

アンビエントな人物誘導のための照明制御

神龍太^{†,a)} 小林祥朋^{†,b)} 栗山繁^{†,c)}

本稿では、色温度と輝度が調節可能な LED 照明と監視カメラを用いた周囲への影響が少ない人物誘導システムの機構について提案する。人がある場所から目的位置へ移動するには、現在位置、目的位置方向、経路といった3つの情報が必要であり、屋内環境において人物誘導を行うためには、対象者の現在位置を推定する手法と、目的位置までの経路を計算し、対象者に認識させる手法が必要である。そこで本研究では、監視カメラから対象者の現在位置を推定し、目的位置からの距離に応じて、経路上付近の照明に色温度や輝度によるグラデーションをかけることで、対象者に経路を認識させる手法を提案する。実際に誘導システムを構築し、対象者が目的位置まで移動できるかを確かめることで有効性を検証した。また、最適な調光方法を得るために、照明の調光方法を変更した場合の誘導精度や周囲に対する印象への影響を実験的に比較した。

Lighting Control for Ambient Guidance

JIN RYUTA^{†,a)} KOBAYASHI YOSHITOMO^{†,b)}
KURIYAMA SHIGERU^{†,c)}

This article proposes an ambient guiding system with a surveillance camera and LED lightings whose color temperature and luminosity are controllable. People usually rely on three kinds of information: a present position, the direction to a destination, and a route between them, for approaching a destination. An indoor guidance system, therefore, requires the estimation of the information for making guided persons recognize them. In this study, we propose a method of guiding a target person by changing the color temperature and luminosity of LED lightings by gradation, depending on the distance from a destination. We actually developed the guidance system for evaluating its effectiveness from the approaching behavior of several subjects. For obtaining an optimal control, we compared the influences of dimming strategies on the guidance accuracy and the impression of a surrounding environment.

1. はじめに

不慣れな環境におかれた人が目的位置までどのように移動すれば良いかの進路を探す行動は、ウェイファインディングと呼ばれる。ある場所から目的位置へ移動するには、現在位置、目的位置方向、経路といった3つの情報が必要だと考えられている。これらの情報を得るために、人は周囲の環境から、自然物、構築物などの適当な特徴を捉え、これを逐次参照しながら移動を続けて、目的位置へと近づいていく。

この能力を利用して人を目的位置まで誘導するウェイファインディング・システムというものがある。これは、参照しやすいような特徴を環境の中うまく織り込んでいくことで人の目的位置までの移動を補助するものである。このような特徴は、感覚的に分かり易いことが重要であり、目的位置や経路を目立たせるといった方法が挙げられる[1]。

本研究では、病院や駅構内などといった複雑な構造をした屋内環境へのウェイファインディング・システムの適用を想定し、目的位置や経路を目立たせる方法として、建造物には必ず据え付けられている照明を利用することを考え

る。人の現在位置に応じて、目的位置までの経路を強調するように適宜照明を調光させれば、人のウェイファインディング能力に働きかける誘導システムの構築が可能となる。また、人がその違いに気付く必要最小量の調光を用いることで、周囲に存在する第三者に違和感を与えることなく、対象者だけを誘導することが望ましい。ゆえに本稿では、色温度と輝度が調節可能な LED 照明と、現在位置を推定するために監視カメラを用いた、周囲環境への影響が少ないアンビエントな誘導システムを提案する。

2. 誘導システムの構成

本システムでは、人の現在位置を監視カメラにより推定し、その位置に応じて照明を調光することで、任意の目的位置までの誘導を行う。ただし、現在位置はシステム側が把握しておくだけで良いが、目的位置や経路は人が判断しなければならないため、システムは意味のある特徴を提供する必要がある。ゆえに、対象者に経路を気付かせるため、進路方向の床面に変化を与えるように経路上の照明を調光する。

本システムでは、図1に示す独自に製作した色温度と輝度の調節が可能な LED 照明 10 灯と、視野角の広いネットワークカメラ (SONY SNC-DH110T)、および制御用 PC をそれぞれ 1 台ずつ用いる。これらを設置した部屋の概略図を図2に示す。

† 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan
a) jin@val.cs.tut.ac.jp
b) kobayashi@val.cs.tut.ac.jp
c) sk@tut.jp

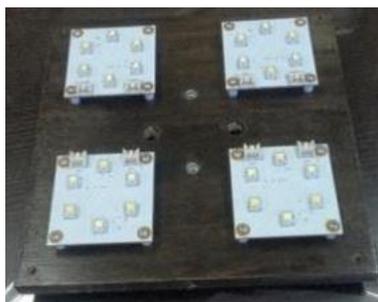


図1 製作した LED 照明
Figure 1 Manufactured LED lighting.

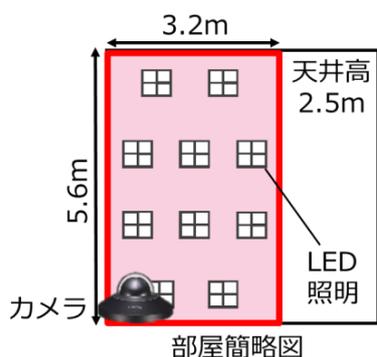


図2 誘導システム実験部屋
Figure 2 Experimental environment of a guiding system.

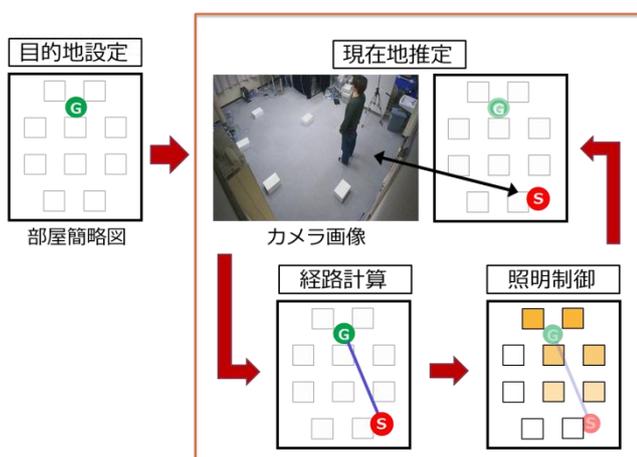


図3 誘導システムの流れ
Figure 3 Overview of guiding system.

3. 誘導用の照明機器

本システムの照明には、色温度と輝度を外部から自由に制御できる機能が必要である。この条件を満たす照明として、過去に本研究室で製作した LED 照明を利用した。この照明は LAN を通して色温度と輝度を調光できる。表 1 にこの照明の仕様を示す。

表 1 LED 照明の仕様

Table 1 Specification of the LED lighting.

項目	内容
定格	入力電圧 DC12V, DC5V
輝度 (光束)	0~108lm
色温度	2725~6638K
通信部	Ethernet (10BASE-T)

LED 照明 (Lighting Module) の構成を図 4 に示す。Lighting Module は LAN Controller と Lighting Node によって構成されている。LAN Controller は TCP/IP スタックを内蔵しており、PC と命令データをやり取りする。LED 素子を搭載している Lighting Node が実際に照明としての機能を有しており、LAN Controller は複数の Lighting Node と接続されている。照明制御の際には、制御用 PC が LAN Controller に送信する命令文の中で Lighting Node の ID 番号を指定する。各 LAN Controller は 32 個の ID を管理でき、接続された Lighting Node に同一の ID を割り当てて同じの動作を命令できる。本研究では、図 1 のように同一 ID を付与した Lighting Node を 4 つ組み合わせて、照明の制御単位として扱った。

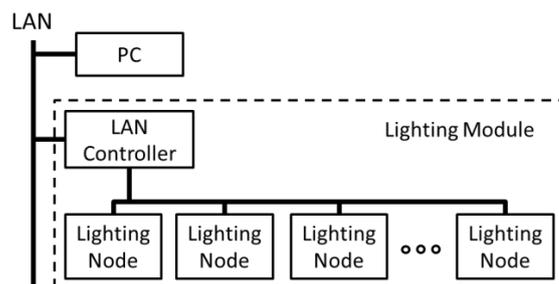


図4 LED 照明制御システムの構成
Figure 4 Configuration of LED lighting control system.

図 4 の照明への命令は TCP/IP 通信を用いて送信される。その制御命令は JSON (JavaScript Object Notation) 形式の文法を用いており、人にも理解しやすい命令体形を構築した。今回の実験では、各 LED 素子の出力を DMX512 のプロトコルに従って、直接的に数値指定した。

4. 現在位置の推定手法

本研究が目的とする誘導では、人がどの照明の近くにいるのかを判断できれば良いため、現在位置の推定はおおよその精度で十分である。ゆえに、部屋内に人が存在する場合としない場合の両者カメラ画像における輝度の差分値を用いて、現在位置を推定する。

あらかじめ人が部屋内に存在しない状況において、各照明の色温度や輝度を変更しながら様々なパターンで点灯させ、カメラ画像における各領域の輝度の平均と標準偏差を



図5 カメラ画像における輝度計算領域

Figure 5 Areas for computing luminosity changes.

計算して学習させておく．本研究では，照明直下または照明と照明の間に輝度を調べる領域を設定した．

人が存在する場合のカメラ画像から領域毎に輝度平均を計算し，事前処理で学習しておいた同一領域の値と比較することで，人の現在位置を推定する．図5に示すように，人が存在する場合は両者の輝度平均値に大きな差が生じるので，その領域を人の現在位置と推定する．

また，人の立ち位置によっては，複数領域の輝度平均が学習値から大きく変化する状況が考えられる．しかしながら，本システムでは足元位置を現在位置とすれば良いので，カメラからの距離が最小となる領域を現在位置と推定する．

5. 照明の制御手法

5.1 制御対象照明の選択

本手法では，誘導対象者の現在位置から目的位置までを結ぶ直線経路付近の照明を制御対象として調光する．

まず図6に示すように，現在位置と目的位置を結ぶ直線経路付近の照明を抽出する．具体的には，部屋を真上から見た平面図において，任意の照明から直線経路への垂直方向の距離が一定の閾値以下となるものを，直線経路付近の照明と判定する．

次に，経路付近と判定された照明の中から，現在位置と目的位置の間に存在するものだけに絞り込む．現在位置と目的位置間の直線距離を d_{sg} ，目的位置と任意の照明間の距離を d_{gl} ，現在位置と任意の照明間の距離を d_{sl} とすると， $d_{gl} < d_{sg}$ かつ $d_{sl} < d_{sg}$ の関係が成立する場合，その照明を現在位置と目的位置の間にあると判断する．

最後に， d_{gl} がある閾値より小さい照明（すなわち，目的位置付近の照明）を制御対象に追加する．これにより，目的位置が照明直下に設定されていない場合にも対応することができる．

5.2 調光量の計算

5.1 節の手法により選択された制御対象の照明に，現在位置と目的位置間の距離に応じて，現在位置付近は変化が小さく，目的位置付近は変化が大きくなるようなグラデー

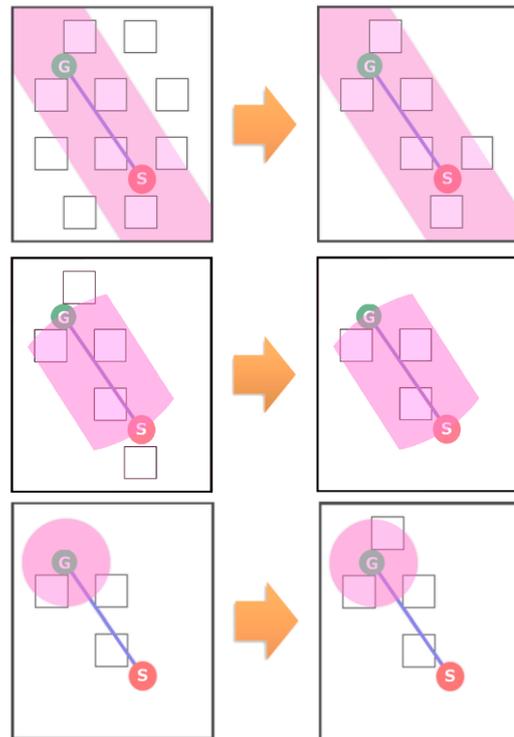


図6 制御対象となる照明選択の説明図

Figure 6 Schematic representation of control lights selection.

ションを付けて調光する．図7のイメージに示すようなグラデーションを有する調光を制御することにより，視覚的な違和感の軽減を図る．

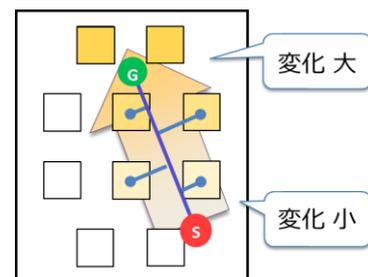


図7 調光イメージ

Figure 7 The image of the modulated light.

本実験で使用した照明は、色温度 T_c と輝度 ϕ を個別に指定して点灯できるように設計されており、各照明への調光でグラデーションを付けるためには、現在位置と各照明間の距離 d_{sli} を変数とした式により、 T_c と ϕ の値を導出する必要がある。

ϕ_{max} を調光時の最大輝度、 T_{cmin} を調光時の最小色温度、 T_{cb} 及び ϕ_b を自然点灯時の輝度、基準色温度とすると、照明 i の色温度 T_{ci} 及び輝度 ϕ_i を導出する式は、

$$T_{ci} = T_{cb} - \frac{(T_{cb} - T_{cmin})d_{sli}}{d_{sg}} \quad (1)$$

$$\phi_i = \frac{(\phi_{max} - \phi_b)d_{sli}}{d_{sg}} + \phi_b \quad (2)$$

で与えられる。

6. 誘導実験

6.1 実験概要

本校の20代前半の被験者5名に協力を得て、図2の実験部屋に構築したシステムを用いて実際に人を誘導する実験を行った。

最初に、誘導対象者が経路を判断するために必要となる最小の調光量を調査した。ただし、部屋に目的位置と見立てて設置した5個の物体(白色の箱)の中からいずれかをランダムに選択し、10回の試行中その物体にまで誘導できた回数で誘導成功率を評価した。

その後、移動を意識しない状態で照明を調光させて部屋の照明変化に対する印象を質問した。ただし、「違和感あり」から「違和感なし」の4段階の範囲で印象を評価した。

これらを、以下に示す3パターンの各調光方法に対して比較することで、本誘導システムにおける照明の有効な調光方法を調査した。

6.2 色温度のみの調光

各照明の輝度は100lmに固定する。現在位置付近の照明の色温度を最大値の6638Kおよび目的位置付近の照明を最小値の2725Kとして、1割毎の減少割合で色温度を指定し、 $x_c = 0.1$ から1までの10通りで実験を行った。 T_{cmin} から T_{cmax} を照明が表現できる色温度の範囲、 x_c を色温度の減少割合とすると、実際に目的位置付近の照明に指定される色温度 T_c を導出する式は、

$$T_c = T_{cmax} - (T_{cmax} - T_{cmin})x_c \quad (0 < x_c \leq 1) \quad (3)$$

で与えられる。図8に上式を用いて照明を変化させた誘導成功率および部屋に対する印象評価のアンケート結果を示す。

図8より、色温度の減少割合を少し大きくするだけで、誘導成功率を大きく向上できている反面、違和感を覚えるのも早いということが確認できる。違和感をほとんど覚えない減少割合の中で、最も誘導成功率が高かったのは減少

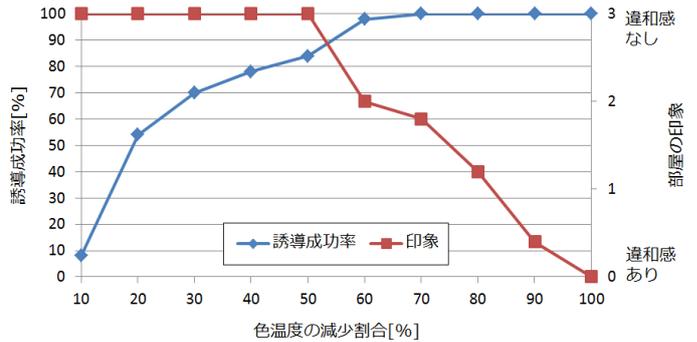


図8 色温度のみ調光させた場合

Figure 8 Dimming of only a color temperature.

割合0.5の4682Kであり、その成功率は84%であった。このことから、部屋が昼光色で照らされている場合、白色から昼光色程度まで変化させれば、最も効果的に誘導対象者にその違いを気付かせられるという事が示唆される。

6.3 輝度のみの調光

各照明の色温度は6638Kに固定する。この実験では、部屋の明るさをなるべく確保するために目的位置付近の照明は常に最大輝度になるように設定し、逆に現在位置付近の照明の輝度を調光することにした。目的位置付近の照明の輝度は236lmとし、これを輝度の最大値とする。また、現在位置付近の照明は最小値を100lmとして1割毎の減少割合で輝度を指定し、6.2節の実験と同様に、 $x_l = 0.1$ から1までの10通りで実験を行った。 ϕ_{min} から ϕ_{max} を照明が表現できる輝度の範囲、 x_l を輝度の減少割合とすると、実際に目的位置付近の照明に指定される輝度 ϕ を導出する式は、

$$\phi = \phi_{max} - (\phi_{max} - \phi_{min})x_l \quad (0 < x_l \leq 1) \quad (4)$$

で与えられる。図9に上式を用いて照明を変化させた誘導成功率および部屋に対する印象評価のアンケート結果を示す。

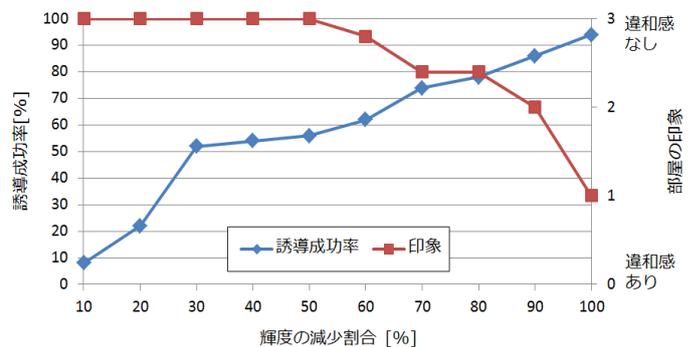


図9 輝度のみの調光させた場合

Figure 9 Dimming of only a luminosity.

図9より、輝度の変化に対する誘導成功率の上昇は、色温度を調光させた場合よりも緩やかであることが分かる。また、輝度の変化量が大きくなっても違和感を覚えづらいということも読み取れる。違和感をほとんど覚え、減少

割合 0.8 の 127lm の場合に最も高い誘導成功率の 78% を示した。以上の結果により、人は輝度よりも色温度の変化に敏感であると考えられる。

6.4 色温度及び輝度両方の調光

図 8, 図 9 の実験結果より、色温度の変化量は抑えつつ、輝度の変化量を大きくすれば、より高い誘導成功率で部屋への違和感も軽減できるものと予想し、(3)式の x_c を 0.3 から 0.5, (4)式の x_l を 0.6 から 0.8 の範囲で組み合わせ、同様の実験を行った。これらは、上述した実験でそれぞれ一番良い結果が得られた減少割合と、それらより 0.1 および 0.2 だけ減少割合を小さくした条件を用いた。図 10 に誘導成功率および部屋に対する印象評価の結果を示す。

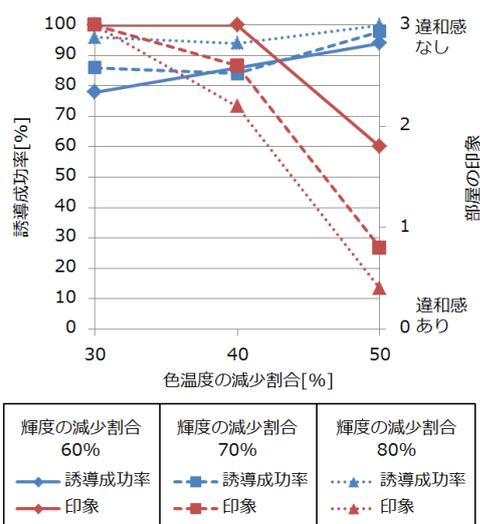


図 10 色温度と輝度を調光させた結果

Figure 10 Result for a temperature and luminosity controls.

図 10 より、これらの組み合わせにおいて誘導成功率が全体的に向上しているのが確認できる。また、色温度の減少割合を大きくすると輝度を変化させた場合の影響が顕著に現れるので、部屋に対する違和感を覚え易くなってしまったと考えられる。この組み合わせで得られた最良の結果は、色温度の減少割合を最小に、輝度の減少割合を最大に設定した場合であり、96%の誘導成功率で違和感もほぼ覚えなかった。

以上の結果より、本誘導システムにおいて照明調光が周囲へもたらす影響を少なくするためには、色温度または輝度のみの調光よりも、両者を組み合わせた調光が有効であることが示唆された。また、色温度の変化よりも輝度の変化を優先する調光の方が、より効果的であるという結果が得られた。

7. おわりに

本稿では、監視カメラを用いて人の現在位置を推定し、目的位置までの直線経路上の照明を制御する誘導システムを提案した。

人を現在位置から目的位置まで誘導する経路上にその距離に応じてグラデーションをかけるような照明の色温度と輝度の調光制御を実際に開発し、誘導実験によって色温度、輝度、およびそれらの両方を調光させるパターンで調査した結果、人は輝度の変化よりも色温度の変化に対して敏感であることが確認された。したがって、本研究の様な照明の調光によるアンビエントな誘導システムを構築する際には、色温度の変化はなるべく抑えて輝度の変化を優先する調光が、周囲環境への影響を軽減させるには有効であると言える。

今後の課題として、人の位置を推定するカメラ画像から照明の照射範囲や壁からの反射光等の情報を画像解析により推定し、床面の状態を反映した精緻なグラデーションが得られる調光方法の開発が挙げられる。さらに、壁や分岐路等を含む、より複雑な実環境を考慮した経路計算や照明制御の手法についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] 佐野友紀: ウェイファインディングのための計画, http://www.tokyokenchikushikai.or.jp/51_kaihou/2005/02/ken2G_ugoki.pdf/.
- [2] 葛西紀巳子, 田中直人, 宮井雄大: 学生を対象とした画像シミュレーションにおける色・光・図柄などの心理的誘導効果の検討, 日本色彩学会誌, (2008).
- [3] 西嶋順子, 今井朗, 後藤義明, 上井一哉, 葛西紀巳子, 田中眞二, 高田美紀, 田中直人: 廊下分岐点での誘導効果に関する実物大画像を用いた実験の検討, 日本建築学会学術講演梗概(2008).
- [4] 高田美紀, 上井一哉, 後藤義明, 今井朗, 葛西紀巳子, 田中眞二, 西嶋順子, 田中直人: 廊下分岐点での誘導手法の有効性, 日本建築学会学術講演梗概集(2008).
- [5] 奈良先端科学技術大学院大学: OpenCV プログラミングブック, 毎日コミュニケーションズ(2007)