

介護における音響 HAR と連合学習を用いた異常検知

竹本志恩

June 5, 2025

INIAD

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

- 発表論文の概要

- タイトル: A Survey on Federated Learning in Human Sensing [?, ?]
- 著者: Mohan Li, Martin Gjoreski, Pietro Barbiero, Gašper Slapničar, Mitja Luštrek, Nicholas D. Lane, Marc Langheinrich [?]
- 出典: ACM, 2025 年 1 月公開 [?, ?]
- 内容: **Human Sensing** 分野における **Federated Learning (FL)** の応用に関する包括的サーベイ [?, ?]。現状、課題、分類、今後の研究方向を提示 [?, ?]。

はじめに

- Human Sensing と ML におけるプライバシー課題
 - Human Sensing は、センサー技術の発展とウェアラブルデバイスの普及により進化 [?]
 - 人間の活動、生理心理状態、環境との相互作用を監視し、生活の質向上に貢献 [?, ?]
 - しかし、その基盤となる詳細かつプライバシーに敏感なデータは、法的な規制や倫理的な懸念を引き起こす [?, ?]
- FL がこの課題をどう解決するか
 - FL は、生データを中央サーバーに送らずに正確な ML モデルを構築できる [?]
 - これにより、多くのプライバシー懸念を緩和する可能性を持つ [?, ?]

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

本サーベイの貢献

- Human Sensing における FL に特化した包括的サーベイ
 - 既存の FL サーベイは IoT や医療 (IoMT)、推薦システムなどに焦点を当てている [?, ?]。
 - 本サーベイは Human Sensing に特化している点が特徴 [?]
- FL の応用評価のための 8 次元フレームワークを提案 [?, ?]
 - プライバシーとセキュリティ、通信コスト、システム異質性、統計的異質性、ラベルなしデータ使用、Simplified Setup (簡略化された望ましくない設定)、サーバー最適化 FL、クライアント最適化 FL [?, ?]。
- 応用指向の分類 (6 つのドメイン) を提示 [?, ?]
 - Audio and Speech Processing, Well-being, User Identification, Human Mobility and Localization, Activity Recognition (HAR), Interface Development [?, ?]。

主要な応用ドメイン

- 本サーベイが特定した 6 つの主要な応用ドメイン [?, ?]
- **Activity Recognition (HAR)** が最も研究が多い分野
 - サーベイ対象論文の 31.6% を占める [?]
 - Well-being (21.4%)、User Identification (15.3%)、Human Mobility and Localization (14.9)
 - Interface Development は最も少ない (3.3%) [?, ?]
- このことから、**HAR** 分野は **FL** の主要な応用先として注目されていることがわかる [?]

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

Human Activity Recognition (HAR) とは

- HAR の定義と重要性
 - センサー読み取り値から人間の活動タイプを認識する問題 [?].
 - ヘルスケア、スマートホーム、リハビリテーション、転倒検知など、幅広い分野で重要な役割を果たす [?, ?].
- 主要なセンサータイプ
 - ウェアラブルセンサー: スマートウォッチ、スマートフォン、リストバンドなど (加速度計、ジャイロスコープなど) [?]. 小型、低コスト、柔軟な装着が可能 [?].
 - 環境センサー: 環境に設置されたセンサー (ドアスイッチ、圧力センサー、マイクなど) [?]. ユーザーにとって負担が少ない [?].
 - カメラベースシステム: ビデオや画像を使用 [?]. 直接的で正確な情報を提供できる [?].
- 従来の HAR における課題
 - プライバシー懸念: 特にカメラベースシステムや中央集権的なデータ収集

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

HAR における FL の導入

- FL による課題解決の方向性 [?, ?]
 - プライバシー保護: ユーザーの生データはローカルデバイスに保持し、モデルの更新情報のみを共有する [?, ?]。
 - 通信コスト削減: 生データと比較してモデル更新情報のサイズが小さい場合 [?, ?]。
 - 分散型学習: 大量のデータを収集・転送・保存する必要がない [?]
- HAR における FL 研究の活発化
 - サーベイ論文でも多くの研究が HAR 分野に集中している [?]
 - 現実世界の複雑な課題（データ異質性、システム異質性など）への対応が検討されている [?]

HAR-FL 想定シナリオ：介護施設での見守りシステム

- 目的：高齢者の異常行動を早期に検知し、介護者に通知 [?].
 - 特に、転倒、異様な咳き込み、苦痛の声など、緊急性の高いイベントの検知 [?, ?].
- 背景：高齢化社会における介護人材不足の深刻化 [?]. 安価で効果的な見守りシステムの需要 [?].
- 使用技術
 - 音による HAR: 各部屋の IoT デバイスで環境音を収集し、音響イベントを検出 [?].
 - 行動認識: 音響イベントやその時系列から利用者の行動（転倒、呼吸困難など）を判断 [?].
 - Federated Learning (FL): 各部屋の IoT デバイスをクライアントとし、モデルを学習・更新 [?].
- FL 導入の利点 [?]
 - プライバシー保護: 利用者の環境音（生データ）は部屋から出さない [?].

想定される課題と検討事項（シナリオより）

- 緊急性の高いイベントデータの収集とアノテーション:
 - これらのデータは稀であるため、収集・準備が課題 [?, ?]。
 - オープンデータ（SAFE, DESED, AudioSet など）の活用や合成データ生成などの検討 [?, ?]。
- データ異質性 (Non-IID):
 - 部屋ごと、利用者ごとに発生する音響イベントの種類や頻度、音響特性が異なる [?]
 - クライアントごとのデータ分布のばらつきに対応が必要 [?]
- クライアントの異質性:
 - IoT デバイスの計算能力、メモリ、接続性などが異なる [?, ?]。
 - 軽量なモデルや連合分割学習 (FSL) などが有効 [?]
- リアルタイム性能:
 - 異常検知には即時性が求められる [?]。FL の学習・推論プロセス全体のレイテンシ検討。

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

HAR-FL における主要な課題と FL の対応

- データ異質性 (Non-IID) [?, ?]
 - 課題: クライアント間で活動タイプやセンサーデータ (信号分布) に大きな偏りがある [?, ?, ?]。従来の FedAvg では性能が劣化しやすい [?, ?]。
 - FL による対応例: パーソナル化 FL (pFL) [?] (Meta-HAR [?], FedDL [?]), クラスタリング [?], 知識蒸留 [?]
- 限られたラベルデータ/ラベルなしデータ [?, ?]
 - 課題: ラベル付けのコストや希少なイベントのため、十分なラベル付きデータがない [?, ?]。
 - FL による対応例: 半教師あり学習 [?, ?], 教師なし学習 [?], 自己教師あり学習 [?]
- 通信コスト [?, ?]
 - 課題: エッジデバイスの帯域幅やバッテリーの制約 [?, ?]。
 - FL による対応例: 動的レイヤー共有 (FedDL) [?, ?], モデル圧縮・量子化 [?]

HAR-FL における主要な課題と FL の対応 (続き)

- プライバシー/セキュリティ [?, ?]
 - 課題: FL でも勾配からの情報漏洩やポイズニング攻撃などのリスク [?, ?]。
 - FL による対応例: 差分プライバシー (DP) [?, ?]、セキュアアグリゲーション [?, ?]、クライアントフィルタリング [?], 連合分割学習 (FSL) [?]
- システム異質性 [?, ?]
 - 課題: クライアントデバイスの計算能力、メモリ、接続性などが異なる [?, ?]。
 - FL による対応例: リソースアウェアなクライアント選択や学習手法 [?, ?]。

はじめに

本サーベイの貢献と主要ドメイン

Human Activity Recognition (HAR) とは

HAR における FL の導入と想定シナリオ

HAR-FL の主要課題と FL の対応（サーベイより）

まとめ

まとめ

- Human Sensing は、ML の活用により大きく進展する一方、データプライバシーという重要な課題を抱えている [?, ?]。
- Federated Learning は、データをローカルに保持したまま学習を進めることで、このプライバシー課題に対する有望な解決策を提供する [?, ?]。
- Human Activity Recognition (HAR) 分野は、FL の応用が最も活発に行われている分野の一つ [?]
- 介護施設での見守りシステムのような具体的なシナリオにおいて、HAR-FL はプライバシーを保護しつつ、利用者一人ひとりに合わせた高精度な異常検知を実現する可能性を秘めている [?, ?]。
- 今後の研究は、より現実的な条件下での性能評価、多様なモダリティの統合、そしてプライバシー保護技術のさらなる発展に焦点を当てることで、HAR-FL の社会実装を加速させることが期待される [?]