

無線センサネットワークにおける照明制御を用いた時刻同期手法

長光 翔一

Shoichi NAGAMITSU

1 はじめに

我々はオフィス環境において知的生産性と消エネルギー性の向上を目的とした知的照明システムの研究を行っている¹⁾。知的照明システムでは、各執務者が要求する照度を実現するために照度センサを用いている。

一方、無線センサネットワークは、無線通信機能を具備したコンピュータを接続することによって、実空間に関する情報を取得するための技術である。無線センサネットワークを用い、オフィス空間における照度を収集することで、照度センサの敷設の容易性を向上させると共に、オフィス内のレイアウトの変更や照度センサの追加などに柔軟に対応することができる。無線センサネットワークを用いてアプリケーションを構築する場合には、イベント間の相関の把握や省電力制御において時刻同期技術は重要な技術であり、無線センサネットワークのための時刻同期プロトコルが多く提案されている。しかし、既存の時刻同期プロトコルでは、パケットの送受信が必須である。パケットの送受信を行うことで、無線センサノードの消費電力が増加する。

よって本稿では、調光可能な天井照明と Napica 照度センサ²⁾を用いて、無線センサネットワークにおいてのパケットの送受信を行わない時刻同期手法を提案する。

2 既存の無線センサネットワークにおける時刻同期手法

無線センサネットワークは無線センサノードによって構成される分散システムであるため、何らかの手段によって時刻同期を行わなければならない。伝搬遅延が小さいといった無線センサネットワークの特徴を活用することによって、単純な仕組みで無線センサネットワークにおいて高精度な時刻同期を実現可能となる。RBS(Reference Broadcast Synchronization), TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Networks), FTSP(Flooding Time Synchronization Protocol) など、無線センサネットワークのための同期プロトコルが提案されているが、中でも FTSP では、特別な外部装置を使うことなく 1 us の精度の同期性能を実現している³⁾。

3 Napica 照度センサを用いた照度取得実験

従来の知的照明システムでは、照度値が高精度で取得可能な ANA-F11 などの照度センサを利用し、環境構築を行っていた。本実験では、無線センサノードとして Crossbow 社の MOTE MICAz を使用した⁴⁾。MOTE MICAz に汎用外部センサ基盤である MDA088 を設置し、リードタイプの Napica 照度センサ²⁾を組み込むこ

とで、照度値を取得可能とする。その際の MDA088 と Napica 照度センサの間における抵抗は 430 Ω とする。

本実験は同志社大学香知館の知的システム創造環境実験室にて行い、白色蛍光灯 1 灯と無線センサノード 1 個を用いる。無線センサノードは、照明番号 7 番の直下の場所に配置する。照度センサの照度取得間隔は 100 ms および 10 ms の 2 パターンを行った。実験環境の見取り図を Fig.1 に示す。なお、照明と無線センサノードの距離は照明の垂直直下に無線センサノードを置いた場合、1.9 m である。

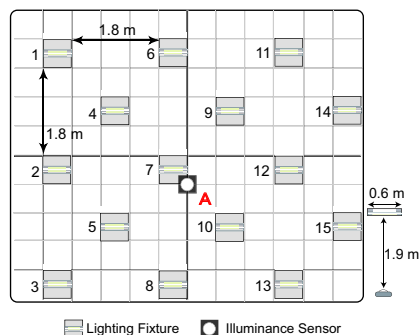


Fig.1 実験環境

本実験では、3秒経過後に光度を 15 cd 程度上昇させ、その3秒経過後に元の光度に戻した場合の照度の推移を取得した。Fig.2に照度取得間隔が 100 ms の場合、Fig.3に照度取得間隔が 10 ms の場合のある時間の照度履歴を示す。

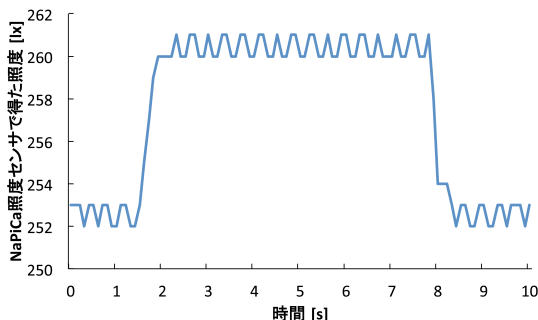


Fig.2 100 ms 間隔で取得した照度履歴

Fig.2, 3からわかる通り、100 ms では矩形波のように照度が変化しているが、10 ms では緩やかな曲線を描いて照度が上昇していることがわかる。この実験結果を用いて、次章で照明制御を用いて無線センサネットワークにおける時刻同期を実現するプロトコルを提案する。

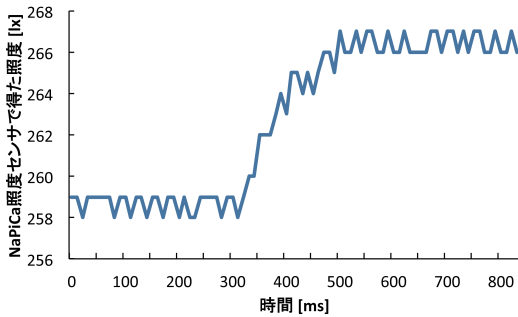


Fig.3 10 ms 間隔で取得した照度履歴

4 照明制御を用いた時刻同期手法の提案

無線センサノードは電源に繋ぐことなく、バッテリーによって稼働するため、バッテリー切れによる知的照明システムの停止やバッテリーコストおよびバッテリー交換の手間などの問題が挙げられる。無線センサノードにおける主な電力消費として、無線通信によるパケット送受信が挙げられる。よって、無線センサノードの消費電力を削減するためには、パケットの送受信回数を削減することが有効であると考えられる。そこで、パケットの送受信を行わずに、無線センサノード間の時刻同期を実現するための時刻同期プロトコルを提案する。

提案する時刻同期プロトコルでは、知的照明システムで用いる調光可能な天井照明と無線センサノードに組み込まれた Napica 照度センサを用いる。前章の実験結果から、光度が期待する値にまで上昇するまでにかかる時間が推定できると考えられる。よって、ある照度値から照度値まで上昇したと判断した場合、その一点で無線センサノードの内部時間を初期化することで、無線センサノード間で相対的な時刻同期を実現する。

提案プロトコルを用いる利点としては、天井照明の光度を知的照明システムの制御では起きないような変化幅や変化量で変化させることで、無線センサノードが時刻同期のタイミングを自律的に判断することが可能となる点が挙げられる。また、知的照明システムと同じ構成で提案プロトコルは動作するため、提案プロトコルの実現のために特別が機器等を必要としないという利点もある。

提案プロトコルを用いることで、例えば各無線センサノードが同時刻にスリープ状態に移移することが可能になる。これにより、無線センサノードの消費電力の削減が期待できる。

5 照明制御を用いた時刻同期手法に対する時刻同期誤差の精度検証実験

照明制御を用いた時刻同期手法を無線センサノードに実装し、時刻同期の精度誤差を検証した。実験環境は前章の実験と同様、同志社大学香知館の知的システム創造環境実験室にて行い、白色蛍光灯 1 灯と無線センサノード 2 個を用いる。無線センサノードは、同じ照明 1 灯の直下の場所に並べて配置する。また、照明を 2 秒間隔で

光度を 75 cd 程度増減させ、その増減を 400 秒間繰り返した。本実験では、両無線センサノードの照度取得間隔を 100 ms に設定し、無線センサノードの内部時間を初期化したときに、PC に接続されたベース無線センサノードにパケットを送信し、その受信時間を同期時刻とした。ただし、パケットの送信にかかる時間は、本実験では 0 s と仮定する。実験結果を以下の Table 1 に示す。なお、精度誤差とは 2 つの無線センサノードからパケットを受信した時間の差を絶対値で表したものである。

Table1 時刻同期時の平均、最大および最小精度誤差

平均精度誤差	243.8 ms
最大精度誤差	341 ms
最小精度誤差	143 ms

以上の結果から、平均誤差約 244 ms で時刻同期を行うことができた。本実験では照度取得間隔を 100 ms で行ったため、最大でも 100 ms 程度の精度誤差が発生してしまうと考えられるが、実験結果からさらに大きな誤差が発生していることが明らかになった。これは、パケット送信にかかる時間や、その他の遅延時間を 0 s と仮定して、それらの遅延時間を補正しなかったためであると考えられる。よって、より精度を高めるには、照度取得にかかる遅延時間など時刻同期を行う上でかかる時間等を考慮し、補正する必要がある。

6 今後の展望

前章での実験結果からも明らかになったが、時刻同期を行うにあたって時刻同期の精度を向上させるためには、時刻同期時に発生する各機器の遅延を考慮する必要がある。しかし前章での時刻同期手法では、時刻同期時に発生する遅延について全く言及していない。よって、提案手法の精度を向上させるためには、遅延による誤差を補正することが必要となると考えられる。

また、本実験では照明は 1 台のみ使用し時刻同期を行った。しかし、知的照明システムで提案手法を用いる場合には、照明 1 台の直下に照度センサが複数設置されている状況はない。よって、照明台数を増加させて実験を行う必要がある。照明台数を増加させて実験を行う際には、調光信号が各照明に到達し、光度が変化するまでにかかる時間を考慮する必要がある。

このように、今後は実環境で提案手法の精度を向上させる時刻同期プロトコルを考案していく必要がある。

参考文献

- 1) 三木光範, 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007.
- 2) Panasonic. 照度センサ napica. http://www3.panasonic.biz/ac/download/control/sensor/illuminance/catalog/bltn_jpn_ams.pdf.
- 3) M. MAROTI. The flooding time synchronization protocol. *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Baltimore, MD, USA, Nov. 2004*, pp. 39-49, 2004.
- 4) Crossbow mote - wireless sensor networks mts/mda sensor board user' s manual. <http://www.xbow.jp/mtsmdaj.pdf>.