

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：54301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560017

研究課題名(和文)分散型ロボティック照明システムの構築

研究課題名(英文)Development of Distributed Robotic Lighting Systems

研究代表者

室巻 孝郎 (MUROMAKI, TAKAO)

舞鶴工業高等専門学校・機械工学科・講師

研究者番号：80631572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、パン・チルト機構と分散型制御器を有する複数のLED照明から構成される分散型ロボティック照明システムに注目し、点灯パターンとパン・チルト角を制御する問題を検討した。まず、実際の照度分布が目標分布に近くなるように、点灯パターンを決定する問題を考えた。点灯パターンを決定するための分散型最適化アルゴリズムを提案した。次に、パン・チルト角を制御する問題を考えた。被覆制御のアイデアに基づく分散型制御器を提案した。最後に、シミュレーションと実験を通して提案手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：This paper focuses on distributed robotic lighting systems composed of multiple LED lights with a pan-tilt mechanism and a distributed controller. For the system, we consider the PWM type lighting and the control of pan-tilt angles such that the actual illuminance distribution is similar to a desired one. We first propose a distributed optimization algorithm for determining lighting patterns. Then, we formulate the design problem of distributed controllers which determines pan-tilt angles of LED lights by using the information on desired illuminance distributions. Furthermore, we propose distributed controllers based on the idea of a coverage control method. Finally, the effectiveness of the proposed method is confirmed through simulation and experiments with the developed system.

研究分野：システム工学

キーワード：LED照明 照度分布 点灯パターン 照射角度制御 パン・チルト機構 分散制御

1. 研究開始当初の背景

近年、照明システムの高性能化・省エネルギー化に向けて、照明機器の開発が進んでいる。しかし、「スイッチを入れると決められた場所を照らす」という性能には大きな革新がない。また別のアプローチとして、複数の照明機器から構成される分散型照明システムが研究されているが、既存の照明の分散化にとどまっている。このため、次世代型照明システムの構造や制御手法の“デザイン”に関して、十分に議論されているとはいえない。

一方、申請者らは、システム制御分野において、量子化制御論 (ON/OFF 信号で制御) とマルチエージェント理論 (複数の移動体の協働による大きな目標の達成) を研究しており、その中で、「照明の点灯パターン制御」や「複数照明の協調による照度供給」にこれまでの成果を利用できないかと考えていた。上記の背景のもと、パン・チルト機構を有する複数の照明機器を通信路で結んだ、「分散型ロボティック照明システム」(図1)の開発に取り組むことにした。

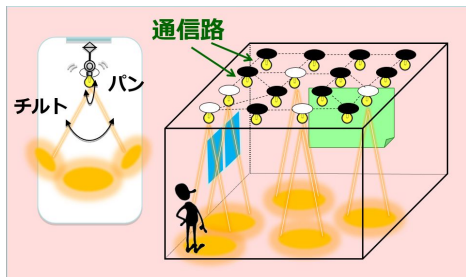


図1 分散型ロボティック照明のイメージ

2. 研究の目的

分散型ロボティック照明システムの構築により、照明システムに対する新しいデザイン原理の提案を目指す。以下の2点を目標にする。

(1) 制御問題の定式化とアルゴリズム開発：各照明がお互いに情報交換をしながら、自律分散的に適切な点灯パターンと照射方向を決定するためのアルゴリズムを構築する。

(2) 実験システムの構築と有用性の検証：1/8スケールの照明システムを製作し、実機実験を通して、提案アルゴリズムの有用性を確認する。

本研究で提案するロボティック照明は、日常生活空間の照明への利用に限らず、農業分野における植物工場の照明、防犯用の照明、災害時の誘導用照明などへの応用が期待できる。

3. 研究の方法

「分散型ロボティック照明システム」を実現するために、以下の理論研究と応用研究を実施する。

(1) 理論研究

「目標の照度分布が与えられたときに実際の照度分布が目標分布にほぼ近くなるよう

に照明の点灯パターン (ON/OFF) と照射方向を決定する」という照明の制御問題を定式化する。実際には、以下の2つの段階に分けて制御アルゴリズムの構築を行う。

照射角度を固定し、点灯パターンを決定する。

点灯パターンを固定し、照射角度を決定する。

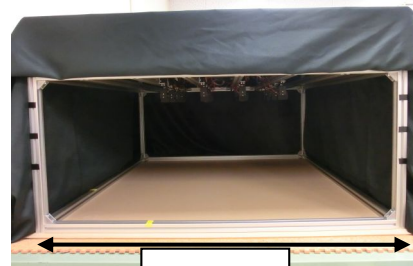
問題 1 では、量子化制御の成果を利用し、照明間の通信に基づく点灯パターン決定法を得る。問題 2 では、マルチエージェント制御の知見 (被覆制御アルゴリズム) をもとに照射角度決定アルゴリズムを開発する。

(2) 応用研究

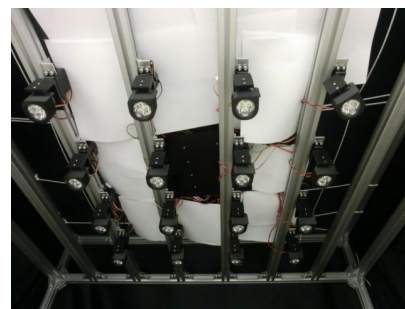
実験検証のための実験システムを構築する。1/8スケール (約140m²の教室を想定) のミニチュア模型を製作し、16あるいは25個のLED照明を天井部分に格子状に配置する。パン・チルト機構を実現するため、各照明には2個のサーボモータを取り付ける。

実際にLED照明を点灯したときの照度分布と目標照度分布との誤差を評価する際には、照度計を用いて床面における照度を測定した。

製作した実験装置を図2に示す。今回の実験では、点灯パターンや照射角度をオフラインで事前に計算しておくものとする。



(a) 正面から見た図



(b) 下から見た図



(c) LED照明ユニット

図2 ロボティック照明システムの実験機

4. 研究成果

(1) 照明の点灯パターン決定法

分散型 LED 照明システムに対し、フィードフォワード型の点灯制御システムを構築した。図3に示す目標照度分布に対し、図4に示すようなネットワーク構造を設定し、照度に関する過不足情報を伝達することで、各 LED 照明の明るさを決定するアルゴリズムとなっている。なお、本実験では LED 照明ユニットの個数を 25 個としている。計算により得られた点灯パターンを図5に示す。実際に LED 照明を点灯させたときの様子を図6に示す。図5において、白は明るさ最大の状態、黒は消灯の状態である。上側と左下が明るくなくなり、目標照度分布に近い分布を実現していることがわかる。

また、本研究で提案した分散型 LED 照明システムの特長として、耐故障性が挙げられる。照度の過不足情報を伝達するというアルゴリズムの性質により、LED 照明の故障に対して不足分を補うような対応が可能となっている。図4に示した照明の内、17番と18番が故障により使用できなくなった場合の点灯パターンを図7に示す。図5の点灯パターンと比較すると、故障した LED 照明の周囲の照明が明るくなり、不足分を補うようになっていることがわかる。図8の実際に点灯させたときの様子を見ると、故障した部分の暗さを補うように、上側の照明が明るくなっている。

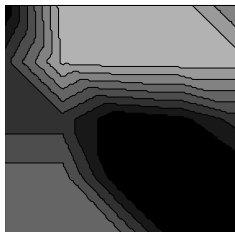


図3 目標分布 A

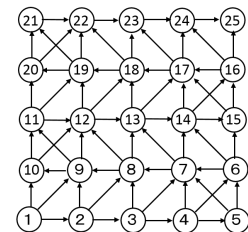


図4 ネットワークの例

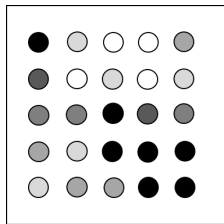


図5 点灯パターン

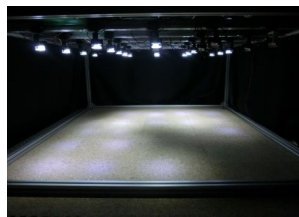


図6 実際の分布

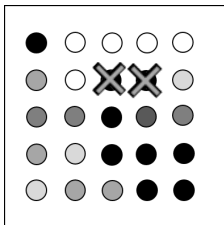


図7 点灯パターン (故障有り)

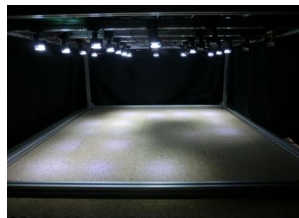


図8 実際の分布 (故障有り)

(2) 照明の照射角度決定法

ロボティック照明システムの照射角度を制御するため、マルチエージェントシステムにおける被覆制御手法を基礎としたアルゴリズムを構築した。目標照度が高い部分に光を多く照射し、低い部分では少なくするというアイデアに基づいている。ただし、このアルゴリズムは、直接照射角度を決定するのではなく、各照明が照射すべき位置を決定し、そこからパン・チルト角を算出する手順を必要としている。

図9の目標照度分布に対して、各 LED 照明の照射位置を計算した結果を図10に示す。この実験では、10個の LED 照明を点灯させており、図10の“ ”は、各 LED 照明の初期照射位置を表し、“ ”は最終的に決定された照射位置を表している。目標照度の高い部分に照射位置が移動していることがわかる。LED 照明のパン・チルト角を算出し、実際に点灯させたときの様子を図11に示す。提案手法を用いてパン・チルト角を制御することにより、目標照度分布に近い分布が実現されていることが確認できる。

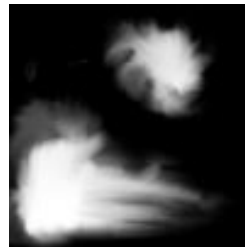


図9 目標分布 B

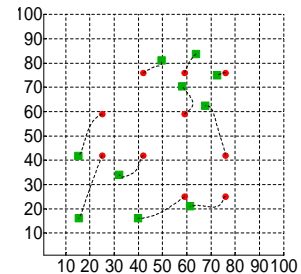


図10 照射位置

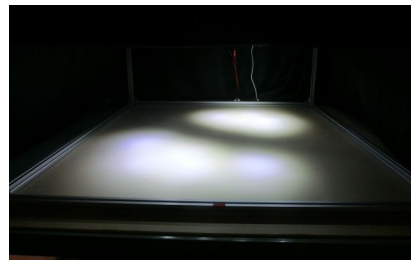


図11 実際の分布 (角度制御の場合)

(3) 本研究で構築した、分散型ロボティック照明システムの制御アルゴリズムは、まず、点灯パターンを決定し、その後、照射角度を決定するという二段階制御手法となっている。点灯パターンの決定と照射角度の決定を独立に考えているが、点灯パターンと照射角度の同時決定により、より良い照度分布が得られることが期待できる。同時決定アルゴリズムの開発は、研究期間内に達成することができなかったため、今後の課題である。

また、本研究ではパン・チルト機構を有する照明を考えて、床面の任意の位置に必要な照度を提供するシステムを構築した。このシステムの発展として、3次元空間を浮遊する照明システムの構築を考えている。空間内の

任意の場所に必要な照度を提供することで、空間デザインの更なる発展に寄与すると期待できる。

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 2 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, DOI: 10.1541/ieejieiss.137.120

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, DOI: 10.14953/jjsde.2015.2622

[学会発表](計 6 件)

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, 2P1-19, 2016 年 9 月, 和歌山

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, 408, 2016 年 3 月, 大阪

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 回システムインテグレーション部門講演会, 1C4-1, 2015 年 12 月, 名古屋

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, 照明学会第 48 回全国大会, 1001, 2015 年 8 月, 福井

室巻孝郎, 二川真太郎, 徳永泰伸, 南裕樹: 分散型ロボティック照明システムの構築, 日本機械学会関西支部第 90 期定時総会講演会, pp. 177-179, 2015 年 3 月, 京都

室巻孝郎, 田宮昌将, 徳永泰伸, 南裕樹: 分散型照明システムに対する点灯パターン最適化, 第 11 回最適化シンポジウム (OPTIS2014), 1116, 2014 年 12 月, 金沢

[その他]

ホームページ等

<http://www.maizuru-ct.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

室巻 孝郎 (MUROMAKI, Takao)

舞鶴工業高等専門学校・機械工学科・講師
研究者番号: 80631572

(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

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