

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の検討

堂面 拓也

Takuya Domen

1 はじめに

無線センサネットワークの応用例として、工場内の温湿度管理や大規模オフィスの空調制御などがある¹⁾。センサネットワークを実環境で利用する場合、運用する状況の変化によってセンサノードのリプログラミングが必要になる²⁾。センサノードのリプログラミングは、センサネットワーク上の全てのセンサノードへデータ送信する必要があるが、通信負荷や電力消費増大の問題がある。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、データを送信する手法を検討する。データの変調手法として、照明の光度制御による光強度変調手法およびパルス位置変調手法と両変調手法を組み合わせた変調手法の 3 手法を提案する。また、センサノードでの復調手法として、時間微分および相関係数とパルス位置変調手法用の復調手法の 3 つの復調手法を提案する。提案したそれぞれの変調手法および復調手法を組み合わせ、照明からセンサノードへデータ送信実験を行い、送信精度の検証を行う。

2 光度制御を用いたデータ送信手法

2.1 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⁾。従って、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。また、センサノードにおける照度取得は NaPiCa 照度センサを用いて行う。

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)、パルス位置変調手法 (PPM: Pulse Position Modulation) および両手法を組み合わせたハイブリッド変調手法 (LI-PPM: Light Intensity and Pulse Position Modulation) を提案する。これらの 3 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。

LIM は多階調に光度制御を行うことで一度で複数ビットを送信できる。 N 階調の LIM を N -LIM と定義する。また、1 シンボルを複数に分割する PPM を L -PPM と定義し、 N -LIM と L -PPM の LI-PPM を N -LI- L -PPM と定義する。

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。また、データ変調に PPM を用いた場合の復調手法 (DPI: Demodulation with Pulse Interval for PPM) を提案する。

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。すなわち、変調時の基準となる照度 Ill_c によって α が変化し、照度変化を多階調で行う場合はビット判定に複数の閾値を必要とする。

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、照度変化が発生したと判定する。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。

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

$$C_n = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(y_{t-i} - \bar{y})}{\bar{y}} \quad (2)$$

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

Table1 各実験におけるパラメータ

Experiment	T [ms]	Max variation [%]
No.1	200	5
No.2	200	5
No.3	200	5
No.4	400	5
No.5	200	7
No.6	400	7

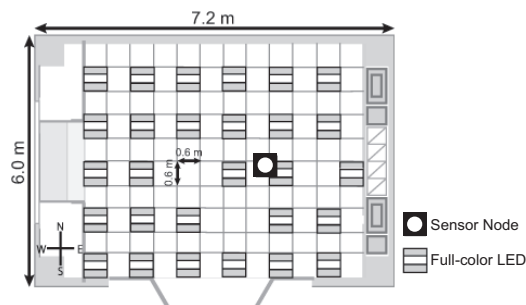


Fig.1 照度取得実験環境の俯瞰図

最後に、DPIのアルゴリズムを述べる。PPMで変調した場合、あるビットから次のビットへの遷移パターンによってパルス間隔は異なる。1シンボル長を T とした場合、それぞれのビット遷移におけるパルス間隔を T を用いて表現できる。照度変化を検知した際にパルス間隔と T の比を算出し、算出した比と遷移前のビットから送信されたビットを判定する。なお、DPIにおける照度変化検知はSDTDまたはSDCCを用いて行う。

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, PPMおよびLI-PPMによるデータ変調とSDTD, SDCCおよびDPI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。リプログラミングにおいて転送するコード量は、Matéを用いた場合100 byte以下である。従って、本実験ではランダムな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：2LIM, 復調手法：SDCC
3. 変調手法：2PPM, 復調手法：SDTDとDPI
4. 変調手法：2PPM, 復調手法：SDCCとDPI
5. 変調手法：4LI-2PPM, 復調手法：SDTDとDPI
6. 変調手法：4LI-2PPM, 復調手法：SDCCとDPI

以上の6種類の実験を行い、データ送信精度の比較検証を行った。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誤り率を算出した。なお、照明側のデータ送信周期 T および基準となる照度からの最大照度変化幅をTable 1に示す。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 を500 lx, 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。実験環境の俯瞰図をFig. 1に示す。

Table2 データ送信における誤り率

Experiment	Error rate [%]
No.1	0.00
No.2	0.00
No.3	0.00
No.4	0.00
No.5	1.00
No.6	3.26

3.2 実験結果

Table 2に、各実験を3回行い算出した誤り率を示す。1ビットずつ変調する実験では誤りなくデータを送信することができた。しかし、多段階照度変化による複数ビット送信を可能にする変調を用いたデータ送信では誤りが発生した。

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多段階の照度変化を正しく検出できないことだった。従って、誤り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、無線機能による消費電力を削減するために、既存の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ることで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、各手法の誤り特性を明らかにし、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) 安藤繁, 田村陽介, 戸辺義人ほか: センサネットワーク技術-ユビキタス情報環境の構築に向けて, 東京電機大学出版局(2005).
- 2) 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).
- 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).