



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0091528
(43) 공개일자 2018년08월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/116 (2013.01) H04B 10/516 (2013.01)
(52) CPC특허분류
H04B 10/116 (2013.01)
H04B 10/5161 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0016831
(22) 출원일자 2017년02월07일
심사청구일자 2017년02월07일
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김훈
인천광역시 연수구 송도문화로28번길 28, 106동
1203호 (송도동, 송도글로벌캠퍼스푸르지오)
던 이르판
우즈베키스탄, 타슈켄트시, 미르조 울르베크지구,
자이틸라르길 9, 타슈켄트 인하대학교
(74) 대리인
특허법인충정

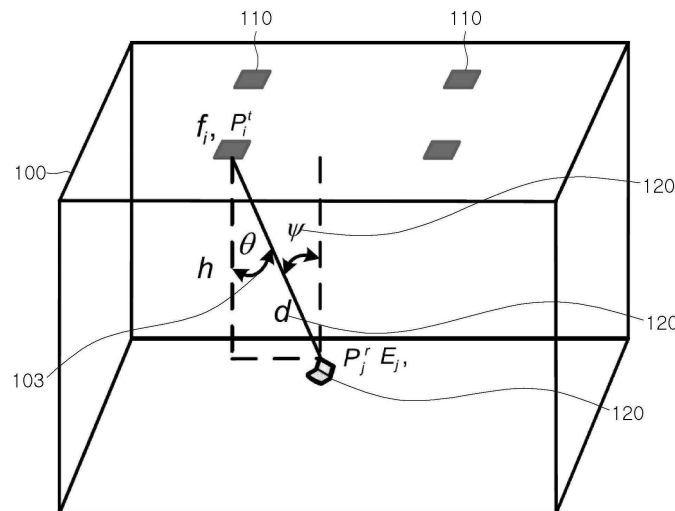
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 제어부가 전력소모 최소화 조건을 계산하는 단계; 상기 제어부가 상기 계산 단계에서 계산된 조건을 만족하는 N_i 값을 설정하는 단계; 상기 제어부가 전송할 정보를 상기 설정된 조건에 따라 신호화하는 단계; 상기 제어부가 광원을 상기 신호에 따라 디밍하는 단계; 수신기가 상기 디밍된 광원의 빛을 감지해 상기 신호를 수신하는 단계; 및 상기 수신기가 상기 수신 신호를 정보화하는 단계를 포함하는 구성을 개시한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

제어부가 전력소모 최소화 조건을 계산하는 단계;

상기 제어부가 상기 계산 단계에서 계산된 조건을 만족하는 N_I 값을 설정하는 단계;

상기 제어부가 전송할 정보를 상기 설정된 조건에 따라 신호화하는 단계;

상기 제어부가 광원을 상기 신호에 따라 디밍하는 단계;

수신기가 상기 디밍된 광원의 빛을 감지해 상기 신호를 수신하는 단계; 및

상기 수신기가 상기 수신 신호를 정보화하는 단계를 포함하고,

상기 전력소모 최소화 조건을 계산하는 단계는,

수학식 1을 계산하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

[수학식 1]

$$\min_{N_I} \sum_i^L f_i.$$

$$\text{Subject to } P_j^r \geq P_{req}, \text{ for all } j's, \quad E_j \geq E_{req}, \text{ for all } j's, \quad 0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s$$

(여기서, N_I 는 인공광으로 인한 가우시안 산탄 잡음의 전력스펙트럼 밀도, f_i 는 PWM 신호 파형을 위해 발산된 광속, P_j^r 는 j위치에서 수신기의 총 수신 광전력, P_{req} 는 최소 평균 광전력 요구치, E_j 는 j위치에서의 총 수신 조도, E_{req} 는 최소 수신 조도 요구치, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 N_I 는 신호간격과 심볼기간의 비로 수학식 2로 표현되는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

[수학식 2]

$$N_I = T_i^{on} / T_i^s$$

(여기서, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신호를 전송하는 단계는,

OOK(On/Off Keying)와 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용해 상기 디밍을 조절하는 것을 특징으로 하는 가시

광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 P_{req} 은 수학식 3을 계산해서 구하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

[수학식 3]

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_0 R_b}{2}} Q^{-1}(BER)$$

(여기서, N_0 는 가우시안 산탄 잡음의 전력 스펙트럼 밀도, R 은 수신기의 반응성, R_b 는OOK 전송의 전송률, BER은 비트 오류 비이다.)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 디밍은 광원이 초당 50회 이상 점멸하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

청구항 6

빛을 방출할 수 있고, 입력 받은 신호에 따라 점멸할 수 있는 광원;

정보를 전력소모 최소화 조건을 만족하는 신호로 전환해, 상기 광원에 상기 신호를 전송해 점멸을 제어하는 디밍(dimming)제어부; 및

상기 광원의 점멸을 감지해 신호를 정보로 변환하는 수신부를 포함하며,

상기 제어부는 상기 전력소모 최소화 조건을 수학식 1을 계산해 구하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템.

[수학식 1]

$$\min_{N_i} \sum_i^L f_i.$$

$$\text{Subject to } P_j^r \geq P_{req}, \text{ for all } j's, E_j \geq E_{req}, \text{ for all } j's, 0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s$$

(여기서, N_i 는 인공광으로 인한 가우시안 산탄 잡음의 전력스펙트럼 밀도, f_i 는 PWM 신호 파형을 위해 발산된 광속, P_j^r 는 j위치에서 수신기의 총 수신 광전력, P_{req} 는 최소 평균 광전력 요구치, E_j 는 j위치에서의 총 수신 조도, E_{req} 는 최소 수신 조도 요구치, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 N_i 는 신호간격과 심볼기간의 비로 수학식 2로 표현되는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

[수학식 2]

$$N_f = T_f^{on} / T_f^s$$

(여기서, T_f^{on} 는 신호간격 및 T_f^s 는 심볼기간을 의미한다.)

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

OOK(On/Off Keying)와 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용해 상기 디밍을 조절하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

수학식 3을 계산해서 상기 P_{req} 을 구하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

[수학식 3]

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_0 R_b}{2}} Q^{-1}(BER)$$

(여기서, N_0 는 가우시안 산탄 잡음의 전력 스펙트럼 밀도, R 은 수신기의 반응성, R_b 는 OOK 전송의 전송률, BER은 비트 오류 비이다.)

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 광원은,

상기 디밍시 초당 50회 이상 점멸하는 것을 특징으로 하는 가시광통신 시스템의 전력 소모 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 가시광통신 시스템에서 신호를 전달할 수 있는 상태를 유지하면서 최적 에너지 효율을 도출하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 근래 정보 통신 기술의 발달로, 하루에 주고 받을 수 있는 정보의 양이 급격하게 증가했으나, 이에 대응하여 정보를 주고 받으려는 수요도 급격하게 증가해 더 빠르고 더 많은 정보를 송수신할 수 있는 방법이 필요하나, 주파수 등의 통신 자원이 한정되어 있어 다양한 방식의 대체 정보 통신 수단이 요구된다.

[0004] 이러한 요구에 따라 가시광통신(Visible light Communication)이 새로운 방식의 대체 정보 통신 수단으로 개발

되고 있다. 가시광이란 시각적으로 지각할 수 있는 전자기적 방출을 의미하고, 예를 들면, 가시 스펙트럼(파장이 380nm 내지 780nm)의 방사가 포함될 수 있다.

[0005] 가시광통신에서는 주로 LED(Light Emitting Diode)를 광원으로 이용하고, 디밍(Dimming)기술을 이용해 인간이 지각할 수 없을 정도의 속도로 LED를 On/Off 시켜 신호를 전송하고, 디밍된 빛을 감지해 정보를 수신합니다. 상기 디밍은 PWM(Pulse Width Modulation) 또는 입력 신호의 변조 폭을 조절해 수행될 수 있다.

[0006] 이러한 가시광통신에 있어서, 신호 전달의 최적화를 위한 연구는 많았지만, 에너지 소모를 최적화 하기 위한 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 가시광통신 시스템에서 광학 전력 과 조도의 최적화를 통한 에너지 효율의 최적화 방법 및 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 또한, 사용자의 조명의 조도를 유지하면서 정보 통신 시스템으로 작동할 수 있어야 한다는 가시광통신 시스템의 기본적인 요건을 만족하는 가시광통신 방법 및 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 방법에 있어서,

[0012] 제어부가 전력소모 최소화 조건을 계산하는 단계; 상기 제어부가 상기 계산 단계에서 계산된 조건을 만족하는 N_i 값을 설정하는 단계; 상기 제어부가 전송할 정보를 상기 설정된 조건에 따라 신호화하는 단계; 상기 제어부가 광원을 상기 신호에 따라 디밍하는 단계; 수신기가 상기 디밍된 광원의 빛을 감지해 상기 신호를 수신하는 단계; 및 상기 수신기가 상기 수신 신호를 정보화하는 단계를 포함하고, 상기 전력소모 최소화 조건을 계산하는 단계는, 수학식 1을 계산해 구할 수 있다.

[0013] [수학식 1]

$$\min_{N_i} \sum_i^L f_i.$$

[0014]

[0015] *Subject to* $P_j^r \geq P_{req}$, for all j 's, $E_j \geq E_{req}$, for all j 's, $0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s$

[0016] (여기서, N_i 는 인공광으로 인한 가우시안 산탄 잡음의 전력스펙트럼 밀도, f_i 는 PWM 신호 파형을 위해 발산된 광속, P_j^r 는 j위치에서 수신기의 총 수신 광전력, P_{req} 는 최소 평균 광전력 요구치, E_j 는 j위치에서의 총 수신 조도, E_{req} 는 최소 수신 조도 요구치, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

[0017] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 N_i 는 신호간격과 심볼기간의 비로 수학식 2로 표현될 수 있다.

[0018] [수학식 2]

$$N_i = T_i^{on} / T_i^s$$

[0020] (여기서, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

[0021] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 신호를 전송하는 단계는 OOK(On/Off Keying)와 PWM(Pulse Width

Modulation)을 이용해 상기 디밍을 조절할 수 있다.

본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 P_{req} 은 수학식 3을 계산해 구할 수 있다.

[수학식 3]

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_0 R_b}{2}} Q^{-1}(BER)$$

(여기서, N_0 는 가우시안 산탄 잡음의 전력 스펙트럼 밀도, R 은 수신기의 반응성, R_b 는 OOK 전송의 전송률, BER은 비트 오류 비이다.)

본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 디밍은 광원이 초당 50회 이상 점멸하는 것일 수 있다.

상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 시스템에 있어서,

빛을 방출할 수 있고, 입력 받은 신호에 따라 점멸할 수 있는 광원; 정보를 전력소모 최소화 조건을 만족하는 신호로 변환해, 상기 광원에 상기 신호를 전송해 점멸을 제어하는 디밍(dimming)제어부; 및 상기 광원의 점멸을 감지해 신호를 정보로 변환하는 수신부를 포함하며, 상기 제어부는 상기 전력소모 최소화 조건을 수학식 1을 계산해 구할 수 있다.

[수학식 1]

$$\min_{N_i} \sum_i^L f_i.$$

$$\text{Subject to } P_j^r \geq P_{req}, \text{ for all } j's, \quad E_j \geq E_{req}, \text{ for all } j's, \quad 0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s$$

(여기서, N_i 는 인공광으로 인한 가우시안 산탄 잡음의 전력스펙트럼 밀도, f_i 는 PWM 신호 파형을 위해 발산된 광속, P_j^r 는 j위치에서 수신기의 총 수신 광전력, P_{req} 는 최소 평균 광전력 요구치, E_j 는 j위치에서의 총 수신 조도, E_{req} 는 최소 수신 조도 요구치, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 N_i 는 신호간격과 심볼기간의 비로 수학식 2로 표현되는 것일 수 있다.

[수학식 2]

$$N_i = T_i^{on} / T_i^s$$

(여기서, T_i^{on} 는 신호간격 및 T_i^s 는 심볼기간을 의미한다.)

본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 제어부는 OOK(On/Off Keying)와 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용해 상기 디밍을 조절할 수 있다.

본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 제어부는, 수학식 3을 계산해서 상기 P_{req} 을 구하는 것일 수 있다.

[수학식 3]

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_0 R_b}{2}} Q^{-1}(BER)$$

(여기서, N_0 는 가우시안 산탄 잡음의 전력 스펙트럼 밀도, R 은 수신기의 반응성, R_b 는 OOK 전송의 전송률,

BER은 비트 오류 비이다.)

[0043] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 광원은, 상기 디밍시 초당 50회 이상 점멸하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0045] 본 발명은 가시광통신 시스템이 신호를 전송하는 방법에 있어서, 전력소모를 최소화 할 수 있는 조건에 따라 광원의 디밍을 조절하여, 기존의 가시광통신 시스템보다 에너지를 절약할 수 있는 가시광통신 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시 예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 실내에서 배치되는 가시광통신 시스템의 예시이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 듀티 싸이클에 따른 PWM의 파형의 예시이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 가시광 통신 시스템에서 광전력 최적 제어 방법의 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전력 최적 제어를 수행하는 가시광 통신 시스템의 구성이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 실내 천장에 광원의 배치의 예시이다.

도 6은 BER이 10^{-6} 일 때 데이터 비에 따른 요구 전력의 변화를 도시한 그래프이다.

도 7은 도 5의 광원 배치에 따른 조도의 분포를 나타낸 그래프이다.

도 8은 도 5의 광원 배치에 따른 수신 광전력의 분포를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시 예들을 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.

[0049] 이하의 실시 예는 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0050] 본 발명의 실시 예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시 예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이지는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

[0051] 또한, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되는 것은 아니며, 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0053] 이하에서는, 본 발명에 따른 가시광통신 시스템에서 에너지 효율을 위한 광전력 최적 제어 방법 및 시스템을 예시적인 실시 형태들을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

- [0055] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 실내에서 배치되는 가시광통신 시스템의 예시이다.
- [0056] 도 1을 참조하면, 가시광통신(Visible Light Communication) 시스템은 광원(110), 수신기(130) 및 제어부를 포함할 수 있다.
- [0057] 가시광통신은 가시광원을 송신기로 이용하는 통신기술을 포함할 수 있다. 상기 가시광은 시각적으로 지각할 수 있는 전자기적 방출을 포함할 수 있다. 상기 가시광 스펙트럼의 파장은 380nm 내지 780nm의 범위에 포함될 수 있다. 상기 가시광의 주파수는 384THz 내지 789THz 범위에 포함될 수 있다.
- [0058] 상기 광원(110)은 빛을 발산할 수 있다. 상기 광원(110)은 실내(100)를 밝히는 기능을 수행할 수 있다. 상기 광원(110)은 실내(100) 내부에 배치될 수 있다. 상기 광원(110)은 상기 실내(100)의 천장 또는 상부에 복수로 배치될 수 있다. 상기 특정 실내(100)는 정육면체의 형태일 수 있다. 상기 광원(110)은 상기 실내(100)의 천장 또는 상부에 기하학적으로 광전력의 최대효율을 유도할 수 있는 구조로 배치될 수 있다.
- [0059] 상기 광원(110)은 빛을 발할 수 있는 소재라면 어떤 것도 포함할 수 있다. 상기 광원(110)은 백열등, 형광등, LED, 네온사인, 레이저, 가스등, 고주파램프, 수은등, 방전등 및 할로겐등 등을 포함할 수 있다.
- [0060] 상기 광원(110)은 점멸 또는 디밍(Dimming)하는 방식으로 제어될 수 있다. 상기 광원(110)이 점멸하는 속도는 인간이 시각적으로 점멸을 인식할 수 없는 속도를 포함할 수 있다. 상기 점멸 속도는 초당 50회 이상일 수 있다. 상기 광원(110)은 점멸하는 간격을 이용해 신호를 전송할 수 있고, 전송할 신호에 따라 점멸 간격을 조절할 수 있다. 상기 전송할 신호는 입력되는 신호에 의해 결정될 수 있고, 상기 입력되는 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다.
- [0061] 상기 제어부는 신호를 상기 광원(110)에 입력할 수 있다. 상기 제어부는 전송하고자 하는 정보를 입력 받아 신호화 할 수 있다. 상기 정보를 신호화한 신호는 상기 광원(110)에 입력할 수 있는 신호를 포함할 수 있다. 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다. 상기 제어부는 광원의 디밍과 정보 전송을 결합시킬 수 있다. 상기 정보 전송은 SC-PPM(Sub-Carrier Pulse Position Modulation)를 이용해 수행될 수 있고, 상기 디밍은 PWM(Pulse Width Modulation)를 이용하거나 변조 깊이(Modulation depth)를 변경하여 수행될 수 있다.
- [0062] 상기 제어부는 정보를 외부로부터 입력 받을 수 있다. 상기 정보는 사용자가 선택해 입력하는 정보일 수 있고, 외부에서 통신 방법을 이용해 정보를 입력 받을 수 있다. 상기 통신 방법은 가시광통신 외에 다양한 통신방법을 포함할 수 있다.
- [0063] 상기 수신기(120)는 상기 광원(110)에서 발산되는 빛을 인식할 수 있다. 상기 수신기(120)는 상기 인식한 빛을 전기적 신호로 변환할 수 있다. 상기 빛을 전기적 신호로 변환하기 위해 상기 수신기(120)는 광검출기(Photo detector)를 포함할 수 있다. 상기 광검출기는 빛의 광자를 이용한 광전효과를 통해 전류를 발생시키는 것일 수 있다. 상기 수신기(120)는 상기 광검출기가 상기 광원(110)으로부터 발산된 빛을 감지해 전기 신호를 발생시키면, 상기 전기 신호를 해석해 정보로 변환할 수 있다. 상기 수신기(120)는 최소 조도 요구치를 가질 수 있다. 상기 최소 조도 요구치는 상기 광검출기가 빛을 감지할 수 있는 조도의 최소 수치를 의미할 수 있다.
- [0064] 상기 광원(110)으로부터 상기 수신기(120)까지의 거리를 d , 상기 실내(100)에 설치된 광원(110)과 수신기(120)의 수직 높이는 h , 상기 광원(110)에서 발산된 빛이 상기 수신기(120)에 도달하는 입사각을 θ 또는 ψ 로 둘 수 있다.
- [0065] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 듀티사이클에 따른 PWM의 파형의 예시이다.
- [0066] 도 2를 참조하면, 광원(110)은 일정 듀티사이클(duty cycle)을 가지고 점멸 또는 디밍할 수 있다. 상기 광원은 상기 듀티사이클의 일부 시간 동안만 PWM을 수행할 수 있다. 상기 PWM의 파형은 상기 듀티사이클의 25%, 50% 및 80%일 수 있다.
- [0067] 도 2에서, 심볼 기간(Symbol period) T_f 는 두 개의 슬롯 T_i^{on} 과 T_i^o 로 나뉘지고, i 는 신호 파형과 일치하는 광원의 지수를 나타낸다. 슬롯 T_i^{on} 은 신호 간격을 나타낸다. 이때, 크기 k 의 데이터 신호는 이 슬롯 동안 전송된다. 슬롯 T_i^o 는 0의 크기를 가진다. 즉, 이 슬롯 동안은 신호가 전송되지 않는다. 슬롯 T_i^{on} 의 폭은 전송되는 광 전력과 광원 조도 강도에 직접 비례한다. 슬롯 T_i^{on} 의 폭을 변경하여 바람직한 듀티 사이클을 도 2와 같이

얻을 수 있다.

[0068] 상기 제어부는 데이터 전송과 디밍 조절을 위해 On/Off keying(OOK)와 PWM을 이용할 수 있다. 상기 OOK는 간단한 변조 방식 중 하나로, 타임 슬롯(Time slot)에서의 캐리어 웨이브(Carrier Wave)의 유무를 이진수로 각각 1과 0으로 표현하는 것일 수 있다. 이때, A를 광원에서 수신한 광 전력의 크기라고 하면, 상기 수신한 광 전력은 A의 크기에 직접적으로 비례하고 $P_r=A/2R$ 와 같이 표현된다. 여기서, R 은 광검출기의 반응성, P 는 평균 광 전력을 의미할 수 있다. 상기 OOK 전송의 전송률을 R_b 로 하면, R_b 직사각파를 $1/R_b$ 간격으로 전송한다. 이진수 1에서 파동의 강도는 $2P$ 가 되고, 이진수 0은 파동 강도가 0, 즉 파동이 없게 된다.

[0069] 통신 링크의 성능을 평가하기 위해서, BER(Bit Error Rate)를 핵심적인 평가 매개 변수로 이용될 수 있다. 일반적으로 수용 가능한 수준의 에러율은 BER이 10^{-6} 보다 작아야 한다. 상기 OOK 전송에서 BER은 수학식 1을 계산해 얻을 수 있다.

[0070] [수학식 1]

$$BER_{ook} = Q\left(\sqrt{\frac{2R^2 P_r^2}{N_o R_b}}\right)$$

[0071]

[0072] 여기서, P_r 은 평균 광전력이고, N_o 는 가우시안 산탄 잡음의 전력 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density: PSD)이다. 산탄 잡음은 인공광과 자연광으로인한 잡음의 PSD의 합으로, 각각 인공광의 PSD N_i 와 자연광의 PSD N_s 의 합이다. N_o 는 수학식 2를 계산해 구할 수 있다.

[0073] [수학식 2]

$$N_o = N_i + N_s = q \cdot (I_{bi} + I_{bs})$$

[0074]

[0075] 여기서, q는 전자 1개의 전하량, I_{bi} 는 인조광에 의한 광전류 및 I_{bs} 는 자연광에 의한 광전류다.

[0076] 이때, 최소 전력 요구치 P_{req} 는 상기 수학식 1에서 나머지 변수들이 상수이기 때문에, 원하는 BER 값을 대입하면 수학식 3과 같이 계산할 수 있다.

[0077] [수학식 3]

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_o R_b}{2}} Q^{-1}(BER)$$

[0078]

[0080] 하나의 광원에서 발산되는 빛의 양은 광속(Luminous flux)로 표현되고 수학식 4를 계산해 얻을 수 있다.

[0081] [수학식 4]

$$f = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) f_e(\lambda) dx$$

[0082]

[0083] 여기서, K_m 은 최대 가시성(Visibility), $V(\lambda)$ 는 기준조도곡선, $f_e()$ 는 스펙트럼 플럭스(fulx)를 나타낸다. 광도는 고정 각도당 광속을 의미할 수 있다. 상기 광도는 수학식 5를 계산해 얻을 수 있다.

[0084] [수학식 5]

$$I = \frac{df}{d\Omega}$$

[0085]

[0086] 이때, PWM 신호 파형으로 발산된 광속은 수학식 6과 같이 표현된다.

[0087] [수학식 6]

$$f_i = N_i f_{max}$$

[0088]

[0089] 여기서, N_i 는 신호 간격과 심볼기간의 비로 $N_i = T_i^{on} / T_i^s$ 로 나타낼 수 있다. f_i 는 i번째 광원의 광도를 나타낸다. 최대 전송 광도는 f_{max} 로 표현되고, $T_i^{on} = T_i^s$ 일 때, PWM 신호를 이용해 계산할 수 있다.

[0090] 광 시스템의 설계에 있어서, 불 발명의 일 실시 예에 따르면, 관심을 가지는 매개변수는 lx(럭스)로 측정될 수 있고, 단위 면적당 광속으로 주어지는 조도이다. 상기 조도는 수학식 7을 계산해 얻을 수 있다.

[0091] [수학식 7]

$$e = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{I(\theta)}{r^2}$$

[0092]

[0093] 조도는 θ 각도 방향에서 광원의 광도 $I(\theta)$ 에 따라 변하고, 여기서 r은 광원과 수신기(120)간의 거리이다. 램버트 방사(Lambert radiation)을 고려하면, 광원으로부터 r 거리에 위치하는 한 지점 j에서의 수평 조도는 수학식 8을 계산해 구할 수 있다.

[0094] [수학식 8]

$$e_j = \frac{I_o \cos^m(\theta) \cos(\psi)}{r^2}$$

[0095]

[0096] 여기서, I_o 는 최대 광도로 $I_o = I(0) = (m+1)f / (2\pi)$ 로 계산될 수 있다. ψ 와 θ 는 각각 입사각과 방사조도각을 의미할 수 있다. 관련 기술에 관한 논문인 'Grubor J., Jamett O.C. G., Walewski J.W., Randel S., Langer K.D., (2007), "High-Speed Wireless Indoor Communication via Visible Light", ITG Bachbericht.'를 참조하면, m은 램버트 방출(Lambertian emission)의 차원이고, 광원의 반 조도에서의 반각을 이용해 구할 수 있다. 상기 m은 수학식 9를 계산해 구할 수 있다.

[0097] [수학식 9]

$$m = \frac{\ln 2}{\ln \cos(hpa)}$$

[0098]

[0099] 여기서, hpa는 광원의 반파워 각을 의미한다. 예를 들어 설명하면, $hpa=60^\circ$ 에서 m=1의 값을 가질 수 있다. 상기 수학식 7의 I_o 를 대체하면, i번째 광원으로부터 한 지점 j에서의 조도는 수학식 10과 같다.

[0100] [수학식 10]

$$e_{ij} = \frac{f_i(m+1)\cos^m(\theta)\cos(\psi)}{2\pi r^2}$$

[0101]

[0102] 광원으로부터 상기 j 지점에서 받는 총 광도는 모든 광원으로부터의 조도의 합으로 계산되고 수학식 11로 계산할 수 있다.

[0103] [수학식 11]

$$E_j = \sum_{i=1}^L e_{ij}$$

[0104]

[0105] 광원에서의 광전력 전송은 모든 방향에서의 에너지 플럭스의 적분으로 수학식 12를 계산해 얻을 수 있다.

[0106] [수학식 12]

$$P_t = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \int_0^{2\pi} f_e d\theta d\lambda$$

[0107]

[0108] 여기서, P_t 는 광전력 전송이고, λ_{max} 와 λ_{min} 은 광검출기의 감도 곡선에 의해 정해질 수 있다.

[0109] 입력된 PWM 신호 파형에 따른 광원에 의한 광 전력 전송은 수학식 13과 같이 계산된다.

[0110] [수학식 13]

$$P_i^t = N_i P_{max}^t$$

[0111]

[0112] 여기서, P_i^t 는 i번째 광원에서 전송되는 광전력이고, P_{max}^t 은 최대 광 전력 전송으로 PWM의 $T_{pn} = T_{off}$ 때, 광전력 전송 값으로 구할 수 있다. 도 1에서 j 위치에서의 수신기의 광검출기를 고려하면, i번째 광원에서 광전력은 전송전력 P_i^t 를 이용해 수학식 14와 같이 주어진다.

[0113] [수학식 14]

$$P_{ij}^r = H(0) P_i^t$$

[0114]

[0115] 여기서, $H(0)$ 는 채널 DC 이득으로 수학식 15와 같이 계산된다.

[0116] [수학식 15]

$$H(0) = \begin{cases} \frac{A(m+1)}{2\pi r^2} \cos^m(\theta) \cos(\psi) g(\psi) T_s(\psi) & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases}$$

[0117]

[0118] 여기서, A_r 는 수신기 영역이고, $g(\psi)$ 는 광축적기 이득, $T_s(\psi)$ 는 광필터 이득이다. 이때, $g(\psi)$ 는 수학식 16과 같이 계산된다.

[0119] [수학식 16]

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases}$$

[0120]

[0121] 여기서 n은 반사지수이다. i번째 광원으로부터 j위치에서 수신한 광전력은 수학식 17과 같이 계산할 수 있다.

[0122] [수학식 17]

$$P_{ij}^r = P_i^t \frac{A_r(m+1)}{2\pi r^2} \times \cos^m(\theta) \cos(\psi) g(\psi) T_s(\psi)$$

[0124] 여기서, j위치에서 광원들로부터 총 수신 광전력 P_f^r 는 모든 광원에서 수신한 광전력의 합이고 수학식 18과 같다.

[0125] [수학식 18]

$$P_j^r = \sum_{i=1}^L P_{ij}^r$$

[0127] 본 발명에서는 최소 조도 요구치를 만족하고 통신기능을 적절하게 수행하면서 총 전력 소모를 최소화 하는 가시 광통신 시스템을 제공하기 위해 전력소모가 PWM 파형의 신호 간격과 비례하는 점을 이용해 N_l 을 최소화한다. 예를 들어, 신호간격 T_l^{on} 을 최소화 할 수 있다. 상기한 조건을 만족하면서 소모전력을 최소화 할 수 있는 T_l^{on} 을 찾는 최적화는 수학식 19를 수학식 20 내지 수학식 22의 조건하에서 계산해 얻을 수 있다.

[0128] [수학식 19]

$$\min_{N_i} \sum_i^L f_i.$$

[0130] [수학식 20]

$$\text{Subject to } P_j^r \geq P_{req}, \text{ for all } j's$$

[0132] [수학식 21]

$$E_j \geq E_{req}, \text{ for all } j's$$

[0134] [수학식 22]

$$0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s$$

[0136] 여기서 P_{req} 는 최소 수신 전력 요구치, E_{req} 는 최소 조도 요구치다. 상기 수학식 19는 광원의 총 광속을 최소화 하는 것을 목적으로 한다, 따라서, 시스템의 총 전력 소모를 최소화 할 수 있다. 이때, 수학식 20 내지 수학식 22의 최소 수신 전력 요구치와 최소 조도 요구치의 조건을 만족해야하고, PWM파형의 신호 간격 T_l^{on} 은 심볼기간 T_l^s 보다 길 수 없다. 따라서 T_l^{on} 은 0에서 T_l^s 사이의 값을 가질 수 있다.

[0137] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 가시광 통신 시스템에서 광전력 최적 제어 방법의 흐름도이다.

[0138] 도 3을 참조하면, S301 단계에서, 소모 전력을 최소화 할 수 있는 조건을 계산할 수 있다. 상기 소모 전력 최소화 조건은 상기 수학식 19를 계산해 얻을 수 있다. 상기 수학식 19는 상기 수학식 20 내지 수학식 22의 조건 하에서 계산될 수 있다. 상기 소모전력 최소화 조건은 최소 전력 요구치와 최소 조도 요구치 이상의 조도와 광 수신 전력을 보장하면서 신호간격 T_l^{on} 은 0부터 심볼간격 T_l^s 의 범위에서 결정할 수 있다. 상기 소모 전력 최소화 조건은 제어부에서 계산될 수 있다.

[0139] S302 단계에서, 상기 S301 단계에서 계산된 조건을 만족하는 N_l 값을 결정할 수 있다. 상기 N_l 는 신호 간격과 심볼기간의 비로 $N_l = T_l^{on} / T_l^s$ 로 나타낼 수 있다. 상기 제어부가 상기 N_l 값을 계산해 결정할 수 있다.

- [0140] S303 단계에서, 전송하려는 정보를 상기 단계에서 설정된 조건에 따라 신호화 할 수 있다. 상기 정보를 이진법을 이용한 신호로 변환하는 것일 수 있다. 상기 정보를 통신 방법을 이용해 전송할 수 있는 형태의 신호로 변경하는 것일 수 있다.
- [0141] 상기 정보를 신호화 하는 단계는 상기 제어부가 전송하고자 하는 정보를 입력 받아 신호화하는 것일 수 있다. 상기 정보를 신호화한 신호는 상기 광원(110)에 입력할 수 있는 신호를 포함할 수 있다. 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다. 상기 제어부는 광원의 디밍과 정보 전송을 결합시킬 수 있다. 상기 정보 전송은 SC-PPM(Sub-Carrier Pulse Position Modulation)를 이용해 수행될 수 있고, 상기 디밍은 PWM(Pulse Width Modulation)를 이용하거나 변조 깊이(Modulation depth)를 변경하여 수행될 수 있다.
- [0142] S304 단계에서, 상기 S303 단계에서 생성한 신호를 광원(110)을 통해 전송할 수 있다. 상기 신호는 상기 광원(110)이 점멸 또는 디밍하는 방식으로 전송될 수 있다. 상기 점멸을 통해 상기 광원이 발광하는 경우는 1, 꺼진 경우를 0으로 인식해 이진수 방식으로 신호를 전송할 수 있다. 상기 제어부는 상기 신호를 상기 광원(110)이 인식해 발광할 수 있는 형태로 상기 광원(110)에 입력될 수 있다. 상기 제어부는 상기 광원이 인식할 수 있는 형태로 신호를 입력해 데이터 전송과 디밍 조절을 하기 위해 On/Off keying(OOK)와 PWM을 이용할 수 있다.
- [0143] S305 단계에서, 수신기(120)는 상기 광원에서 방출되는 빛을 감지할 수 있다. 상기 수신기(120)는 광검출기를 포함할 수 있다. 상기 수신기(120)는 빛을 감지해 전기적 신호를 발생시킬 수 있다. 상기 전기적 신호를 발생시키는 것은 광전효과를 이용하는 것일 수 있다. 상기 수신기(120)는 상기 광원의 점멸 또는 디밍을 감지해 이진수로 구성되는 신호를 생성해 신호를 수신할 수 있다.
- [0144] S306 단계에서, 상기 수신기(120)는 상기 S305 단계에서 수신한 신호를 다시 정보화 할 수 있다. 상기 수신기(120)는 상기 광원(110)이 정보를 신호화해 전송한 신호를 수신해 다시 정보화할 수 있다. 상기 수신해 정보화한 정보를 필요한 곳으로 전송할 수 있다.
- [0145] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전력 최적 제어를 수행하는 가시광 통신 시스템의 구성이다.
- [0146] 본 발명의 일 실시 예에 따른 가시광통신 시스템은 광원(401), 제어부(402) 및 수신기(403)를 포함할 수 있다.
- [0147] 상기 광원(401)은 빛을 발산할 수 있다. 상기 광원(401)은 시각적으로 인식할 수 없는 속도로 점멸 또는 디밍을 반복할 수 있고, 상기 광원(401)은 초당 50회 이상 점멸 또는 디밍할 수 있다. 상기 광원(401)은 점멸 또는 디밍 주기를 능동적 또는 수동적으로 조절할 수 있다.
- [0148] 상기 광원(401)은 점멸하는 간격을 이용해 신호를 전송할 수 있고, 전송할 신호에 따라 점멸 간격을 조절할 수 있다. 상기 전송할 신호는 입력되는 신호에 의해 결정될 수 있고, 상기 입력되는 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다.
- [0149] 상기 광원(401)은 빛을 발할 수 있는 소재라면 어떤 것도 포함할 수 있다. 상기 광원(401)은 백열등, 형광등, LED, 네온사인, 레이저, 가스등, 고주파램프, 수은등, 방전등 및 할로겐등 등을 포함할 수 있다.
- [0150] 상기 제어부(402)는 상기 광원(401)의 점멸 또는 디밍을 제어할 수 있다. 상기 제어부(402)는 상기 광원(401)에 신호를 보내 상기 신호의 간격에 맞게 점멸 또는 디밍하도록 제어할 수 있다. 상기 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다.
- [0151] 상기 제어부(402)는 전송하고자 하는 정보를 신호화 할 수 있다. 상기 정보를 신호화한 신호는 상기 광원(401)에 입력할 수 있는 신호를 포함할 수 있다. 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다. 상기 제어부는 광원의 디밍과 정보 전송을 결합시킬 수 있다. 상기 정보 전송은 SC-PPM(Sub-Carrier Pulse Position Modulation)를 이용해 수행될 수 있고, 상기 디밍은 PWM(Pulse Width Modulation)를 이용하거나 변조 깊이(Modulation depth)를 변경하여 수행될 수 있다.
- [0152] 상기 수신기(403)는 신호를 수신할 수 있다. 상기 수신기(403)는 상기 광원(401)의 점멸 또는 디밍으로 인한 빛을 감지해 신호를 인식할 수 있다. 상기 수신기(403)는 광검출기를 포함할 수 있다. 상기 수신기(403)는 상기 광원(401)에서 발산된 빛의 패턴을 인식해 신호를 수신할 수 있다. 상기 수신기(403)는 상기 광원(401)에서 발산된 빛을 감지해 신호를 발생시킬 수 있다. 상기 수신기(403)가 발생시키는 신호는 전기적 신호를 포함할 수 있다. 상기 수신기(403)는 광전효과를 이용해 신호를 발생시킬 수 있다.
- [0153] 상기 수신기(403)는 상기 광원(401)이 전송한 신호를 수신해 정보를 복구할 수 있다. 상기 수신기(403)는 수신한 신호를 해석해 정보화할 수 있다. 상기 수신기(403)는 정보화된 정보를 필요로 하는 곳으로 전송할 수 있다.

상기 수신기(403)는 신호를 정보화하여 정보에서 지시하는 행동을 수행할 수 있다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 실내 천장에 광원의 배치의 예시이고,

도 6은 BER이 10^{-6} 일 때 데이터 비에 따른 요구 전력의 변화를 도시한 그래프이다.

도 5를 참조하면, 실내 천장에 광원이 사각형의 꼭지점 위치에 배열될 수 있다. 본 실험 예의 조건은 표 1의 조건과 같다.

표 1

구성요소	수치
실내 크기	5m*5m*3m
LED 광원 수	4
수신기의 높이	0.85m
LED 광원 1개당 LED 수	3600(60*60)
단일 LED의 전력	20.0mW
LED 사이 공간	1cm
중앙 조도	0.73 cd
반전력의 세미각(semi angle)	60 deg
광다이오드 반응성	0.4
광다이오드의 물리적 검출 영역(Detector physical area of PD)	1cm
수신기의 FOV	120 deg
집중기의 반사 지수	1.5

도 6을 참조하면, 상기 표 1의 조건하에서 측정한 데이터 레이트(data rate)에 따라 BER이 10^{-6} 값을 가질 수 있는 최소 전력 요구치를 볼 수 있다.

상기 도 6에서 데이터 레이트가 높아질수록 최소 전력 요구치도 높아질 수 있다. 전송해야 할 데이터가 많아질수록 최소 전력 요구치도 높아질 수 있다.

도 7은 도 5의 광원 배치에 따른 조도의 분포를 나타낸 그래프고, 도 8은 도 5의 광원 배치에 따른 수신 광전력의 분포를 나타낸 그래프이다.

도 7 및 도 8을 참조하면, 수신기가 높이 0.85m와 실내의 중앙에서 수신한 광전력 및 조도는 각각 수학식 17, 수학식 18, 수학식 10, 수학식 11을 계산할 수 있다. 도 7은 수신기 높이에서 계산된 조도 분포를 나타낸다. 실내 전체를 아우르는 조도 레벨은 최소 조도 요구치 이상일 수 있다. 예를 들어 400lx보다 미세하게 낮은 정도의 조도 레벨일 수 있다. 실내의 모서리 부분은 조도가 매우 낮으나 일반적으로 수신기가 배치되지 않기 때문에 고려하지 않을 수 있다.

도 8은 LED 광원으로부터의 직사광선으로 인한 광 전력의 분포를 표시한다. 이때, 최소 광전력은 약 2.8dB로 측정되는데, 이는 최소 광전력 요구치에 해당할 수 있다.

도 6과 도 7은 실내 전체에서 조도와 통신 요건을 만족시키기에 충분한 광전력과 조도를 나타낸다. 본 발명에서 제시하는 방식의 전력 소모를 기존의 PWM신호의 50%의 듀티 싸이클을 이용하는 방식에 따른 전력소모와 비교하면, 전력 소모를 32% 감소시키는 효과를 볼 수 있다.

이상에서 본 발명의 대표적인 실시 예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시 예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며, 후술하는 특허 청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

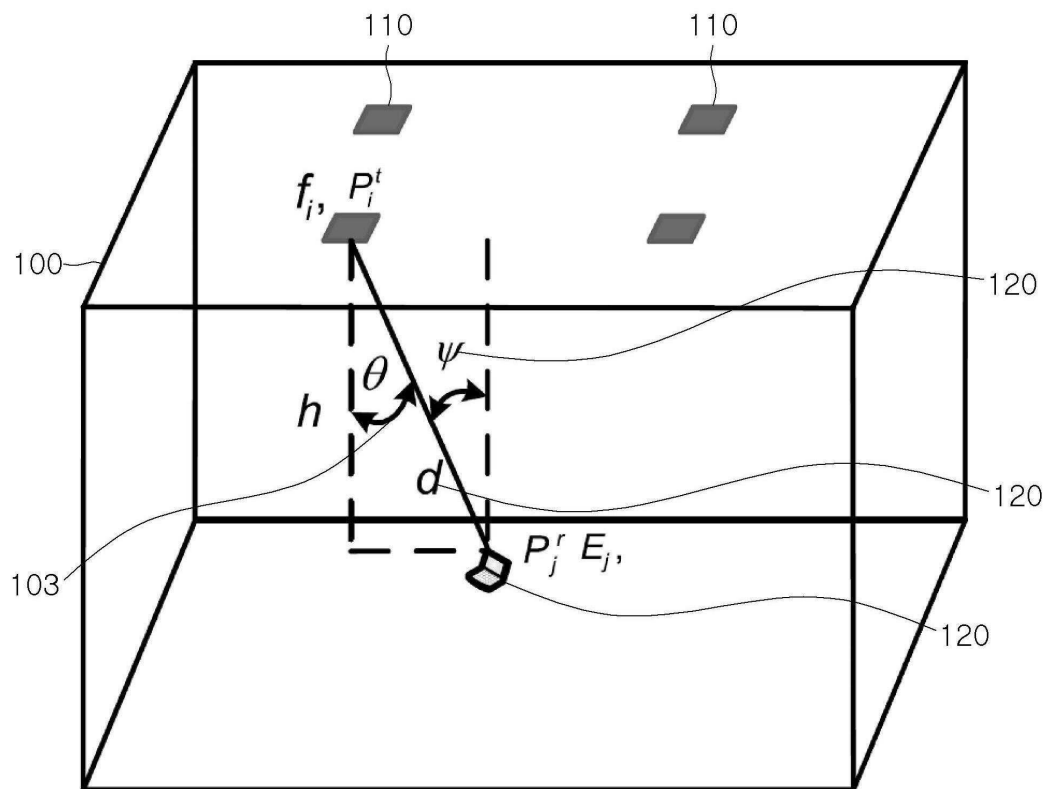
부호의 설명

[0167]

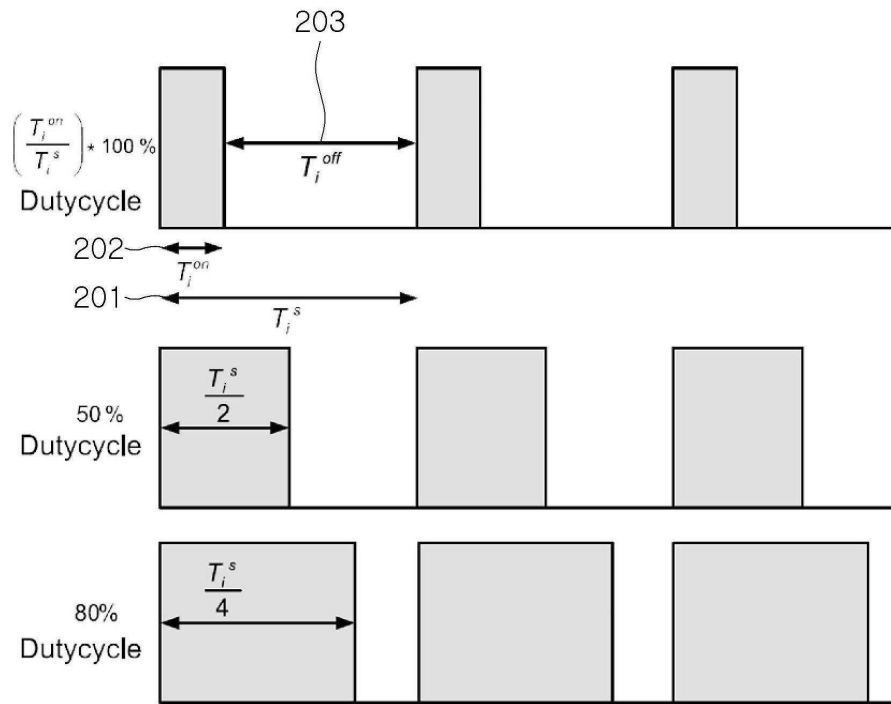
- 100: 실내
- 110: 광원
- 101: 수직 높이
- 102: 광원에서 광검출기까지 직선 거리
- 103: 빛의 입사각
- 120: 수신기

도면

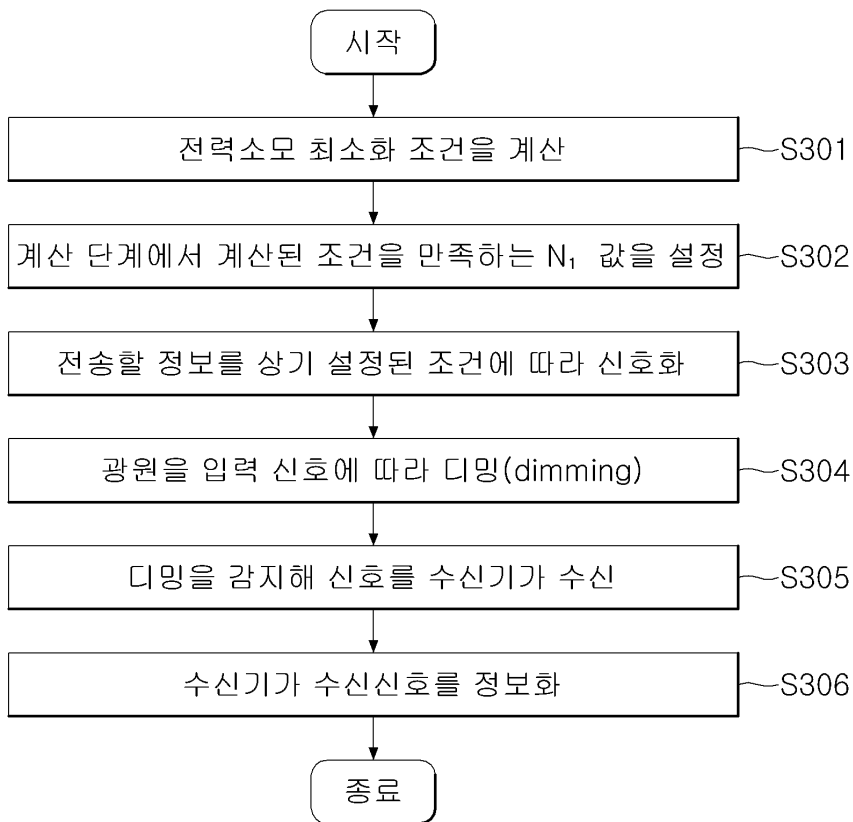
도면1



도면2



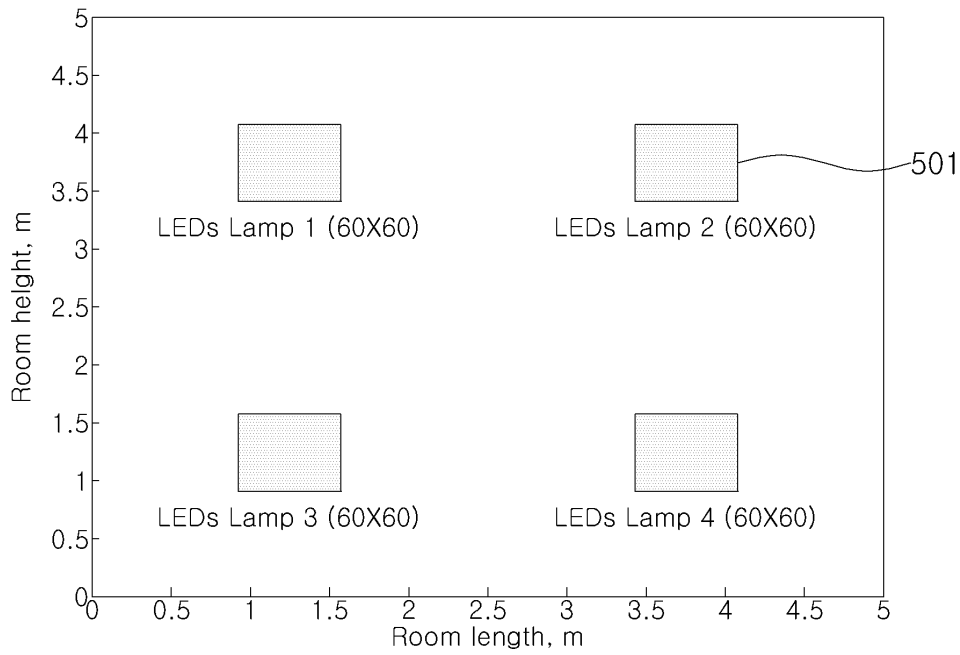
도면3



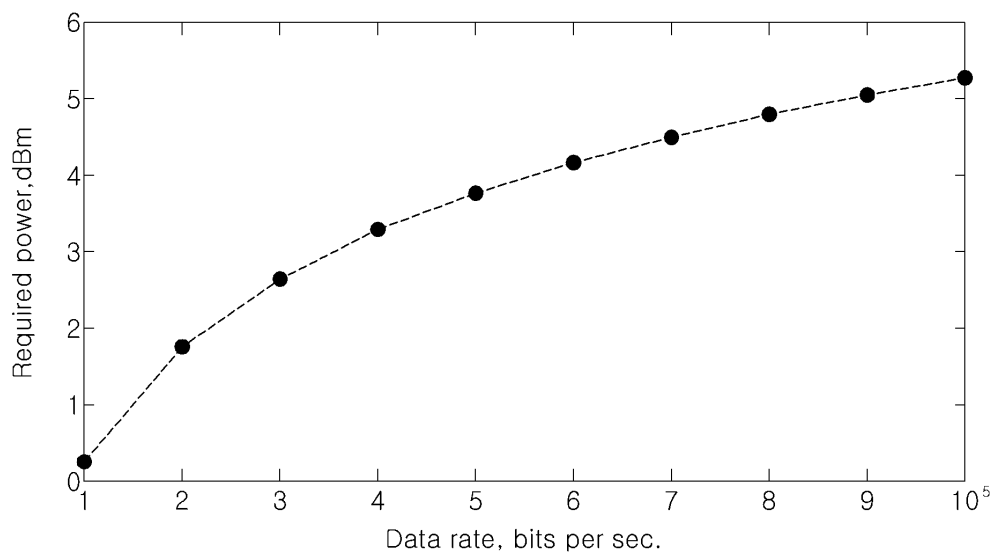
도면4



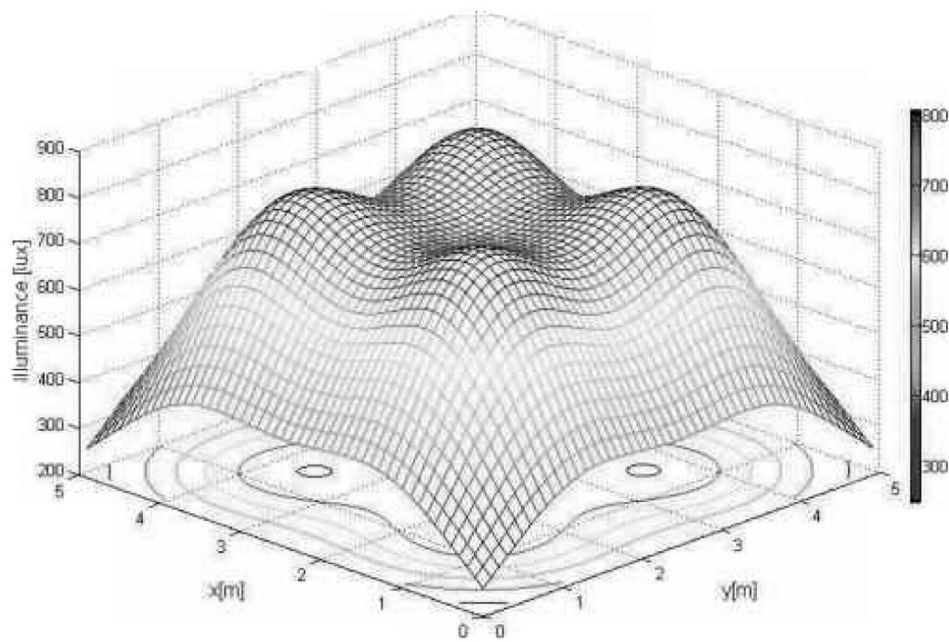
도면5



도면6



도면7



도면8

