

IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템의 설계 및 구현

이소연¹, 최예원¹, 이강선¹, 심규성², 안병구^{1,◎}

¹홍익대학교, 소프트웨어융합학과

²한경국립대학교, 컴퓨터응용수학부

e-mail : beongku@hongik.ac.kr

Development of IoT and VLC-based Smart Streetlight System

Soyeon Lee¹, Yewon Choi¹, Kangsun Lee¹, Kyusung Shim², Beongku An^{1,◎}

¹Dept. of Software and Communications Engineering, Hongik University

²School of Computer Engineering & Applied Mathematics,
Hankyong National University

Abstract

This paper proposes an IoT and VLC-based smart streetlight system. The proposed system can collect various environmental information using IoT sensors, and utilize a deep learning model to decide whether streetlight turn-on or not. Besides, the decided results and environmental data are stored in a database and can be monitored through a web site whenever. Additionally, the proposed system can exchange streetlight information using VLC. From the performance evaluation, the proposed system shows that the deep learning model effectively decides whether streetlights turn-on or not.

I. 서론

LED(Light Emitting Diode, 발광 다이오드)는 전류가 흐를 때 빛을 방출하는 소자이다. LED는 수명이 길고, 에너지 효율이 뛰어나며, 즉각적으로 켜지고 꺼지는 특성 덕분에 여러 분야에서 사용되고 있다. 최근 LED 기술은 지속적으로 발전하고 있다. 단순 조명용 소자를 넘어서 다양한 첨단 기술과 융합되어 발전하고

있다. 우리가 흔히 도로에서 볼 수 있는 가로등에도 LED를 사용하고 있다. 가로등은 어두울 때 도로를 비추기 위해 설치된 인공조명 장치이다. 가로등은 단순히 공간을 밝히는 역할을 넘어서 보행자 및 차량의 안전 확보, 환경 개선 등 여러 가지 중요한 기능을 수행한다. 현재의 가로등은 저녁에만 점등되고, 주변 환경을 고려하지 않은 채 켜지고 꺼진다. 산간 지역이나 안개나 비, 눈 등의 기상 상황에 따라 낮에도 가로등이 필요한 경우가 종종 발생한다. 따라서 모든 지역의 상황을 알 수가 없어 능동적으로 대처하는 데 어려움이 있다.^{[1]-[2]}

인공지능(AI, Artificial Intelligence)은 컴퓨터 시스템이 인간의 지능적 기능을 모방하여 문제를 해결하고 학습하여 여러 기능을 수행할 수 있는 기술이다. 이를 통하여, 인공지능 분야는 급속히 발전하고 있으며, 여러 새로운 기술들이 등장하고 있다. 가로등 시스템에 인공지능을 활용하면 주변 환경을 고려해 가로등 스스로 점등 여부를 결정할 수 있다. 따라서 보다 효율적이고 보행자나 차량의 안전까지 기여할 수 있을 것으로 예상된다.^{[3]-[4]}

본 논문에서는 기존의 가로등보다 발전된 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템을 제안, 개발하고자 한다. 제안하는 시스템은 가로등 스스로 주변 환경을 측정하고 인공지능을 이용하여 점등 여부를 결정하고,

이를 가시광통신을 이용하여 주변 다른 사물들에게 전달한다. 성능평가를 통해서, 개발된 시스템이 IoT 환경 센서를 이용해 주변 환경을 측정하고, 가로등 스스로 점등 여부를 결정하는 것을 확인하였다. 또한, 웹사이트를 통하여 언제 어디서나 확인할 수 있음을 확인하였다.

II. 제안하는 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템

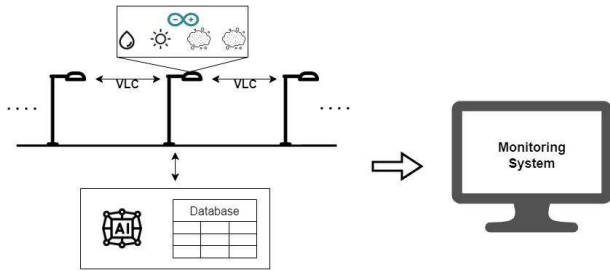


그림 1. 제안하는 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템의 개념도

그림 1은 본 논문에서 제안하는 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템의 개념도이다. 제안하는 스마트 가로등들은 IoT 환경 센서를 통해 조도, 습도, 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5) 값을 측정한다. 이 값과 딥러닝을 이용해 가로등의 점등 여부(ON, OFF)를 결정한다. 결정된 결과 값과 환경 센서 측정값은 데이터베이스에 저장한다. 결정된 점등 여부를 통해 메인 가로등은 결과 값에 따라 가로등을 점등 및 소등한다. 또한 옆에 있는 가로등에 VLC로 가로등의 점등 여부를 전달한다. 옆에 있는 가로등은 전달받은 가로등의 점등 여부에 따라 가로등을 점등 및 소등하고, 잘 점등, 점멸 되었는지의 여부를 다시 메인 가로등으로 전달한다. 이 값들은 데이터베이스에 같이 저장된다. 데이터베이스에 저장되어 있는 값은 장소에 따라 확인하기 어려울 수 있다. 따라서 관리자는 이를 언제 어디서나 웹사이트를 통해 쉽게 확인해 상황을 파악할 수 있다.

제안하는 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템은 다음과 같이 다섯 부분으로 나눌 수 있다.

- 환경 데이터 수집 시스템
- 데이터 저장 시스템
- 딥러닝 시스템
- 가시광통신 시스템
- 모니터링 시스템

III. 제안하는 시스템의 구현

3.1 환경 데이터 수집 시스템의 구현

표 1. IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템을 위한 IoT 환경 센서

센서	종류	단위	측정 범위
DHT22	온습도 센서	℃	-20 ~ 60 (±0.5)
PMS7003	미세먼지 센서	ug/m ³	0 ~ 999
SZH-SSB H-011	조도 센서	없음	0 ~ 1023

제안하는 시스템 중 환경 데이터 수집 시스템은 아두이노 IoT 환경 센서를 이용해 구현했다. 표 1은 본 연구 개발을 위해 사용한 IoT 센서이다. DHT22는 온습도센서로 AM2302 센서를 사용한다. PMS7003은 레이방식의 미세먼지 측정 센서이다. 이 센서를 통하여 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)의 측정이 가능하다. SZH-SSBH-011 센서는 CDS 센서를 사용하는 광량 감지 센서이다. 본 연구에서 조도의 값을 얻기 위해 사용했다.

3.2 데이터 저장 시스템의 구현

데이터 저장 시스템의 데이터베이스는 MySQL을 사용했다. MySQL은 오픈 소스 관계형 데이터베이스 관리 시스템으로, 데이터 저장 및 관리를 위해 많이 사용된다. 관계형 데이터베이스는 데이터를 테이블로 구성하고, 테이블 간에 관계를 설정하여 데이터를 효율적으로 관리할 수 있도록 설계된 시스템이다.

Light	Humidity	PM2.5	PM10.0	Result
500	54.6	4	6	ON
334	99.9	7	155	ON
431	99.9	4	155	ON
548	99.7	81	81	ON
432	76.9	51	57	ON
111	54.8	6	153	OFF
571	58	6	155	ON
740	62.4	14	14	ON
529	54.6	7	155	ON
459	54.2	67	81	ON
435	54.5	6	6	OFF
422	54.3	10	345	ON

그림 2. 데이터 저장 시스템의 데이터베이스 테이블 (일부)

그림 2에서와 같이 MySQL 데이터베이스에 데이터가 테이블에 저장되어 있다. 테이블은 Light(조도), Humidity(습도), PM2.5(초미세먼지), PM10(미세먼지),

Result(딤러닝 결과 값)으로 이루어져 있다.

3.3 딤러닝 시스템의 구현

표 2. 제안한 시스템의 딤러닝 구조

계층	유닛	활성 함수
입력 계층 (Input Layer)	4	X
은닉 계층1 (Hidden Layer 1)	128	ReLU
은닉 계층2 (Hidden Layer 2)	64	ReLU
은닉 계층3 (Hidden Layer 3)	64	ReLU
은닉 계층4 (Hidden Layer 4)	32	ReLU
은닉 계층5 (Hidden Layer 5)	16	ReLU
출력 계층 (Output Layer)	1	Sigmoid

개발된 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템은 딤러닝을 이용하여 가로등의 점등 여부를 스스로 판단한다. 이를 위한 딤러닝 모델은 다층 퍼셉트론(MLP: Multilayer Perceptron)구조의 인공 신경망(ANN: Artificial Neural Network)이다. 표 2와 같이, 구체적인 딤러닝 모델은 1개의 입력층(Input Layer), 5개의 은닉층(Hidden Layer), 1개의 출력층(Output Layer)로 구성되어 있다. 딤러닝 모델에서 은닉층의 별로 유닛(Unit) 수를 다르게 설정했다. 첫 번째 은닉층은 128개의 유닛으로 구성되며, 가장 많은 유닛을 포함하고 있어 모델의 초기 데이터 처리를 담당한다. 두 번째와 세 번째 은닉층은 64개의 유닛으로 구성된다. 네 번째 은닉층은 32개의 유닛, 다섯 번째 은닉층은 16개의 유닛으로 구성된다. 각 은닉층은 ReLU 활성화 함수를 사용하며, 데이터가 각 계층을 거치면서 비선형 변환을 통해 패턴을 학습한다.

3.4 가시광통신 시스템의 구현

제안하는 시스템에서 각 가로등 간의 통신을 위해서 가시광통신 시스템을 구현했다. 가시광통신은 가시광선을 이용해 데이터를 전송하는 무선 통신 기술이다. LED를 사용하여 통신을 할 수 있기 때문에 이미 가로등에 설치되어 있는 LED를 사용하면 된다.

가시광통신 시스템은 그림 3과 그림 4와 같이 아두이노를 통해서 구현했다. 딤러닝을 통해 얻은 가로등의 점등 여부(ON, OFF)를 전송받아 값에 따라 가로등을 점등 및 소등한다. 메인 가로등은 옆에 있는 가로등에

가시광통신으로 점등 여부를 전송한다. 전송받은 가로등의 점등 여부에 따라 가로등을 작동한 후 작동 여부를 다시 가시광통신으로 메인 가로등에 전송한다. 메인 가로등은 이 값을 전달받아 각 가로등의 점등 여부를 데이터베이스에 저장한다.

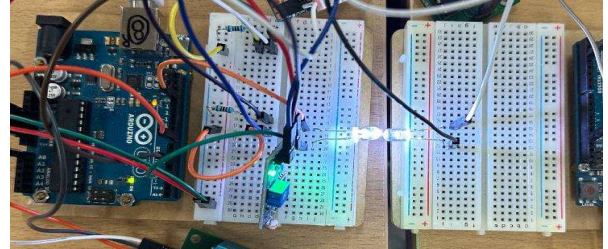


그림 3. 아두이노로 구현한 가시광통신 시스템

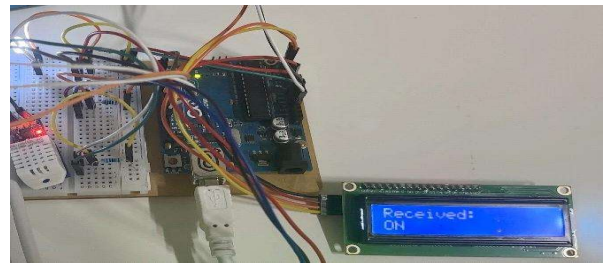


그림 4. 전송받은 결과(ON)에 따라 LED 점등

3.5 모니터링 시스템의 구현

모니터링 시스템은 관리자가 시간과 장소에 구애받지 않고 쉽게 상황 파악을 하기 위해서 만들어졌다. 모니터링 시스템은 웹페이지로 구현 되었으며, Apache 웹 서버 소프트웨어를 통해 구현했다. 내부 네트워크뿐만 아니라 외부 네트워크를 통해 접속이 가능하도록 포트 포워딩(Port Forwarding) 네트워크 설정 방식을 이용했다.

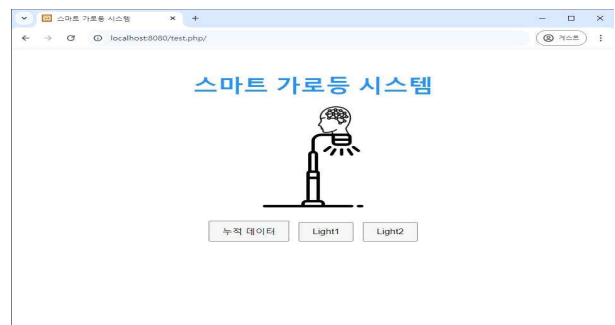


그림 5. 모니터링 시스템 웹페이지 메인 화면

그림 5는 모니터링 시스템의 웹페이지 메인 화면이다. 웹페이지에서는 지금까지 측정된 환경 센서의 값, 각 가로등의 현재 상태와 누적된 상태를 확인할 수 있

다. 누적 데이터의 화면에서는 지금까지 측정된 조도, 습도, 미세먼지, 초미세먼지의 값을 확인할 수 있다. Light1과 Light2 화면에서는 현재 가로등의 점등 여부와 이전의 점등 여부를 확인할 수 있다.

IV. 성능평가

본 논문에서는 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템의 딥러닝 모델의 성능을 평가하였다. 이를 위해서 주피터 노트북(Jupyter Notebook) 프로그램을 활용하였으며, 실제 IoT 환경 센서를 통해 수집한 데이터를 바탕으로 총 1,040개의 학습 데이터를 활용하였다. 사용된 데이터 중 832개는 모델 학습에, 208개는 검증에 활용하였다.

학습 결과, 제안된 딥러닝 모델의 정확도는 90.38%에서 97.12%의 범위를 나타냈으며, 평균적으로 93.32%의 정확도를 기록하였다. 이러한 결과 모델이 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템의 환경 데이터에 대한 높은 예측 성능을 보였음을 확인하였다.

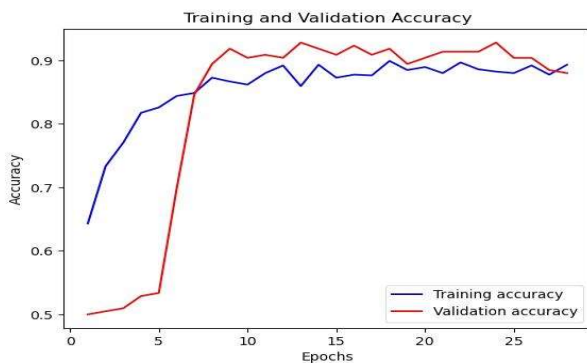


그림 6. 학습 횟수(Epoch)에 따른 정확도(Accuracy) 변화

그림 6은 딥러닝 모델 학습 횟수(Epoch)의 수가 증가함에 따른 학습 데이터(Training data)와 검증 데이터(Validation data)의 정확도 변화를 나타낸다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 학습 횟수가 증가할수록 정확도가 향상되는 경향을 나타냄을 확인하였다. 이를 통해 제안된 IoT와 VLC 기반 스마트 가로등 시스템을 위한 딥러닝 모델이 성공적으로 학습한 것을 확인하였다. 학습 데이터와 검증 데이터 모두에서 높은 정확도를 기록한 점은 모델의 학습이 안정적이고 효과적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

표 3. 다양한 지표의 딥러닝 모델의 성능평가

	precision (정밀도)	recall (재현율)	F1-score	support
0 (OFF)	0.95	0.91	0.93	104
1 (ON)	0.92	0.95	0.93	104

표 3은 딥러닝 모델의 성능을 다양한 지표로 평가한 값이다. precision(정밀도)은 모델이 양성(positive)으로 예측한 것 중에서 실제로 맞는 값의 비율이다. 클래스 0(OFF)에서 모델이 예측한 0중 95%가 실제로 0이고, 클래스 1(ON)에서 모델이 예측한 1 중 92%가 실제로 1이다.

recall(재현율)은 실제 양성(positive) 중에서 모델이 올바르게 예측한 비율이다. 클래스 0에서 실제로 0인 데이터 중 91%가 올바르게 예측되고, 클래스 1에서 실제로 1인 데이터 중 95%가 올바르게 예측되었다.

F1-score은 정밀도와 재현율의 조화 평균이다. 이 지표는 모델의 균형적인 성능을 나타낸다. 클래스 0과 1의 F1-score는 모두 0.93이다. support는 각 클래스의 실제 데이터 수를 의미한다. 클래스 0과 1의 데이터 개수 모두 104개이다.

Confusion Matrix:
[[95 9]
[5 99]]

그림 7. 딥러닝 모델의 Confusion Matrix (혼동 행렬)

Confusion Matrix(혼동 행렬)은 모델의 예측 결과와 실제 결과를 비교하는 표이다. 그림 7은 딥러닝 모델의 Confusion Matrix이다. 실제 클래스가 0(OFF)인 104개 중 95개는 0으로 올바르게 예측되었고, 9개는 1로 잘못 예측되었다. 실제 클래스가 1(ON)인 104개 중 99개는 1로 올바르게 예측되었고, 5개는 0으로 잘못 예측되었다.

Confusion Matrix에서 False Positive(FP)와 False Negative(FN)의 수가 상대적으로 적으며, 모델의 전반적인 성능은 매우 좋은 것을 확인할 수 있다.

이 결과를 종합적으로 보면 클래스 0과 클래스 1에 대한 정밀도, 재현율, F1-score 모두 균형 잡힌 성능을 보인다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 여러 주변 환경 데이터를 통해 스스로 가로등을 점등, 점멸하고 옆의 가로등으로 전달하고 이를 시간과 장소에 구애받지 않고 이를 확인할 수 있

는 시스템을 개발하였다. 성능평가를 통하여, 개발된 딥러닝 모델과 가시광통신 시스템이 성공적으로 주변 환경 데이터를 활용하여 판단을 내리고, 이를 송수신함을 확인하였다.

현재 본 연구진은 모니터링 시스템에서 제어가 가능하고, 구현된 시스템에 사고 감지 기능을 추가하여 더욱 안전성을 높일 수 있도록 사고 감지 시스템에 관한 연구와 개발을 진행하고 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (NRF-2022R1A2B5B01001190). Prof. Beongku An is the Corresponding author.

참고문헌

- [1] 이소연, 최예원, 심규성, 안병구, “VLC 기반 스마트 가로등 시스템”, 2023년 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, pp.470-471, 2023년 11월.
- [2] 이소연, 최예원, 이강선, 심규성, 안병구, “VLC를 이용한 IoT 기반 스마트 가로등 시스템”, 2024년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, pp.2689-2691, 2024년 6월.
- [3] Nayoung Ko, Dabom Choi, Kyusung Shim, and Beongku An, “Intelligent Multi-to-One Visible Light Communication-based Smart IoT Monitoring System”, 2022년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, pp.531 - 534, 2022년 6월.
- [4] 고나영, 최다봄, 김동훈, 심규성, 안병구, “One-to-One 가시광 통신 기반 IoT 모니터링 시스템”, 2022년도 한국통신학회 학술대회논문집, pp.1204-1205, 2022년 02월.