

# 天井照明の光度制御を用いた無線センサノードの時刻同期手法

長光 翔一

Shoichi NAGAMITSU

## 1 はじめに

無線センサネットワークにおける実世界のアプリケーションでは、高精度でのセンシング要求から各センサノード間で時刻同期を取ることが求められており、様々な時刻同期プロトコルが提案されている<sup>1)</sup>。しかしながら、これまで提案されてきたセンサネットワークにおける時刻同期プロトコル<sup>2)</sup>はパケットの送受信が伴うためエネルギー消費やネットワーク負荷の観点から利用に制約がある。本研究では、調光可能な照明と無線センサノードに搭載された照度センサを利用して、パケットの送受信を行わない時刻同期手法 Timing-sync Protocol based Lighting Control (TPLC) を提案し、TPLC および TPLC を拡張した手法による無線センサノード間の時刻同期誤差を比較検証した。

## 2 天井照明の光度制御を用いた時刻同期手法

### 2.1 天井照明の光度制御を用いた時刻同期手法の基本概念

照度データには、パケットに含まれるタイムスタンプの時間情報がない。そのため照度センサが得た照度値で時刻同期タイミングを図るには、何らかの時間的情報を暗示的に照度センサに与えることが必要である。そこで TPLC では、照明の光度を変化させ照度値に揺らぎを与え、その変化を感知させることで時刻同期タイミングを図る。なお、人が感知できない範囲で照明の光度を変化させることで、快適性を維持した状態で時刻同期を行う必要がある。その変化量は、先行研究により、照度変化量が現在照度の 7% 以内であれば、人は感知できないことが確認されている<sup>3)</sup>。

### 2.2 照度取得間隔固定アルゴリズム

本節では照度取得間隔を固定した場合における TPLC アルゴリズムを示す。なお、照度変化が発生した後、元の照度に戻り再び照度に変化するまでの照度変化間隔  $T_U$  [s] を 1 ステップと定義する。TPLC ではセンサが得る誤差と光度変化時の照度変化とを区別するために、取得した照度と前回取得した照度とを微分し照度変化量  $I$  [lx] を求めることでフィルタリングを行う。またその時の値が閾値  $+\alpha$  以上であれば 1、閾値  $-\alpha$  以下であれば 0 として認識し、ビット列に変調することで時刻を受信する。なお、照度変化終了後から  $2T_U$  秒間照度変化が発生

しなかった時、無線センサノードは時刻情報の送信が完了したと判断する。この時間間隔を終了判定時間  $T_E$  [s] と定義する。センサノード側のアルゴリズムは次の通りである。

- (1) 照度を取得する
- (2)  $I$  を計算する
- (3)  $I \geq +\alpha$  であれば、  
1 ステップ目：時刻情報の受信を開始する  
2 ステップ目以降：1 を受信する
- (4)  $I \leq -\alpha$  であれば、0 を受信し、項目 (1) へ
- (5)  $T_E$  間で  $|I| < \alpha$  の場合には受信ビットを復調し、時刻を補正する

上記の動作を行い、TPLC を用いた時刻同期を実現する。

### 2.3 照度取得間隔可変型アルゴリズム

本節では照度取得間隔を可変にした TPLC アルゴリズム (TPLC-Active) について述べる。TPLC-Active では照度変化を感知する直前に照度取得間隔  $T_I$  を短縮することで、センシング回数を削減しつつ、照度取得間隔を短縮した TPLC と同等の時刻同期誤差を達成することを目的としている。照度取得間隔の短縮を行うための判定条件は式 (1) に示す通りである。

$$T_N \geq T_U - T_I \quad (\text{where } T_U > 0) \quad (1)$$

$T_U$  : 照度変化間隔 (1 ステップ) [s]

$T_I$  : 短縮前照度取得間隔 [s],  $T_N$  : 経過時間 [s]

$T_U - T_I$  を求めることで、 $T_I$  で動作している際の照度変化が発生する直前の時間  $T_N$  を求めることが可能であり、確実に照度取得間隔短縮時に照度変化を捉えることが可能である。TPLC-Active における時刻同期を行うまでのセンサノード側のアルゴリズムを述べる。

- (1) 照度を取得する
- (2)  $I$  を計算する
- (3)  $T_U$  の計測終了後であれば、式 (1) を満たすとき  $T_I$  を短縮する

- (4)  $I \geq +\alpha$  であれば,
  - 1 ステップ目:  $T_U$  の計測を開始する
  - 2 ステップ目:  $T_U$  の計測を終了し, 時刻情報の受信を開始する
  - 3 ステップ目以降: 1 を受信する
- (5)  $I \leq -\alpha$  であれば, 0 を受信する
- (6)  $T_N$  を元に戻し, 項目 (1) へ
- (7)  $T_E$  間で  $|I| < \alpha$  の場合には受信ビットを復調し, 時刻を補正する

上記の動作を行い, TPLC-Active を用いた時刻同期を実現する。

### 3 提案手法における時刻同期誤差の検証実験

#### 3.1 提案手法における時刻同期誤差の実験概要

TPLC および TPLC-Active を無線センサノードに実装し, 時刻同期誤差の検証を行った。本実験は同志社大学の実験室にて行いシャープ製フルカラー LED28 灯と無線センサノード 2 台を用いた。本実験における実験環境図を Fig.1 に示す。

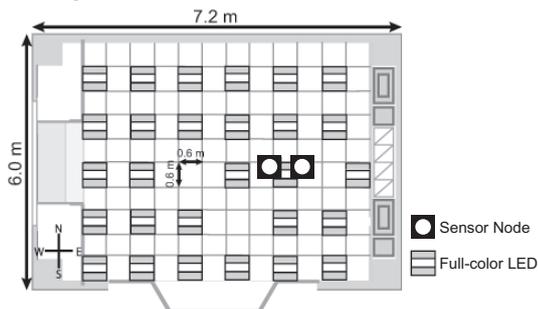


Fig. 1 提案手法の検証実験環境

TPLC および TPLC-Active で発生する時刻同期誤差の比較検証を行うため, 3 種類の実験を行った。実験方法は次の通りである。

1. 照度取得間隔が 100 ms の場合における TPLC (以後, TPLC (100 ms) と表記)
2. 照度取得間隔が 10 ms の場合における TPLC (以後, TPLC (10 ms) と表記)
3. 変更前の照度取得間隔が 100 ms, 変更後の照度取得間隔が 10 ms の場合における TPLC-Active (以後, TPLC-Active と表記)

以上の 3 パターンでそれぞれ実験を行い, 時刻同期誤差の検証を行った。なお本実験では, 照明を 0.5 秒間隔で照度を 20 lx 程度増減させ, 時刻同期を行った。なお, 3 パターン全てにおいて, 現在時刻の分と秒の時刻情報

を連続した 16 ビットとして送信した。時刻情報の送信をそれぞれ 5 回ずつ送信し, その平均時刻同期誤差を求めた。

#### 3.2 提案手法における時刻同期誤差の評価

2 台の無線センサノードに TPLC および TPLC-Active を実装し, それぞれ時刻同期誤差評価を行う。実験結果を以下の Table 1 に示す。なお, Table 1 の step は時刻同期開始時から時刻同期を行った回数を表しており, 順に 1 ステップ目, 8 ステップ目, 16 ステップ目となる。

Table 1 提案手法における平均時刻同期誤差

	1 step	8 step	16 step
TPLC (100 ms)	35.4 ms	35.8 ms	37.8 ms
TPLC (10 ms)	7.4 ms	4.0 ms	4.6 ms
TPLC-Active	31.2 ms	5.6 ms	4.6 ms

以上の結果から, すべてのアルゴリズムにおいて平均 40 ms 以内の誤差で時刻同期が実現できていることが確認できる。8 ステップ目, および 16 ステップ目において TPLC-Active は TPLC (10 ms) と同等の時刻同期誤差を実現している。また, TPLC-Active のセンシング回数は 196 回, 100 ms の TPLC では 166 回, 10 ms の TPLC では 1251 回であり, センシング回数を削減しつつ時刻同期誤差の短縮も実現した。したがって, 照度取得間隔を可変にすることで省電力性を高めつつ時刻同期誤差を短縮可能であることが明らかになった。

### 4 結論と今後の展望

本研究では照明制御を用いた無線センサノード間の時刻同期手法 Timing-sync Protocol based Lighting Control (TPLC), および TPLC を拡張した TPLC-Active の比較検証を行い, 平均時刻同期誤差 5 ms 程度で時刻同期を実現した。提案手法を用いて時刻同期を行う場合, 一切のパケットの送受信を行っていないため, 省電力性を大幅に向上することができたといえる。本研究では TPLC および TPLC-Active の同期精度比較に着目し実験を行った。そのため, 照明やセンサノードで発生する遅延を考慮していない。今後, TPLC で発生する各遅延を計測し, 遅延時間を推定し時刻同期精度を向上させる手法の提案を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) P. Ranganathan and K. Nygard: Time synchronization in wireless sensor networks: a survey, International Journal of UbiComp, Vol.1, pp.92-102(2010).
- 2) M. Maróti, B. Kusy, G. Simon, and Á. Lédeczi: The flooding time synchronization protocol, Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Baltimore, MD, USA, Nov., pp.39-49(2004).
- 3) 鹿倉智明ら: オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol.85, pp.346-351(2001).