

실시간 영상 데이터와 딥러닝 객체 검출 기반의 에너지 절감형 스마트조명 제어 알고리즘에 관한 연구

오혜윤, 이준희*, 김대호*, 성정식*

DSC 공유대학 차세대통신융합전공, *한국전자통신연구원 자율형IoT연구실
ohy0841@naver.com, *aloha@etri.re.kr, *dhkim7256@etri.re.kr, *jssung@etri.re.kr

A Study on the Energy-saving Smart Lighting Control Algorithm Based on Real-Time Image Data and Deep Learning Object Detection Technology

Oh Hye Yoon, JunHee Lee*, Kim Dae Ho*, Sung Jung Sik*
DSC Platform University, *Autonomous IoT Research Section ETRI

요약

본 논문은 실시간 영상 데이터와 딥러닝을 활용하여 에너지 절감형 스마트조명 제어 알고리즘 최적화에 집중한다. AI 알고리즘 최적화에 관한 다각적 연구와 테스트를 통해, 우리는 도시의 에너지 효율성과 지속 가능한 발전을 위한 효과적이고 실질적인 해결책을 모색하고자 한다.

I. 서론

최근 몇 년 동안 환경 문제와 에너지 자원 고갈이 심각한 이슈로 대두되었다. Enerdata의 보고에 따르면, 2022년 전 세계의 에너지 소비 증가율은 2.1%로, 2010년부터 2019년까지 평균 증가율인 1.4%보다 높았다. 특히, 한국은 2021년에 5.7% 증가한 후 2022년에는 1.4% 감소세를 보였다.[1][2] 이러한 에너지 소비를 줄이기 위해, 네트워크 기술과 IoT 기술 등 정보통신 기술이 통합된 스마트조명에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.[3]

그 중 모션 센서 기반의 조명 제어는 간단한 제어 로직을 통해 쉽게 구현할 수 있어 에너지 절감을 위해 널리 사용되고 있다. 그러나 모션 센서 기반의 조명은 움직임이 감지될 때만 켜지는 특성으로 인해 장시간 움직이지 않는 상황에서는 비효율적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 YOLOv5 모델로 사람에 대한 객체 인식을 수행하고, MiDas 모델에 의해 생성된 깊이 맵을 통해 객체의 3D 좌표값을 계산해낸다.

그 후 객체의 좌표값과 조명의 좌표값을 비교하여 사람과 가장 인접한 조명을 제어하는 알고리즘을 제안한다. 이를 활용해 에너지 소비를 최소화하고 사용자의 편의성 향상의 효과를 기대한다.

II. 본론

1. 배경이론

'You Only Look Once (YOLO)'는 실시간 객체 탐지를 위한 딥러닝 알고리즘으로, 본 논문에 등장하는 'YOLOv5'에서 뒤쪽에 붙은 'v5'는 YOLO의 버전을 의미한다. 객체 탐지의 속도와 정확성을 모두 충족하는 YOLO는 컴퓨터 비전 및 영상처리 응용 프로그램에서 널리 사용되고 있으며, 이를 통해 빠른 실시간 객체 감지가 가능하다. 이번 실험에서 YOLO는 IP 카메라를 통해 전달받은 실시간 영상 데이터에서 사람을 탐지해내고, 이를 통해 좌표 검출에 필요한 바운딩 박스를 제공한다.

MiDas는 심층 학습을 기반으로 하는 단일 이미지 깊이 추정 모델로,

스테레오 카메라 없이 단일 이미지만을 사용해 깊이 맵을 생성하여 픽셀 단위로 깊이 정보를 획득할 수 있다. 이러한 실시간 처리 능력과 뛰어난 단일 이미지 깊이 추정 성능을 바탕으로, 본 연구에서는 카메라 캘리브레이션을 통해 생성한 2D 좌표계를 3D 좌표계로 변환하는 데 필요한 깊이 값을 측정하는 데에 활용한다.

2. 실험환경

실험은 GPU RTX 3090의 CentOS 7(7.9.2009) 서버와 HIKVISION DS-2CD1043G0-I (2.8mm) 모델을 활용하여 진행한다. 서버와 IP 카메라는 공유기를 통해 연결되며, 터미널에서 명령어 입력을 통해 카메라 화면을 PC 모니터로 확인이 가능하다.

3. 실험과정

3.1 조명 정보 읽어오기

조명 위치 정보는 제안하는 알고리즘을 수행하는데 있어서 중요한 정보 중 하나이다. 조명 위치 정보는 공간 내 별도로 정의한 원점을 기준으로 조명의 위치를 x축 좌표, y축 좌표, z축 좌표 등 3D 좌표값으로 표현한다. 이 정보는 조명 데이터를 관리하는 관계서버에 저장되어 있어 REST API를 통해 해당 정보를 호출할 수 있다. 불러온 모든 조명의 정보는 하나의 DataFrame 타입 변수로 지정한다.

3.2 사람 인식 및 좌표 검출

기본적으로 본 논문에서 구현한 조명 제어 알고리즘은 사람과 조명의 좌표값을 활용해 둘 사이의 거리를 구하고, 해당 거릿값을 기준으로 제어할 조명을 선택한다. 즉, 좌표값에 대한 정보가 충족되어야 알고리즘이 진행된다. 이때 조명의 좌표는 비교적 고정적이라고 할 수 있지만, 사람의 좌표값은 가변적이다. 때문에 조명의 좌표는 사전에 정해진 값을 사용하는 반면, 사람의 좌표는 계속해서 객체 탐지 및 좌표 검출 단계를 거쳐야 한다. 그러므로 사람의 좌표 검출 단계는 조명 제어 알고리즘과 함께 실시

간으로 실행되도록 구현했다. 실시간 영상 데이터에 카메라 캘리브레이션 과정을 거친 후, YOLOv5 모델과 MiDAS 알고리즘을 적용시켜 탐지된 사람의 3D 좌표값 (X_w, Y_w, Z_w)를 얻어온다.

3.3 제어 조명 선택 알고리즘

3.1과 3.2를 통해 사전 정보가 구성되면, YOLOv5의 객체 검출을 기반으로 한 스마트조명 제어 알고리즘이 실행된다. YOLOv5를 활용해 사람을 인식하고, 인식된 사람의 3D 좌표값을 활용하여 제어하고자 하는 특정 조명을 선택한다.

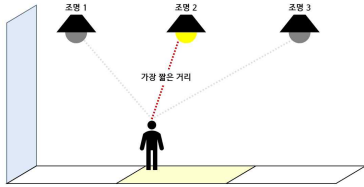


그림 1. 최근접 조명 선택

본 논문에서는 최근접 조명 1개를 선택하는 조건으로 실험을 진행한다. 조명과 사람의 좌표값을 활용하여, 인식된 사람과 모든 조명 각각의 거리값을 구한다. 실험에서 사용한 수식은 (1)과 같다. (1)에서 X_{sl} 과 Y_{sl} 는 조명의 x, y 좌표값을, X_p 와 Y_p 는 사람의 x, y 좌표값을 의미한다.

$$distance = \sqrt{(X_{sl} - X_p)^2 + (Y_{sl} - Y_p)^2} \quad (1)$$

이를 통해 나온 모든 조명의 거리값과 각각의 디바이스 ID를 'sl_distance'라는 이름의 리스트에 저장한다. 최종적으로 'sl_distance'는 '[[Device ID_1, distance_1], [Device ID_2, distance_2], ..., [Device ID_n, distance_n]]'와 같은 구조를 지니게 된다. 이를 오름차순으로 정렬한 후, 원하는 제어 조명의 개수만큼 제어할 조명 리스트에 추가한다. 만약 최근접 조명 4개를 제어한다면 그림 2의 'smartlights_control_number'의 값이 4가 되며, 인덱스 0~3까지의 리스트의 디바이스 ID가 제어 조명 리스트인 'current_did_list'에 추가된다. 본 논문에서는 최근접 조명 1개를 제어할 것이기 때문에, 'sl_distance' 리스트의 0번째 인덱스인 조명 정보만을 활용하게 된다.

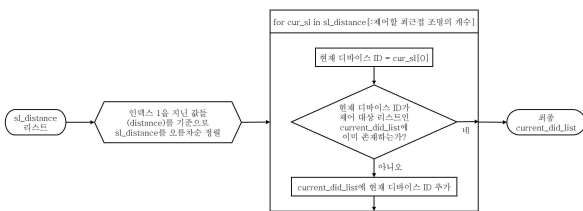


그림 2. 개수에 따른 제어 조명 추출 알고리즘 순서도

위와 같은 알고리즘은 탐지된 객체 각각에 적용된다. 한 프레임 내에 여러 객체가 존재하는 경우, 해당 프레임에 존재하는 모든 객체에 대해 그림 2와 같은 제어 조명 추출 알고리즘이 실행된다. 제어할 조명의 리스트인 'current_did_list'에는 여러 객체에 대한 최근접 조명의 디바이스 ID가 들어가게 되며, 그림 2의 if 조건을 통해 중복되는 디바이스 ID는 추가되지 않게 구현했다.

3.4 조명 제어를 위한 명령어 전송

제안하는 알고리즘에 의해 제어 대상이 결정되면, AI 서버는 게이트웨

이에게 제어 명령을 전송한다. 제어 명령은 조명 On/Off, 디밍레벨, 변환 시간 정보가 포함된다. 여기서, 디밍레벨은 조명의 밝기를 의미하며, 변환 시간은 조명 상태를 변환하는데 걸리는 시간을 의미한다.

제어 명령 중 On 명령어는 사람이 감지되었을 때 전송한다. Off 명령어는 On 명령어를 전송하고 특정 시간 뒤에 전송되는데, 그 특정 시간 후에 Off 대상 조명이 여전히 최근접 조명으로 인지되어 있는 경우에는 Off 명령어를 전송하지 않도록 구현했다.

4. 실험결과

그림 3에서 바운딩 박스의 좌측 상단에 표시된 수는 제어 조명 선택 알고리즘을 통해 도출된 최근접 조명의 디바이스 ID를 의미한다. 그림 4는 제어 대상 조명에게 전송한 명령어를 나타낸 것이다. 42번 조명에 디밍레벨 70%인 'On' 명령어를 전송함으로써 해당 조명이 켜졌음을 의미한다. 사람이 42번 조명에서 멀어지면 42번 조명에게 'Off' 명령어를 전송한다.



그림 3. 최근접 조명의 디바이스 ID가 출력된 화면

```
2024/01/09 09:03:56
Device 42 ON
Current level = 70
{"result_msg": "Success", "result_code": "200"}

2024/01/09 09:03:59
Device 42 OFF
{"result_msg": "Success", "result_code": "200"}
```

그림 4. 조명 제어 명령 전송

III. 결론

본 논문의 연구는 실시간 영상 데이터와 딥러닝 객체 검출 기반의 에너지 절감형 스마트조명 제어 알고리즘에 초점을 맞추어 진행되었다. 영상 데이터 기반의 조명 제어를 통해 사용자가 특정 행동을 취하지 않아도 능동적으로 조명을 제어할 수 있는, 기존의 모션 센서 기반 조명의 한계점을 극복해낸 시스템을 구현하였다. 이를 통해 에너지 절감과 사용자 편의성 측면에 긍정적인 효과를 불러올 것이라는 초기의 목적을 달성하였다. 그러나 좌표 추정의 정확도와 다양한 상황에 대응하는 조명 제어 알고리즘 구현에 있어 개선의 여지가 있다. 따라서 좌표의 정확도를 높이는 기술과 함께, 어떤 환경이라도 안정적으로 작동하는 범용적인 알고리즘 설계에 대한 추가 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (20202020800220)

본 논문은 DSC지역혁신플랫폼 차세대통신융합사업단-ETRI 인턴십 프로그램의 결과입니다.(2021IRIS-004)

참고 문헌

[1] Enerdata, "South Korea Energy Information", (<https://www.enerdata.net/estore/energy-market/south-korea/>)

[2] Enerdata, "World Energy and Climate Statistics - 2023 Almanac", (<https://yearbook.enerdata.co.kr/>)

[3] J. S. Sung, J. H. Lee, S. H. Lee, "Intelligent Smart Lighting Trends", Weekly ICT Trends, v.2036, pp. 14-27, March 2022