

AI 技術と深度計測カメラを活用した 屋外照明制御システムの開発

松本陽斗、村田政隆、松村一弘、水野 温*

Development of Outdoor Lighting Control System Using AI Technology and Depth Cameras

Haruto Matsumoto, Masataka Murata, Kazuhiro Matsumura, Motomu Mizuno*

要 旨

視覚は人間の五感の中で得られる情報量が最も多い感覚であることから、照明効果が人の印象に与える影響は極めて大きい。そのため、屋外広告等の照明演出を高度化することで集客誘引効果の向上が期待できる。高度化の方法の一つとして周囲の状況に応じた照明の動的制御があり、特に付近の通行人の情報を因子として制御に利用することが集客効果等の向上に有効だと考えられた。そこで、本開発では代表的な AI (Artificial Intelligence : 人工知能) 技術である深層学習による人物検出手法を活用した屋外照明制御システムを開発し、屋外環境において付近の通行人の状況にあわせて照明を動的に制御できることを確認した。

1. はじめに

近年、情報通信技術の中でも AI 技術は著しい発展を遂げ¹⁾、産業分野以外にも芸術分野における新たな表現手法や舞台の空間演出等においても利活用が進んでいる^{2,3)}。AI 技術を活用して視覚効果を高度化する取り組みは、情報の 8 割以上を視覚から得ている人間^{4,5)}の興味や注目を集めるために有効だといえる。視覚効果の一種である照明等の灯火類についても単調な連続点灯時に比べて点滅演出等により誘目性が向上することが報告されている⁶⁾。しかし、屋外広告やモニュメント等の照明は、一般に被照明物を単調に照らすだけであり、視聴者である周囲の通行人の注目を十分に集めることが出来ていないため、照明演出を高度化することで、集客誘引効果の向上が期待できる。高度化の手法には AI 技術を用いた周囲の状況認識に基づいた動的制御等が挙げられ

るが、AI 技術を利用する場合、密な行列演算を大量に実行する必要があるため、一般に高性能なパソコンやワークステーション等が必要となる。屋外照明においては、電源や配線、環境ノイズ等の関係から被照明物と制御ボックスは近い位置に設置することが望ましく、これらの機器を制御に用いる場合、搭載する制御ボックスが大型化し、被照明物の印象を損ねる可能性がある。そこで本開発では、AI 技術を利用するために必要な実行速度や検出精度について実験・検討を行い、適正な仕様及びシステム構成を策定することで、被照明物の印象を損ねることなく、高度な演出表現を実現可能な屋外照明制御システムの開発を行った。

2. 要件定義と設計・試作

2.1 要件定義

集客誘引効果の向上を図るには、通行人の注

*合同会社ヒルズ社

責任著者連絡先 (Haruto Matsumoto) : matsumoto@techakodate.or.jp

目を集める必要があるため、周囲の状況や通行人の行動等に起因して照明を動的に変化させることが望ましい。周囲の状況に関する因子には空間照度や混雑度があり、混雑度が最も被照明物の視聴者との関係性が高いことから、本因子を制御に利用することで、注目度の向上が期待できる。一方、通行人の行動因子については、姿勢の変化や会話等が考えられるが、本開発では全ての通行人に共通した行動因子である移動に着目し、移動に伴って変化する被照明物との距離に応じて動的制御を行うことで注目度の向上を図ることとした。これらの機能を満たし、屋外で利用可能な制御システムに必要な要件を表1の通りに定めた。

2.2 設計・試作

現在の照明器具における主力光源は LED であり⁷⁾、主な調光方式として位相制御や PWM、DMX、DALI 等が挙げられ⁸⁾、それぞれ表2に示す特徴を有する。被照明物に対する通行人の注目度の向上を図るため、各光源を個別に制御することで、高い演出性を実現できる DMX を選択し、調光機器には制御ボックスへの搭載性や設置性、コスト

表1 システム要件

	分類	内容
1	検出内容	通行人の数と距離に応じて照明を制御できること
2	光源制御	高い印象性を実現するため、複数の光源を個別に制御できること
3	稼働管理	屋外照明の点灯時間帯を任意に制御できること
4	外観	制御ボックスは被照明物と比較し目立たない大きさであること
5	屋外性能	屋外に設置するため、制御ボックスは防雨性を有すること

表2 LED 調光方式

方式	位相制御	PWM	DALI	DMX
制御方法	電力量の調整	パルス幅の変調	デジタル信号	デジタル信号
アドレス指定制御	×	×	○	○
国内普及度	○	○	×	○
特徴	調光が滑らか	シェア率が高く安価	耐ノイズ性が高い	複雑な制御が可能
主な用途	電球	施設用器具	施設用器具	舞台照明

等を勘案し、USB 接続タイプの DMX コントローラを選定した。周囲の状況を認識するためには、一般に超音波センサやミリ波レーダが用いられるが、人物検出を行うためにはカメラ等の機器も別途必要となることから、システム構成の単純化を図るため RGB 画像と深度(距離)画像の撮影機能を具備した深度計測カメラについて着目した。本機器について複数機種と比較検討を行い、本開発では、RGB カメラと 2 台の赤外線カメラを備え、0.1~10m の広い範囲の深度を計測できる図1に示した Intel 社の D435i を選定した。

画像情報から人物検出を行う場合、検出精度の高さ等から深層学習モデルによる手法が多く用いられている。当該手法は計算量が大きく、並列演算処理能力に優れる GPU(Graphics Processing Unit)を利用することが効率的であることから、即時性の高い動作の実現には、演算装置として高性能な GPU を搭載したパソコンやワークステーション等を用いることが一般的である。しかし、本開発では、制御ボックスの大型化による被照明物の印象性の低下を避けるため、GPU を搭載した小型のシングルボードコンピュータである NVIDIA 社の Jetson nano に着目した。Jetson nano は AI 技術の開発等に広く利用されており、本開発においても人物検出機能等の実行には適していると考えられるが、高負荷な処理の実行時には CPU(Central Processing Unit)等が高温になり動作不良が発生する可能性がある。Jetson nano のヒートシンク上に冷却ファン等を装着することで放熱性は向上するが、本システムは屋外設置を想定しており、IPX3 相当の防雨性を確保するため、密閉構造とする必要があり、十分な放熱が行えないと考えられた。そこで、高負荷な並列演算処理を必要とする人物検出機能は Jetson nano 上で、安定的な動作が求められる照明制御機能は図2に示す極小サイズのミニパソコン上で動作させることとし、リレースイッチ基板を介して Jetson nano の



図1 深度計測カメラ D435i 外観



CPU	Intel® Pentium® N4200
メモリ	8GB
OS	Windows 10 Home
ストレージ	250GB(SSD)
サイズ	約117×128×33[mm]

図2 照明制御用端末

稼働時間や電源状態等の制御を行う管理機能を実装した。なお、それぞれの端末間は通信の確立のためクロス配線されたイーサネットケーブルで接続し、TCP/IPにより、検出数と距離情報を通信することで、人物の検出状況に応じた照明制御を行う。システムは図3に示す構成とし、選定した各機器を被照明物と比較して目立たない小型なプラスチック製の防雨ボックスに搭載し図4に示す制御ボックスを試作した。なお、照明制御機能はビジュアルプログラミング言語であるDerivative社のTouch Designerを用いて実装し、人物の有無に応じた変化を明確にするため、未検出

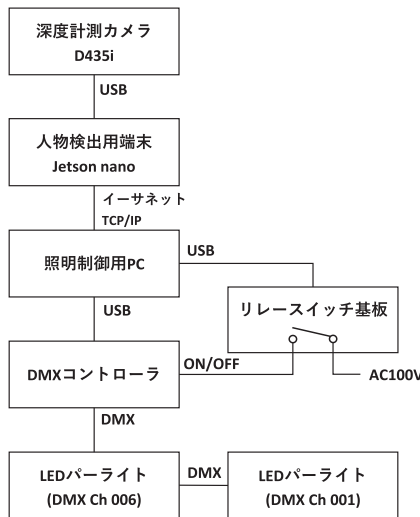


図3 システム構成図

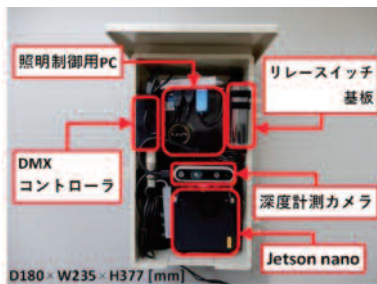


図4 制御ボックス内部

時では点灯色が階調的に変化し、検出時では人目を引くように様々に点滅するパターンとした。また、点滅間隔は、自身の行動が照明演出の変化を引き起こしている感覚(運動主体感)を高めるため、通行人との距離に応じて連続的に変化させることとした。

3. 人物検出実験

3.1 人物検出方法

主要な深層学習による物体検出手法であるFaster R-CNN⁹⁾ や SSD¹⁰⁾、YOLO¹¹⁾等について比較検討を行い、その中で検出精度と処理速度に優れたYOLOv3¹²⁾を選定した。深層学習は学習データから自ら特徴量を抽出・学習し、結果を得る手法であり、学習データが大きいくほど高精度になる。本実験では、学習データには20万枚以上の教師ラベル付きカラー画像が利用できるCOCOデータセット¹³⁾を用いて学習済みモデルを作成し、人物検出機能の動作検証を行った。実験は処理速度の評価を目的として、カメラから得られる映像情報に対して300秒間続けて人物検出処理を行った際の処理時間を計測することで行った。

3.2 実験結果と考察

通常のYOLOv3の学習済みモデルを用いて人物検出を行った場合の処理に要する時間は、平均約1.18秒/回となることを確認した。運動主体感は予測と実際の結果・変化が一致することで得られる感覚で、自身の行動とそれにより生じた結果の遅延が0.4秒以上になった場合に、著しく低下していくことが報告されている¹⁴⁾。そのため、本システム構成においてYOLOv3では高い運動主体感が得られず、効果的な集客誘引効果の向上が期待できないことから、検出手法を低負荷で高速動作可能なYOLOv3-tinyに変更し、動作検証を行った。その結果、図5に示す通り処理速度は平均

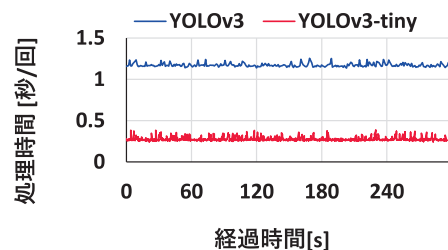


図5 処理速度の比較

約 0.27 秒/回に向上することが確認でき、本手法を用いることで高い運動主体感が得られる照明演出が可能になると考えられる。

得られた検出結果を用いて人物との距離計測を行ったところ、図 6 に示す通り RGB カメラと赤外線カメラの画角が異なるため、それぞれの位置座標にずれが生じることから、正確な距離情報が取得できないことがわかった。そこで、図 7 のような結果が得られるように、深度画像の位置合わせを行い、検出領域の重心座標を用いて距離情報を取得することで、人物までの正確な距離情報が得られるように改善した。

4. 屋外動作実験

4.1 実験方法

令和 3 年 3 月、道の駅なないろ・ななえにおいて、図 8 に示す林檎をモチーフとした既設モニュ

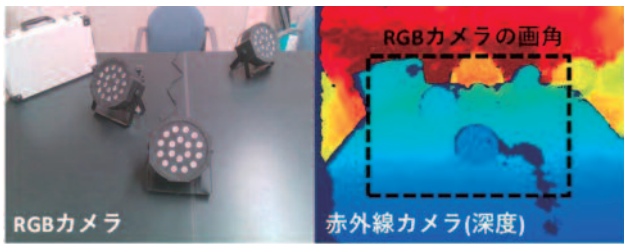


図 6 各カメラの画角の違い

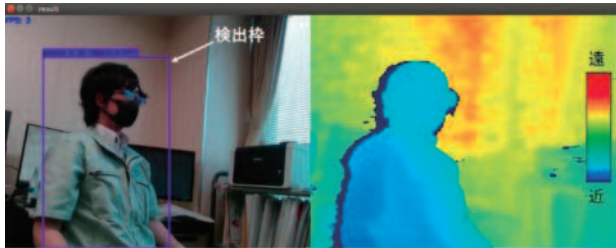


図 7 人物と距離の検出結果

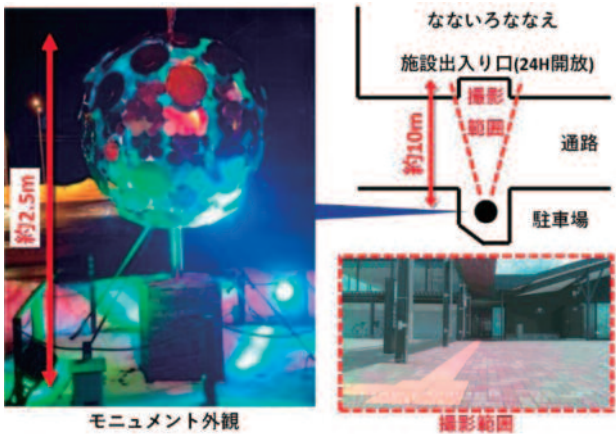


図 8 屋外動作実験環境

メントを被照明物として利用し、開発したシステムの屋外動作実験を実施した。制御ボックスは被照明物の下部に取り付け、深度計測カメラは通行人の往来が多い通路と約 10m 先にある施設の出入り口が撮影範囲に入るように姿勢を調整して設置した。

実験は設置場所における目視でのシステム動作の確認と、人物検出時の距離情報及び信頼度スコア(検出結果の正確さ)の計測により行った。なお、信頼度スコアが 0.3 以下の場合には誤検出である可能性が極めて高いことから、計測結果から除外した。

4.2 実験結果と考察

計測結果の例として図 9 に 3 日分の距離情報と信頼度スコアを示す。信頼度スコアの最大値は、検出距離 7m 付近から低下する傾向にあるものの、約 10m まで通行人を検出でき、検出情報に応じた照明制御が可能であることを確認した。しかし、目視確認では、通行人が通過した場合においても検出できない場合が度々発生したことから、検出精度の改善のため、カメラ設定の輪郭強調やホワイトバランス等の検討を行い、図 10 に示す通り、輪郭や陰影が明瞭に撮影できるよう調整を行った。この評価確認として、改善前と後の 1 週間分

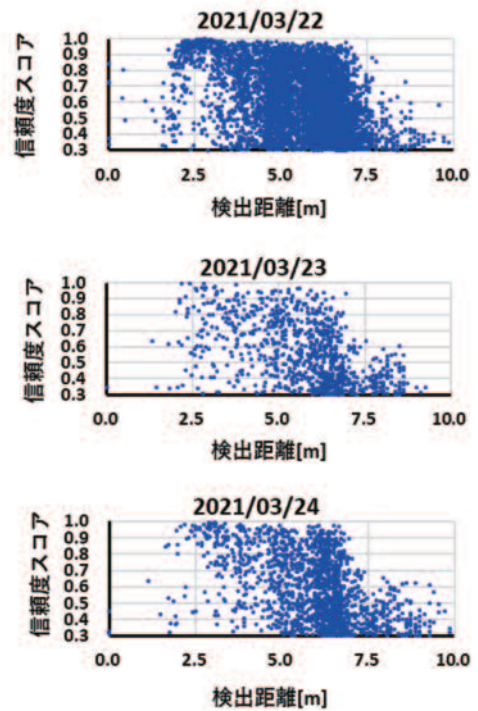


図 9 検出距離-信頼度スコア



図 10 調整前後における画質の比較

の動作記録から、人物検出数に対応する日毎の平均検出フレーム数と時間帯毎の平均信頼度スコアを算出して比較した。その結果、図 11 に示す通り、日没後の経過時間に関わらず平均信頼度スコアが向上し、図 12 に示す通り、検出フレーム数はいずれの日においても向上、日毎の平均検出フレーム数も約 2.8 倍増加したことから、検出精度の大幅な改善が図れた。なお、図 9 において約 2m 以下での検出数が少ない理由としては、本システムは被照明物の下部に設置されており、極近傍では通行人の足の一部だけが写り込むこととなるため、人物として認識できないと推察される。しかし、被照明物を閲覧・見学する場合、一般に通行人は、被照明対象の全容を見て取ることが可能な距離を保つことから、集客誘引効果には影響を及ぼさないと考えられる。なお、本システムは、耐久性試験として、屋外動作実験から動作確認を継続し、1 年以上経過した時点においても、大きなトラブルなく継続動作していることから、高い屋外性能を有すると認められる。

5. まとめ

動作実験等の結果から、低負荷な人物検出手法や画像処理技術等を用いることで表 1 に示した要

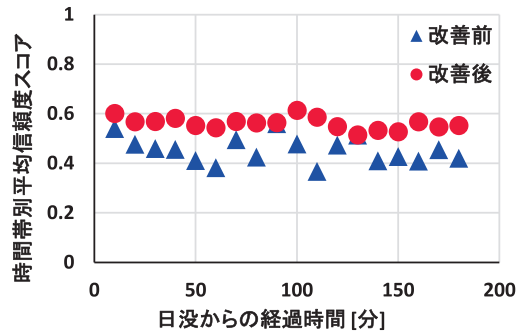


図 11 調整前後の時間帯別平均信頼度スコア

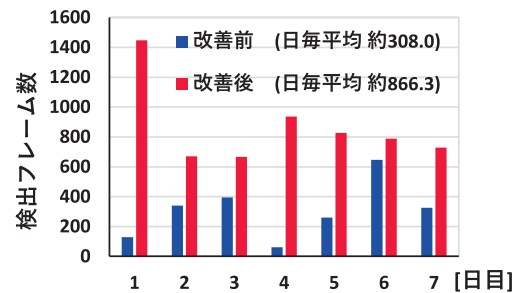


図 12 調整前後の検出フレーム数

件を満たすシステムを開発した。本システムにより通行人の注目度が向上することで、集客誘引効果の高い屋外広告等の実現への寄与が期待できる。今後は、本開発で得られた照明制御に対する AI 技術の適用手法等に関する知見を用いて、検出精度の向上について検討する。更に屋外照明に対するエンターテイメント性の付与による集客誘引効果の向上を目指し、通行人の動作や姿勢、具体的な操作等に応じて対話的に制御する手法等について検討を行う。

謝辞

機器設置に伴うネットワーク環境設定では、北海道七飯町総務部情報防災課課長 若山みつる様、動作実験等では、一般社団法人七飯町振興公社の職員の皆様にご協力いただいた。各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 細川菊美：福祉社会学部論集、38、2 (2019)、pp.1-11
- 2) 中津良平：人工知能学会誌、19 卷、1 号(2004)、pp.2-9
- 3) 小沢正俊：電気設備学会誌、38、10(2018)、pp.617-620

- 4)教育機器編集委員会：産業教育機器システム便覧 (1972)、p.4
- 5)照明学会編：屋内照明のガイド(1980)、p.9
- 6)上條正義、金井博幸、佐渡山亜兵、小林正自：照明学会誌、87.Appendix (2003)、p.127
- 7)市川重範、鳥居龍太郎：電気設備学会誌、39、1(2019)、pp.18-21
- 8)委員会報告：電気設備学会誌、37、9(2017)、pp.669-675
- 9)Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J.: Advances in neural information processing systems (2015), pp.1-9
- 10)Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C.: European conference on computer vision (2016), pp.21-37
- 11)Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A.: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp.779-788
- 12)Redmon, Joseph, and Ali Farhadi.: arXiv preprint arXiv:1804.02767 (2018)
- 13)Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, Piotr Dollár, C. Lawrence Zitnick: European Conference on Computer Vision (2014), pp.740-755
- 14) Osumi, M., Nobusako, S., Zama, T., Yokotani, N., Shimada, S., Maeda, T., & Morioka, S.: PloS one 14.7 (2019), e0219222.