

知的照明システム動作中における 照明を用いたセンサノードの時刻同期手法の基本的検討

本田 雄亮
Yusuke HONDA

1 はじめに

WSN は、無線装置を内蔵した多数のセンサが相互に連携することで、照度、気温、湿度などの実空間情報の収集を可能とする技術である。無線センサノードを用いた照度センサは安価に入手可能であり、知的照明システムの導入コストを削減できる。一方で、WSN を用いた実空間におけるアプリケーションでは、高いセンシング精度が要求される。したがって、無線センサノード間での時間的整合性を取ることは重要な課題である。WSN における時刻同期プロトコルは数多く提案されているが、それらの手法は時刻同期に無線通信を用いたパケットの送受信を行う。よって、センサノードの消費エネルギーやネットワーク負荷が増加するという問題がある。上記の問題解決のため、調光可能な照明を用いた無線通信を行わない時刻同期手法 Timing-sync Protocol based Lighting Control (TPLC) が提案されている。しかし、知的照明システムが導入された環境では、執務者に合わせて部屋の明るさが変化する。したがって、照度変化を検知して時刻同期を行う本手法は、様々な照度環境下で正確に照度変化を検知することが求められる。本研究では、実オフィスで起こりうる複数の照度環境下において TPLC の有効性を検証する。

2 Timing-sync Protocol based Lighting Control

TPLC は調光可能な照明を用いて時刻同期を行う手法である。無線通信によるパケットの送受信を行わないのでセンサノードの消費エネルギーとネットワーク負荷を軽減することができる。TPLC は、照明の光度を制御して照度変化を起こし、その変化をセンサノードが検知することで時刻同期のタイミングを図る。

TPLC のアルゴリズムは時刻同期準備アルゴリズムと時刻同期アルゴリズムの 2 つから成る。WSN において、それぞれのセンサノードは独立して稼働しているため、各センサノードに時刻同期の開始を通知する必要がある。したがって、時刻同期準備期間中に時刻同期開始の通知を各センサノードに行う。時刻同期準備時のフローを以下に示す。

- (1) 照度センサが現在照度を取得する
- (2) センサノードで照度変化量を計算する
- (3) 照度値と照度変化量のデータが n 個集まったとき
 - (i) 照度の平均値を算出する
 - (ii) 照度変化量の最大値を算出する
- (4) センサノードは照度変化量の最大値を閾値として、照

度変化の検知を開始する

- (5) t 秒間隔で、照明が現在光度から $x\%$ (ただし、 $x < 7$) 光度値を減少させる
- (6) 照度変化量が閾値を超えた場合、照度の平均値と照度変化量の最大値から照度値の減少と増加を判断し、減少だったとき、カウントを 1 増やす
- (7) カウントが m 回 (ただし、 $m > 2$) されると時刻同期に移る。それ以外の場合は、照明の光度を変化前に戻し (1) へ戻る

フロー (3) で求める照度変化量の最大値は、照明のちらつきや照度センサの誤差によって発生する最大照度変化量である。先行研究より、人間は現在照度の 7% 以内の照度変化は知覚できないことが分かっている¹⁾。しかし、照度センサは僅かな照度変化も検知してしまう。したがって、最大照度変化量を閾値として設定することにより、誤差ではなく、調光で起こった照度変化を正確に検知できる。また、この変化量を用いて、照度値の増加と減少の判断も可能となる。本アルゴリズムでは、閾値が動的に変化することにより、照度環境が変化した場合にも対応できる。次に時刻同期時のフローを以下に示す。なお、照度の平均値や照度変化量、閾値は時刻同期準備部分で算出したものを使用する。

- (1) 照度センサが現在照度を取得する
- (2) センサノードで照度変化量を計算する
- (3) t 秒間隔で、照明が現在光度から $x\%$ (ただし、 $x < 7$) 光度値を上昇させる
- (4) 照度変化量が閾値を超えた場合、照度の平均値と照度変化量の最大値から照度値の減少と増加を判断し、増加だったとき、センサノードで時刻同期を行う
- (5) 照明の光度を変化前に戻し (1) へ戻る

上記のように、TPLC では微小な照度変化を検知して時刻同期を行う。照度環境の変化や雑音の影響などで異常な閾値が設定され、一定時間照度変化が検知できない場合は、閾値とカウントを初期化し、もう一度時刻同期準備を開始する。

時刻同期準備時と時刻同期時において照度変化の増減を使い分けているのは、センサノードで 2 つの期間を識別可能にするためである。

TPLC は照度変化を正確に検知することでより精度の高い時刻同期が可能になる。しかし、調光可能なオフィスでは執務者が好みの明るさに照度を変更できる。したがって、TPLC は照度環境が変化する場所での正常な動作が求められる。本研究では、照度環境の変化により TPLC の

時刻同期精度が受ける影響について検証する。

3 照度変化により TPLC が受ける影響の検証実験

3.1 TPLC における時刻同期誤差の測定実験概要

本実験は、フルカラー LED 照明（シャープ株式会社 DLA-016E）と照度センサを取り付けたセンサノードを 2 台、シンクノードを 1 台を用いて行った。ただし、照度センサには最小時間分解能 8.4 ms で照度値を測定できる NaPiCa を、センサノードには Crossbow 社の MOTE MICAz を使用した。NaPiCa の照度取得周期は 20 ms に設定している。LED 照明の光度制御は制御 PC より調光信号を同一ネットワーク上の照明に送信して行う。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 の位置かつ照明の垂直直下に配置した。本実験環境を Fig. 1 に示す。

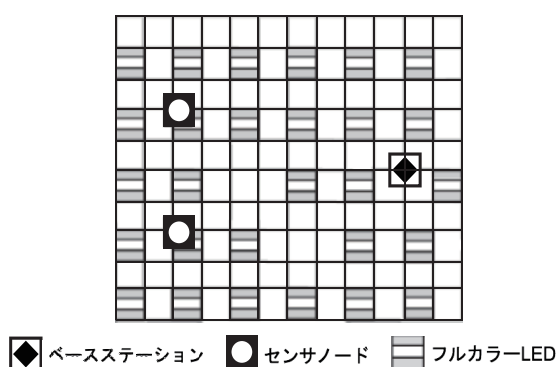


Fig.1 実験環境

日本におけるオフィスでの推奨机上面照度は 300 ~ 750 lx である。したがって、本実験では、机上面照度が 300 lx, 500 lx, 700 lx となる 3 つの均一照度環境において TPLC の時刻同期精度が受ける影響を検証する。

今回の実験では、時刻同期準備時と時刻同期時に起こす照度変化量を、人の最小知覚変動比内である各基準照度の $\pm 4\%$ としている。すなわち、300 lx の場合は 12 lx, 500 lx の場合は 20 lx, 700 lx の場合は 28 lx である。変化後 0.5 秒で基準照度に戻し、0.5 秒後に再度照度を上昇させる。照度変化後、元の照度に戻り、次の照度変化が起こるまでを 1 ステップとして、これを 1 回の検証で 10 ステップ行う。

今回、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。センサノードが照度変化を検知したタイミングでグローバルタイムを取得し、2 台のセンサノード間で取得時刻の差異を求める。この差異を TPLC の時刻同期誤差とする。

3.2 各照度環境下における TPLC の時刻同期誤差の評価

照度 300 lx, 500 lx, 700 lx における TPLC の時刻同期誤差の評価を行う。TPLC を用いた時刻同期を 5 回繰り返し、時刻同期誤差の平均値を求める。ただし、一般的な知的照明システムでは調光後、照度が収束し、次の調光

を行うまでに約 1 秒あり、この間に照度の取得を 1 回行う必要がある。よって、時刻同期誤差の許容範囲は 1 秒未満とする。時刻情報受信開始時を 1 ステップ目として、1 ステップ目と 5 ステップ目、および 10 ステップ目の平均時刻同期誤差を以下の Table 1 に示す。また、各照度環境における全ステップの平均時刻同期誤差を Fig. 2 に示す。

Table1 1, 5, 10 ステップ目の平均時刻同期誤差

	1 step	5 step	10 step
300 lx	9.8 ms	6.4 ms	5.2 ms
500 lx	6.0 ms	4.8 ms	7.0 ms
700 lx	5.4 ms	4.8 ms	3.2 ms

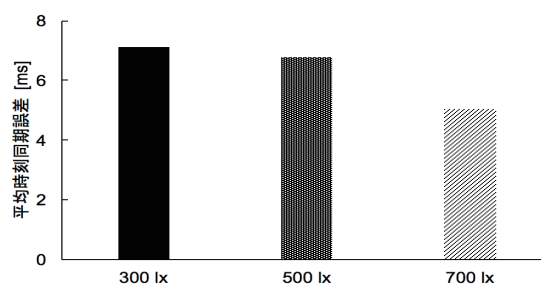


Fig.2 全ステップの平均時刻同期誤差

Table 1 に示す通り、いずれの照度環境下においても、時刻同期用の照度変化を正確に検知し、許容範囲内の誤差で時刻同期が可能であった。Fig. 2 は、縦軸が平均時刻同期誤差、横軸が照度を表している。照度環境が変化しても、それぞれの時刻同期誤差に大きな差異は無いことが分かる。また、全ての照度環境において平均時刻同期誤差は十分に許容範囲内であった。したがって、実際のオフィス環境で起こりうる照度環境下において、TPLC はその照度環境の違いに影響されることなく正常に時刻同期を行えることが明らかになった。

4 結論

本研究より、様々な均一照度環境下において、TPLC のプログラムを書き換えることなく、時刻同期誤差 6 ms 程度での時刻同期が可能であることが明らかになった。したがって、TPLC は照度環境の変化に十分に対応できる。また、時刻同期準備期間を追加することで、照度変化の誤検知を減らすことができ、より精度の高い時刻同期が可能となった。

今後の展望として、時刻同期中に基準照度に変化する環境や室内照度が不均一な環境など知的照明システム動作中に想定される環境で TPLC の有効性を検証する。また、知的照明システムの動作を妨害することなく時刻同期用の調光を行う方法に関しても検討を行う。

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るさの変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol.85, pp.346-351(2001).