

知的照明システム動作環境での照明を用いたセンサノードの時刻同期手法

本田 雄亮

Yusuke HONDA

1 はじめに

知的照明システムは、照度センサから取得する照度データを基に制御を行う。無線センサノードを利用した知的照明システムでは、照度センサの数やレイアウトの変更が容易なオフィスへの柔軟な対応が可能となる。また、センサノードは拡張性が高く、照度以外にも様々な環境センシングに利用できる。しかし、センサノード間の時間的整合性を取るために時刻同期が必要である。

無線センサネットワークでは、既に数多くの時刻同期手法が提案されている。既存手法では、時刻同期にパケットの送受信が必要である。これに対し本稿では、オフィスにおける照明制御と照度センシングの普及を活用し、パケットの送受信を行わずにセンサノード間の時刻同期を行う手法を提案し、その有効性を検証する。

2 Timing-sync Protocol based Lighting Control

Timing-sync Protocol based Lighting Control (TPLC) は、パケットの送受信を行わない時刻同期手法である。TPLC では、照明光度の制御により発生する照度の変動を検知した時点を中心に、相対時刻による時刻同期を行う。そのため、知的照明システムの同一ネットワークに接続された照明環境下であれば、全てのセンサノードは一律に時刻同期が可能である。本研究では、時刻同期用の照度変化を起こす時点時刻同期ポイントと定義する。

TPLC は、時刻同期ポイントの検知に照度変化量を用いる。センサノードは照度を取得するたびに前の照度との差を求める。そして、求めた照度差が閾値を超えた場合、照度変化を検知し、時刻同期を行う。

時刻同期用の照度変化に関して、先行研究により、照度変化量が現在照度の 6 % 以内であれば、人は照度変化を感じることが確認されている¹⁾。したがって、光度の変化量は 6 % 以内と定める。

TPLC は、照度変化量を用いて時刻同期ポイントを検知する。そのため、常時、照度変化が発生する知的照明システム動作環境下や照度センサが外光の影響を受ける環境では、TPLC を用いた時刻同期が容易ではない。したがって、TPLC が起こす時刻同期用の照度変化と予期せぬ時点での照度変化の判別が可能な手法を提案する。

3 TPLC with Correlation Coefficient

本研究では、時刻同期ポイントの検知に相関係数を用いた Timing-sync Protocol based Lighting Control with Correlation Coefficient (TPLC/CC) を提案する。TPLC/CC は、時刻同期用の照度変化の波形をあらかじめ

センサノードに登録し、実際に取得した照度の波形との相関関係から照度変化を検知する。あらかじめ登録する照度の波形をビット波形と定義する。ビット波形は 0 または 1 の系列からなる。ビット波形を形成する系列 x_i の数を N とする。センサノードは過去 N 回分の照度を保持する。時刻 t における実際の取得照度の波形とビット波形の相関係数を r とし、相関係数 r を算出する式を式 1 に示す。

$$r = \left| \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(y_{t-i} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (y_{t-i} - \bar{y})^2}} \right| \quad (1)$$

N : 保持する照度データ数

x_i : ビット波形を形成する系列の値

\bar{x} : ビット波形の平均

y_t : 時刻 t において取得した実際の照度 [lx]

\bar{y} : 時刻 t から過去 N 点分の平均照度 [lx]

TPLC/CC は、時刻同期ポイントを示す照度変化を相関係数を用いて検知するため、時刻同期に用いる照度変化とそれ以外の照度変化の区別が可能である。

4 知的照明システム動作環境下における TPLC と TPLC/CC の検証実験

4.1 検証実験の概要

TPLC と TPLC/CC をそれぞれセンサノードに実装し、知的照明システムが動作する環境において、有効性の検証を行う。はじめに、知的照明システムが動作する環境において、時刻同期ポイントの検知精度を検証する。次に、同様の環境において、時刻同期ポイントの検知精度が高い手法を用いて、時刻同期精度を検証する。

時刻同期ポイント検知精度の評価は、TP と FP を用いて行う。TP は、True Positive の略称であり、正検知率と定義する。FP は、False Positive の略称であり、誤検知率と定義する。

時刻同期精度の検証には、時刻同期誤差を計測して用いる。時刻同期誤差を計測するために、真値として FTSP のグローバルタイムを使用する。各時刻同期ポイントにおいて、2つのセンサノード間で取得したグローバルタイムの差を時刻同期誤差とする。

本実験は、オフィスを模した実験室にて行い、LED 照明 12 灯と照度センサを取り付けたセンサノードを 2 台、ベースステーションとしてセンサノードを 1 台使用した。センサノードには、Crossbow 社の MOTE MICAz を使用する。照度の取得には、Panasonic 社の NaPiCa 照度センサを用いる。本実験では、NaPiCa 照度センサの照度取得間隔を 20 ms に設定した。

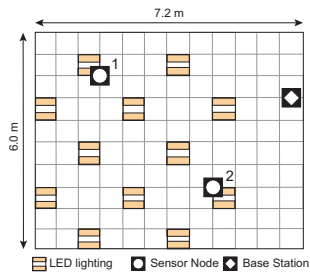


Fig. 1 実験環境の俯瞰図

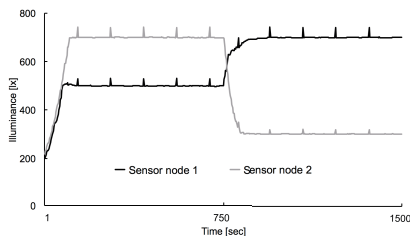


Fig. 2 実験環境における照度の変移

Fig.1 に本実験環境の俯瞰図を示す。センサノードは、一般的なオフィスデスクの高さである 0.72 m の高さに配置する。窓際には、外光が入らないように白色のパーティションを設置する。

本実験において、知的照明システムは、センサノード 1 とセンサノード 2 においてそれぞれ 500 lx と 700 lx の目標照度実現を目指す。次に、動作開始 750 秒後に、目標照度をそれぞれ 700 lx と 300 lx に変化させ、調光を続ける。知的照明システムが動作する 1500 秒間に、時刻同期ポイントを均等な間隔で 10 回設ける。6 時点目の時刻同期ポイントは、知的照明システムの目標照度変更された直後の照度変化が大きい時点にあたる。時刻同期ポイントでは、時刻同期用の照度変化として、TPLC は、現在光度から 6 % の光度上昇を起こす。そして、TPLC/CC は、現在光度から 6 % の光度変化で、ビット波形を表す照度変化を起こす。TPLC/CC が照度変化の検知に用いる閾値は 0.9 とする。知的照明システムの調光間隔は 3 秒に設定する。

Fig.2 に本実験環境において、2 つのセンサノードが取得する照度の変移を示す。Fig.2 に示した照度変移の中に見られる照度の上昇は、時刻同期用の照度変化の発生箇所であり、時刻同期ポイントであることを意味する。

4.2 TPLC と TPLC/CC の時刻同期ポイント検知精度の検証

表 1 に TPLC と TPLC/CC の時刻同期ポイントの検知精度を示す。表 1 より、TPLC は、TP が両センサノードにおいて 100.0 % であった。しかし、FP がセン

Table 1 時刻同期ポイントの検知精度

	TPLC		TPLC/CC	
	TP	FP	TP	FP
Sensor node 1	100.0 %	96.6 %	100.0 %	3.8 %
Sensor node 2	100.0 %	93.2 %	100.0 %	1.9 %

サノード 1 で 96.6 %、センサノード 2 で 93.2 % であり、誤った時点を時刻同期ポイントとして多く検知している。TPLC の FP が高い原因として、TPLC が照度変化の検知に照度変化量を用いていることが挙げられる。TPLC は、照度変化量が閾値を上回った場合に時刻同期ポイントと判定し、時刻同期を行う。一方で、知的照明システムでは、目標照度実現に向けて、常に照明の調光を行う。そのため、知的照明システム動作環境下では、常時、照度変化が発生する。したがって、TPLC は、知的照明システムによる照明制御で生じる照度変化を時刻同期ポイントとして誤って検知する。

TPLC/CC は、TPLC と同じく両センサノードにおいて TP が 100.0 % であった。しかし、FP はセンサノード 1 で 3.8 %、センサノード 2 で 1.9 % であり、TPLC と比べ大きく改善されていることが分かる。TPLC/CC では、時刻同期用の照度変化の検知に、ビット波形と取得照度の波形の相関関係を用いる。知的照明システムによる照明制御で生じる照度変化時の波形とビット波形は異なる波形である。したがって、TPLC/CC では時刻同期ポイントのみを高い精度で検知することが可能である。

実験結果より、知的照明システムが動作する環境下において TPLC/CC が有効であることが明らかになった。次に、TPLC/CC の時刻同期誤差を計測し、時刻同期精度を検証する。

4.3 TPLC/CC の時刻同期精度の検証

知的照明システムが動作する環境において、TPLC/CC を用いて時刻同期を 10 回 1 セットとして、5 セット行い、時刻同期誤差を算出することで、時刻同期精度の検証を行う。

TPLC/CC を用いた 50 回の時刻同期における時刻同期誤差は、平均値が 10.6 ms、標準誤差は 7.3 ms であった。知的照明システムでは、数秒間隔で照度取得を行うため、数十ミリ秒の時刻同期誤差は十分に許容できる。したがって、TPLC/CC は、知的照明システムが動作する環境におけるセンサノード間の時刻同期手法として有効であるといえる。また、TPLC/CC は、時刻同期に一切のパケット通信を行わずに時刻同期を実現する。

5 結論

本研究では、知的照明システムが動作する環境下で時刻同期可能な TPLC 実現のために、照度変化の検知に相関係数を用いる TPLC/CC を提案し、有効性を検証した。検証実験を行った結果、TPLC/CC は、知的照明システムが動作する環境下において、時刻同期ポイントを正確に検知可能であった。時刻同期精度に関しては、平均時刻同期誤差 10.6 ms で時刻同期を実現した。

本研究より、TPLC/CC は、知的照明システム動作環境での照明を用いたセンサノードの時刻同期手法として有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹: オフィス照明環境における明さの変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol.85, pp.346-351(2001).