

BLE 電波強度を用いた人流からの滞留検知と 潜在顧客の判別の試みとセンシングデバイスの提案

渡邊幸樹[†] 稲村浩[†] 中村嘉隆[†]
[†] 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

1. はじめに

近年, Bluetooth Low Energy (BLE)ビーコンによる屋内の人流把握が注目されている[1]. 人流は「流動」と「滞留」の2つに分類され, 特に滞留行動の把握は様々な効果が期待されている. そこで, 我々は周囲の移動端末の BLE 挙動を検知する検知器を試作し, 人流から滞留者の検知と潜在顧客の判別を試みる. 試作した単一の検知器が取得した電波受信強度(RSSI)の値の変動に対して Dynamic Time Warping(DTW)を用いたテンプレートマッチングを行い, 潜在顧客の行動特徴を示した滞留者の判別を行った. この検知器は, メンテナンスコストを低減するためにエネルギーハーベスティング(EH)による稼働を目標としているため, 間欠動作を想定する. しかし, 人流のように連続的な計測が必要な場合, 従来の間欠動作では判別精度の低下が懸念される.

本稿では, 潜在顧客に有する行動を示した滞留者の行動特徴に基づき, ハードウェア最適化を考慮した上で潜在顧客の判別に適切な動作間隔について議論する.

2. エネルギーハーベスティングの利用と制約

EH 駆動の場合, 得られる電力が微小であるため, 検知器は間欠動作を行う必要がある(図 1)[2]. 農業 ICT における計測の例[3]では, 数分から数時間間隔の計測で正確なデータを取得することが可能だが, 人流のように連続的な観察が必要な場合, 判別精度の低下が懸念される. そのため, 滞留行為の検知に適切な計測間隔の設定と, 検知器の安定動作と判別精度を保證することが課題となる. この課題の解決のために, 実際のイベントで人流計測を行い, 滞留者から抽出した潜在顧客の位置変動周期に着目する.

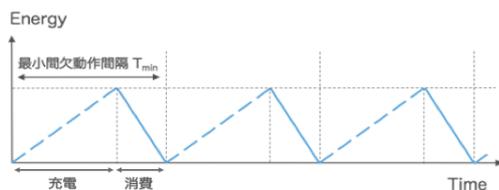


図 1 エネルギーハーベスティング技術の電力モデル

Proposal on Sensing Device for Detection the Staying Behaviors and Potential Customer Using BLE RSSI Measurements

Koki WATANABE[†], Hiroshi INAMURA[†], Yoshitaka NAKAMURA[†]
[†]School of System Information Science, Future University Hakodate

3. 滞留者行動の実態把握のための調査

3.1 調査概要

公立はこだて未来大学のオープンキャンパス (2017 年 8 月 6 日)の研究室ブース周辺で, イベントにおける訪問者の集団行動の計測を試みた. イベントにおいては関心のある展示ブースへの訪問者に漏れなく展示説明を実施することが重要なため, 滞留する未対応の訪問者を自動的に発見できないか調査を行う. オープンキャンパス終了まで, 2 台のビデオカメラによる撮影を行い, 実際の状況の確認に用いる検証映像データとし, 2 次電池で駆動する検知器で滞留者の持つ移動端末から発信される BLE 信号データを収集した.

3.2 行動パターンに基づく潜在顧客の行動特徴の抽出

検証映像データを目視で確認した結果から得た, 会場内のおおよその滞留地点 A~D を図 2 に示す. 潜在顧客が展示物に興味を示した場合, 滞留地点と滞留行為の開始前にいた別の滞留地点を複数回往復する迷い行動が発生することが確認できた. 今回の場合は, A-B 地点や B-C 地点を複数回往復する潜在顧客の迷い行動が確認された. 展示物を見ている滞留者に対してスタッフが展示説明の対応を行った場合の平均滞留時間の確認を行った. 結果, 潜在顧客の各地点における滞留は 20 秒程であった.

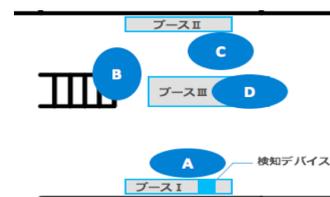


図 2 計測した周辺の滞留地点

4. 滞留者からの潜在顧客の発見

4.1 潜在顧客の行動パターンと RSSI 値に基づく位置変動

観測された多数の滞留者から潜在顧客を発見するために, 3 章の調査で収集した滞留者による BLE 信号の検知データから迷い行動を示す特徴的な信号変化を観察する実験を行った. 3.2 節で判明した潜在顧客の迷い行動を模擬的に再現し, その行動の再現時に発生する RSSI 値の変化を取得した. 模擬的に再現した行動パターンは, A 地点で 20s 間滞留を行い(1), B 地点に向かって 1.0m/s の速さで移動す

る(2). B 地点に到着後, A 地点と同様に 20s 間滞留を行い(3), A 地点に向かって 1.0m/s の速さで移動する(4). 最後に A 地点で 20s 間滞留を行う(5). これを 2 往復して RSSI 値の変化を計測する. B-C 地点も同様の計測を行う. 図 3 と図 4 に行動パターンを擬似的に再現した時の RSSI 値に基づく位置変動を示す.

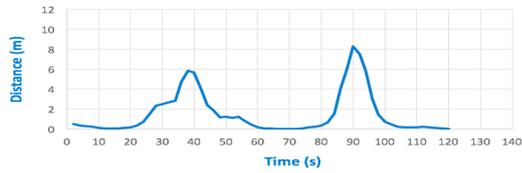


図 3 潜在顧客の位置変動グラフ : A-B 地点移動

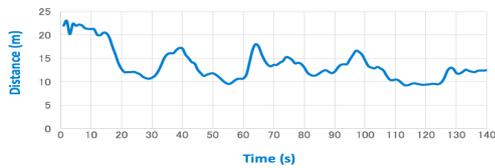


図 4 潜在顧客の位置変動グラフ : B-C 地点移動

4.2 DTW を用いた潜在顧客の移動端末の抽出

計測した RSSI 値データから DTW を用いて潜在顧客の抽出を試みた. その結果, A-B 地点を移動する潜在顧客は 13 人, B-C 地点を移動する潜在顧客は 8 人であった. 擬似的な再現による位置変動グラフと潜在顧客の位置変動グラフを比較した時の Warping Path の一例を図 5 に示す. 2 つの時系列データ間の Warping Path が近似範囲内に見られるものを潜在顧客と類似度が高い行動パターンであると判断し抽出数としてカウントする.

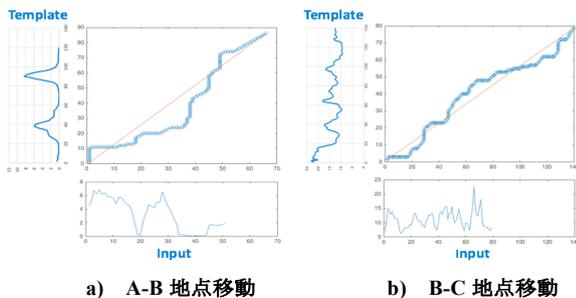


図 5 2 つの時系列データの Warping Path の一例

5. 滞留者行動の判別に最適な動作間隔の設定

5.1 サンプリングデータを用いた検証

厳密な動作間隔の設定を行うために最小間欠動作間隔に相当したサンプリングデータを用いた検証を行う. はじめに, 計測時に取得した RSSI 値に基づく潜在顧客の位置変動信号に対して Pulse Amplitude Modulation (PAM)を用いて変調を行う. その後, 最小値から 2m の誤差分を除去した上で符号化を行う. 最後に 2~10s 間隔で信号変化を総当りで調査する. 対象の信号から各間隔で 1 と 0 がそれぞれ 2

つセットで確認された時, 検知可能である潜在顧客としてカウントする. 集計した結果(図 6)より, 動作間隔は抽出数が最も多い 4s に設定することが最適であることが分かった.

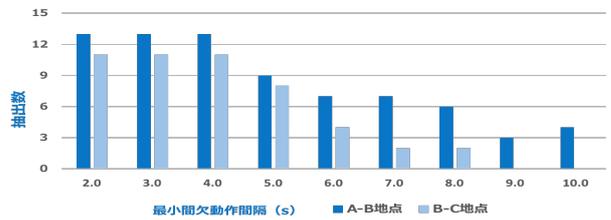


図 6 各最小間欠動作間隔の潜在顧客の検知数

5.2 センシングデバイスのハードウェア構成と安定動作

想定する EH 駆動の検知器の電力モデルは,充電時間 3s とアクティブ時間 1s を 1 サイクルとする. Cypress 社の Easy DesignSim を用いてシミュレーションを行った結果, 10mW 発電で 1.7mF のコンデンサ容量の時, 200lux の照度環境下においても動作可能であることを示した(図 7).

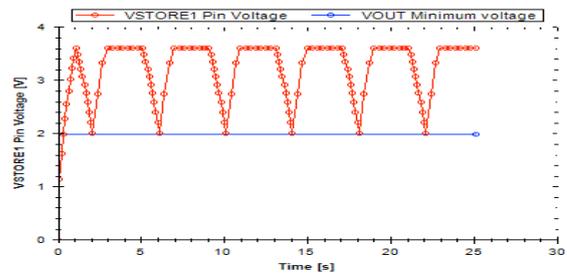


図 7 エネルギーバジェット計算の結果

6. おわりに

本稿では, EH 駆動を想定する検知器とカメラを使用して集客イベントにおける人の滞留行動の実態を分析した結果, 潜在顧客の行動特徴を抽出することができた. 抽出した行動特徴を模擬した動作時に発生する RSSI 値の変化を行動データのテンプレートとし, イベント実験において収集した群衆計測データから迷い行動を示す移動端末の一群の抽出を試みた. その結果, 最小間欠動作間隔を 4s に設定することで, 行動認識に必要な信号変化を計測できることが分かった.

参考文献

- [1] 国土交通省. 東京駅周辺屋内外シームレス測位サービス実証実験グループ検討結果報告書. 入手先 <https://www.mlit.go.jp/common/001127073.pdf> (参照 2017-7-13).
- [2] Zhi Ang Eu et al. Opportunistic : Routing in Wireless Sensor Networks Powered by Ambient Energy Harvesting, Computer Networks, Vol.54, No.17, pp.2943-2966 (2010).
- [3] 安部恵一 他.: 周期的センシングアプリケーション向け省電力無線センサノードの開発. 情報処理学会研究報告(CDS), Vol.2, No.1, pp.48-57(2012).