

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12292

研究課題名（和文）プログラマブル光環境制御システムの開発

研究課題名（英文）Development of Programmable Lighting Environment Control System

研究代表者

南 裕樹（Minami, Yuki）

大阪大学・工学研究科 ・講師

研究者番号：00548076

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、複数の照明機器と透明度を調整可能な複数の窓から構成されるシステムを対象とし、実際の照度分布が目標の照度分布にほぼ等しくなるように各照明の点灯パターンと各窓の遮光パターンを制御する問題を検討した。その成果として、まず、パンチルト機構を有する照明システムに対して、各照明の点灯・消灯と照射角度を決定する制御アルゴリズムを提案した。つぎに、照明の点灯・消灯と窓の遮光・透光を決定する制御アルゴリズムを提案し、実機実験によりその性能を検証した。また、照度分布を制御することで、移動ロボットを誘導する問題を定式化し、ロボットを目標位置に誘導するための照度分布生成アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要（英文）：In this project, we focused on programmable lighting control systems composed of multiple LED lights and multiple windows whose light transmission characteristics can be changed, and formulated the control problem which finds on/off modes of lights and windows such that actual illuminance distribution is similar to a desired one. We first proposed a control algorithm for controlling pan-tilt angles and on/off modes of LED lights. Then we presented a distributed control method which determines on/off modes of lights and windows, and verified its effectiveness by an experimental system we developed. Finally, we formulated a navigation problem of mobile robots by controlling illuminance distributions, and developed a generation method of illuminance distribution achieving that a robot reaches to a given target point rapidly.

研究分野：制御工学

キーワード：光環境 照度分布 自律分散制御

1. 研究開始当初の背景

快適な光環境の実現や省エネルギー化の推進において、照明環境の改善は重要な問題である。しかし現状では、LED/有機EL照明といった照明機器の開発や、照明器具の選択や配置の最適化に関する研究が多い。つまり照明環境の“デザイン”は、主として、静的な枠組みで考えられており、次世代の照明環境の在り方に関する議論は十分なされていない。これに対して、動的な枠組みでのデザインとして、「複数の照明機器の点灯パターンを適切に決定し、任意の場所に適切な照度を提供する」という問題も重要である。これにより、柔軟に環境の変化に対応することができる。このような方向での研究において、より高度な照明環境を実現するためには、照明の点灯による“光の加算”だけでなく、遮光により陰影を作るという“光の減算”も重要ではないかと考えていた。

上記の背景から、本研究では、「プログラマブル光環境制御システム」を構築することを研究課題とした。これは、図1に示すような、複数の照明機器と透明度を調整できる複数の窓から構成されるもので、各照明のON/OFFで光の加算が、窓の透明度の制御で光の減算が可能となる。照明の点灯パターン(光)と窓の遮光パターン(陰影)を適切に決めるための制御アルゴリズムが構築できれば、環境の変化に柔軟かつ省エネルギーに対応できる。また、光の加減算に対するデザイン原理の構築に貢献する。

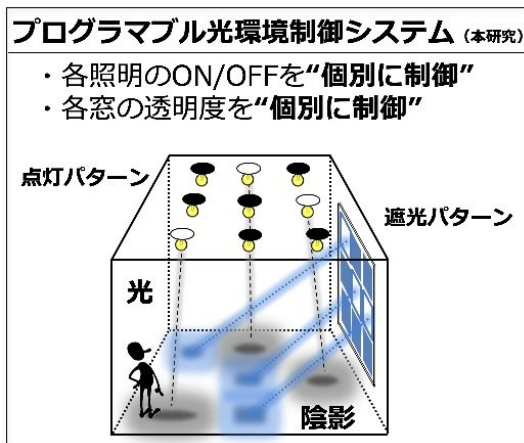


図1 プログラマブル光環境制御システム

2. 研究の目的

本研究では、複数の照明機器と透明度を調整できる複数の窓から構成される「プログラマブル光環境制御システム」を構築する。そして、各照明の点灯パターンと窓の遮光パターンを制御することで光の加減算を実現する。具体的には、以下の理論研究と応用研究を実施する。

(1) 制御問題の定式化とアルゴリズム開発: 「目標となる照度分布が与えられたとき、システムが提供する照度分布が目標の分布とほぼ等しくなるように各照明の点灯・消灯と窓の遮光・透光を制御する」と

いう問題を定式化する。そしてこの問題に対して、分散制御アルゴリズムを提案する。

(2) 実験システムの構築と有用性の検証: ミニチュアスケールの実験システムを製作する。そして、提案アルゴリズムの評価実験を行う。

上記の光と影を任意に制御する光環境制御システムの構築により、照明環境に対する新しいデザイン原理の提案を目指す。

3. 研究の方法

申請当初の予定はつぎの通りであった。1年目は、制御問題の定式化と「照明の点灯パターンが与えられたとき窓の遮光パターンを決定する」問題の解を与える。さらに実験システムを構築し検証実験を行う。2年目は、「点灯パターンと遮光パターンを同時に決定する」問題に取り組み、評価実験を行う。また、発展問題として、光の形状を制御する問題を検討する。

これに対して、実際の研究では、つぎの5つの課題に取り組むことにした。

(1) 光の加算: 複数の照明機器の点灯パターン制御問題を検討する。とくに、点灯・消灯制御に加えて、光の照射角度を制御することにより、照度分布がどのように制御可能であるかを明らかにする。

(2) 光の加減算: 複数の照明の点灯・消灯に加えて、複数の窓の遮光・透光を制御することで、目標の照度分布に実際の照度分布を近づける問題を検討する。

(3) 実験システムの構築: 調光ガラスとLED照明から構成される装置を製作し、提案手法の評価実験を行う。

(4) 光の形状制御: 光の形状を制御し、照度分布を制御することで、移動ロボットを誘導する問題を検討する。

(5) 光の知覚実験: 色温度と照度が、明るさ感にどのように影響を与えるかについて簡易実験を通して調査する。

4. 研究成果

本研究課題によって得られた成果は以下のとおりである。

(1) 照明システムの点灯パターン・照射パターンの制御アルゴリズムの構築: 図2に示すようなパンチルト回転機構を有する複数の照明機器から構成されるシステムを対象とし、点灯パターン・照射パターンを自律分散的に決定するアルゴリズムを提案した。そして、与えられた目標の照度分布に実際の照度分布がほぼ等しくなることを、シミュレーションおよび実機実験を通して確認した。提案手法を用いることで、照度制御がある程度適切に行えることを確認した。その一方で、より正確な照度制御を実現するためには、照明機器の正確な配光モデルを考慮した制御アルゴリズムの構築が必要であることを確認した。

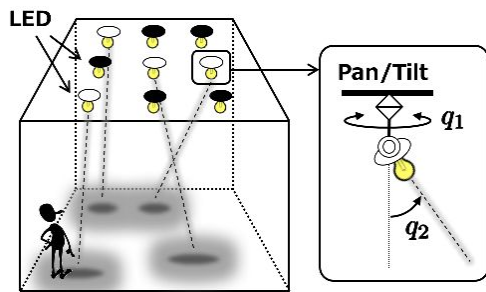


図2 パンチルト機構を有する照明システム

(2) 照明の点灯パターンと窓の遮光パターンの制御アルゴリズムの構築: 図1に示すような、複数のLED照明機器と透過率を調整可能な複数の窓から構成されるシステムを対象とし、各照明機器の点灯・消灯および、各窓の遮光・透光を自律分散的に決定するアルゴリズムを提案した。これは、集中型制御器と分散型制御器を組み合わせたものであり、集中型制御器が各分散制御器に何らかの情報をブロードキャストし、その情報をもとに分散制御器がお互いに協調することで、点灯・遮光パターンを自律分散的に決定する。最後に、提案システムの有効性を数値シミュレーションによって検証した。これにより、光の減算の効果を確認した。

(3) ミニチュアスケールの実験装置の構築: 図3に示す9個のLED照明、9個の透明度を調整可能な窓(調光ガラス)、外光を模擬する投光器から構成される実験装置を構築した。そして、提案手法((2)の成果)の評価実験を行ない、提案手法の効果を確認するとともに、今後、より正確な照度分布制御を実現するためには、陰影のモデル化が必要になることを確認した。

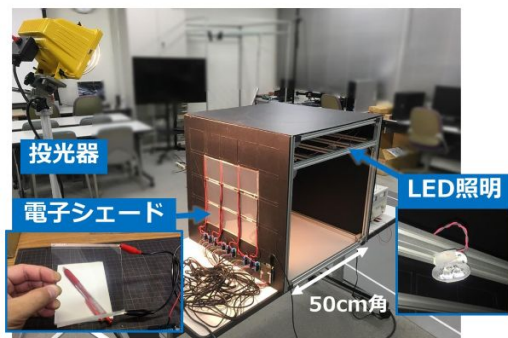


図3 製作した光環境制御システム

(4) 照度分布の制御に基づくロボットの誘導手法の提案: 光の形状を変化させて照度分布を制御することで、移動ロボットを目標位置に誘導するという問題を検討した(図4)。これは、まず、2値画像(照度分布の目標)を生成し、それをプロジェクタを介してフィールド上に投影する。つぎに、光センサを介して、ロボットが2値情報(0または1)を取得し、行動を決定する。本研究課題では、任意の場所から目標の場所までロボットを確

実に誘導するための、照度分布生成アルゴリズム(シンプルな問題設定において、理論的に収束を保証)を提案した。また、プロジェクタと移動ロボットから構成される実験システムを製作し、提案アルゴリズムの有用性を確認した。

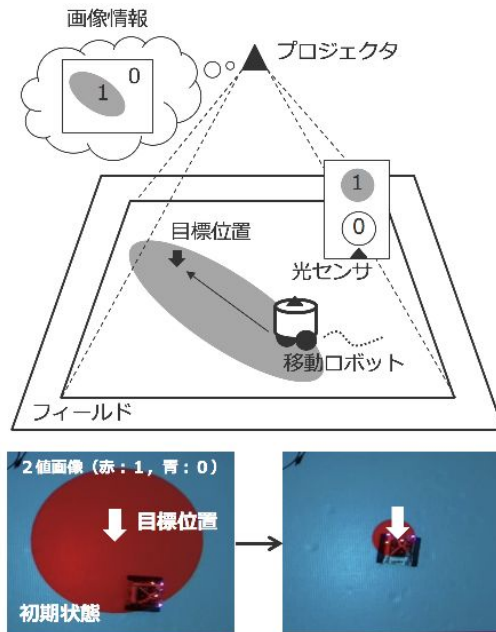


図4 照度分布制御によるロボット誘導制御

(5) 明るさ感の調査と評価実験: 照明システムの評価を行う基礎研究として、建築物の視察を行うとともに、明るさの知覚に関する予備実験を実施した。建築物の調査では、外光が障子を介してどのような輝度分布、照度分布を生成するかについての知見を得た。また、明るさの知覚実験では、等しい照度でも色温度が低いと暗く見え、色温度が高くなるに連れて明るく感じるということを確認した。

最後に本研究課題の成果について以下の点を強調しておく。まず、複数の照明機器の点灯・消灯および照射角度、そして複数の窓の遮光・透光を自律分散的に決定するアルゴリズムを提案している。この一連の成果は、光環境の知能化とデザインに向けた新しい知見を与えるものである。つぎに、照度分布を制御することでロボットを誘導するという新しい問題を検討した。これは、照明分野やロボット制御分野で、ほとんど議論されていない問題であるが、理論面でも応用面でも今後の発展が期待できるものである。この意味において、本研究課題を通して、重要な知見が得られたと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

室巻孝郎, 南裕樹, 徳永泰伸: ロボティック照明システムの分散型照射角度制御,

電気学会論文誌 C, Vol. 137, No. 1, pp.120-126 (2017) 査読有
<http://doi.org/10.1541/ieejieiss.137.120>

岡島寛, 南裕樹, 松永信智: ネットワーク化制御系に対する設計自由度の高い制御構造の提案, 計測自動制御学会論文集, Vol. 52, No. 7, pp. 393-400 (2016) 査読有

<http://doi.org/10.9746/sicetr.52.393>
南裕樹, 加嶋健司: システムの直列分解に基づく動的量子化器設計, 計測自動制御学会論文集, Vol. 52, No. 1, pp. 46-51 (2016) 査読有

<http://doi.org/10.9746/sicetr.52.46>
室巻孝郎, 南裕樹, 徳永泰伸: 分散型 LED 照明システムの照度パターン制御実験, 設計工学, Vol. 51, No. 2, pp. 118-126 (2016) 査読有
<http://doi.org/10.14953/jjsde.2015.2622>

Y. Minami: Design of Model Following Control Systems with Discrete-valued Signal Constraints, International Journal of Control, Automation and Systems, Vol. 14, No. 1, pp. 331-339 (2016) 査読有
<http://doi.org/10.1007/s12555-014-0549-7>

〔学会発表〕(計 12 件)

高本雄太, 南裕樹, 杉本謙二: 自律分散型光環境制御システムの構築, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, (2017.5.11), ビッグパレットふくしま (福島, 郡山市)

高本雄太, 南裕樹, 杉本謙二: 光の加減算による光環境制御システムの構築, 日本機械学会 関西支部第 92 期定時総会講演会 (2017.3.13), 大阪大学 (大阪, 吹田市)

伊藤涼介, 南裕樹, 杉本謙二: 照度場制御に基づく移動ロボットナビゲーション, 平成 28 年度 SICE 関西支部・ISCIE 若手研究発表会 (2017.1.13), 大阪大学 (大阪, 吹田市)

辻優希, 室巻孝郎, 徳永泰伸, 南裕樹: ロボティック照明システムの照射角度制御実験, 第 33 回センシングフォーラム (2016.9.2), 近畿大学 (和歌山, 紀の川市)

伊藤涼介, 南裕樹, 杉本謙二: 照度場に基づく移動ロボットの誘導制御, 第 33 回センシングフォーラム (2016.9.2), 近畿大学 (和歌山, 紀の川市)

Y. Minami, Y. Shimizu, and K. Sugimoto: Distributed Cooperative ON/OFF Control of Photovoltaic Generation Systems, 6th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked

Systems (2016.9.8), Tokyo International Exchange Center, Tokyo
H. Okajima, Y. Minami, and N. Matsunaga: Unilateral Control Structure Under Communication Rate Constraint, 6th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems (2016.9.8), Tokyo International Exchange Center, Tokyo
Y. Minami and K. Kashima: Dynamic Quantizer Design based on Serial System Decomposition, 22nd International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems (2016.7.12), Minneapolis, USA

伊藤涼介, 南裕樹, 田中大介, 杉本謙二: 2 値画像投影による移動ロボットの位置制御実験, ロボティクス・メカトロニクス講演 2016 (2016.6.8), パシフィコ横浜 (神奈川, 横浜市)

室巻孝郎, 南裕樹, 徳永泰伸: ロボティック照明システムの配光パターン制御実験, 日本機械学会 関西支部第 91 期定時総会講演会 (2016.3.11), 大阪電気通信大学 (大阪, 寝屋川市)

南裕樹, 室巻孝郎, 徳永泰伸: ロボティック照明システムの照射角度制御, 第 16 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (2015.12.14), 名古屋国際会議場 (愛知, 名古屋市)

室巻孝郎, 徳永泰伸, 南裕樹: 分散型ロボティック照明の配光モデルに関する一考察, 平成 27 年度照明学会第 48 回全国大会 (2015.8.27), 福井大学 (福井, 福井市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://y373.sakura.ne.jp/minami/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南 裕樹 (MINAMI, Yuki)

大阪大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 00548076

(2) 研究分担者

徳永 泰伸 (TOKUNAGA Yasunobu)

舞鶴工業高等専門学校・建設システム工学
科・准教授

研究者番号: 60600848

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし