

7T-08

バッテリーレスセンサによる行動認識に向けた発電量と消費電力の検討

前田 透^{*1} 内山 彰^{*1} 東野 輝夫^{*1} ^{*1} 大阪大学大学院情報科学研究科
 {t-maeda,uchiyama,higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

1 はじめに

スマートフォンやウェアラブルデバイスを用いた行動認識手法がこれまでに多数提案されているが、行動認識に伴う消費電力の増加は避けられず、普及を妨げる要因となっている。このため、これまでにサンプリングレート制御や間欠的なセンシングにより行動認識の省電力化を図る試みがなされている [1]。しかし、依然としてバッテリーにより駆動するデバイスの利用を想定しているため、電池交換や充電の手間を避けることはできない。

これに対して、近年、Li-ion 電池などのバッテリーを搭載せず、環境発電により駆動するバッテリーレスセンサが注目を集めており [2]、超低消費電力型の無線通信技術である backscatter 通信 [3] や無線給電技術と組み合わせることにより、電池交換や充電の手間が一切かからない行動認識を実現できる可能性がある。例えば、図 1 に示すようにリストバンド型や靴装着型のバッテリーレスセンサにより取得したセンサデータを backscatter 通信によってスマートフォンに転送し、行動認識を行うといった利用が考えられる。しかしながら、これまでにバッテリーレスセンサを用いた行動認識を実現する取り組みは十分にされていない。我々の知る限りでは、靴型のバッテリーレスセンサを用いた歩数計が提案されており [4]、backscatter 通信により一方の靴で推定した歩数を他方の靴に送信し、Bluetooth でスマートフォンに転送することに成功している。しかし、対象は歩数のカウントのみとなっており、限定的である。

そこで本研究では、バッテリーレスセンサを用いた行動認識の実現可能性を明らかにするため、環境発電による発電量と消費電力の検討を行う。具体的には、加速度センサによる行動認識を想定し、センサデータを backscatter 通信によってスマートフォンなどに転送する場合の消費電力を実測することにより、いくつかの典型的な環境発電素子の発電量に基づき、実現可能なサンプリングレートとセンシング期間の見積もりを行う。

2 バッテリーレスセンサ

バッテリーレスセンサは環境発電モジュール、センシングモジュール、backscatter 通信モジュールおよびマイコンにより構成される。このうち本稿では、消費電力に影響を与えるセンシングモジュールとマイコンの実装を行った。マイコン、センシングモジュールには、それぞれ超低消費電力マイコン MSP430F2013 と加速度センサ ADXL362 を用いた。MSP430F2013 は LPM0 ~ 4 の 5 段階のスリープモードが用意されており、消費電力と利用可能な機能が異なる。バッテリーレスセンサの実装においては必要な機能が利用可能かつ最も消費電力の少ないスリープモードを用いる。ADXL362 には最大 512 サンプルが保存可能な FIFO バッファが内蔵されているため、最大で 3 軸加

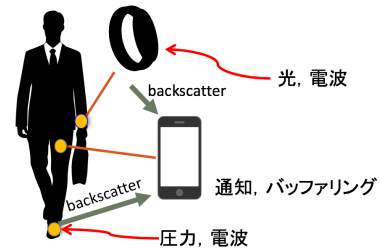


図 1: バッテリーレスセンサを用いた行動認識の例

表 1: 各モードの消費電力

機器の種類	消費電力
MSP430(Active)	400 ~ 500 μ W
MSP430(LPM3)	1.3 μ W
MSP430(LPM4)	0.2 μ W
ADXL362(Active)	4 μ W
ADXL362(wake up)	0.6 μ W

速度 170 サンプル分が保存可能である。なお、1 サンプルのデータ量は 2byte である。

バッテリーレスセンサは、加速度センサの値の変化がない時は待機状態となり、加速度が閾値を超えた時に測定状態に移行する。待機時は、マイコンは常にスリープモード (LPM4) であり、加速度センサは wake up モードで加速度を監視し、閾値を超える動きがあった場合に測定状態へ移行する。測定状態では、マイコンは加速度センサのバッファのサンプル数が最大となった時に割り込み処理によって起動し、データの読み出しと backscatter による送信を行う。それ以外の期間は、スリープモード (LPM4) で待機する。backscatter 通信には ambient backscatter [3] を想定する。送信動作を模擬するため、マイコンのタイマ割り込みを用いて送信レートに応じたタイミングで 1 つのピン出力を反転させるようにした。このとき、ピン出力を反転させた後、次の反転タイミングまではスリープモード (LPM3) でタイマ割り込みを待つことで、消費電力をできる限り抑える。MSP430, ADXL362 の各モードにおける消費電力は表 1 に示すとおりである。

3 実験結果と考察

バッテリーレスセンサのデータレートと送信ビットレートの実現可能な組み合わせをバッテリーレスセンサの消費電力測定結果に基づき検討する。ここで、データレートとは、1 秒あたりのセンサデータ発生量 (sample/sec) である。

データレート d は 1 秒あたりのセンシング期間率 $\tau \in [0, 1]$ とサンプリングレート f (Hz) より、

$$d = \tau f$$

と表せる。ADXL362 では、 f として 6, 12.5, 25, 50, 100 のいずれかが設定可能である。データレートが送信ピッ

Investigation of Energy Harvesting and Consumption for Activity Recognition Using Battery-less Sensors

Toru Maeda^{*1} Akira Uchiyama^{*1} Teruo Higashino^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Osaka Japan

表 2: backscatter 通信の消費電力

送信ビットレート	消費電力
1kbps	50 μ W
2kbps	70 μ W
3kbps	80 μ W

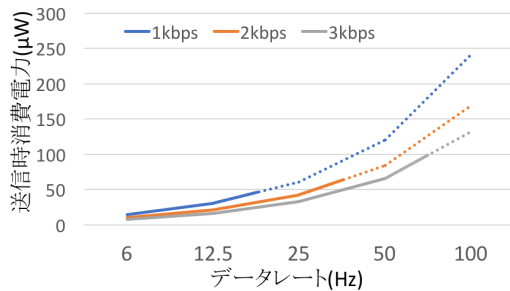


図 2: データレートと消費電力

トレートを超える場合は、生成したサンプルを破棄することになるため無駄が生じる。したがって、消費電力を抑えるためには送信データ量 $48d(\text{bits})$ が送信ビットレート未満でなければならない。表 2 に backscatter 通信の送信ビットレートと消費電力 W_b の実測値を示す。送信ビットレートが高いほど頻りにマイコンが起動するため、当然ながら消費電力は増加するが、データ送信時間は短くなる。したがって、データレート d 、ビットレート b に対する消費電力 W は

$$W = 48d/b \cdot W_b$$

となる。図 2 はこの式に基づき算出した送信ビットレート、データレートに対する消費電力を示しており、点線の部分はサンプルの破棄が生じる場合を表している。送信レートが 1kbps, 2kbps, 3kbps に対してそれぞれ最大サンプリングレートは 12.5Hz, 25Hz, 50Hz となる。図 2 から、同じサンプリングレートの場合は送信レートが高いほど消費電力が低いことが分かる。しかし、送信レートが高いと通信可能距離が短くなることが分かっているため、状況に応じて適切な値を設定する必要がある。

一方、バッテリーレスセンサが駆動するためには、消費電力が発電量 P 以下でなければならない。このためには、以下の条件を満たす必要がある。

$$W \leq P$$

以下では表 3 に示すいくつかの環境発電を想定した場合における実現可能なサンプリングレート、送信レートの組み合わせを検討する。圧電素子発電を用いた場合は、用途は靴に限定されるが十分な発電量を見込めるため、最大でサンプリングレート 50Hz、送信レート 3kbps が可能である。電波を用いた発電は周囲の電波強度により発電量が大きく変化するが、東京タワーから 6.3km の見通しが得られる地点での発電量は数 μ W ~ 数十 μ W との報告がある [5]。これに対し、43 μ W 以上の発電量を見込める時であれば最大で 25Hz, 2kbps が実現可能と考えられる。最後に、フォトダイオードを用いた場合は、発電量が周囲の明るさとフォトダイオードの敷設面積に大きく依存するが、面積 3cm^2 、明るさ 500lux の条件では 45μ W の発電量を見込めるため、一般的なオフィス程度の照明環境であれば最大で 25Hz, 2kbps での動作が見込める。

表 3: 環境発電の発電量

発電手法	発電量
圧電素子 (靴)	$\sim 1\text{mW}$
電波	$1\mu\text{W} \sim 60\mu\text{W}$
フォトダイオード	$15\mu\text{W}(1\text{cm}^2, 500\text{lux})$

方、直射日光が当たる屋外では十分な発電が可能であるため、屋外においては他の環境発電よりも有利である。ただし、いずれの場合も安定した電力供給が見込めない時はデータレートを下げることで対処する必要があると考えられる。

4 まとめと今後の課題

本稿では、センシングした加速度を ambient backscatter により送信する場合の消費電力を実測し、バッテリーレスセンサを用いた行動認識の実現可能性を検討した。その結果、発電量に応じてサンプリングレートやセンシング期間を調整することで、バッテリーレスセンサによる行動認識が実現できる見込みがあることが分かった。今回は加速度の raw data を送信するものとしたが、マイコン側で量子化ビット数を削減したり、特徴量抽出処理を行ったりすることによって、通信量を減らすことができるため全体の消費電力が削減できる可能性がある。今後は、行動認識にあたり、必要なサンプリングレートやセンシング期間の調査を行い、プロトタイプを実装する予定である。謝辞

本研究は、JST ACT-I グラント番号 JPMJPR16U7 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 中島悠貴, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: サンプル制御とデータ補完による行動認識システムの省電力化手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 8, pp. 2455–2466 (2011).
- [2] Hester, J. and Sorber, J.: Flicker: Rapid prototyping for the batteryless Internet-of-Things, *SenSys* (2017).
- [3] Liu, V., Parks, A., Talla, V., Gollakota, Shyam-nath and Wetherall, D. and Smith, J. R.: Ambient Backscatter: Wireless Communication out of Thin Air, *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, Vol. 43, No. 4, pp. 39–50 (2013).
- [4] Huang, Q., Mei, Y., Wang, W. and Zhang, Q.: Battery-free sensing platform for wearable devices: The synergy between two feet, *Infocom*, pp. 1–9 (2016).
- [5] Shigeta, R., Sasaki, T., Quan, D. M., Kawahara, Y., Vyas, R. J., Tentzeris, M. M. and Asami, T.: Ambient RF energy harvesting sensor device with capacitor-leakage-aware duty cycle control, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 8, pp. 2973–2983 (2013).