

# センサネットワークにおける通信切断を考慮した知的照明システム

内村祐之

## 1 はじめに

我々は、各執務者が要求する明るさを最小の消費電力で実現する知的照明システム (Intelligent Lighting System : ILS) の研究・開発を行っている。知的照明システムでは、照明制御のために照度センサを用いているが、これにセンサノードを利用することが考えられる。センサネットワークを用いることで、照度センサの敷設容易性を向上させると共に、オフィスのレイアウト変更に柔軟に対応できる。しかし、センサノードの電池切れやセンサの経年劣化など様々な要因により、センサネットワークには通信切断の発生する可能性がある。そこで、通信切断が発生し照度値のセンシングが停止した状況でも執務者の要求した照度を制御可能な通信切断を考慮した知的照明システム (Intelligent Lighting System for Disconnected Operation : ILS/DO) を提案する。ILS/DO はセンサネットワーク上で通信切断が発生した際に、照度の推定を行うことで照明制御の継続性を実現する照明制御システムである。ILS/DO の有効性を示すため、通信切断が発生した際の評価を行った。評価の結果、ILS/DO は 10 分以上の通信切断が生じても 99 % が照度取束範囲内に収まった。

## 2 通信切断を考慮した知的照明システム (ILS/DO)

### 2.1 ILS/DO の概要

ワークスペースにおいて個々の執務者は異なる選好照度を持つ。ILS は執務者が要求する照度 (目標照度) を実現することで、知的生産性や快適性の向上させる<sup>1)</sup>。ILS の構成を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示すように、執務者の机上面照度を計測するセンサノード、センサノードのデータを集約するシンクノード、シンクノードから受け取った照度を計算する制御 PC、電力センサ、および照明器具から構成されている。制御 PC は消費電力および照度情報より最適化手法を用いて執務者に感知されない範囲で照明の明るさを変化させる。ILS はこれを繰り返すことで最終的に目標照度を省電力で実現する。

しかし、センサノードの故障や移動、電池切れによってセンサノードとサーバ間で通信切断が発生する場合、執務者の目標照度が実現できない。この問題を解決するため、照明光度がセンサノードに与える影響度合い (影響度) を計算し、その影響度合いを基に照度値推定を実現する。影響度は各照明の光度履歴と各照度センサの照度履歴を基にして単回帰分析を用いて計算する。本章では照度値推定を用いて通信切断に対応した知的照明制御システム ILS/DO を提案する。

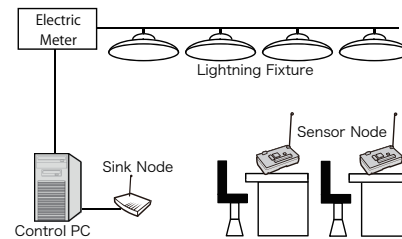


Fig.1 ILS の構成機器

### 2.2 ILS の照明制御アルゴリズム

ILS では確率的山登り法を照明制御用に改良したアルゴリズムを用いて照明制御を行う。ILS の目的は各執務者の目標照度を実現し、消費電力を最小にすることである。このため、各照明は自身の光度を最適化問題として捉える。各照明は自身の光度を設計変数とし、目標照度以上にするという照度制約のもと、消費電力を最小化する最適化問題を解く。最適な光度の探索は、各照明の光度をランダムに変化させることで行う。

各照明の目的関数を式 1, 2, 3 に示す。

$$f = P + w \sum_{j=1}^n g_j \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=1}^m C d_i \quad (2)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (I t_i - I c_i) \leq 0 \\ (I t_i - I c_i)^2 & (I t_i - I c_i) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$n$ : センサノードの数,  $m$ : 照明の数

$w$ : 重み,  $P$ : 消費電力,  $I c$ : 現在の照度

$I t$ : 目標照度,  $C d$ : 現在の光度

### 2.3 照度値推定

通信切断によってセンサノードから照度値を受信できなかった場合、照度値の推定を行い照明制御を続ける。照度値の推定は、光度履歴と各照度センサの照度履歴から得られる影響度を基にして行う。式 4 に推定照度値の計算式を示す。推定照度値は各照明の光度と各照明が各センサノードに及ぼす影響度を乗算し、それらの総和から得られる。

$$I_e = \sum_{i=1}^m L_i \times R_i \quad (4)$$

$I_e$ : 推定現在照度,  $L$ : 光度

$R$ : 影響度,  $m$ : 照明の数

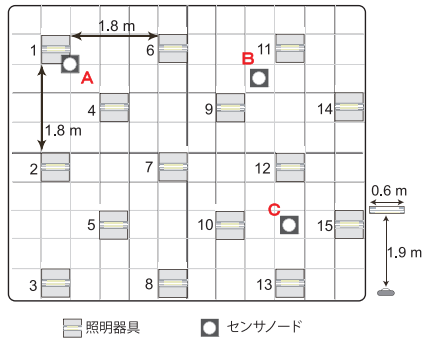


Fig.2 実験環境

照度値推定で得られた推定照度値は、通信切断時の目的関数計算に用いる。

### 3 評価

#### 3.1 実験概要

通信切断時における ILS/DO の評価をするため、通信切断が発生する環境下で照度収束実験を行う。実験では、白色蛍光灯 15 灯とセンサノード 3 台を用いる。実験環境を Fig. 2 に示す。Fig. 2 は、照明器具およびセンサノードの位置関係を示す。照明の間隔を 1.8 m としたのは一般的なオフィス照明を模擬するためである。照明横の番号は照明番号を、センサノード横のアルファベットはセンサの識別名を表す。センサノードは、照明 1 灯の直下、照明 2 灯の間、照明 4 灯の間の 3 点の場所に配置する。この配置は照明に対してセンサノードをどの位置に置いても照度制御できることを確認するためである。センサノードは Crossbow 社の開発した IRIS Mote<sup>2)</sup> を使用する。IRIS Mote に汎用外部センサ基板である MDA088 を設置し、リードタイプの Napica 照度センサを組み込むことで、照度値を取得可能とする。センサノード A, B, C の初期目標照度をそれぞれ 500 lx とする。人の知覚出来る照度差の範囲はおおよそ  $\pm 50$  lx 以内であるため、目標照度の  $\pm 50$  lx 以内を収束範囲とする。

実験は照度値推定を用いる場合と用いない場合の 2 通りを行った。また、センサノードの移動や外光の影響はないものとする。

#### 3.2 照度値推定を用いない場合の実験結果

目標照度を変更し照度値推定を用いない場合の実験を行った。システム稼働後から 600 秒後にセンサノード A の目標照度を 300 lx に、C の目標照度を 700 lx に変更する。また、目標照度変更時から通信切断を 1000 秒発生させる。通信切断中は照度値推定を行わない。実験結果の照度履歴を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、目標照度変更前は各センサノードとも目標照度への収束を確認した。しかし目標照度変更後は通信切断によって照明制御が停止している。このため、通信切断が終了するまでセンサノード A, C が目標照度に収束していない。これは、執務者の求める照度を満たせておらず問題である。

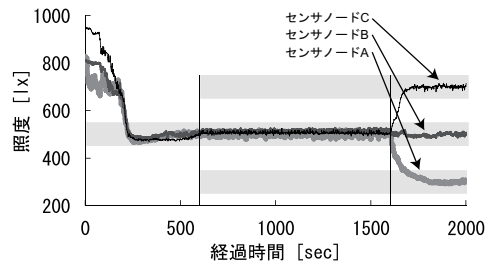


Fig.3 照度値推定を用いない場合の照度履歴

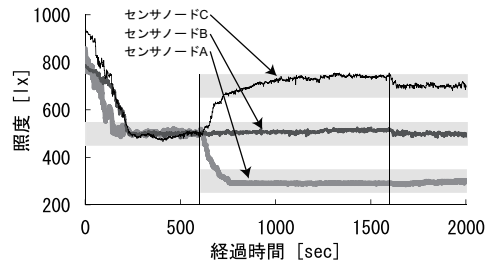


Fig.4 照度値推定を用いる場合の照度履歴

#### 3.3 照度値推定を用いる場合の実験結果

目標照度を変更し照度値推定を用いる場合の実験を行った。システム稼働後から 600 秒後にセンサノード A の目標照度を 300 lx に、C の目標照度を 700 lx に変更する。また、目標照度変更時から通信切断を 1000 秒発生させる。通信切断中は照度値推定を行う。実験結果の照度履歴を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より、目標照度変更前は各センサノードとも目標照度への収束を確認した。目標照度変更後も各センサノードで照度収束を確認した。ただし、通信切断中にセンサノード C の照度が収束範囲の上限である 750 lx 付近まで上昇している。これは、影響度計測に誤差が含まれているため、その誤差が推定照度値の精度に影響を与えたからだと考えられる。Fig. 4 と比較して Fig. 3 では、通信切断中に照度制御が停止しており、センサノード A, C は照度収束に失敗している。Fig. 4 では、目標照度を変更して 200 秒後から通信切断終了時まで各センサノードの 99 % が照度収束範囲内に収まっている。このため、通信切断が発生する環境下において目標照度の変更があった場合、システムの制御が停止することのない照度値推定機能は有効である。

#### 参考文献

- 1) P. R. Boyce, N. H. Eklund, and S. N. Simpson. "Individual lighting control: task performance, mood, and illuminance." Journal of the Illuminating Engineering Society pp.131-142, 2000.
- 2) MEMSIC, Wireless module, IRIS  
<http://www.memsic.com/>