

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。

- Human Sensing とは
 - 人の活動、生理/心理状態などを監視し、生活の質向上に貢献
 - 以下で進展:
 - センサ技術の発展
 - ウェアラブルデバイスの普及
 - 用いるデータはプライバシーで、法や倫理的な懸念が存在
- プライバシの観点で、FL の応用が考えられる

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

本サーベイの貢献

- Human Sensing における FL の包括的サーベイ
 - 既存の FL サーベイは IoT や医療 (IoMT)、推薦システムに焦点
 - 本サーベイは Human Sensing に特化
- 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、簡略化された実験設定
 - サーバ | クライアント最適化 FL
- 応用指向の分類を提示

主要な応用ドメイン

- Human Sensing における FL を 6 つに分類
- **Activity Recognition (HAR)** が最多の分野
 - サーベイ対象論文の 31.6%
 - Well-being (21.4%)、User Identification (15.3%)...
 - Interface Development は最少 (3.3%)
- HAR は注目される応用先

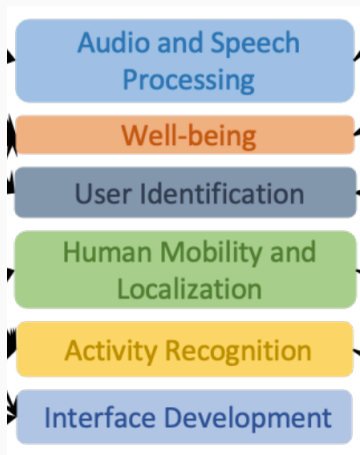


Fig.5

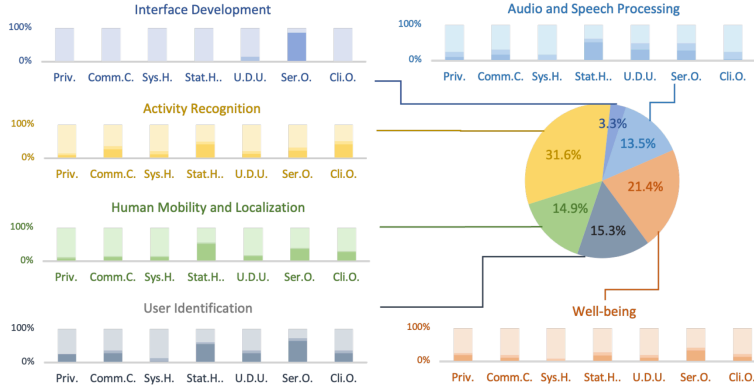


Fig. 5. A summary pie chart. For each section, a histogram illustrates the percentage of studies that covered a specific FL characteristic. Dark color represents Consideration, moderate color represents Not Applicable, and light color represents No Consideration. **Priv.:** Privacy (and Security). **Comm.C.:** Communication Cost. **Sys.H.:** System Heterogeneity. **Stat.H.:** Statistical Heterogeneity. **U.D.U.:** Unlabeled Data Usage. **Ser.O.:** Server-optimized Federated Learning. **Cli.O.:** Client-optimized Federated Learning.

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 の定義と応用
 - センサの値から人の活動を認識する問題
 - 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
- 主要なセンサ
 - ウェアラブルセンサ
 - スマートウォッチ、スマートフォン、リストバンド
 - 加速度、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
 - マイク、圧力センサなど
 - ユーザの負担が少ない
 - カメラ系: ビデオや画像、直接的で正確な情報を提供

Human Activity Recognition (HAR) とは

- HAR の課題
 - プライバシー懸念
 - カメラの情報量の多さ
 - 中央集権的なデータ
 - 通信コスト: 大量のデータで負担
 - 限られたデータセット: プライバシー懸念から大規模な実世界データセットが少ない

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: モデルの更新情報のみを共有
 - 通信コスト削減: モデル更新情報が生データより小さければ可能
 - 分散型学習: 一箇所に収集・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が集中
 - 現実世界の複雑な課題 (Non-IID など) の対応が検討

HAR-FL 想定シナリオ：介護施設での見守りシステム

- 目的

- 異常を早期に検知し、介護者に通知
- 緊急性の高いイベントを検知
- 特に、転倒、異様な咳き込み、苦痛の声など

- 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

HAR-FL 想定シナリオ：介護施設での見守りシステム

- 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
 - 音響イベントを検出
 - 行動認識
 - 利用者の行動（転倒、呼吸困難など）を判断
 - 音響イベントや、時系列などの傾向が材料
 - Federated Learning (FL)
 - 各部屋の IoT デバイスがクライアント

HAR-FL 想定シナリオ：介護施設での見守りシステム

- FL 導入の利点
 - プライバシー保護
 - 生データを部屋内で処理
 - 漏洩リスクを低減
 - パーソナル化
 - 各部屋の環境や利用者の生活パターンに合わせた
 - モデルを学習し、精度向上。

想定される課題と検討

- 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、収集・準備に課題。
 - 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。

想定される課題と検討事項

- リアルタイム性能:
 - 異常検知には即時性が大切
 - FL の学習・推論プロセス全体のレイテンシ検討
- モデルの汎化:
 - 特定の環境で学習したモデルが、別の部屋や新規利用者に適用できるか
 - メタ学習や表現学習を用いたアプローチが有望

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aware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

- Human Sensing はデータプライバシーが課題
- Federated Learning は解決策として有望
- Human Activity Recognition (HAR) 分野は、FL の応用が活発

- 介護施設での見守りシステムのシナリオで HAR-FL は
 - プライバシーを保護しつつ
 - 利用者個人に合わせた高精度な異常検知の可能性
- 展望
 - 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
 - プライバシ保護技術の発展
 - HAR-FL の社会実装を加速させることが期待される。