

(53) 加速度センサと機械学習を用いた建設作業員の行動分類システムに関する基礎的検討

田中 陸人¹・矢吹 信喜²・福田 知弘³

¹学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: rikuto.tanaka@it.see.eng.osaka-u.ac.jp

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
E-mail: fukuda@see.eng.osaka-u.ac.jp

近年、建設作業現場における労働生産性と安全性の向上のための改善活動に利用可能なデータ収集を目的として、情報通信機器を利用した現場のモニタリングシステムが数多く提案されている。本研究では、作業員の行動データの常時取得を目的として、無線加速度センサと機械学習を用いた簡易的な行動分類システムを開発し、検証実験によって開発したシステムの行動の分類精度を評価した。検証実験の結果、本研究で開発したシステムは、予め行動データを収集しておき、分類モデル生成時の訓練データに使用した人物の動作の分類には高い分類精度を発揮するが、動作の個人間差への汎化性能に関しては改善の余地があることを確認した。

Key Words: construction site, wireless accelerometer, machine learning, activity classification

1. はじめに

近年、建設作業現場における労働生産性の向上や就業中事故の予防等の改善活動に必要となる作業員のデータ収集を目的として、カメラやセンサ等の情報通信機器を用いたシステムの開発が進められている。

カメラを用いた作業員のモニタリング手法として、深層学習を用いた画像からの物体検出技術を応用して、撮影された映像データから作業員の位置や動きを自動で検出し、現場の施工管理や安全管理への利用方法の検討がなされている^{1,2)}。しかしながら、実際の現場では施工の進捗によって出来形や資機材の配置場所等が変化するため、定点カメラの死角となる範囲に作業員が入ってしまった場合に、作業員の映像データを取得できなくなり、作業員の行動データの常時収集は困難となる。また、定点カメラを用いて人物特定を行う場合には、撮影対象となる作業員とカメラの設置位置との距離が、人物特定の精度に影響するという制約が生じる。

そこで、草柳ら³⁾はカメラの代替として、加速度センサと ZigBee 無線通信による屋内位置測位を利用し、移動する作業員の行動状態を常時収集するシステムを構築し

た。しかしながら、加速度センサで取得したデータから作業員の行動を分類する際に、ルールベースでの閾値モデルを使用しているため、作業員が作業中か休止中かの分類は比較的高い精度で行えているのに対し、資機材の運搬中か作業員自身の移動かの分類については十分に行えていない。また、分類精度の課題に加え、ルールベースでの行動分類時には、現場での作業内容が変更となった場合、行動認識やセンシングデータの利用に精通した専門家が行動分類の判定ルールを変更する必要があるため、人的コストの増大につながる。

また、Akhavian ら⁴⁾は、スマートフォンに内蔵された加速度センサとジャイロセンサを用いて、機械学習を応用した作業員の行動分類システムを提案した。しかし、特定の条件下における詳細な作業（どの道具を使用しているか等）の分類となっており、生産性・安全性という大局的な観点からの行動区分の設定がなされていない。

そこで本研究では、建設現場の生産性・安全性の改善活動に必要となる作業員の行動データの常時収集を目的として、無線加速度センサと機械学習を用いた行動分類システムを開発し、検証実験を行うことにより開発したシステムの行動分類精度を評価する。

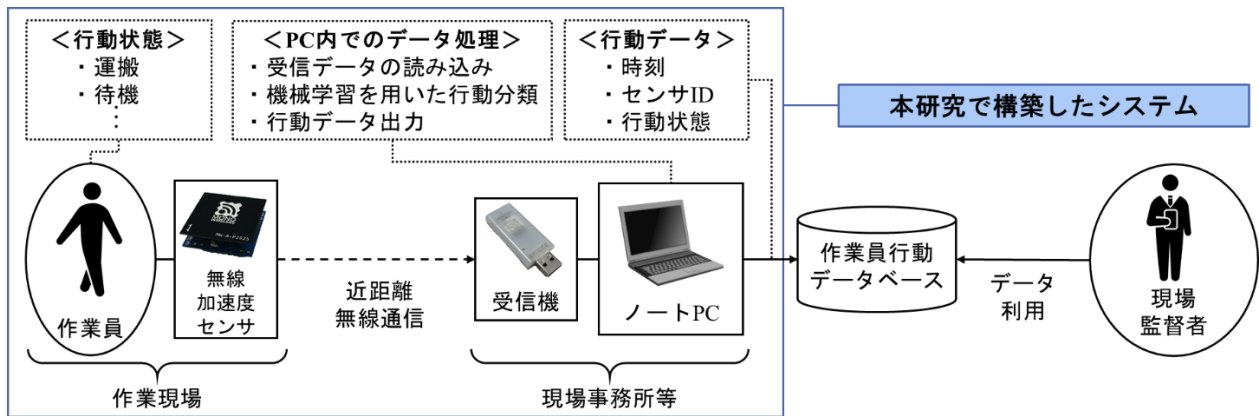


図-1 提案システムの概要

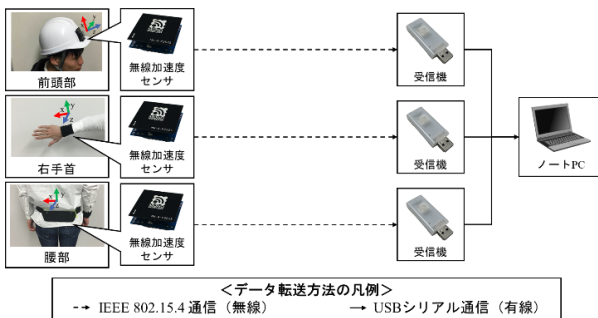


図-2 無線加速度センサからのデータ取得

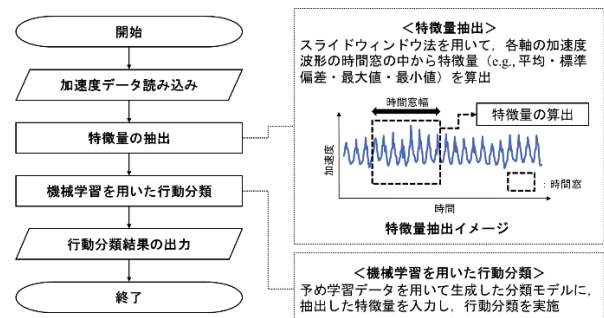


図-3 ノート PC 内での加速度データ処理

2. 提案システム

(1) システムの概要

本研究で提案する作業員の行動データ分類システム（以下、本システム）の概要を図-1に示す。本システムは、作業員の身体に装着した無線加速度センサからの情報をノートPC内のフォルダに保存し、保存された加速度データをノートPC内で一括処理し、作業員の行動データとして外部のデータベース等に出力する。

以下では、本システムにおける無線加速度センサによるデータ取得の方法とノートPC内での加速度データ処理の流れについて説明する。

(2) 無線加速度センサによる加速度データの取得

本システムにおける無線加速度センサによるデータ取得の流れを図-2に示す。センサの装着場所には、作業員の動作に支障がないように頭部、手首、腰部の3カ所を選定し、ヘルメットやリストバンド、ウェストポーチを使用して各部位に装着する。無線加速度センサには、小型で且つ無線通信が可能なMONOWIRELESS社のTWELITE 2525A⁵⁾を使用した。加速度センサでは25 Hzで3軸加速度のサンプリングが行われ、10サンプル取得する毎に、無線通信によりノートPCへデータがまとめて送信される。無線通信には国際標準規格IEEE802.15.4

に準拠した通信方式を採用しており、無線通信の中継器を導入することにより、現場の規模や障害物の配置に応じて、センサネットワークの形態を変更することが可能である。受信機で受信した加速度データは、USBシリアル通信を介して、ノートPC内のフォルダに保存される。

(3) ノートPC内での加速度データ処理

ノートPC内において加速度データを処理し、行動分類結果を出力するまでの流れを図-3に示す。本システムでは、サンプリングにより取得した加速度の波形データそのものを分類モデルに入力するのではなく、スライドウィンドウ法⁹⁾を用いた特徴量抽出を行った後に、予め作成しておいた分類モデルに入力する。この際に設定する必要のある主なパラメータは以下の4項目となる。

- ・ 時間窓幅 (Window Size)
- ・ 特徴量 (Feature)
- ・ 分類モデル (Classifier)
- ・ 分類モデル生成時の訓練データ (Training Data)

上記、4項目のパラメータについては、分類対象となる作業内容に応じて変更する必要があるため、行動分類の精度に大きく影響するため、適切に設定を行わなければならない。また、出力された行動データは、時刻・センサIDと合わせて、ノートPC内の予め指定しておいたフォルダに保存される。

表-1 検証実験で実験協力者に依頼した行動内容

大区分	中区分	行動区分	各行動の詳細
生産性	作業遅延動作	立位	立った状態で静止している状態
		椅座位	椅子に座って静止している状態
	補助支援動作	端末操作	立った状態でタブレット端末を操作している状態
		歩行	作業員自身が歩いて移動する動作
		運搬（手）	両手で荷物を腰の前に抱えて移動する動作（両手抱え型運搬動作）
		運搬（肩）	右手で肩の上に荷物を載せて移動する動作（肩担ぎ型運搬動作）
安全性	不安全行動	飛び降り	高さ50 cmから床へ飛び降りる動作
	ヒヤリ・ハット	よろめき	歩行時に足元のロープに足を取られバランスを崩した後に立て直す動作
		転倒	歩行時に足元のロープに足を取られ前方に転倒する動作

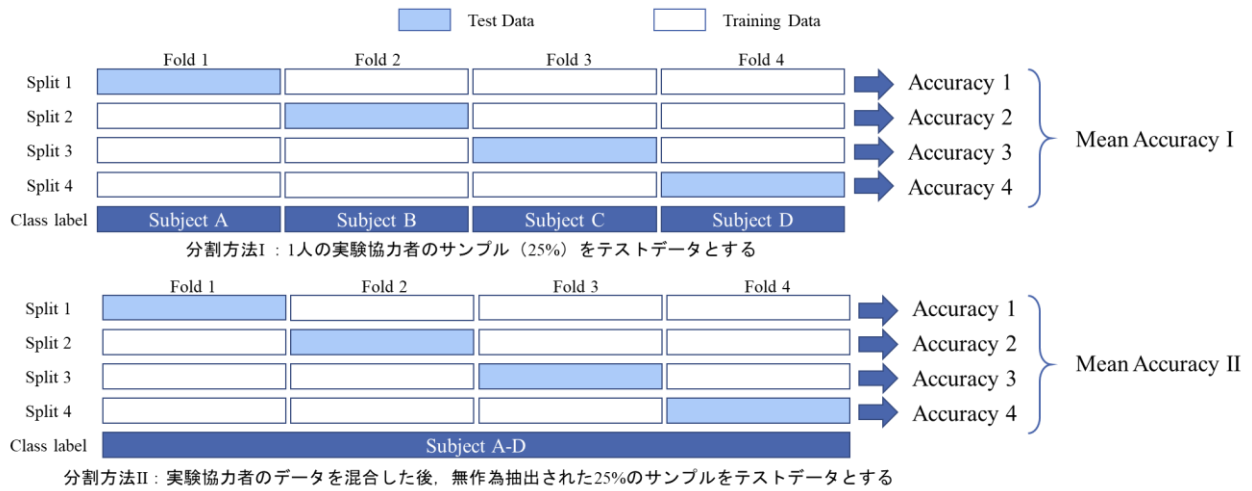


図-4 個人間差への頑健性のための層化K-分割交差検証方法（K=4）

表-2 2クラス分類時の混同行列

		予測により分類されたクラス	
		Positive	Negative
実際のクラス	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

$$\text{正解率 (Accuracy)} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (1)$$

3. 検証実験

(1) 実験方法

本システムによる行動分類の精度評価を目的として、屋内実験場所（大阪大学工学部 M3 棟 410 号室）において検証実験を実施した。表-1 に示す生産性と安全性に関する9種類の行動³⁾⁷⁸⁾をそれぞれ5回ずつ4名（実験協力者 A～D）の20代健康成人男性に行ってもらい行動時の加速度データ（計180セットのデータ）を収集した。この際、無線加速度センサのサンプリング周波数は25 Hz に設定し、時間窓幅は2.56 秒（単位時間窓あたり64 サンプルの加速度値）とした。また、時間窓内の加速度データから抽出を行う特徴量には3カ所のセンサで取得した3軸の加速度値から4種類の統計量（最大値、最小値、平均値、標準偏差）を算出した合計36次元の値を使用した。さらには本システムの個人間差への頑健性を評価するために、図-4 に示す層化 K-分割交差検証時のテストデータ（Test Data）と訓練データ（Training Data）の分割方法を2種類用意した。分割方法 I は、実験協力者を基

準にテストデータと訓練データを分ける方法、分割方法 II は、どの実験協力者の行動データかを考慮せずに、テストデータと訓練データを分割する方法とした。データの分割後、交差検証内の各ホールドアウト検証で表-2 と式(1)に示す正解率（Accuracy）を求め、それらの平均（Mean Accuracy）を2つの分割方法 I と II でそれぞれ算出し、比較することによって、本システムの個人間差への頑健性を評価した。分類モデルには、表-3 に示す4種類の教師あり分類モデルを使用し、各モデルでの正解率を算出することによって、総合的に分類精度を評価した。

表-3 検証実験で使した分類モデル

分類モデル	略記法
Support Vector Machine	SVM
Random Forest	RF
k-Nearest Neighbor Algorithm	k-NN
Multi-Layer Perceptron	MLP

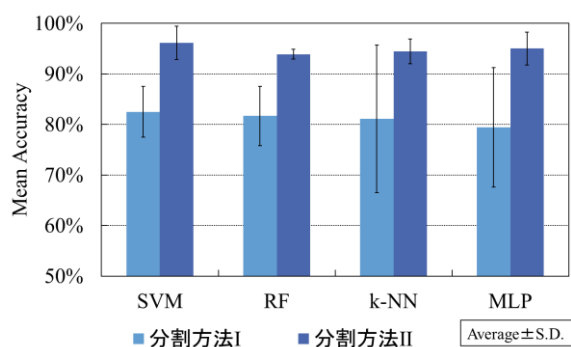


図-5 交差検証を用いた精度検証結果

(2) 結果と考察

実験時に取得したデータを用いて交差検証時の正解率により評価を行った結果を図-5に示す。エラーバーは交差検証の中で行われる各ホールドアウト検証で算出した正解率（Accuracy 1-4）の標準偏差を示している。

分類モデルを比較項目とした場合、各モデルの正解率の標準偏差から各ホールドアウト検証時の正解率の多少のばらつきがあるものの、平均正解率には大きな差は見られない。

一方、分割方法を比較項目とした場合、全ての分類モデルにおいて、分割方法Ⅱが分割方法Ⅰと比べて、平均正解率が高いうえに、各ホールドアウト検証時の正解率の標準偏差が小さいことが確認できる。この結果から、本システムの分類精度は、分類モデル生成時の訓練データに使用した人物の動作に大きく影響され、個人間差への汎化性能（訓練データに含まれていない人物の行動を分類する精度）には改善の余地があることが確認できる。

しかしながら、今回の実験における実験協力者の数は4人であり、行動データのサンプルの多様性が十分に確保されなかったことも考慮する必要があり、今後の分類精度向上には、データ処理時のパラメータの見直しと訓練データの多様性確保の両方からアプローチをする必要がある。

4. まとめ

本研究では、作業員の行動データ収集を目的として無線加速度センサと機械学習を用いた行動分類システムを開発し、本システムの個人間差への頑健性を交差検証によって評価した。検証の結果、本システムは分類モデル生成時の訓練データに使用した人物の行動に過剰適合する傾向にあり、動作の個人間差への汎化性能に改善の余地があることを確認した。

今後の課題としては、汎化性能向上のためのデータ処理時のパラメータ見直しと訓練データの多様性確保、システムの建設作業中の現場への適用、他のセンシングデータと連携した作業員の行動データ収集システム提案が挙げられる。

参考文献

- 1) Luo, H., Xiong, C., Fang, W., Love, P.E.D., Zhang, B. and Ouyang, X.: Convolutional neural networks: Computer vision-based workforce activity assessment in construction, *Automation in Construction*, Vol.94, pp.282-289, 2018.
- 2) Fang, W., Ding, L., Luo, H. and Love, P.E.D.: Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection, *Automation in Construction*, Vol.91, pp.53-61, 2018.
- 3) 草柳俊二, 五艘隆志: 建設現場における先端情報技術を活用した生産性管理データ収集・分析システムの構築に関する研究, (財)港湾空港建設技術サービスセンター研究開発助成事業報告書, 2010年4月。
- 4) Akhavian, R. and Behzadan, A.H.: Smartphone-based construction workers' activity recognition and classification, *Automation in Construction*, Vol.71, pp.198-209, 2016.
- 5) MONOWIRELESS 株式会社: 加速度センサ無線タグ TWELITE 2525A データシート, 2018年6月22日, <<https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-Lite-2525A/MW-PDS-TWELITE2525A-JP.pdf>>, (入手 2018.11.15)。
- 6) Bao, L. and Intille, S.S.: Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, *Pervasive Computing*, pp.1-17, 2004.
- 7) 厚生労働省: 「安全衛生キーワード」, <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo90_1.html>, (入手 2019.1.8)。
- 8) 厚生労働省: 「平成 29 年労働災害発生状況の分析等」, <<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11302000-Roudoukijunkyokuanzeniseibu-Anzenka/0000209163.pdf>>, (入手 2019.2.3)。