

エネルギーハーベストな名札による屋内場所推定システムの開発

有田 充[†] 石田 繁巳[‡] 荒川 豊[‡]

[†]九州大学工学部電気情報工学科 [‡]九州大学大学院システム情報科学研究所

1 はじめに

人間の訪れた場所や行動を記録するライフログを利用した研究は多く行われている。屋外における位置・場所認識では、GPS が利用可能であるが、本研究で対象とする屋内ライフログには利用できない。そのため、さまざまな屋内位置測位手法が検討され、WiFi, BLE Beacon を用いたものが浸透しつつある。しかしながら、電波を用いたいずれ手法も、電波を受信するためにスマートフォンなどの無線通信デバイスを常に身につけ、起動しておく必要があり、バッテリー消費やそれに伴う充電の手間が問題となる。我々のターゲットであるライフログでは、高精度な位置を必要とはしておらず、教室やトイレなどの部屋単位での滞在歴で十分であり、一日の移動頻度もそれほど多いわけではないことから、そのために受信デバイス・アプリを常時起動しておくのは非実用的である。

そこで我々は、バッテリーレスで、身につけておくだけで、自動的に屋内ライフログを構築可能なウェアラブル機器の実現を目指し、太陽電池素子を電源としてだけでなく、場所を認識するセンサとしても利用するシステムを開発している [1, 2]。このシステムは、場所によって光の強度や波長が変わることに着目し、3つの異なる特性の太陽電池を組み合わせ、それらの発電電圧の違いから場所を推定することに成功している。しかしながら、このシステムは低照度な環境ではシステムを動作するために必要な電力が得られず停止してしまうことに加え、3つの太陽電池を使っているためにデバイス全体のサイズも大きく、常に身につけるのは不便であるという問題があった。

本稿では、省電力設計により太陽電池を2つに削減してデバイスを小型化、低照度環境での動作を実現したエネルギーハーベスト名札センサによる屋内場所推定システムを示す。また、ピエゾ素子による移動検知に基づく場所移動時間を考慮に入れることで場所推定精度を向上させた結果を報告する。

2 エネルギーハーベスト名札センサ

図1及び2に、新たに作成したエネルギーハーベスト名札センサの基板及びその外観を示す。図1に示す基板の裏側にはリアルタイムクロック (以下 RTC) 保持用のボタン電池が取り付けられている。

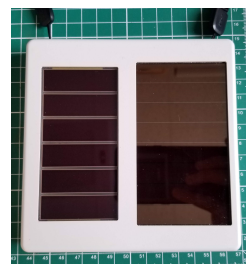
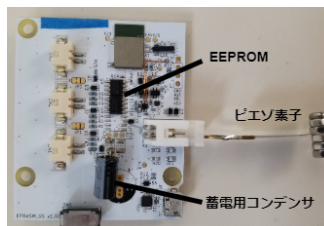


図 1: 名札センサ基板

図 2: 名札センサ外観

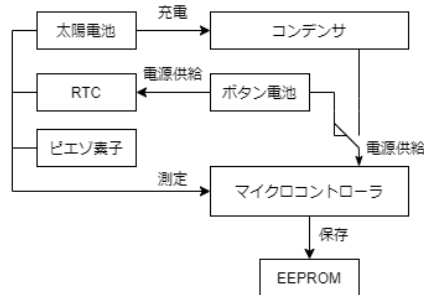


図 3: 名札センサの構成

2.1 名札センサの構成

図3にエネルギーハーベスト名札センサの構成を示す。太陽電池で発電した電力をコンデンサに蓄え、コンデンサの電圧が閾値を超えるとマイコンのスリープを解除してコンデンサから電力を供給する。マイコンは、太陽電池の電圧、RTC から取得した時刻、ピエゾ素子の電圧をデバイス内の EEPROM にサンプルとして記録する。記録後はコンデンサの電荷を解放し、コンデンサの電圧を降下させる。コンデンサの電圧が閾値を下回るとマイコンの電源は RTC 保持用のボタン電池に切り替えられ、スリープ状態へ移行する。閾値はヒステリシス IC を用いて、ヒステリシスを持たせることで動作のバタつきを防いでいる。

2.2 従来のデバイスとの比較

従来のデバイスは太陽電池による供給電力がマイコンの動作電圧を下回ると、再び太陽電池の発電によって動作電圧を超えても正常な動作をせず、マイコンをリセットする必要があった。これに対し、本デバイスは低電圧時に電源がボタン電池に切り替えられるため、動作電圧を下回っても正常な動作を行う。また、

- 記録媒体をフラッシュメモリから EEPROM に変更

Development of Indoor Place Recognition System with Energy Harvesting Name Tags
Mitsuru ARITA[†], Shigemi ISHIDA[‡], Yutaka ARAKAWA[‡]
[†]EECS, Kyushu University, Japan
[‡]ISEE, Kyushu University, Japan

- 記録媒体との通信方式を SPI から I²C に変更
- マイコンを ATmega328p から RL78 に変更

といった省電力化を行うことでスリープ時の待機電流を 104 μ A から 33 μ A に削減し、約 60%省電力化した。

太陽電池は、広い範囲の波長で発電可能なアモルファスシリコン太陽電池と低照度環境で効率よく発電可能な色素増感型太陽電池とを採用し、動作可能な最小照度を従来の 200 lx から 40 lx に削減し、低照度での動作を実現した。40 lx という明るさは、JIS 照明基準 [3] で定められた作業に必要な推奨照度を超える明るさである。また、太陽電池の接続を直列接続から並列接続に変更することで、より多くの電力をコンデンサに蓄えることを可能とした。

3 屋内場所推定

デバイスから取得した時刻、太陽電池発電量、ピエゾ素子の発電量を用いて機械学習により場所を推定する。

3.1 データの前処理

太陽電池の発電量はローパスフィルタを使ってノイズ除去を行った上で、固定長のウィンドウで分割し、ウィンドウごとに特徴量の計算を行う。

3.2 ピエゾ素子による移動検知・区間分割

デバイスを身に着けた状態で移動をするとピエゾ素子が振動するため発電する。これを利用して移動検知を行う。ピエゾ素子発電量の分散を各ウィンドウで算出して、複数ウィンドウで連続して閾値を超えた場合に移動を開始したと判定してデータを分割する。分割後の各区間では移動をしていないため、同じ場所にいたと判断してよい。そのため、各区間でウィンドウごとに場所を推定し、各ウィンドウの推定結果の区間内での最頻値を最終的な予測値とする。

3.3 特徴量計算

特徴量として、太陽電池発電量の平均値、最大値、最小値、最大値と最小値の差、分散、2つの太陽電池の発電量比、サンプル取得にかかった時間という7つの値を用い、ウィンドウごとに場所推定を行った。

3.4 機械学習

分類器として Support Vector Machine(以下 SVM)を使い、ウィンドウ幅は 10 サンプルとした。ウィンドウは 90%オーバーラップさせながら移動させた。

4 評価

4.1 実験環境

表 1 の 3 か所で場所推定実験を行った。データを取る際にはデバイスを首にかけて普段通りに椅子に座った状態で作業を行った。

4.2 モデルの評価

モデルの評価をするために、表 1 のそれぞれの場所で約 40 分データを取り SVM のモデルを作成した。モデルの評価には 10 分割交差検証を用いて、その平均 F 値 0.979 であった。よって表 1 に示すような、照度

表 1: 測定場所の特徴

| A | B | C |
|----------------------|----------------------|----------------------------|
| B と同じ照明で明るさは約 550 lx | A と同じ照明で明るさは約 700 lx | A, B とは異なる照明で明るさは約 1300 lx |

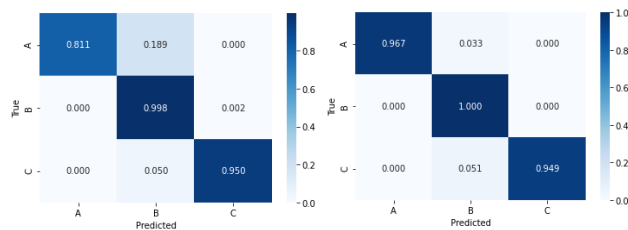


図 4: 移動を含めたデータの予測結果
図 5: 移動を除いたデータの予測結果

の違う環境での場所予測が可能になったことが分かった。しかしながら、類似した照度の環境では照明の種類が異なっても太陽電池の発電量に差はなく、予測の精度が大きく落ちた。これは採用した太陽電池が広い波長で安定して発電可能なため、光の波長特性がうまく反映されないからであった。よって、システムの広い波長での動作と予測精度はトレードオフの関係になっていると考える。

4.3 移動検知の評価

移動検知の評価をするために、表 1 の A → B → C とデバイスを身に着けた状態で約 10 分滞在して、移動したものをモデルに適用し、その結果を混同行列で評価した。

図 4 に移動検知を行わない予測結果を、図 5 に移動検知を含めた予測結果を示す。正解率はそれぞれ 0.966, 0.977 となり移動検知により予測精度が向上した。区間分割の結果は A, B, C の 3 つの大きな区間に分割され、それぞれの区間での最終的な予測値は真値と一致した。

5 おわりに

本稿では菅田の研究 [2] の問題点の解決法と、ピエゾ素子を用いた移動検知により予測の精度を向上させる方法を提案した。評価の結果より F 値 0.979 で 3 つの場所予測を可能であり、移動検知により予測精度が向上することを示した。しかし、波長特性が平坦な太陽電池では類似した照度環境での予測精度が落ちた。問題の解決策としては、狭い波長帯で発電可能な小型の太陽電池を複数使うということが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP18H03233 の助成で行われた。

参考文献

- [1] Umetsu, Y., et al.: EHAAS: energy harvesters as a sensor for place recognition on wearables, In *IEEE PerCom*, 2019, pp.222–231.
- [2] Sugata, Y., et al.: Battery-less place recognition system using multiple energy harvesting elements, In *IEEE Sensors*, 2019, pp.1–4.
- [3] 日本規格協会: JIS Z9110:2011 照明基準総則