



Title	A Study on Home Activity Recognition Using Low Granularity Power Consumption Data
Author(s)	田中, 福治
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101765
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (田中 福治)	
論文題名	A Study on Home Activity Recognition Using Low Granularity Power Consumption Data (低粒度な消費電力データからの家庭内行動認識に関する研究)
<p>論文内容の要旨</p> <p>家庭内行動認識は、エネルギー効率の向上、健康管理、見守り、および電力消費の予測など、多様な応用に寄与する技術として注目を集めている。</p> <p>そこで近年、家庭内の電気やガスの使用量をモニタリングし、家電機器を自動制御するシステムであるHEMS (Home Energy Management System) が普及しつつある。</p> <p>HEMSを活用した行動認識は既存の電源に接続された機器を利用するため、設置および保守のコスト面で、環境センサを使用する方法よりも優位性を持ち、カメラやマイクのようにプライバシーを侵害する恐れのある機器を必要としないという利点を持つ。</p> <p>しかし、HEMSの消費電力データを用いた行動認識には、いくつかの課題がある。第一に、現在普及しているHEMSは低い時間分解能 (30分単位) のデータ出力に限られており、既存研究で用いられる高分解能データに比べ、詳細な特徴抽出が難しい。そのため、30分単位のデータで認識可能な行動と特徴を明らかにする必要がある。また、家庭内行動認識はプライバシーの関係で正解データの収集が困難であり、多くの研究が実験環境でのデータを使用しているため、実家庭での評価が課題となる。さらに、電気平面図はHEMSが計測する分岐ごとの空間的關係を把握するために重要であり、人間の行動に伴う部屋間移動を捉えることで行動認識精度の向上が期待されるが、多数の情報が記載されることによる情報の重畳が問題となっている。</p> <p>本論文では、HEMSの消費電力データを活用した家庭内行動認識の課題を克服するアプローチを提案する。</p> <p>まず、HEMSから取得される消費電力データを用いた行動認識手法を提案する。本手法は、HEMSデータが分岐ごとに集約され、各分岐に測定場所および測定対象を示すラベルが付与されている特性を活用する。予測に先立ち、分岐名称から各行動に最も関連のある分岐を特定する。分岐における特定の家電のオン/オフによって推定可能な洗濯などの行動については、その分岐の消費電力変動を監視し、規則ベースによる推定を行う。それ以外の行動については機械学習による推定を行う。さらに、構築したモデルに対して転移学習を適用し、家庭ごとの差異に対応する。</p> <p>次に、提案した行動認識手法を、5世帯から1か月間収集した実データに基づいて評価する。その結果、調理、洗濯、皿洗いに対するF値は1タイムスロットの誤差を許容した場合でそれぞれ0.823, 0.809, 0.941を達成した。また、家庭単位の起床と就寝、部屋単位の起床と就寝、および入浴に対するF値は最適な学習アルゴリズムを選択し1タイムスロットの誤差を許容した場合に、それぞれ0.757, 0.645, 0.403, 0.369, 0.659を達成した。さらに、転移学習を適用することで各行動の認識精度が向上し、家庭単位の起床で0.031, 家庭単位の就寝で0.229, 部屋単位の起床で0.369, 部屋単位の就寝で0.461, 入浴で0.256のF値向上を確認した。</p> <p>最後に、ノイズや情報の重畳に堅牢に電気平面図から情報を抽出する手法を提案する。提案手法は、視覚的特徴に基づく情報を検出するだけでなく、信頼性の高い情報を基に欠落データを推測・補完することで、ノイズや情報不足の影響を軽減し、抽出精度を向上させる。提案手法は、電気平面図から構造情報として部屋領域、ドア、窓、壁、部屋の接続関係を、意味情報として部屋名を、電気設備情報としてコンセント位置を抽出する。企業の協力により収集した544枚の電平面図を用いた実験において、提案手法は最先端手法と比較してノイズに対する耐性が高いことを示した。また、部屋の隣接構造および部屋名に基づき分岐別消費電力データをマッピングした結果、行動が行われた部屋のみ消費電力データを用いる場合と比較して、家庭単位の就寝、部屋単位の就寝、および入浴に対するF値がそれぞれ0.029, 0.020, 0.019向上することを確認した。</p> <p>以上の貢献を通じて、HEMS消費電力データを用いた家庭内行動認識のためのフレームワークを提案した。本フレームワークは、起床、就寝、入浴、調理、洗濯、皿洗いなどの行動を非侵入型かつ低コストで認識可能とする。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (田 中 福 治)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	山口 弘純
	副 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	下西 英之

論文審査の結果の要旨

本研究は、家庭内における行動認識技術を研究開発し、電力消費データに基づく行動認識の有効性を示すものである。日本国内で普及が進むホームエネルギー管理システム（HEMS）の低時間分解能データを活用し、プライバシーを保護しながら家庭内行動を推定できる非侵襲的な方法を提案している。本研究では、高齢者の見守り、エネルギー管理の最適化、家庭内での安全管理など、幅広い応用可能性を念頭に置き、実際の家庭環境で得られたデータに基づき高精度な認識を実現することを目指している。

第一の成果は、HEMSの分岐回路ごとに集計された低時間分解能（30分間隔）の電力データを活用した行動認識手法の開発である。本手法は、家庭内の各分岐に割り当てられた名称情報を活用し、特定の家電や部屋に関連する行動を自動的に認識する仕組みを構築した。家電のON/OFF動作に基づき認識が容易な行動（洗濯、調理など）についてはルールベースの検出を適用し、複雑な活動や連続的な動作が伴う行動（入浴、身支度など）には機械学習モデルによる予測アルゴリズムを導入している。また、家庭ごとに異なる電力消費パターンを考慮するために転移学習の手法を導入し、認識精度向上を図っている。その結果、起床、就寝、入浴など複数の重要な日常行動で高い認識精度を実現している。

第二の成果は、実家庭で収集した行動真値を用いた認識手法の精度評価である。5家庭に1か月間センサを設置し、詳細な活動データを収集することで、多様な家庭環境に対応可能な認識モデルの有効性を実証した。調理、洗濯、食器洗いなど、家事に関する行動の認識において高い精度が確認されており、転移学習による家庭レベルや部屋レベルでの起床や就寝の認識精度が向上した。

第三の成果は、家の設計段階で作成される電気設備平面図を解析し、各部屋や回路間の空間的な関係を考慮した行動認識手法の開発である。具体的には、家屋内の各部屋の構造、壁の配置、電気回路の接続状況などの情報をもとに、電力データと空間情報を統合して解析することで、電力消費パターンから隣接する部屋間の活動の関連性を捉える方法を提案している。特に、廊下や共用スペースなどの移動が多いエリアのデータを効果的に活用することで、就寝、入浴などの重要な行動の認識精度が高まることが示された。また、ノイズや欠損データに対しても高い頑健性を示し、一般的な家庭環境においても安定した認識性能を実現している。

本研究は、HEMSの低分解能電力データを最大限に活用し、転移学習と電気設備平面図解析を組み合わせた新しい活動認識手法を確立している。これにより、プライバシーを保護しつつ、家庭内の日常活動の効率的な認識とエネルギー管理が実現されるだけでなく、介護支援や高齢者の見守り、さらには安全管理といったさまざまな分野への応用が期待される。本手法は、特に今後の家庭用エネルギー管理システムにおいて、エネルギー効率を向上させると同時に、高齢化社会における持続可能な支援技術の一端を担う可能性が示されており、重要な貢献をもたらすものである。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。