

TDMA-Superframe 구조 기반의 다중 LED 가시광 통신 스케줄링 알고리즘

류원재*, 간데바*, 신수용^o

Scheduling Algorithm for Visible Light Communications Using Multiple LEDs Based on TDMA-Superframe Structure

Won Jae Ryu*, Gandeva Bayu Satrya*, Soo Young Shin^o

요약

가시광 통신은 사람의 눈에 인지되는 가시광을 통하여 데이터 전송을 이루는 통신 방식으로, 무선 주파수 간섭에서 자유롭기에 차세대 무선 통신의 후보 기술로 떠오르고 있다. 가시광 통신은, 실내 환경의 다운링크에서 자원 관리 문제와 낮은 시스템 처리량을 겪고 있으며, 이러한 문제를 풀기 위해서, 본 논문에서는 TDMA-Superframe 구조를 바탕으로 한 스케줄링 알고리즘에 대해서 서술하였다. 제안 알고리즘은 Node 위치에 따라 여러 개의 LED가 같은 시간에 여러 Node에 전송이 가능하면서 LED간 간섭을 피하도록 하였으며, 각 LED에 페어링된 Node간 Deadline Monotonic Scheduling(DMS)이 적용되도록 하였다. 즉, 각 LED 별로 Deadline이 빠른 Node에 개별적으로 전송이 가능하도록 하였으며, 셀간 간섭이 있는 경우에는 간섭을 피하도록 LED별로 스케줄링을 실시하도록 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 스케줄링 알고리즘이 성능 개선이 가능함을 확인하였다.

Key Words : Visible Light Communications, Scheduling, Superframe structure, Deadline Monotonic Scheduling, Time Division Multiplexing Access

ABSTRACT

Visible Light Communication(VLC) is a way to transfer data through visible lights what human eyes can detect and is going to be a candidate of Wireless Communications in next generation as VLC is free from radio frequency interference. As VLC is suffering from low throughput on resource allocation problems in downlink system. To solve the problem, we described a scheduling algorithm based on Time Division Multiplexing Access(TDMA)-Superframe structure. The proposed algorithm makes multiple transmission possible at same time according to the locations of LEDs and nodes with avoiding cell interference among LEDs and uses Deadline Monotonic Scheduling(DMS) for nodes paired with a LED. We simulated the algorithm that each LEDs can transfer data to paired nodes at same time and avoid interference. And we confirm that the algorithm can improve performance of the algorithm according to the simulation results.

※ 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역산업선도인력양성사업 성과입(No. 2016H1D5A1910776)

♦ First Author : (ORCID:0000-0003-1987-5969)Department of IT convergence engineering, Kumoh national Institute of Technology, wj0828@kumoh.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-2526-2395)Department of Electronic engineering, Kumoh national Institute of Technology, wdragon@kumoh.ac.kr, 중신회원

* (ORCID:0000-0002-0243-9020)Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, gandeva.bayu.s@gmail.com

논문번호 : 201806-0-135-SE, Received May 11, 2018; Revised August 8, 2018; Accepted September 10, 2018

I. 서 론

LED의 기술 개발이 크게 진보함에 따라, 실내의 조명 등에서 넓게 사용되어지고 있으며, 이러한 추세에 따라 LED는 긴 수명, 낮은 발열, 에너지 효율, 낮은 가격 및 좋은 가시성 등을 가지게 되어 보급이 더욱 확장될 것으로 보인다. 이러한 조명으로써의 용도 뿐 아니라, 가시광 통신(Visible Light Communication, VLC)이라고 불리는 400-800 THz의 파장인 가시광을 이용한 무선통신에도 LED는 사용될 수 있다¹⁻³. 사물인터넷 및 스마트기기의 보급 확대에 의해 무선주파수의 사용 급증으로 무선 주파수 부족의 문제를 겪고 있는 현재, VLC는 해결 방안으로 떠오르고 있다. 왜냐하면 VLC는 무선 주파수 스펙트럼에서 자유롭기에 5세대 무선 통신의 후보 기술로 각광 받고 있으며 이러한 VLC의 데이터 송수신은 비교적 적은 비용과 간단한 방식으로도 구현될 수 있기 때문이다⁴⁻⁶. 또한 낮은 전력 소모, 높은 보안성, 기존 조명인 프라를 사용한 유비쿼터스 구현 가능이라는 장점들도 있다. 송수신기의 Phase 정보가 필요 없이 LED의 반짝임만을 이용한 Intensity Modulation and Direct Direction(IM/DD) 등의 방식을 이용하기에 구현이 간단하며 높은 데이터율을 가지고, VLC 시스템에서는 기존 인프라로 사용되는 조명인 LED는 송신기, Photo Diode와 이미지센서는 수신기의 역할로 사용될 수 있기에 구현의 단순함은 큰 장점이 될 수 있다⁷. 이러한 가시광 통신은 많은 연구가 진행되고 있으나 대부분은 Point-to-Point에 대한 연구가 주로 진행되고 있기에 다수의 사용자를 위한 연구가 필요한 시점이다⁸.

실내 환경 하에서는, 다수의 사용자와 다수의 LED를 AP로 사용하여 높은 성능의 통신이 가능한 VLC 시스템 구현이 가능하다. 이러한 가능성은 VLC 시스템의 성능을 높이기도 하지만, 시스템 설계에 추가적으로 해결해야 할 문제들도 생긴다. 첫째로 AP와 사용자의 수가 다른 실내 통신보다 많을 수 있다는 점이다. 이는 네트워크 구조를 복잡하게 할 수 있다. 둘째로 AP 간의 간격이 가깝기에 심각한 성능 하락을 야기할 수 있다⁹.

LED를 AP로 한 스케줄링에 대한 기존 연구로는, 전송빔을 조절함으로써 강화된 처리량을 가지는 연구¹⁰, 다른 Timeslot에 User를 특정 LED AP에 해당되도록 Graph Theory를 적용한 연구⁹, 채널 선택에 따른 자원 할당 및 결합 스케줄링에 대한 연구¹¹ 등이 있다. 하지만 [10]에 대한 연구는 전송빔 조절은 LED의 광량 조절에 적합하지 않고, [9]는 사용자와 LED

AP를 위치에 따라 할당하여 독립적으로 데이터를 전송하기만 하기에 개별 사용자의 QoS 보장은 어려우며, [11]에 대한 연구는 시스템 전체의 처리량 증대만을 목표로 하였다는 문제가 있다.

본 논문에서는 다수의 사용자와 통신을 위한 통신 프로토콜과 스케줄링 알고리즘에 대하여 서술하였다. 다수의 사용자에게 효율적인 전송을 위해 Time Division Multiplexing Access(TDMA)-Superframe 구조를 적용하였다. QoS 보장을 위해 개별 사용자당 Deadline 등을 할당하여 만족시키도록 하였으며, 또한 Superframe 구조를 적용하여 Packet에 추가적으로 붙는 Overhead들을 줄일 수 있어 데이터 전송에 효율성을 높였다. 본 연구에서는 개별 사용자의 우선순위에 따른 데드라인 기반의 QoS를 만족시키고 다중 사용자와 다중 LED AP를 위치에 따라 배치한 뒤 간섭을 해결하는 방법에 초점을 두었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 가시광 통신 채널모델과 TDMA-Superframe 구조, 스케줄링 알고리즘에 대해서 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션 결과를 다루며, 4장에서는 결론에 대해서 서술한다.

II. 본 론

2.1 가시광 채널 모델

[12]에 따라, LED에서 직접 Line of Sight(LoS) 경로로 전해지는 평균 전력과 반사되어 전해지는 Non Line of Sight(NLOS) 평균전력과 비교하였을 때, NLOS는 무시해도 될 정도이다. 그러므로 오직 LoS만을 고려하여 가시광 통신 채널 모델을 단순화 하였다. 방 안에 여러 명의 사용자가 무작위로 배치되어 있는 상황을 고려하였을 때, 사용자의 위치에 따라 LED로부터 수신되는 평균전력은 다르다¹³. 식(1),(2)와 그림1을 참조하여 채널 모델을 알 수 있다.

$$P_r = P_t \frac{(m+1)E}{2\pi D^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \quad (1)$$

(1)은 VLC에서 LoS환경의 채널 모델을 나타낸다. P_r 은 수신측 포토다이오드가 받은 전력, P_t 는 AP인 LED에서 송신하는 전력, D 는 송수신부 간의 거리, E 는 수신부의 포토다이오드의 크기, $T_s(\psi)$ 는 광학 필터의 이득, $g(\psi)$ 는 광학 집신기의 이득, 또 그림과 같이 ϕ 는 송신부의 방사각, ψ 는 수신부의 입사각이다. m 은 Lambertian Emission으로 식은 (2)와 같다.

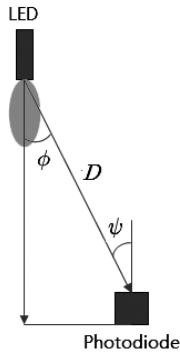


그림 1. LED와 포토다이오드 간에 가시광 채널 모델
Fig. 1. Channel Model of Visible Light between an LED and a Photodiode

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos(\phi_{1/2}))} \quad (2)$$

그림 2를 보면 개별 LED가 전송을 하는 경우, LED 간의 전송 위치가 겹치는 위치에 Node가 위치한 경우 Cell Interference가 발생함을 알 수 있다. 본 논문에서는 간섭을 해결하기 위해 이러한 경우 Scheduling을 통하여 둘 중에 한 개의 LED를 끄도록 한다.

즉, LED간 전송전력이 겹치는 구간에 Node가 위치할 때 각 LED AP에서 전송되는 신호는 Node에게 간섭으로 작용하게 된다. 이런 경우 사용자에게 해당되는 LED만 전송을 하고, 해당되지 않는 LED는 끄도록 한다는 뜻이다. 이러한 경우 짧은 순간에 이루어지기에 사람의 눈에는 인지될 수가 없다.

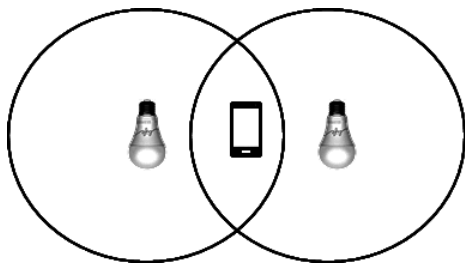


그림 2. LED사이에서 노드에 가해지는 셀간 간섭
Fig. 2. Cell Interference for the Node between LEDs

2.2 TDMA Superframe 구조

Time Division Multiple Access(TDMA)는 하나의 AP에 여러 사용자가 동시에 접속할 수 있도록 하는 기술 중의 하나이다. 즉, 하나의 주파수 대역을 여러 사용자가 동시에 이용하기 위해 개발 되었으며, 주파

수를 사용하는 시간을 분할하여 여러 사람이 동시에 하나의 주파수 대역을 사용할 수 있도록 고안된 것이다. 해당하는 시간에 사용자의 송수신이 이루어지도록 하는 방식이다.

이러한 TDMA에 결합될 Superframe 구조는 사용자가 개별적으로 전송할 때에 따른 패킷 오버헤드 등을 줄이게 설계된 것이다. Superframe 구조에서는 Beacon이라는 부분이 있는데, 이 Beacon을 통해서 주기적으로 사용자들과 AP의 연결을 동기화 시킨다. TDMA 방식에 Superframe 구조를 결합하였을 때의 장점은 개별 사용자가 데이터를 보낼 때 동기화를 할 필요가 없고, 더 높은 안정성을 가지며, 패킷 오버헤드를 줄일 수 있어 효율적인 데이터 전송이 가능해진다. 본 논문에서는 [14]와 같은 방식의 Superframe 구조를 사용하였다. Superframe마다 하나의 Beacon과 24개의 Timeslot을 갖는다. Beacon과 개별 Timeslot은 10ms로 구성되며, Superframe은 총 250ms의 전송 주기를 갖는다.

개별 Timeslot에 할당되는 사용자에 대한 정보는 그림 4와 같다. T는 사용자의 전송이 발생하는 주기, R은 Released time, D는 Deadline, C는 Computation time이다. 사용자의 접속은 Released Time때 이루어져야 하며 Deadline 전에 Computation이 완료되어야 한다는 뜻이다. 사용자마다 Deadline에 우선순위를 가지며 그 우선순위에 먼저 처리되어야 한다. 표1을 참고하면 Beacon은 발생 시간은 0ms이고, 주기

표 1. 각 노드별 메시지 파라미터
Table 1. Parameters of Message for Each Node

	Released time	Computation time	Deadline	Timeslot
Beacon	0	10	10	250
Node 1	10	20	30	150
Node 2	20	20	80	80
Node 3	30	30	100	100
Node 4	40	10	50	50

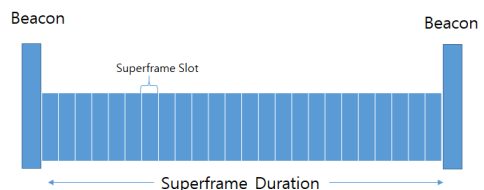


그림 3. 슈퍼프레임 구조
Fig. 3. Superframe Structure

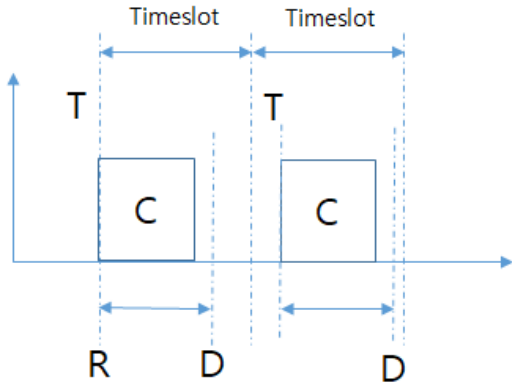


그림 4. 슈퍼프레임 메시지 특성
Fig. 4. Superframe Message Characteristics

250ms마다 발생하고, 발생 후 10ms동안 처리되어져야 하며, 발생 후 10ms이내에 다 처리되어야 한다. Node1은 최초 발생시간이 10ms이며, 150ms를 주기로 계속 발생하며, 발생 후 30ms이내에 20ms동안 처리되어져야 한다는 뜻이다.

2.3 Scheduling 알고리즘

본 논문에서 제안하는 Scheduling 알고리즘은 Deadline Monotonic Scheduling(DMS)^[15]을 바탕으로 했다. DMS의 주요 역할은 데드라인이 가장 짧은 데이터를 Computation time이 끝날 때까지 가장 먼저 수행하는 것이다. 전송주기 T보다 데드라인 D가 작아야 하며, Computation time인 C가 데드라인보다 작아야 한다. 그런데 언급한 조건을 충족하지 못하는 경우, 즉 C가 D전에 끝나지 않고 계속 실행되거나 실행 대기 중인 경우는 Deadline을 충족하지 못하기 때문에 DMS가 적용되어 이런 문제를 줄일 수 있도록 한다.

이러한 DMS 방식에 다중 LED 전송이 가능하도록 하는 알고리즘이 추가되었다. 각 사용자가 어떤 LED에 속하는지에 따라 DMS 스케줄링이 LED별로 개별적으로 적용되어야 하며, LED의 사이에 위치하게 된 경우에는 겹치는 LED중 한 개만 남겨놓고 ρ 도록 스케줄링이 실시되어야 한다.

그림 5와 표 2는 위치에 따라 어떤 LED와 Node가 Pairing이 되며, 간섭이 발생하는지에 대한 예시를 보여주기 위한 내용이다. 2개의 LED와 4개의 Node가 그림 5와 같이 구성된 경우, LED1에 해당하는 Node들은 Node2,3이고, LED2에 해당하는 Node는 1,4이다. 표 2를 통해 방금 설명한 것처럼 Pairing된 부분은 2로 표시하였고, 1이라고 적힌 부분은 Pairing된 건 아니지만 해당 LED에 영향을 받는다는 뜻이다. Node1

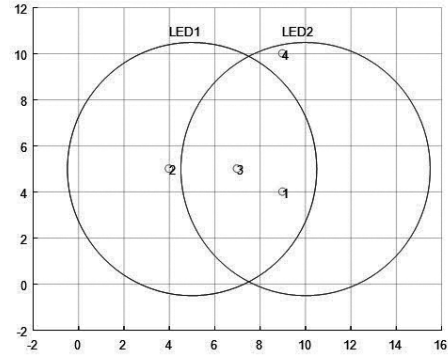


그림 5. VLC 시스템에서 2개의 LED 경우 LED와 Node 위치 관계 예시
Fig. 5. An Example of Relationship of the Locations for the Nodes in Case of 2 LEDs in the VLC system

표 2. 노드와 LED 위치에 따른 위치 정보 예시
Table 2. An example of information based on the locations of the Nodes and the LEDs

	LED1	LED2
Node1	1	2
Node2	2	0
Node3	2	1
Node4	0	2

과 Node3은 각각 다른 LED에 Pairing되어 있지만, Pairing되지 않은 LED에서도 영향을 받는다. 만약 Node3에 전송을 하려고 한다면 LED1에 영향을 받을 수 있는 모든 Node인 1,2는 전송이 불가능하고, LED2가 Node3에 영향을 또 줄수 있기에 4도 전송될 수 없다. 하지만 LED별 영향을 받는게 다른 Node2와 Node4는 다른 LED에 영향을 받지 않기에 동시에 전송되어질 수 있다. 본 논문에서 제안하는 Scheduling 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

1) Node들의 위치에 따라 어떤 LED에 속하는지 Table을 만든다. 겹치는 구간에 있다면 거리상 가장 가까운 LED와 Node를 Pairing시킨다. 그림 5와 같이 2개의 LED와 4개의 Node가 있다고 가정하였을 때, 위치에 따른 표를 만들면 표2와 같다. LED의 영향권 안에 있는 모든 노드들에 해당하는 부분에 1이 입력된다. 그리고 겹치는 구간에 있을 경우, 해당 Node와 가장 가까이에 있는 LED와 Pairing을 한다. Pairing된 경우에는 2가 입력된다. 표1을 보면 그림1에 대한 위치 Table을 참고할 수 있다.

2) 만들어진 table을 바탕으로 LED에 Paring된 Node들 중, 데이터 전송을 하기 위해 Released된 Node들만으로 Queue R를 구성한다.

3) 구성된 Queue R내에서 DMS 스케줄링을 실행하여 Deadline이 가장 빠른 Node를 전송 우선 순위로 삼는다.

4) LED별로 Pairing된 Node들 중 Deadline이 가장 빠른 Node만을 골라내어 Queue D를 만든 후, Queue D중에서 가장 Deadline이 빠른 Node A를 찾는다.

5) 4)에서 찾은 Node A와 Pairing된 LED를 참고하여, 1)에서 작성한 테이블에서 Node A와 Pairing은 되지 않았지만 영향을 미치는 LED와 Pairing된 Node들을 Queue D에서 제거한다. 표3을 예로 들었을 때, Node A가 Node 3이라면 LED1과 Pairing된 것이다. 그런데, LED2 역시 Node 3에 영향을 미치기에 LED2에 Pairing된 Node들 즉, 2가 적힌 Node들을 Queue D에서 제거한다.

6) Node A와 Paring된 LED를 참고하여, 1)에서 작성한 테이블에서 Pairing된 LED를 기준으로 영향을 받는 Node들, 즉 1이 적힌 노드들을 찾아서, Queue D에서 제거한다.

7) 위 과정을 거쳐서 남은 Queue 중 가장 빠른 Deadline을 가진 Node를 전송할 Node만을 위한 Queue S에 복사한 후, Queue D에서 제거한다.

8) 5~7)과정을 Queue D의 크기가 0이 될 때까지 반복한다.

9) Queue S에 들어있는 Node들에게 해당 LED가 전송을 한다.

위의 과정을 거쳐서 전송을 하게 될 경우 LED사이에서의 쉼간 간섭 없이 여러 개의 Node에 전송을 가능하게 하여 통신 효율을 높일 수가 있다.

III. 시뮬레이션 및 결과

본 장에서는 제안 스케줄링 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과들을 다룬다. 본 스케줄링이 적용된 방식과 비적용된 방식을 LED의 수와 Node의 수를 변경하며 Matlab 시뮬레이션을 진행하여 비교하였다. 표3은 시뮬레이션 시스템 파라미터이다. Simulation 시간은 60,000ms로 하였고, LED당 전송 대역폭은 10Mbps로 하였으며, LED의 수는 2개 또는 4개로 비교 진행하였다. 표4는 LED의 좌표 및 가시광 채널 파라미터에 관한 내용 것이다. 표 5는 각 노드별 메시지가 생성되는 것에 관여하는 파라미터에 대한 내용이다. 최대 10개까지 순차적으로 진행하였다. 각 AP인 LED는 Node의 위치정보들을 사전에 알고 있다고 가정하고 시뮬레이션을 실시하였다.

표 3. 시스템 파라미터
Table 3. System Parameters

Simulation Parameters	Value
Simulation time	60,000ms
LED Bandwidth	10Mbps
LED Number	2,4
Gain of Optical Filter	1.0
Physical Area of the Detector	1.0 cm ²
Sensitivity of Photo Diode	1mW
Superframe Period	250ms
Subframe Timeslot	10ms

표 4. LED의 위치 및 파라미터 정보
Table 4. Information of parameters and location for LEDs

	X	Y	Z	Semi-half Angle	Transmitted Power
LED1	5	5	3	70	50mW
LED2	10	5	3	70	50mW
LED3	5	10	3	70	50mW
LED4	10	10	3	70	50mW

표 5. 각 노드별 메시지 파라미터 시뮬레이션
Table 5. Simulation parameters of message for each Nodes

	Released Time	Computation time	Deadline	Time Interval
Beacon	0	10	10	250
Node1	10	20	20	150
Node2	20	20	80	80
Node3	30	30	100	100
Node4	40	10	50	50
Node5	50	30	90	110
Node6	60	20	90	150
Node7	70	40	100	110
Node8	80	30	90	110
Node9	90	60	90	120
Node10	100	40	100	110

그림 6, 7은 2개의 LED인 경우와 그림 8과 같이 4개의 LED인 경우에 대한 노드별 위치에 대한 그림이다. 시뮬레이션은 각각 노드의 수를 1~10까지 순차적으로 늘려가며 진행하였으며, 노드 수가 늘어남에 따라 데드라인을 놓치는 경우와, 전체 노드에 송신되는 처리량의 합을 그림 8과 그림 9에 결과로 나타내었다. 놓친 데드라인에 대한 공식은 공식 (3)과 같다. M 은 데드라인을 놓친 경우의 합, T 는 전체 시스템 진행

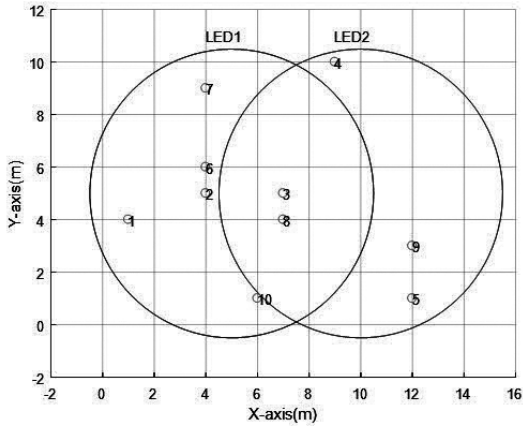


그림 6. LED 2개의 경우 노드들의 위치
Fig. 6. Locations of the Nodes in Case of 2 LEDs

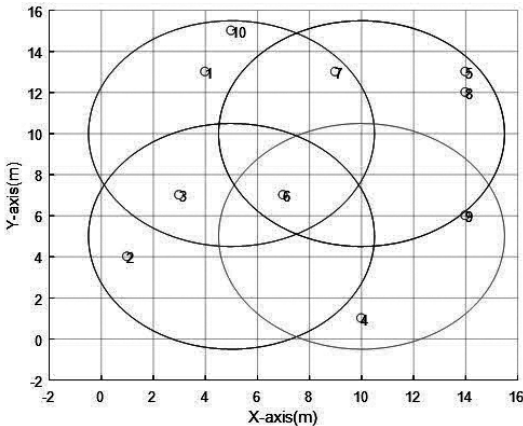


그림 7. LED 4개의 경우 노드들의 위치
Fig. 7. Locations of the Nodes in Case of 4 LEDs

시간, t 는 진행시간, N 은 전체노드의 수, n 은 노드번호, $m(n, t)$ 는 진행시간 t 에서 n 번째 Node가 놓친 Deadline에 대한 경우이다. (4)는 처리량에 관한 공식으로, Θ 는 전체 시스템의 처리량, $\theta(n, t)$ 는 시간 t 에서 n 번째 Node가 전송받은 데이터의 양, t, T, n, N 은 식(3)과 같다. 식(5)는 Timeslot 10ms당 전송될 수 있는 데이터의 크기를 나타낸다.

$$M = \sum_{t=0}^T \sum_{n=1}^N m(n, t) \quad (3)$$

$$\begin{cases} \text{If } n_{th} \text{ node's deadline at time } t \text{ is missed } & m(n, t) = 1 \\ \text{No missed deadline} & m(n, t) = 0 \end{cases}$$

$$\Theta = \sum_{t=0}^T \sum_{n=1}^N \frac{\theta(n, t)}{T} \quad (4)$$

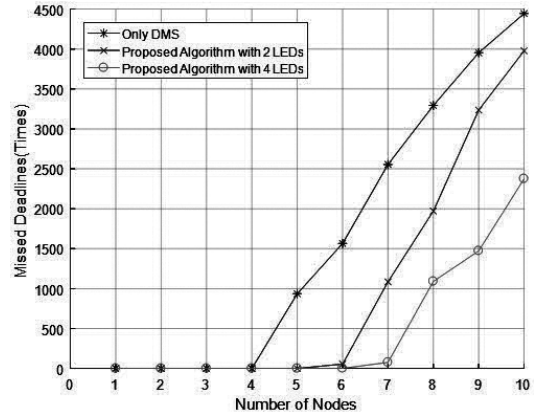


그림 8. 노드 수에 따른 각 알고리즘별 놓친 데드라인
Fig. 8. Missed Deadlines of the Each Algorithms According to Number of Nodes

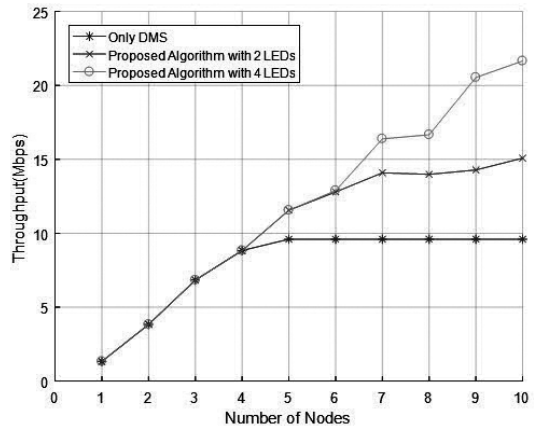


그림 9. 노드 수에 따른 각 알고리즘 별 처리량
Fig. 9. Throughput of the Each Algorithm According to Number of Nodes

$$\begin{cases} \text{If there is a transmission of } n_{th} \text{ node at time } t & \theta(n, t) = \text{Data} \\ \text{No transmission} & \theta(n, t) = 0 \end{cases}$$

$$\text{Data} = \text{Bandwidth} \times \text{Timeslot} \quad (5)$$

시뮬레이션은 본 논문이 제시한 Node의 위치에 따른 다중 LED 스케줄링 방식이 적용된 경우와, 오직 DMS 알고리즘만 적용된 경우를 비교하였으며, 적용된 경우는 또 다시 LED 수에 따라 2개 또는 4개로 나누었다. DMS만 적용된 경우는 LED가 1개이든 2개이든 상관없이 한 번에 한 노드만 전송할 수 있기에 LED 수는 상관이 없다. 그림 8은 노드 수가 늘어감에 따라 메시지 노드 간 전송 경쟁이 치열해지므로, 일정 Node 수에 도달하게 되면 Deadline을 놓치는 경우가 많아지게 됨을 보여준다. 이 때 제안 알고리즘이 적용

된 경우는 Node 위치에 따라 LED별로 다중 전송이 가능하게 성능이 개선됨을 보여준다. LED가 2개인 경우보다 4개인 경우 같은 시간에 최대 4개의 Node에 전송이 가능해지므로 성능 개선이 더 가능함을 알 수 있다. 그림9는 Node수에 따른 알고리즘별 전송 처리량을 나타내는데, Node수가 4개인 경우까지는 똑같은 성능을 보이나, DMS만 적용된 경우는 노드 수가 5개 이상이 되면 한 번에 한 Node에만 전송이 가능하기에 임계점에 나머지 경우보다 더 빨리 도달함을 알 수 있다. LED별로 한 번에 더 많은 수에 전송이 가능해지게 LED 수가 많아질수록 더 높은 전체 전송 처리량을 가진다.

IV. 결 론

본 논문은 가시광 통신에 Time Division Multiplexing Access(TDMA)-superframe 구조와 다중 LED 전송이 가능하도록 하는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. Node의 위치별로 가까운 LED간 Pairing을 실시하여, Pairing된 Node끼리 Deadline Monotonic Scheduling(DMS)를 적용하여 LED별 개별 전송을 실시하도록 하였다. 즉, Node 위치에 따라 여러 개의 LED가 같은 시간에 여러 Node에 전송이 가능하도록 LED간 간섭이 없도록 스케줄링 알고리즘을 제안하였으며, 각 LED에 페어링된 Node간에는 Deadline Monotonic Scheduling(DMS) 알고리즘이 적용되어 Deadline이 가장 빠른 Node들에게 전송되도록 알고리즘을 제안하였다. Matlab을 통해 시뮬레이션을 진행하여 성능 평가를 실시하였으며, 시뮬레이션 결과를 통해 제안 스케줄링 알고리즘을 통해 성능 개선이 이루어짐을 확인하였다. Deadline Monotonic Scheduling(DMS) 알고리즘을 적용한 경우와 본 논문의 제안 알고리즘을 적용한 경우를 비교하였을 때, 제안 알고리즘을 적용한 경우가 전체 시스템 처리량이 증가하며, Deadline을 놓치는 경우가 줄어들을 알 수 있다.

References

[1] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 50, no. 1, Feb. 2004.

[2] A. Jovicic, J. Li and T. Richardson, "Visible light communication: opportunities, challenges

and the path to market," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 12, Dec. 2013.

[3] W. J. Ryu and S. Y. Shin, "On performance improvement of optical camera communication using RGB LEDs by applying histogram equalization," *J. KICS*, vol. 42, no. 08, pp. 1654-1661, Aug. 2017.

[4] R. D. Roberts, S. Rajagopal, and S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 physical layer summary," *2nd IEEE Workshop on Optical Wireless Commun.*, pp. 772-776, USA, Dec. 2011.

[5] S. Wu, H. Wang, and C. H. Youn, "Visible light communications for 5G wireless networking systems: From fixed to mobile communications," *IEEE Network*, vol. 28, no. 6, pp. 41-45, Nov. 2014.

[6] J. F. Li, Z. T. Huang, R. Q. Zhang, F. X. Zeng, M. Jiang, and Y. F. Ji, "Superposed pulse amplitude modulation for visible light communication," *Optics Express*, vol. 21, no. 25, pp. 31006-31011, Dec. 2013.

[7] S. Rajagopal, R. Roberts, and S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: Modulation schemes and dimming support," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 72-82, Mar. 2012.

[8] Y. Tao, X. Liang, J. Wang, and C. Zhao, "Scheduling for indoor visible light communication based on graph theory," *Optics Express*, vol. 23, no. 3, pp. 2737-2752, Feb. 2015.

[9] H. Liu, H. Dai, Y. Chen, and P. Xia, "Conflict graph-based downlink resource allocation and scheduling for indoor visible light communications," *J. Optical Soc. Korea*, vol. 20, No. 1, pp. 36-41, Feb. 2016.

[10] Y. Li, L. Wang, J. Ning, K. Pelechrinis, S. V. Krishnaurhy, and Z. Xu, "VICO: A framework for configuring indoor visible light communication networks," in *Proc. MASS Int. Conf. 2012*, pp. 136-144, Las Vegas, NV, USA, Oct. 2012.

[11] G. Cossu, A. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella, "3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED," *Opt. Express*, vol. 20, no. 26, pp.

B501-B506, Dec. 2012.

- [12] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 50, No. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [13] Z. Ghassemloooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari. "Optical wireless communications," *CRC Press*, pp. 77-84, 2012.
- [14] N. C. Audsley, A. Burns, and A. J. Wellings, "Deadline monotonic scheduling theory and application," *J. Control Eng. Practice*, vol. 1, no. 1, pp. 71-78, Feb. 1993.
- [15] O. D. Saputra and S. Y. Shin, "Performance evaluation of ISA100.11a superframe using deadline monotonic scheduling," *J. KICS*, vol. 39C, no. 12, pp. 1338-1345, Dec. 2014.

류 원 재 (Won Jae Ryu)



2012년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과 졸업
2014년 2월 : 금오공과대학교 IT 융복합공학과 석사
2016년 9월~현재 : 금오공과대학교 IT 융복합공학과 박사과정

<관심분야> 사물인터넷, 무선통신, 임베디드 시스템

간 데 바 (Gandeva Bayu Satrya)



2008년 2월 : 인도네시아 텔콤 대학교 정보공학과 졸업
2012년 2월 : 인도네시아 텔콤 대학교 정보공학과 석사과정 졸업
2015년 3월~현재 : 국립금오공과대학교 IT 융복합공학과 박사과정

<관심분야> Wireless Security and Computer Network Forensics.

신 수 용 (Soo Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
2006년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2010년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야> Network/communication protocol, MIMO and OFDM, wireless networks, etc.