

バッテリー適応型スケジューリングを適用した LPWA センサネットワークの性能評価

近藤 匠[†] 小林 真[‡] 新 浩一[‡] 西 正博[‡]
[†] 広島市立大学情報科学部 [‡] 広島市立大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

豪雨による土砂災害が各地で増加している [1]. 土砂災害被害軽減のために、土砂災害の前兆を検知して早期の避難を促すことが求められる。前兆現象を検知するためのセンサデバイスは山間地へ設置されるため、太陽光発電等の不安定な電源とバッテリーを利用する。本研究では、LPWA (Low Power Wide Area) センサネットワークにおいて、バッテリー充電率と発電量の予測誤差が、バッテリー適応型送信スケジュール手法の性能に与える影響を評価した。

2 土砂災害センシング

各地で、豪雨を原因とする土砂災害に伴った人的被害が増加している。人的被害を減少するためには、早期の避難を促すことが重要である。土砂災害の前兆現象を検知するために、複数台のセンサデバイスを山間地に設置することが検討されている。

図1に本研究で想定する、土砂災害前兆現象センシングに用いるセンサデバイスの構成を示す。センサデバイスは、加速度センサ、バッテリー、太陽光パネル、LPWA 通信モジュール、制御装置からなる。センサデバイスの杭は地面に打ち込まれて、土砂災害の前兆となる土砂の移動を加速度センサを用いて検知する。通信には消費電力を削減できる LPWA をもちいる。LPWA は通信コストが小さいことから、大量にセンサデバイスを設置することが容易となる。土砂災害前兆現象センシングでは長期間動作して、定期的にセンシングした情報を送信できる必要がある。

3 バッテリー適応型スケジューリング

センサネットワークにおいて、センサの駆動時間を延ばすために、バッテリー適応型スケジューリング手法が検討されている [2] [3]. バッテリー適応型スケジューリングでは、スリープ時間と動作時間のスケジュールを制御する事で、無駄な電力消費を低減する。

具体的には測定結果を元にバッテリー容量比を計算して、容量比率に合わせて1送信サイクルの動作デューティ比を更新することで、制御を行なう手法 [2]. バッテリー容量比と土壌雨量指数に応じてスリープ時間を更新する手法 [3] がある。

本研究では、文献 [3] で提案されている土壌雨量指数とバ

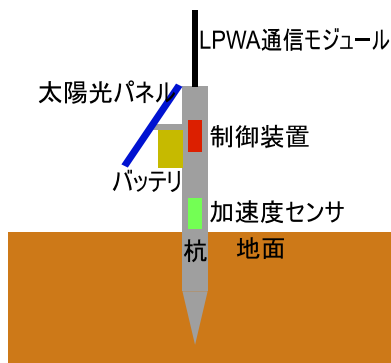


図 1: 土砂災害センサ概要

表 1: シミュレーション諸元

パラメータ	設定値
バッテリー容量 (mWh)	2000, 5000, 8000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000
バッテリー初期値 (mWh)	0
パネル性能 (mW)	200, 500, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
定常時消費電力 (mWh)	170
測定時消費電力 (mWh)	240
送信時消費電力 (mWh)	1170

テリーの残量を用いて送信間隔を制御する手法について性能を評価する。本手法では、土砂災害センシングの特性に着目して、土砂災害の危険性が高まっている土壌雨量指数が高い時には、より短い送信間隔を用いる。さらに、バッテリーの残量が多いときは短い送信間隔を用いて、バッテリー残量が少なくなるときは長い送信間隔を用いる。バッテリーの残量に応じた送信を行う事で、動作時間を延ばすことが可能である。

4 バッテリー残量測定

バッテリー適応型スケジューリングにおいて、バッテリー残量を正確に推定する事が重要である。残量推定の誤差は、性能を低下させる要因となる。バッテリー残量を推定する手法として、バッテリー端子の電圧を元に残量を推定する手法や、仮想的なバッテリー残量を想定して充電時の電圧と電流および放電時の電圧と電流の記録に基づいて残量を計算して推定する手法などがある [4].

バッテリー残量の推定では、誤差が発生する。バッテリー端子の電圧を元に推定する手法では、電圧を測定する際に生じる統計的誤差、電圧値から残量に変換する近似式が含む誤差などに起因した誤差が生じる。また、充電と放電から計算によって推定する手法では、仮想的なバッテリーの容量と実物との間に乖離が生じることに起因した誤差がある。

5 評価

5.1 評価環境

バッテリー残量推定の誤差が、文献 [3] で提案されたバッテリー適応型スケジューリングを適用した LPWA センサネットワークに、与える影響を評価した。表 1 にシミュレーションの諸元を示す。2018 年 1 年間の広島市の気象状況を想定して、土壌雨量指数を広島地方気象台の降水記録に基づいて算出して、毎時日射量を広島地方気象台の記録を用いた。土砂災害センシングシステムのバッテリー容量は 2000–30000mWh として、バッテリーの初期残量は 0mWh とした。パネルの性能は、200–3000mW とした。

バッテリー残量推定の誤差を一般化するために、バッテリーの容量を 100% として誤差が -100% から 100% まで生じる物とした。バッテリー残量推定の誤差は、期間中常に一定に大ききで生じるものとした。式 1 に、実際のバッテリー残量 B_{real} , 推定値 B_{est} , 誤差 γ との関係を示す。但し、 B_{full} はバッテリーの容量である。

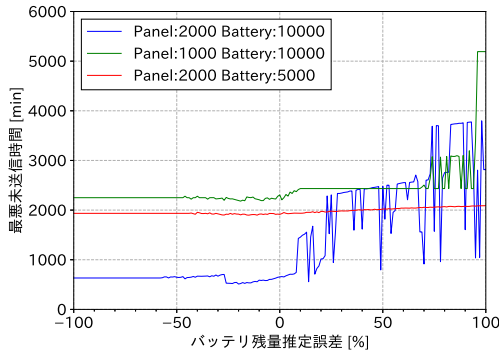


図 2: バッテリー容量とパネル性能をそれぞれ半減したときの最悪未送信時間

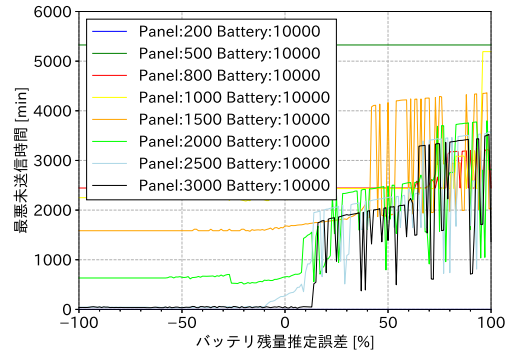


図 3: パネル性能だけを変化させた最悪未送信時間

$$B_{est} = \begin{cases} 0 & B_{real} + B_{full} \times \gamma < 0 \\ B_{real} + B_{full} \times \gamma & 0 \leq B_{real} + B_{full} \times \gamma < B_{full} \\ B_{full} & B_{full} \leq B_{real} + B_{full} \times \gamma \end{cases} \quad (1)$$

対象とするバッテリー適応型手法 [3] のスリープ時間の制御は式 2 と式 3 で決定している。

$$t_{sleep} = \min \left(T_{base} \times \frac{1}{B_{read}}, 2T_{base} \right) \quad (2)$$

$$T_{base} = \begin{cases} 3600[s] & 0 \leq \text{土壤雨量指数} < 60 \\ 1800[s] & 60 \leq \text{土壤雨量指数} < 82 \\ 60[s] & 82 \leq \text{土壤雨量指数} \end{cases} \quad (3)$$

土壤雨量指数から決定される T_{base} に、取得したバッテリー残量 B_{read} の逆数をかけたものを t_{sleep} として、実際に休止する時間を計算している。

5.2 365 日間の気候シナリオを適用した評価

バッテリー残量推定の誤差の大きさを変更して、雨中最悪未送信時間を評価した。雨中最悪未送信時間とは、土壤雨量指数が警報発令基準を上回っている期間中における最大のセンサ情報が未送信である時間の長さである。この値が大きいとき、最後の送信から時間が経過しておりデータの更新が滞っていることを示す。

図 2 に推定誤差を変化させた時のバッテリー適応型の評価結果を示す。推定誤差が負のとき、バッテリー残量を想定より小さく見積もっているため最悪未送信間隔は小さくなる。一方で、正の値の場合は、バッテリー残量を実際の残量より多いと判断している状況である。推定誤差が増加するにつれて、最悪未送信時間が長くなっている。原因としては、電力を消費しすぎてしまい、最悪未送信時間が長くなっていると考えられる。推定誤差がバッテリー容量の半分を超えると大きく性能が低下する。

また、最悪未送信時間が振動している部分は、雨などのタイミングにおいて、バッテリーが十分に蓄えられていたなどの、気候のシナリオに対してタイミングよく制御がかかり、そのため大きく変動したと考えられる。

図 3 にバッテリー容量を 10000mWh に固定した場合の評価を示す。図 2 と比較して似たような傾向があるが、パネル性能が 1000mW 以下の場合には推定誤差に関わらず、起動に必要なバッテリー容量が確保できず起動できないことがわかる。パネル性能の向上に伴って、最悪未送信時間の全体的な減少が見られる。

図 4 にパネル性能を 2000mW に固定した場合の評価を示す。図 3 と比較して、全体的な性能の低下は小さくなって

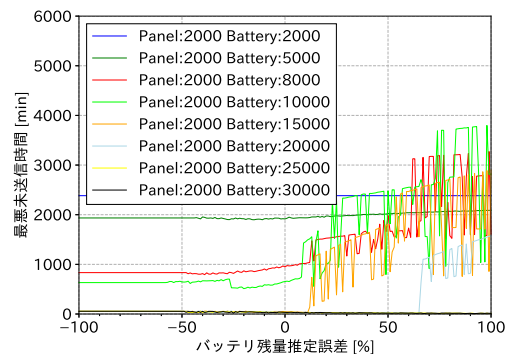


図 4: バッテリー容量だけを変化させた最悪未送信時間

る。このことから、パネル性能が十分にある場合に比べて、バッテリー容量が少ない場合では性能の低下が小さくなるのがわかる。

6 おわりに

本研究では、バッテリー適応型スケジューリングを利用するシステムにおける、バッテリー残量の推定誤差が性能に与える影響を検証した。パネル性能やバッテリー容量が小さい場合には、性能の低下が発生することがわかった。パネル性能が低いときの推定誤差が大きく影響を及ぼし、バッテリーの容量が低いときでは、推定誤差の影響量は少なく収まると考えられる。

参考文献

- [1] 国土交通省, “報道発表資料: 令和 2 年の土砂災害発生件数は平均の約 1.2 倍,” https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02_hh_000113.html, March 2021. (2021/12/14 閲覧).
- [2] C.M. Vigorito, D. Ganesan, and A.G. Barto, “Adaptive Control of Duty Cycling in Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks,” 2007 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, pp.21–30, June 2007.
- [3] 出原 聡, 小林 真, 新 浩一, 西 正博, “土砂災害前兆現象検知のための LPWA を用いたセンサシステムにおける送信スケジュール手法の一検討,” 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス (SeMI) 研究会, vol.120, no.382, pp.41–46, March 2021.
- [4] “はじめてのバッテリー・マネジメント IC — テクニカルスクエア | 丸文,” <https://www.marubun.co.jp/service/technicalsquare/a7ijkd00000bowx.html>. (2021/12/18 閲覧).