

照明の光度制御を利用した省電力な時刻同期手法

本田 雄亮

Yusuke HONDA

1 はじめに

無線センサネットワーク (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。WSN を用いた実空間におけるアプリケーションでは、センサノード間で時間的整合性を取ることが重要な課題であるため、定期的に時刻同期が必要である。

WSN では、既に数多くの時刻同期手法が提案されている。しかし、既存手法は時刻同期にパケット通信を利用するため、センサノードの消費電力が増加する問題がある。

本研究では、調光可能な照明を利用し、パケット通信を用いないことで、センサノードの消費電力を軽減した時刻同期手法を提案する。また、パケットベースの既存時刻同期手法である FTSP と提案手法が消費する電力を比較し、提案手法の省電力性を示す。

2 Timing-sync Protocol based on Lighting Control

TPLC (Timing-sync Protocol based on Lighting Control) は調光可能な照明を用いて時刻同期を行う手法である。パケットの送受信を行わないため、センサノードの消費電力を軽減することができる。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もとに、相対時刻による時刻同期を行う。

TPLC 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係数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 M とする。ビット波形生成にかかる時間は M と照度取得周期の乗算で算出できる。ビット波形は M が大きくなるに伴い、取得波形との比較点が増加し、時刻同期ポイント検知精度が向上する。

センサノードは過去 M 回分の照度を保持し、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 r を計算する。相関係数 r の算出方法を式 1 に示す。

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

M : 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 M 点分の平均照度 [lx]

取得波形とビット波形の相関係数を利用することで、時刻同期に用いる照度変化とそれ以外の照度変化の波形を判別する。TPLC のフローを以下に示す。

1. センサノードは現在照度を取得する
2. 照明は現在光度から x % (ただし, $x < 6$) 以内の変化幅で調光し、ビット波形を形成する
3. センサノードは過去 M 個分の取得照度の波形とビット波形の相関係数を計算する
4. センサノードは相関係数が閾値を超えた場合、時刻同期を行い、項目 (1) に戻る

上記の動作を行い、TPLC は時刻同期を行う。時刻同期用の照度変化に関して、先行研究により、照度変化時間 0 秒の際は、現在照度の 6 % 以内の照度変化であれば、人は感知できない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。

時刻同期はセンサノードが時刻同期用の照度変化を検知した時点の時刻で相対時刻の基準となる時点を初期化することで実現する。ただし、時刻同期用の照度変化を検知した時点の時刻は、各センサノードが持つローカルタイムを使用する。

3 TPLC と FTSP の消費電力量の比較

本章では、TPLC と FTSP の消費電力量を比較し、有効性の検証を行う。FTSP は WSN におけるパケットベースの時刻同期手法である。先行研究より、FTSP は他のパケットベースの手法に比べて少ない消費電力量で時刻同期を実現できることが明らかになっている²⁾。

3.1 消費電力量の算出方法

TPLC が消費する電力は、照度センシングと時刻同期処理の計算に消費する電力に大別できる。TPLC を用いた 1 回の時刻同期により、ネットワーク内の全センサノードが消費する電力量の算出方法を式 2 に示す。

$$W_{TPLC} = \sum_{i=1}^n V(I_{st_s} + I_{ct_c}) \quad (2)$$

W_{TPLC} : 消費電力量, V : 印加電圧, n : 照度センサ台数,

I_s : 照度センシング時の消費電流,

I_c : センサノード稼働時の消費電流,

t_s : 照度センシングに要する時間,

t_c : 時刻同期処理の計算に要する時間

FTSP が消費する電力は、パケット通信と時刻同期処理の計算で消費する電力に大別できる。FTSP では、1 台のセンサノードが同期パケットを受信すると、他のセンサ

Table1 消費電力量計算に用いるパラメータ

Sensor node	MOTE MICAz
Calculation time in TPLC(t_c)	3383.82 μ s
Calculation time in FTSP(t_c)	62.24 μ s
Transmit power consumption(I_t)	17.0 mA
Transmit time(t_t)	129.86 μ s
Receive power consumption(I_r)	19.7 mA
Receive time(t_r)	762.28 μ s
Idle power consumption(I_c)	20 μ A
Applied voltage	3.0 V
Illuminance sensor	NaPiCa
Sense power consumption(I_s)	260 μ A
Sense time(t_s)	55.62 μ s

ノードに同期パケットをブロードキャストすることで時刻を同期する。同期パケットのブロードキャストは全センサノードが必ず一度を行う。したがって、FTSP で扱われるメッセージ量はセンサノードの数に比例して増加する。

消費電力量の算出は FTSP の消費電力量が最も小さくなる環境を想定して行う。すなわち、全てのセンサノードはシングルホップで他のセンサノードに同期パケットを送信できる位置関係で設置し、なおかつ、電波伝搬特性による消費電力量の増加は考慮しない。FTSP を用いた 1 回の時刻同期により、ネットワーク内の全センサノードが消費する電力量の算出方法を式 3 に示す。

$$W_{FTSP} = \sum_{i=1}^n V(I_t t_t + I_r t_r (n-1) + I_c t_c) \quad (3)$$

W_{FTSP} : 消費電力量, V : 印加電圧, n : 照度センサ台数,
 I_t : 同期パケット送信時の消費電流,
 I_r : 同期パケット受信時の消費電流,
 I_c : センサノード稼働時の消費電流,
 t_t : 同期パケット送信に要する時間,
 t_r : 同期パケット受信に要する時間,
 t_c : 時刻同期処理の計算に要する時間

3.2 消費電力量の比較

消費電力量の計算は、MOTE MICAz および照度センサ NaPiCa の消費電力を用いて行う。処理時間は MOTE MICAz での実測値を利用する。消費電力量の計算に用いるパラメータを表 1 に示す。

時刻同期処理の最小構成台数である 2 台の MOTE MICAz において、TPLC と FTSP をそれぞれ用いた時刻同期により消費する電力量を表 2 に示す。表 2 より、2 台のセンサノードで消費する総電力量は、TPLC の方が 90.4 % 少ないことが分かる。したがって、TPLC はパケット通信を使用せずに、照明の調光を利用することで、パケットベースで時刻同期を行う FTSP より少ない電力量で時刻同期可能である。

TPLC と FTSP でセンサノード数増加に伴う消費電力

Table2 2 台の MOTE MICAz が消費する電力量

	TPLC	FTSP
Sense/Radio	1.87 μ J	103.766 μ J
Calculation	8.12 μ J	0.00746 μ J
Total	9.99 μ J	103.773 μ J

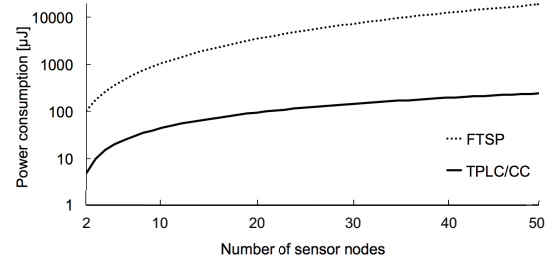


Fig.1 TPLC と FTSP の消費電力量

量の増加を図 1 に示す。ただし、縦軸は底 10 の対数で表した消費電力量である。図 1 より、TPLC と FTSP の消費電力量は、センサノード数の増加に伴って差が大きくなることが分かる。FTSP では全てのセンサノードが必ず 1 回同期パケットをブロードキャストする。ブロードキャストは送信ノード以外の全てのセンサノードがパケットを受信する。したがって、FTSP におけるネットワーク全体の消費電力量はセンサノードの数に応じて指数関数的に増加する。一方で、TPLC は各センサノードが個別に照度変化を検知して時刻同期を行うため、時刻同期処理が各センサノードごとに完結する。よって、TPLC におけるネットワーク全体の消費電力量はセンサノードの数に応じて線形的に増加する。そのため、センサノード数の増加に伴い、FTSP の消費電力量は TPLC よりも大きく増加する。

4 結論

本研究では、パケットの送受信を行わずに、照明の調光により時刻同期を行う TPLC を提案し、省電力性を検証した。

検証実験を行った結果、2 台のセンサノードが TPLC による時刻同期で消費する電力量は、FTSP より 90.4 % 減少し、消費電力量を大幅に削減した。また、TPLC は FTSP よりも、センサノード数増加に伴う消費電力量の増加率が小さいことが分かった。したがって、TPLC は省電力性について、既存の時刻同期手法より優れてい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るさの変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol.85, pp.346-351(2001).
- 2) Shi-Kyu Bae: Performance evaluation of time synchronization protocols for wireless sensor networks, Embedded and Multimedia Computing Technology and Service, Springer, pp.651-658(2012).