

## 論文の内容の要旨

論文題目      ウェアラブルセンサを利用した人間行動の計測  
                         のための表現学習に関する研究

氏      名      岩澤   有祐

本研究では、普及の進むウェアラブルセンサを利用した人間行動の計測に向けた表現学習に関する研究を行う。

ユーザが身につけて持ち歩くウェアラブルセンサにより人間の日々の行動を認識し記録するウェアラブルセンサによる行動認識は、ヘルスケアやコンテキストウェアシステムなどさまざまなアプリケーションを実現する上での中心的な技術要素として期待されている。ウェアラブルセンサによる行動認識のようにセンサによる観測値から意味のある情報を抽出する試みにおいて、特徴量をいかに設計するかは認識精度に強い影響を及ぼす技術課題であったが、ディープネットのような生データから特徴を獲得する表現学習技術の発達により認識精度の著しい改善が報告されている。ディープネットの有効性が示されているのは主としては画像認識や音声認識の領域であるが、ウェアラブルセンサによる行動認識の領域においても高い精度で行動を認識する上でディープネットの有効性は認識され始めている。一方、ウェアラブルセンサによる行動認識に対して実用的に表現学習技術を利用するためには、いかに認識精度を高めるかという問題に加えてデータの性質やアプリケーションでの利用を考慮した包括的な技術開発が必要となる。

本研究は、正確に人間行動を認識する上でディープネットが重要になりつつあることを背景に、ウェアラブルセンサによる行動認識に対してディープネットを単純に適用することの有効性と問題点を明らかにした上で、問題点を低減する手法を提案するものである。これにより、実世界の行動を適切に計測することにより実現されるヘルスケアやコンテキストウェアシステムなどアプリケーション構築の礎となるものである。

ウェアラブルセンサによる行動認識を行ううえでの論点の1つに、プライバシーへの配慮がある。ウェアラブルセンサは、ユーザが身につけて持ち歩くという性質上観測データと特定のユーザが紐づくパーソナルデータである。また、行動認識でよく利用される

加速度センサやジャイロセンサなどの慣性センサは行動以外にもユーザの属性情報などユーザのプライバシーに関する情報を含みうるデータである。このようなデータを対象とする性質上、ウェアラブルセンサを利用した行動認識を行う上では認識精度をいかに高めるかという観点だけでなく、ユーザのプライバシーにいかに配慮するが技術課題となる。

第2の論点は、学習データが少ないユーザに対する認識精度の観点である。一般にディープネットを利用して高い認識精度を達成するためには、大規模な教師付きデータセットを利用する必要がある。しかし、ウェアラブルセンサによる行動認識で代表的に利用される加速度センサやジャイロセンサ、心拍センサなどは画像や音声とは違い事後にラベル付けすることが難しいこと、あるいは異常な行動などそもそも発生頻度が低いこと、観測が困難な行動を対象とする場合も多いことから、教師付きデータを各ユーザに対して大量に獲得することは現実的ではない場合が多い。そのため、教師付きの学習データが少ないユーザに対しても良い表現を学習できるような仕組みが必要となる。

以上をふまえ、本論文では次の3つの研究を行い、ウェアラブルセンサによる行動認識に対して認識精度およびプライバシーの観点から有効な表現学習手法を提案する。

まず第1に、ウェアラブルセンサによる行動認識の問題に対して既存の表現学習手法であるディープネットを適用し、表現学習により行動認識精度が高まることを確認する。特に、学習データが全く得られないユーザに対する認識精度を評価するユーザ独立行動認識の設定でディープネットと経験的に利用されてきた特徴量を比較することにより、行動認識を行う上で求められるユーザに関する汎用性の観点で評価した。具体的には、慣性センサを利用した4つのデータセット合計およそ110万サンプルの教師付きデータに対して最大24層のニューラルネットを適用し、その有効性と問題点を実験的に検証した。結果として、ディープネットはユーザ汎用性の観点で従来利用されてきた特徴量より優れていること、一方で獲得された特徴量を分析すると必ずしもユーザごとの違いを吸収した特徴量とはならないことなどが確認された。

第2に、プライバシーへの配慮を目的に、ユーザ独立な表現を獲得するための手法の提案を行う。ユーザ独立な表現とは、形式的には表現 $R$ がユーザ変数 $U$ と独立であることを意味しており、具体的にはユーザの違いに影響されないような特徴量を獲得することと対応する。ユーザ独立性は第1の研究で取り扱ったユーザに関する汎用性を高めるために重要となることに加えて、センサにより含まれるユーザあるいはその背後にある属性情報を極力取得しないようにするという意味でプライバシー問題に対して重要である。提案手法は、学習時に表現 $R$ からユーザ $U$ を分類しようとするような敵対的ユーザ分類器

を考慮した学習を行うことで、表現 $R$ が持つ認識したい行動に関する情報を最大化しながらユーザに関する情報を最小化するようにディープネットを拡張するものである。3つの行動分類タスクにおいて提案手法と通常のディープネットの認識精度およびにユーザ独立性の比較を行い、提案手法によりユーザの独立性が高くプライバシーに配慮した表現が獲得できることを定量的・定性的双方の観点から確認した。

第3に、行動認識精度を高めるための工夫としてディープネットのユーザ適応手法の提案を行う。ユーザ適応とは、研究1や研究2で取り扱ったようにユーザ汎用なモデルを構築することで学習データが少ないユーザに対する認識精度を高めることを目指す代わりに、ユーザごとに得られる少数のデータを利用して学習済みモデルをうまく修正することでシステム全体として多くのユーザに対する認識精度を高めることを目指す技術である。このユーザ適応は従来の特徴設計を利用した手法の枠組みの中で有効性が広く認識されているものの、ユーザ適応する対象をディープネットのように大量のパラメータを持つモデルとする場合には、大量のパラメータを限られたデータでどう適切に修正するかが問題となる。提案手法である半教師あり蒸留とは、学習済みモデルから得られる情報とラベル無しデータを有効活用することで効率的なユーザ適応を行う手法である。既存の8つのユーザ適応手法と提案手法を認識精度の観点で比較し、提案手法はラベル無しデータを活用することで過学習を抑制しながら適切なユーザ適応が行えること、ラベルが全く無いユーザに対しても認識精度の改善が見込めること、また既存の手法との組み合わせにより更なる認識精度の改善が見込めることなどを確認した。

以上を通じ、本研究ではプライバシーへの配慮及びにデータの少数なユーザに対する認識精度というウェアラブルセンサを利用した行動認識に対して表現学習を適切に利用する上での主要な2つの論点を考慮した表現学習技術について論じる。結果として、ディープネットによる表現により認識精度が従来法と比べて高まること、提案手法により望まない情報を取得する可能性を低減するという意味でプライバシーに配慮するように表現学習を拡張できること、また学習データが少ないユーザの行動を認識する必要がある場合でも他ユーザで学習された表現を修正するユーザ適応技術によって、従来手法と比較して高い認識精度が達成できることを確認した。このように、本論文はウェアラブルセンサによる行動認識に対して深層学習が適用できることを示したものであり、ウェアラブルセンサというパーソナルなデータから実世界の人間行動を認識することを基礎としたヘルスケア等のシステム発展に貢献するものである。