

無線センサネットワークにおける照明の光度制御を用いたデータ送信手法 堂面 拓也

Takuya DOMEN

1 はじめに

センサネットワークを複数アプリケーション用のインフラとして運用する場合、運用状況の変化に応じてセンサノードのプログラムを再配備する必要がある。センサネットワークの運用中にプログラムを再配備する必要が生じた場合、PC とセンサノードを物理的に接続しなければならず、センサネットワークの運用に支障をきたす。そのため、センサノードへ無線機能を利用してプログラムを送信するリプログラミングの研究がある¹⁾。しかし、大規模な運用環境で全センサノードのプログラムを再配備する場合、ブロードキャストによる送信を行うため、ネットワーク上のトラフィック増加やセンサノードの電力消費増大といった課題がある。また、ベースステーションに対して遠隔にあるノードでは、パケットロスによるデータ再送などによってデータ配送完了に遅延が生じる可能性がある²⁾。

そこで本研究では、既存の調光可能な天井照明を光度制御することによって、室内に設置した全てのセンサノードに対し、同時にデータを送信する手法を検討する。照明からのデータ送信を実現するために、照明の光度制御を用いたデータ変調手法とセンサノードにおけるデータ復調手法をそれぞれ提案する。提案した各変調手法および復調手法を用いてデータ送信実験を行い、それぞれの手法によるデータ送信精度の比較検証を行う。

2 照明の光度制御を用いたデータ送信手法

2.1 照明の光度制御を用いたデータ送信手法概要

本研究が提案するデータ送信手法では、照明の光度を変化させることで照度を変化させ、センサノードへデータ送信を行う。データ変調における照明の光度制御による照度変化量は、現在照度の 7% 以内であれば、人は照度変化を感知できないことが確認されている³⁾。したがって、本研究では人が感じるちらつきを抑えるために、照度変化量は現在照度の 7% とする。

2.2 光度制御を用いたデータ変調手法

本研究が提案するデータ変調手法では、照明の光度を変化させることで変調を行う。光度制御による変調手法

として、光強度変調手法 (LIM : Light Intensity Modulation) とパルス位置変調手法 (PPM : Pulse Position Modulation) を提案する。提案する 2 変調手法において、データ送信周期を T [ms] とする。照明の光度制御によって、基準となる照度 Ill_c [lx] から最大 7% だけ照度を変化させ、 T_p [ms] 経過した後に Ill_c に戻す。ここで、照度変化によるパルスの幅 T_p [ms] をパルス幅と定義する。また、データ送信周期 T とパルス幅 T_p は、用いる変調手法とセンサノードにおける照度取得周期 f [ms] に依存する。

2.3 センサノードにおけるデータ復調手法

センサノード側のデータ復調は、照明の光度制御による照度変化を検知することで行う。照度センサに加算される雑音と光度制御による照度変化を区別するために、時間微分による照度変化検知および復調を行う手法 (SDTD : Signal Detection with Time Derivative) と予め登録した波形と照度履歴の相関から照度変化検知および復調を行う手法 (SDCC : Signal Detection with Correlation Coefficient) を提案する。なお、両復調手法ともに照度取得周期 f [ms] をパラメータに持つ。

SDTD のアルゴリズムを述べる。センサノードは照度取得間隔 f [ms] 毎に照度を取得する。そして、取得した現在照度値 Ill_t と前回取得した照度値 Ill_{t-1} から微分値 I を算出する。 $|I|$ が閾値 α よりも大きければビットが送信されたと検知し、 I によってビットを判定する。なお、 α およびビット判定に用いる閾値は変調手法に依存する。

次に、SDCC のアルゴリズムを述べる。センサノードは過去 N 回分の照度を保持する。センサノードに予め登録した系列 x_i の長さを N とする。センサノードは照度を取得する度に式 (1) によって r を算出する。 r が閾値 α よりも大きかった場合、照度変化を検知しビットを判定する。次に式 (2) から C_n を算出し、照度変化量を算出し、ビット判定を行う。

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

$$C_n = \frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})(y_{t-i} - \bar{y})}{\bar{y}} \quad (2)$$

N : 保持する照度数, x_i : 予め登録した系列の値

\bar{x} : x_i の平均値

y_t : 時刻 t において取得した実際の照度

\bar{y} : 時刻 t から過去 N 点分の平均照度

3 各変調手法および復調手法を用いたデータ送信実験

3.1 実験概要

本研究で提案した LIM または PPM によるデータ変調と SDTD または SDCC によるデータ復調を用いて, データ送信精度の検証を行う. データ送信精度の検証を行うために, ランダムな 800 ビットを伝送する. 各データ変調手法および復調手法を用いてデータ送信精度を比較検証するために, 以下の実験を行った.

1. 変調手法: 2LIM, 復調手法: SDTD
2. 変調手法: 2PPM, 復調手法: SDTD
3. 変調手法: 2LIM, 復調手法: SDCC
4. 変調手法: 2PPM, 復調手法: SDCC

データ送信精度の検証として各実験をそれぞれ 3 回行い, 送信データと比較して正解率を算出した. また, パルス幅 T_p を 40 ms, センサノードにおける照度取得周期 f を 20 ms, 基準となる照度 Ill_c は 300 lx, 500 lx, 700 lx にそれぞれ設定した. SDCC における保持する照度数 N を 10 とした.

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, フルカラー LED28 灯と NaPiCa 照度センサを取り付けたセンサノード 1 台, センサデータを収集するシンクノード 1 台を用いた. また, 外光の影響を遮断するために窓際に白色パーティションを設置した.

3.2 実験結果

Fig. 1 に, 300 lx, 500 lx, 700 lx の 3 環境下で各実験を行い算出した正解率を示す. 500 lx 以上の環境では誤りなくデータを送信することができた. 300 lx の環境において, 復調手法として SDTD を用いた実験 1 と実験 2 では誤りが発生していることが分かる.

誤りの原因を特定するために, 各実験のログデータを確認した. 誤りの原因は, 雑音の影響によって照度変化を正しく検出できないことだった. ログデータ算出した雑音特性を Fig. 2 に示す. Fig. 2 から, 最大で ± 6 lx の

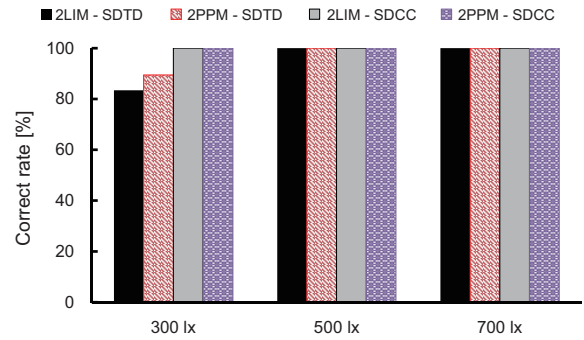


Fig.1 各照度環境におけるデータ送信の成功率

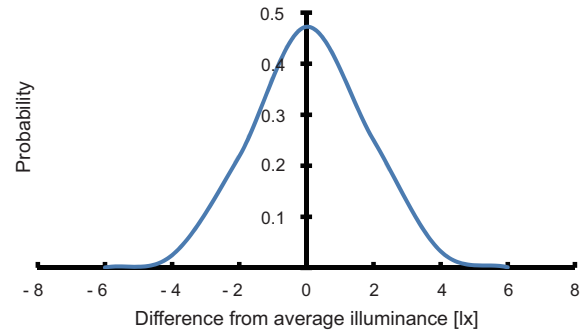


Fig.2 雑音の発生確率 ($\sigma = 0.843$)

雑音が生じることが分かった. したがって, 環境の照度が低いほど, 雑音の影響は相対的に大きくなる. 今後, 成功率を改善するには雑音の影響を小さくするフィルタリング処理などが必要であると考えられる.

4 結論と今後の展望

本研究では, 既存の調光可能な照明と照度センサを用いてセンサノードに対しデータ送信を行う手法を提案した. 提案した各変調手法および復調手法を組み合わせデータ送信精度の検証を行い, 提案手法の有効性を示した. さらに, ログデータから雑音特性を明らかにし, データ送信の誤り率が改善できる可能性を示した.

参考文献

- 1) Wang, Q. and Zhu, Y. and Cheng, L.: Reprogramming wireless sensor networks: challenges and approaches, *Network, IEEE*, Vol.20, No.3, pp.48-55(2006).
- 2) Levis, P. and Lee, N. and Welsh, M. and Culler, D.: TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications, *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp.126-137(2003).
- 3) 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, No.5, pp.346-351(2001).