

## 研 究 報 告 書

### 「システムからの通知にユーザが対応できないことを利用したセンサデータのアノテーション」

研究期間：平成29年10月～平成31年3月

研究者番号：50157

研究者：村尾 和哉

#### 1. 研究のねらい

種々のセンサを搭載したスマートフォンやウェアラブルデバイスの普及により、時間や場所を問わず人間の行動や状況をセンシングして加速度や角速度、光、脈拍、位置、電波状況、操作履歴などのデータを収集し、ネットワーク上に蓄積できるようになった。人間の行動や状況をセンシングして得られるデータは、健康管理や労働作業、医療、スポーツ、エンタテインメント、認証などの分野において、これまでは手作業や人間の勘、人海戦術で行われてきた作業の支援や、実現困難であった高度な支援への応用が期待されている。センサデータから人間の行動や状況を推定する処理は、アノテーションが付与されたセンサデータのセットを用いてユーザの行動や状況を解釈するモデルを事前に構築し、未知のセンサデータを識別する。そのため、モデルの高性能化や性能評価のために多量かつ多様なアノテーション付きデータセットが必要となる。

本研究では端末が行う通知に対するユーザの対応をもとに、そのときのユーザの行動や状況を推定することを目的とする。通知に対するユーザの応答速度や操作を数値化し、フィルタリング、特徴量抽出、機械学習を用いて事前に与えられた候補からユーザの行動や状況を推定する。推定されたユーザの行動や状況は、端末で同時に取得されるセンサデータにアノテーションとして付与される。

アノテーションは正確性が重要であるため、本人が記録して収集する必要があり、アプリで一般のユーザから幅広く収集することは困難である。現状では、少数の研究グループが公開しているデータセットから適したものを探し出すか、研究者が被験者を募ってデータを採取している。ひとつの研究グループで収集できるデータはせいぜい100名程度であり、1400万枚の画像からなる画像認識データセット Image Net と比較すると規模は桁違いである。また、画像や音声、テキストは人間が理解できるため後からアノテーションを付与できるが、加速度や地磁気、位置から状況を判断できないハンデキャップがある。一方で、端末が扱うデータの多様化、高品質化、大容量化によって、端末からユーザへの通知が絶え間なく発生し、存在に気づかない通知や無視せざるを得ない通知が出現する。私は、人間がデータを処理できないことを逆手にとり、端末からの通知に反応がないことも一種の反応であると考え、通知への対応からユーザの行動や状況を推定できるという着想を得た。

#### 2. 研究成果

##### (1) 概要

本研究では Android 端末で発生する通知に関する情報およびセンサデータを取得してリ

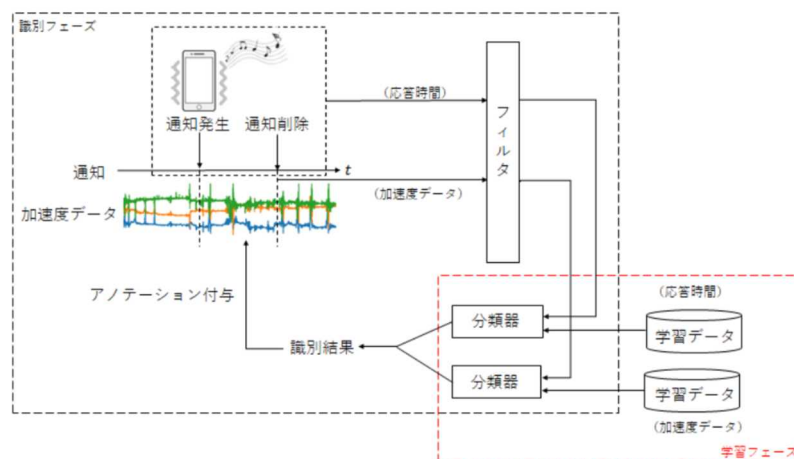
アルタイムでサーバに送信し、かつ通知を任意のタイミングで遠隔生成するシステムを構築した。また、通知発生から削除までの応答時間による状態推定と端末内の加速度センサの値を利用した状態推定を併用して、ユーザや端末の状態推定を行う手法を提案した。応答時間による状態推定結果と加速度データを用いた状態推定結果の集合和をとり、最終的な状態推定結果をおよびその結果をアノテーションとして出力するか否かを判断する。推定結果がきわめて確信度が高い場合センサデータへのアノテーション付与を行う。8種類の状態のデータを収集し、本提案手法の評価実験を行った。実験室環境の実験の結果として学習データとテストデータが同一人物の場合、適合率は平均 98.2%と高い精度で状態推定を行うことができた。また、自然(実験室外)環境の実験を行い、収集した通知の情報のうち 88%に正しいアノ

テーションが付与し、12%には確信度の高い判断が行えずアノテーションは付与されなかった[2]。

## (2) 詳細

### 研究テーマ A「任意の通知を発生させるアプリの構築とデータ収集」

システム構成を下図に示す。事前に学習フェーズとして通知発生から通知削除までの応答時間と通知発生から通知削除までの区間の端末の加速度データを採取しておき、付与したいアノテーションの種類でラベル付けし、分類器のモデルを構築しておく。識別フェーズとして通知発生から通知削除までの応答時間と通知発生から通知削除までの端末の加速度データを取得し、応答時間が長いデータは破棄するフィルタリングを適用し、フィルタリングを通過したデータについて、応答時間と加速度データを並列して、事前に作成した分類器にかけて分類結果を得る。応答時間による分類結果と加速度データによる分類結果を合わせた識別結果の確信度が極めて高い場合のみ分類結果をアノテーションとしてセンサデータに付与する。



通知の種類、内容、通知発生時刻、通知削除時刻、通知発生時のサウンドの有無、通知発生時のバイブレーションの有無などを取得できるシステムを開発した。ユーザがもつ Android 端末内にインストールするアプリは通知のデータと各種センサデータを取得し、クラウドストレージにアップロードする。Android アプリは Firebase Cloud Messaging (FCM) の受信を可能としており、遠隔で任意の端末に任意のタイミングで、任意のふるまいをする通知を

生成できる。

#### 研究テーマ B「状況推定手法の構築」

通知発生から通知に反応するまでの時間と通知に反応した際の加速度データから通知を取得した時点のユーザの状況を推定して、アノテーションとしてセンサデータにフィードバックする手法を提案した。通知の発生時刻と通知バーからタップにより開封される、またはスワイプにより削除された時刻の差を通知の応答時間として取得する。また、通知の発生時刻と削除された時刻の区間の 3 軸加速度データを切り出す。応答時間が長い場合、ユーザの状況を推定することは困難であるため、応答時間が 10 秒以上の場合は状態推定を行わずに破棄する。提案手法は、推定したい状態ごとに応答時間のヒストグラムを作成し、ユーザが通知に対応した際の応答時間から各状態の尤度を計算する。算出された尤度の高い状態を状態推定の推定結果とする。尤度が閾値以下である場合は推定結果なしとする。

加速度データの処理に関は Dynamic time-warping (DTW) を用いる。DTW とは、動的時間伸縮法とも呼ばれ異なる時系列の 2 つの波形の類似度を算出するアルゴリズムである。事前に収集した各状態の加速度データと実際にユーザが通知に対応した際の加速度データの距離を計算する。DTW 距離が最短のデータに付与されている正解ラベルを状態推定の推定結果とする。ただし、提案手法では DTW 距離に閾値を設定し、最短の DTW 距離が閾値以上である場合は推定結果なしとする。これは、想定している状態以外で通知が取られた場合に、偶然 DTW 距離が最短となる場合に、結果を出力しないようにするためである。

提案手法は応答時間を用いた状態推定の結果と加速度データを用いた状態推定結果から、最終的な状態推定結果およびその結果をアノテーションとして出力するか否かを判断する。応答時間を用いた状態推定結果と加速度データを用いた状態推定が共通するものをシステム全体の推定結果とし加速度データにアノテーションを付与する。

2 種類の評価実験を行った。一つ目はアノテーションを付与したい 5 種類の状態で通知反応時のデータを採取してアノテーション付与の精度を評価する実験室環境の実験であり、適合率 98.2% となった。アノテーションは付与された情報の精度 (適合率) が重要である。二つ目はアノテーションを付与したい状態を考慮せずに 2 日間採取したデータに対して提案手法を適用したときの結果をみる自然環境の実験であり、通知に反応した回数の 88% に正しいアノテーションを付与でき、12% は何の情報も付与しなかった、つまり判断が困難であるため無理やりアノテーションを付与するのではなく正しく諦めている。この結果より、スマートフォンで発生する通知を取得するだけで極めて高精度のアノテーションを自動で付与できることを確認した。

### 3. 今後の展開

行動認識の実世界応用を見据えたときに、行動認識の基盤となるセンシング、ネットワーク、信号処理、機械学習は再利用性の高いパッケージが公開され、情報科学の進歩と共に着実に発展している。しかし、画像認識や音声認識、自然言語処理などの分野と比較して公開されているデータセットが乏しいため、システムの有効性や汎用性、頑健性などの検証が十分に行えず、行動認識を利用したシステムやサービスは社会に対して貢献できないことを危惧している。本研究の成果によって、センサデータの収集と同じコストでアノテーションも収集し、インターネットな

どを通じて誰もが容易にデータセットにアクセスできる環境を構築することで、行動認識技術の発展と普及に貢献していく。

#### 4. 自己評価

ACT-I 研究では、スマートフォンで採取される人間行動データに自動でアノテーションを付与する手法を提案することが目的であり、その有効性を確認できたため、当初の研究目標は達成できたといえる。私は研究室を主宰する立場にあるため、独立して研究を遂行でき、研究期間中は研究補助者 3 名および所属学生 1 名と研究を実施した。研究費はすべて計画通り適切に執行した。現時点では ACT-I 研究の成果の論文等での発表は国内のワークショップ 1 件のみであるが、現時点で国内シンポジウム 1 件の投稿を完了しており、4 月中に国際会議論文を投稿する予定である。

端末やユーザが扱う情報量の増大にともない、大量の通知が絶え間なく発生することで、フラストレーションによる通知の開封率の低下や注意散漫によるユーザの生産性の低下が指摘されてきた。通知への応答速度や開封率を向上させるために、眼球運動や心電などの生体情報から認知負荷を計測して適切な通知タイミングを検出する手法があるが、ユーザに機器を装着させる必要がある。従来研究は「通知を制御」するアプローチであるが、本研究は「通知をセンサ」として着目しており、このようなアプローチは私の知る限り存在せず、新規性および独創性は高い。また、アノテーション収集はユーザとの対話的方法が基本であり、ユーザの回答率の向上、対話回数の削減、ユーザビリティの改善、半教師あり学習という観点で研究が行われてきた。これに対して、端末の通知を介してユーザの状況をセンシングするというアイデアはまったく新しいものであり、試行錯誤をとまなうことが予想される挑戦的な研究である。

#### 5. 主な研究成果リスト

##### (1) 論文(原著論文)発表

1. L. Wang, H. Gjoreskia, K. Murao, T. Okita, D. Roggen, "Summary of the sussex-huawei locomotion-transportation recognition challenge," in Proc. of the 6th International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Application: Towards Open-Ended Context Awareness (HASCA2018), UbiComp/ISWC2018 adjunct pp. 1521-1530 (Oct. 2018).
2. 澤野亮太, 村尾和哉, "スマートフォンの通知の取られ方にもとづく状態認識手法の提案," ユビキタスウェアラブルワークショップ 2018, p.8 (2018).
3. 澤野亮太, 村尾和哉, "スマートフォンの通知の取られ方にもとづくユーザおよび端末の状態認識手法," 情報処理学会シンポジウム DICO2019 (2019, to appear).

##### (2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

##### (3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- 村尾和哉, "ウェアラブルセンサによる人間行動解析," 日本バイオメカニクス学会誌 バイオメカニクス研究, Vol. 22, No. 3, pp. 131-134 (2019, to appear).
- 村尾和哉, 京都新聞コラム, 2018 年 11 月 28 日夕刊.

- 村尾和哉, 5 分で分かる ! ? 有名論文ナナメ読み : Ling, B. and Intille, S. S. : Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, 情報処理, Vol. 60, No. 2, pp. 170-172 (Jan. 2019).
- 村尾和哉, “センサデータ処理と人間行動認識,” IEICE HPB 第 18 回研究会招待講演, 東京 (21 Feb. 2018)
- 村尾和哉, “モノの使われ方からヒトを知る”, 情報処理学会全国大会 IPSJ ONE, 福岡 (16 Mar. 2019).
- H. Yamada, K. Murao, T. Tsutomu, M. Tsukamoto, Journal of Information Processing (JIP) Specially Selected Paper (Jan. 2018)
- 山田浩史, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦, 情報処理学会第 59 回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 優秀論文 (Sep. 2018).