

BLE ビーコンを用いて在離席操作を自動化する ビーコン型知的照明システムの提案

Proposal of Beacon-type Intelligent Lighting System That Automates the Standing Away Seat Operation Using the BLE Beacon

中原 蒼太*¹ 三木 光範*² 山口 浩平*¹ 提中 慎哉*¹ 間 博人*²
Sota NAKAHARA Mitsunori MIKI Kohei YAMAGUCHI Shinya DAINAKA Hiroto AIDA

*¹同志社大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

From field trials, it was found that some office who does not perform Away operations in intelligent lighting system. If you do not want to Away operation, unnecessary lighting of places that have no office's lights, power consumption is increased. Therefore, in this study we propose a beacon-type intelligent lighting system that performs standing away seat detected using BLE beacon and smartphone. This system resident Away operation is automated, improving the convenience of the system, a further reduction of power consumption in intelligent lighting system is ready.

1. はじめに

我々は、オフィスにおいて各執務者が要求する明るさ（目標照度）を最小の消費電力で提供する知的照明システムの研究を行っている [1, 2]. 実オフィスに導入した結果、各執務者に目標照度を提供することに成功し、高い省エネルギー性を実現した [3]. 現在の知的照明システムにおいて、執務者が知的照明システムを利用する際には、照度センサの在席ボタンを押すか、Web 上で在席操作を行い、執務者が一時的に席を離れる際や退社する際には同様に照度センサや Web から離席操作を行う。知的照明システムは執務者からの在席操作、離席操作に応じて執務者付近の照明の点灯、消灯を行う。そのため、執務者が一時的に席を離れる際や退社時に離席操作を行わなかった場合、執務者がいない場所の照明が点灯し続けることになり、消費電力の削減効果が減少する。

一方で、近年 O2O マーケティングの位置特定技術として BLE ビーコン（以下、ビーコン）に注目が集まっている [4][5]. ビーコンとスマートフォンを用いることで、システムは執務者のスマートフォンの位置を特定することが可能である。そこで、ビーコンとスマートフォンを用いて、執務者の位置を特定し、知的照明システムにおける在離席操作を自動化するビーコン型知的照明システムを提案する。ビーコンとスマートフォンを用いて、システムが執務者の在離席を検知し、知的照明システムにおける執務者のシステムの利便性向上を目指す。

2. 知的照明システム

2.1 概要

知的照明システムは、調光可能な照明、制御装置、照度センサ、および電力計を一つのネットワークに接続することで構成される。各照明の明るさ（光度）を変化させることによって執務者の目標照度を実現し、かつ大幅な省エネルギー性を実現する。知的照明システムの構成を図 1 に示す。各照明に接続された制御装置が照度情報および消費電力情報を基に最適化手

連絡先: 中原 蒼太, 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, snakahara@mikilab.doshisha.ac.jp

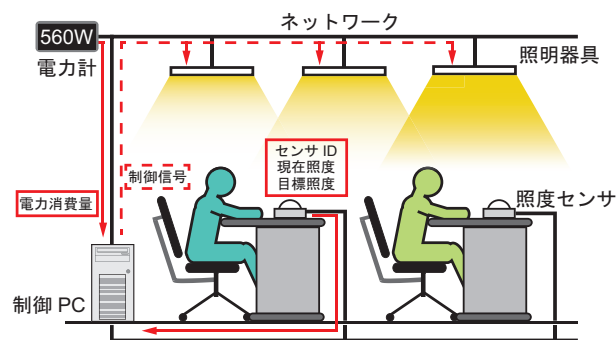


図 1: 知的照明システムのシステム構成

法を用いて、執務者に感知されない範囲で光度を変化させる。これを繰り返すことで、執務者の要求する照度を省電力で実現する。

知的照明システムでは、Simulated Annealing を基盤とした照明制御アルゴリズム（Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient:ANA/RC）を用いている [1, 6]. Simulated Annealing は、現在の解から近傍の範囲内で近傍解を生成し、目的関数が改善した場合は近傍解を受理する汎用的な局所探索法である。設計変数を照明光度とし、探索毎に各照明光度を人の目に感知されない変化幅の範囲内でランダムに微小変化させ、最適な点灯パターンの探索を行う。知的照明システムでは 1 回あたり約 1 秒の照明制御を 30 回から 100 回行うことで、各執務者の目標照度を実現する。以下に照明制御の流れを示す。

- (1) 各照度センサの目標照度を設定。
- (2) 各照明を初期光度で点灯。
- (3) 照度センサおよび電力計から計測値を取得。
- (4) 後述する目的関数に基づき、評価値を計算。
- (5) 照度/光度影響度に応じて次光度を生成し、次光度で点灯。
- (6) 照度センサおよび電力計から計測値を取得。
- (7) 項目 (5) における点灯状況の評価値を計算。

- (8) 目的関数の評価値が改良された場合は次光度を受理し、そうでない場合は元の光度に戻す。
 (9) 項目 (3) に戻る。

各照明には、各照度センサとの位置関係に応じて照度/光度影響度が設定されており、その影響度合いに応じてランダムな光度変化に方向性を持たせる。
 各関数の目的関数は式 (1) で表される。

$$f_i = P + w \sum_{i=1}^n g_i \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (Lc_i - Lt_i) \geq 0 \\ R_i(Lc_i - Lt_i)^2 & (Lc_i - Lt_i) < 0 \end{cases}$$

$$R_i = \begin{cases} r_i & r_i \geq T \\ 0 & r_i < T \end{cases}$$

n : 照度センサの数 w : 重み
 P : 消費電力量 L_c : 現在照度 L_t : 目標照度
 r_i : 照度/光度影響度 T : 閾値

式 (1) に示す目的関数は消費電力 P と照度制約 g_i から構成され、各照明ごとに計算する。各照度センサの目標照度を制約条件としたペナルティ g_i は照度/光度影響度により変化し、照度/光度影響度が大きい照明だけペナルティを重要視するように動作する。また、照度/光度影響度 r_i に閾値 T を設けることで、ある照度センサに影響を与える照明を近くの照明に絞ることができる。これにより、照度センサから遠い照明は消費電力の最小化を目的として制御する。

照度/光度影響度とは、照度センサから得られる照度値と照明の光度の関係を示す値である。照度/光度影響度は式 (2) で表される。

$$I = RL \quad (2)$$

I : 照度 [lx], L : 光度 [cd]
 R : 照度/光度影響度 [lx/cd]

照度/光度影響度 R は照明環境に依存する値であり、照明環境に変化がない限り定数と見なすことができる。一般的なオフィスの机は移動することは少ないため、知的照明システムの導入環境において照明を 1 灯ずつ点灯・消灯させることで、事前に照度/光度影響度を計測することができる。

2.2 シミュレーション型制御

前節で述べた知的照明システムでは、各照度センサから得られる照度情報、電力計から得られる消費電力情報を基に最適化手法を用いて光度変化を繰り返すことで、必要な場所に必要な照度を提供している。この方法では、オフィス内のレイアウト変更、照度センサの移動、照明器具の劣化、および外光の影響など、様々な照明環境の変化に柔軟に対応することが可能である。

しかし、照明環境に変化がなく、外光の影響のないオフィス環境においては、照度収束までの照明制御回数を削減する知的照明システムの制御方法が存在する [7]。この制御方法では、電力情報および照度情報を推定し、推定した値を用いて計算機内で最適化を繰り返すことで、電力計および照度センサから情報取得することなく最適化照明の点灯パターンを探索する。そして、計算機上で探索した照明の点灯パターンを実環境の照明に反映することで、1 回の照明制御で各執務者の目標照度を

実現する。また、電力情報と照度情報を計算機上で推定するため、照度センサがなくても知的照明システムの制御が可能である。以降、照度収束までの照明制御回数を削減する知的照明システムの制御方法をシミュレーション型制御と呼ぶ。

本システムでは、照明環境に変化がなく、外光の影響がないオフィス環境を想定し、知的照明システムの制御方法として、シミュレーション型で、かつ照度センサを用いない制御を利用した。

3. ビーコン

ビーコンとは、低消費電力の近距離無線技術「Bluetooth Low Energy」(BLE) を利用した位置特定技術である。ビーコンは自身の識別情報を一定時間間隔で近距離に発信する。識別情報として、ビーコンから以下の情報を発信する。

proximityUUID

所属するグループを識別するための値で、一意の ID を設定

major

UUID が同じビーコンを識別するための値

minor

UUID および major も同じビーコンを識別するための値

Measured Power

ビーコンから 1m 地点での受信電波強度の実測値

スマートフォンは受信したビーコンの識別情報と受信電波強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を用いてビーコンとのおおよその距離を推定する。

4. ビーコン型知的照明システム

4.1 ビーコン型知的照明システムの概要

ビーコン型知的照明システムは、ビーコンとスマートフォンを用いることで在離席操作を自動化する知的照明システムである。ビーコン型知的照明システムのイメージ図を図 2 に示す。



図 2: ビーコン型知的照明システムのイメージ図

執務者は部屋に入室し着席すると、机の所定の場所にスマートフォンを置く。すると、執務者のスマートフォンは机に設置されたビーコン電波を検知し、制御 PC に在席処理命令を送信する。また、執務者が退室した際はスマートフォンがビーコン電波を受信できなくなったことを検知し、制御 PC に離席処理命令を送信する。これにより、現在の知的照明システムにおいて執務者が手動で行っていた在離席操作が自動化される。

4.2 システム構成

ビーコンは Aplix 社の MyBeacon 汎用型 MB004 Ac を使用した。このビーコンを執務者の各机に1つずつ設置する。そのため、他のビーコンとの干渉を最小限に抑えるため、ビーコンの電波出力は最小の-20dBm に設定した。執務者のスマートフォンでの RSSI が近接していると判定できる閾値以上でかつ、最も強いビーコンの位置を執務者の位置とし、知的照明システムの制御を行う。本システムにおいて執務者が部屋に入室し、システム上で在席になるまでの流れを以下に示す。

- (1) 執務者が部屋に入室する
- (2) スマートフォンはビーコンから識別情報を受信する
- (3) スマートフォンは受信したビーコンの識別情報および執務者が設定した目標照度をシステムに送信する
- (4) システムはスマートフォンから受信した識別情報からスマートフォンの位置を特定し、知的照明システムでの在席処理を行い、照明を点灯させる

また、離席処理は、在席時に受信していたビーコン電波をスマートフォンが受信しなくなった際に行われる。

5. 在離席判定に用いる RSSI 閾値の設定

5.1 概要

本システムでは、執務者の在離席を判定するにあたり、各座席に設置したビーコンからの執務者のスマートフォンでの RSSI を利用する。そのため、ビーコンとスマートフォンの距離によって RSSI がどのように変化するかを検証した。

5.2 実験環境

ビーコンとスマートフォンの距離によって RSSI がどのように変化するかを測定した。本測定実験は、同志社大学香知館知的オフィス環境創造システム実験室で行った。実験環境を図3に示す。

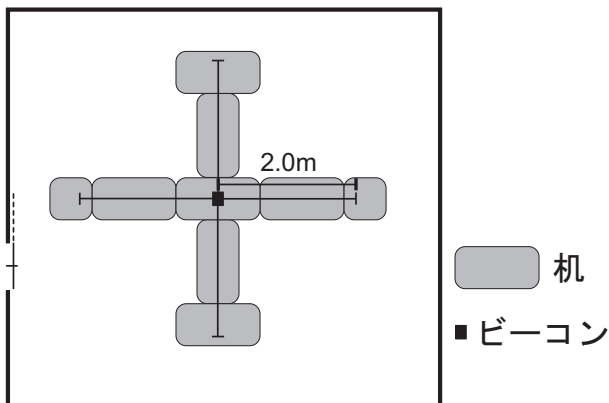


図 3: RSSI 計測実験環境

ビーコンからの距離 0.1m ごとにスマートフォンを設置し、最大 2.0m までのスマートフォンでの RSSI を計測した。スマートフォンは iPhone 4S を使用し、ビーコンはインジケータランプが上に向くように机の上に設置した。計測はそれぞれ4方向で、各地点につきそれぞれ5回ずつ行った。

5.3 計測結果

RSSI 計測実験の計測結果を図4に示す。

図4のように、平均 RSSI は距離が 0.7m まではなだらかに減少するが、それより遠い場合ではあまり変化しないことが

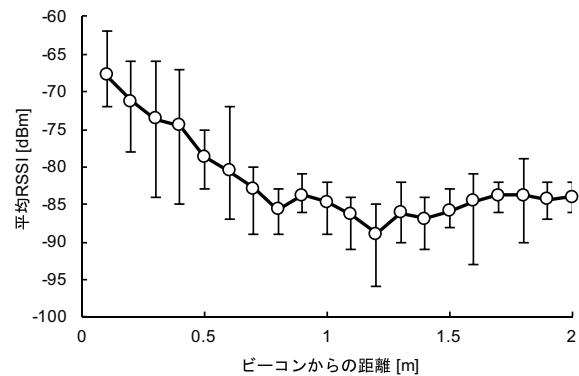


図 4: RSSI 計測結果

わかった。本システムではビーコンは机の上に設置し、机の所定の場所にスマートフォンを置くことを想定している。そのため、ビーコンとスマートフォンとの距離はおよそ 0.2m 以内となるため、システムでの RSSI の閾値は-80dBm にとした。

6. システム動作実験

6.1 概要

ビーコン型知的照明システムの動作実験を行った。知的照明システムの制御はシミュレーション型かつ照度センサを用いない制御を用いて動作実験を行った。また、執務者が在席する机には、知的照明システムが正常に動作し、目標照度を満たすかの確認のため、照度センサを設置した。実験は RSSI 計測実験と同じく、同志社大学香知館知的オフィス環境創造システム実験室で行った。システム動作実験を行った環境を図5に示す。

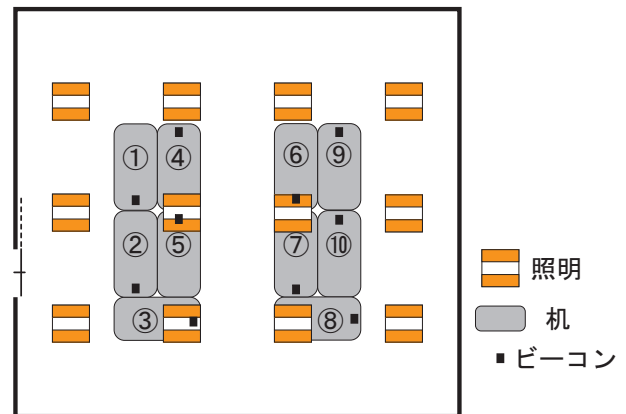


図 5: システム動作実験環境

本実験での執務者の流れを以下に示す。

- (1) 執務者 A (目標照度 300lx) が座席 1 に着席
- (2) 執務者 B (目標照度 500lx) が座席 5 に着席
- (3) 執務者 B が座席 6 に移動
- (4) 執務者 C (目標照度 700lx) が座席 8 に着席
- (5) 執務者 A が離席
- (6) 執務者 B が離席
- (7) 執務者 C が離席

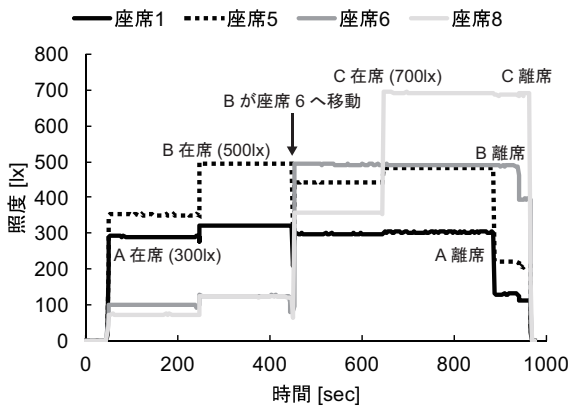


図 6: 各座席での照度履歴

6.2 実験結果

各座席での照度履歴を図 6 に示す。

図 6 から、提案手法を用いることで各執務者の在席・離席を検知し、目標照度を満たすように照明の明るさを変更することが確認できる。各執務者の在席・離席を検知するとすぐに目標照度に収束しており、その後も照度が目標照度を維持するように動作している。実験開始から 250 秒後には執務者 A に加えて執務者 B も在席するが、執務者 A の要求する目標照度を満たしながら執務者 B の目標照度を実現していることが確認できた。また、その 200 秒後に執務者 B は座席 6 へ移動するが、執務者 A の要求する目標照度を満たしながら座席 6 に執務者 B の要求する目標照度を提供した。その後の執務者 C の在席においても、各執務者それぞれの目標照度を満たすようにシステムが動作していることが確認できた。また、執務者 A, B, C それぞれの離席も正常に検知し、照明の減光または消灯が正しく行われ、離席となった座席における照度が低くなっていることがわかる。

本実験の結果から、ビーコンとスマートフォンを用いて執務者の在席・離席をシステムが検知することで、正しく執務者の在席・離席状態を管理可能であり、ビーコン型知的照明システムは有用であるといえる。

7. 結論

本論文では、現在の知的照明システムにビーコンを用いた在離席検知システムを組み込むことで、執務者の在離席操作を自動化するビーコン型知的照明システムについて述べた。そして、実際のオフィスを想定しシステムの動作の検証を行った。検証の結果、ビーコン型知的照明システムが正常に動作することが確認できた。現在は机にビーコンを置いて実験を行っているが、今後は様々なビーコン設置方法を検討し実験を行うとともに、実オフィスへの導入も検討することが重要であると考えられる。

参考文献

- [1] M.Miki, T.Hiroyasu, and K.Imazato. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. *Proc. IEEE CIS*, Vol. 1, pp. 520–525, 2004.
- [2] M.Miki, T.Hiroyasu, and M.yonezawa. Intelligent lighting control using correlation coefficient between lumi-

nance. *Proc.IASTED Intelligent Systems and Control*, Vol. 497, pp. 31–36, 2005.

- [3] 三木光範, 加來史也, 廣安知之, 吉見真聡, 田中慎吾, 谷澤淳一, 西本龍生. 実オフィス環境における任意の場所にユーザが要求する照度を提供する知的照明システムの構築 (情報・システム基礎). *電子情報通信学会論文誌*, Vol. 4, pp. 637–645, 2011.
- [4] 橋口稔, 行成功志, 藤野慶太, 田中康一郎. ibeacon を用いたスマートフォン向けキャンパスマップの試作. *情報処理学会第 77 回全国大会*, Vol. 2015, No. 1, pp. 899–901, 2015.
- [5] 古館達也, 堀川三好, 菅原光政. 歩行者を対象とした屋内測位手法の提案. *情報処理学会第 77 回全国大会*, Vol. 2015, No. 1, pp. 313–315, 2015.
- [6] T.Hiroyasu M.Yoshikata S.Tanaka, M.Miki. An evolutionary optimization algorithm to provide individual illuminance in workplaces. *Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern*, Vol. 2, pp. 941–947, 2009.
- [7] Shohei Matsushita, Sho Kuwajima, Mitsunori Miki, Hisanori Ikegami and Hiroto Aida, “Reducing the Number of Times Lighting Control is required to reach Illuminance Convergence in the Intelligent Lighting System”, The 2014 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI2014).