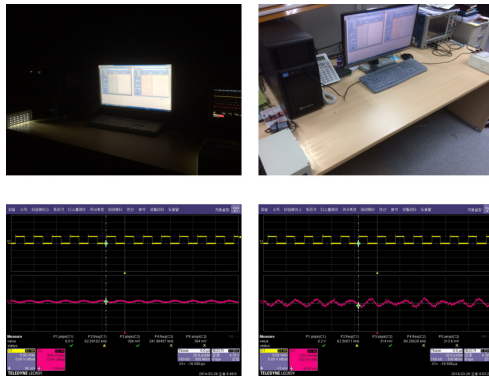
테스트 환경으로 암실 내 LED 자체 조명광과 외부 노이즈 유입 환경 (오후 1시 1m²당 평균 400Lux의 형광조명이 있는 실내)을 대상으로 송신부와 수신부간 1.3m의 거리에서 실시하였다. 각 환경별 수신부 광량은 그림 4.3과 같고, 각 환경별 Preamp 출력단의 신호는 4.4과 같다.



(a) LED 자체 조명 광원 (b) 외부 조명 + LED 광원
그림 4.3 테스트 환경별 수신부 광량

그림 4.3 및 4.4의 (b)외부 조명 환경 조건의 경우, 노이즈의 침투 및 광량변동으로 인한 오실로스코프 수신 왜곡(적색과형)이 발생함을 볼 수 있

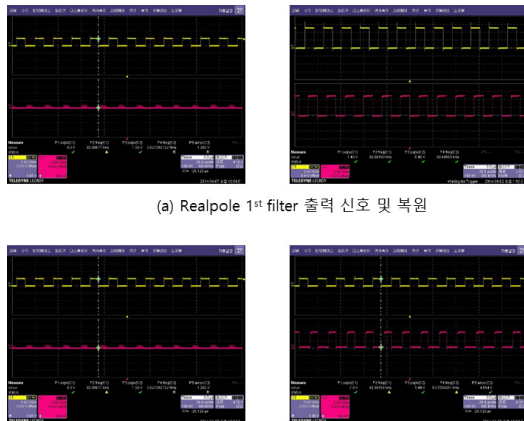
다. 설계된 필터의 성능 검토를 위한 대조군으로 외부조명+LED 광원 환경에서의 Realpole 1차수 필터와 Sallenkey 3차수 필터를 비교,시행하였다.



(a) 암실에서의 Preamp 수신신호 (b) 외부조명환경의 Preamp 수신신호

그림 4.4 환경별 Preamp 수신신호

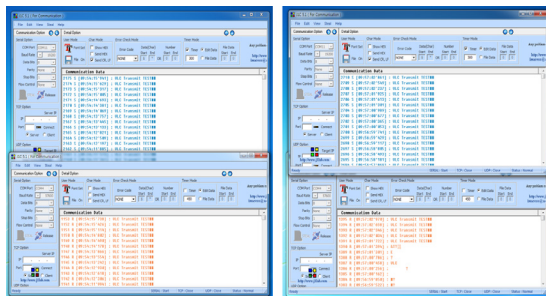
그림 4.5는 수신부에서 Realpole필터를 통과한 경우와 Sallenkey 필터를 통과한 경우의 신호를 오실로스코프를 통해 확인한 결과이다. 오실로스코프상 복원신호의 경우 1차수 필터대비 3차수 필터의 Oscillations이 적음을 확인할 수 있다. 이는 그림 4.6에 보인 바와 같이 복원 수신된 데이터의 정확도 및 에러발생 측면에서 차이를 나타낸다.



(a) Realpole 1st filter 출력 신호 및 복원

(b) Sallenkey 3rd filter 출력 신호 및 복원

그림 4.5 필터별 수신과형 및 복원 신호



(a) Sallenkey 3rd Filter 수신부 (b) Realpole 1st Filter 수신부

그림 4.6 필터별 최종 Data 전송 결과

V. 결 론

본 논문에서는 VLC 통신시스템에서 수신측에 포함된 노이즈를 감쇠시킴으로써 송신측에서 보낸 신호를 보다 정확히 찾아 낼 수 있는 방법을 제안하고 그 구현 결과를 제시하였다. 본 연구의 1,2차 구현을 통하여, 설계한 특정주파수 대역의 LPF와 HPF를 수신측에 단계별로 삽입함으로써 송신 데이터의 인식률이 높아졌고, 이러한 인식률 증대를 통하여 광도가 미약한 보다 먼 거리에서 데이터 수신이 가능함을 확인할 수 있었다.

이와 더불어 TIA의 정교한 설계와 이에 적절한 회로소자를 통해 노이즈 안정성이 향상된 Preamp와 외부 환경의 조명 및 노이즈에 따른 신호 왜곡을 감쇠시키는 고차수의 필터를 결합하여 정확한 데이터 수신을 할 수 있다는 결론을 얻었다.

참고문헌

- [1] Jia-yuan Wang, Nian-yu Zou, Dong Wang, Kentaro Irie, Zensei Iha, Yoshinori Namihira, "Experimental study on visible light communication based on LED," The Journal of China Universities, 19(Suppl.2), pp.197- 200, October 2012
- [2] Lourenço, Nuno Rafael Mendonça, "Communication systems using visible light: emitter/receiver," Universidade de Aveiro, pp.14-18, 2009
- [3] Y. Pei, S. Zhu, H. Yang, L. Zhao, X. Yi, J. Junxi Wang and J. Li, "LED Modulation Characteristics in a Visible-Light Communication System," Optics and Photonics Journal, Vol. 3 No. 2B, pp.139-142, 2013
- [4] 정성윤, "LED기반 가시광통신 기술동향," 전기의 세계, The proceedings of KIEE, v.60 no.6, pp.25-32, 2011
- [5] 川田章弘, "체비쇼프형 로우패스필터 설계," 「트랜지스타技術」誌(2008年7月號)/월간전자기술 2009.04, CQ出版社 著作権協定 提供, pp.48-54, 2009
- [6] 川田章弘, "버터워스형 하이패스필터 설계," 「트랜지스타技術」誌(2008年7月號)/월간전자기술 2009.04, CQ出版社 著作権協定 提供, pp.55-64, 2009
- [7] Baker and Bonnie, "Photo-sensing circuits: The eyes of the electronic world are watching," EDN, Aug 7, pp.24, 2008
- [8] Les Thede, "Practical Analog and Digital Filter Design," Artech House, pp.3-7, 95-105, 2004