

加速度を用いた建設現場作業の自動判別プログラムの枠組み構築と実証実験

東京都市大学大学院 学生会員 ○大澤 徹郎
東京都市大学 正会員 五艘 隆志

1. はじめに

建設現場において、適切なコスト管理、投入労働量及びその稼働状況の把握を実現することで、生産性向上活動の基盤が構築できる。Behnam¹⁾によると建設作業の自動判別手法として「運動による認識」「音による認識」「映像による認識」の3種類が挙げられている。映像による作業判別は背景の違いや光量の違いによって精度に影響があることから、安定した分類ができにくい欠点がある。一方で加速度を用いた作業判別は安定的な分類が可能である。既往研究では、加速度センサと位置情報を用いた、建設現場における生産性区分が提案された。²⁾ 本研究では表-1 に示した生産性区分に対応した加速度を用いた汎用的な分類システムの構築を目的とする。

表-1 生産性分析区分と作業構成要素区

生産性区分	作業構成要素区分
① 直接生産動作 (Direct Work)	① 直接生産動作 (Direct Work)
② 補助支援動作 (Support)	②-1 図面や指示の確認動作(Read Plans/Instruction) ②-2 作業員自身の移動動作(Travel) ②-3 資器材の運搬動作(Transportation) ②-4 工具/材料の移動準備動作(Tools/Materials)
③ 作業遅延動作 (Delay)	③-1 作業開始遅延/切上終了(Late Start/Early Quit) ③-2 待機(Waiting) ③-3 個人的理由での作業遅延(Personal) ③-4 定められた小休止・休憩(Break)

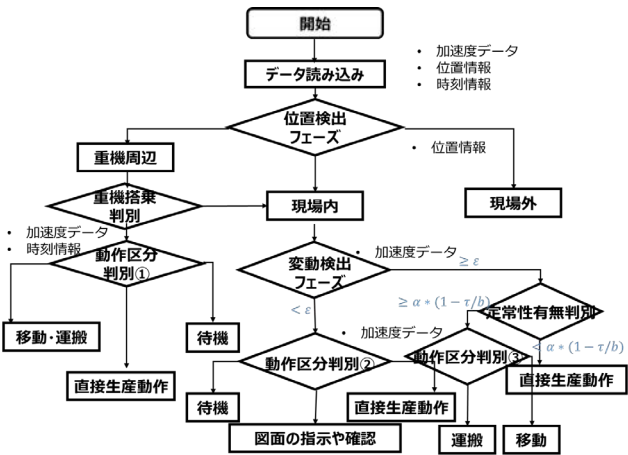


図-1 生産性区分の分類システムフロー図

2. システム概要

本研究では建設現場における多様な作業を分類することを目的としているため、全ての作業を教師データとして準備し、機械学習により分類することは現実的ではない。本研究では、定常性判定フェーズを組み込むことでより汎用性の高いシステムを構築する。図-1 に示すような作業分類システムの提案を行った。動作区分判別における分類器には少ないデータ数で高い分類精度が得られることから SVM(Support Vector Machine)を使用している。

(1) 変動検出フェーズ

変動検出フェーズは、現在時刻を $t=T$ とすると、時刻 $t=T$ から過去 10 サンプル (1 秒) のセンシングデータの移動平均 $\bar{x}(T)$ と現在のセンシングデータ $x(T)$ の差の絶対値が閾値 ϵ を超えた場合に、装着者に動きがあったと判定することとした。予備実験により本研究で使用する加速度計の適切な ϵ の値は 0.04G となった。

(2) 定常性有無判別フェーズ

「歩く」や「走る」、「階段昇降」などの動作は一定の動作の繰り返しであることから、加速度データの定常性の有無を判別することで分類できる。定常性有無判別フェーズでは、自己相関関数(ACF: Auto-Correlation Function)を用いて自己相関係数を算出し、自己相関係数のピークを検出することで判断する。本研究では自己相関係数の第 1 ピークの高さが $\alpha \cdot (1 - \frac{n}{N})$ を超える場合に定常性ありと判断する。(ただし n はウィンドウ内のデータの順番、 N は ACF を計算するウィンドウサイズで本研究では 50 サンプルとした。) 完全な周期波形のピークの高さは $1 - \frac{n}{N}$ となるため任意の係数 α をかけることで定常性の判断をする。予備実験において歩行などの動作を、 α を変化させながら定常性有無判別で精度比較したところ 0.7 で最も精度が高くなったので、本研究では 0.7 を採用した。

キーワード 生産性分析区分, 変動検出, 自己相関関数, SVM

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 E-mail : g2081604@tcu.ac.jp

表-2 静的動作判別における特徴量比較

Features	Precision[%]
mean, std, var, pitch	98.0
mean, std, var	98.0
mean, std	98.0
mean, std, pitch	98.7

3. 静的動作判別における特徴量選択

本論文では変動検出フェーズにおいて変動が検出されなかった動作を静的動作と定義する。静的動作を分類する動作区分判別②において使用する特徴量の精度比較を行った。使用した特徴量は加速度の平均値, 標準偏差, 分散, ピッチ角で表-2 においてそれぞれ mean, std, var, pitch と表している。判別動作として用いたのは「座位」, 「雑巾がけ」, 「読書」の3種類の動作で, 各動作5分間(3000 サンプル)のデータ取得を行った。

4. 定常的動作判別における特徴量選択

建設現場において定常動作が存在する可能性として歩行と運搬がある。これらを判別するための動作区分判別③において使用する特徴量についても精度比較を行った。比較に用いるデータとして研究室の掃除作業に伴う加速度データを取得した。加速度計には SRN-200(TOACK 社), サンプリング周波数 10Hz, 取得データ数は 98500 サンプル(1970 ウィンドウ)で実施した。データラベルは「1. 直接生産動作」「2. 手元動作」「3. 打合せ」「4. 待機」「5. 歩行」「6. 運搬」とした。特徴量には, FFT(Fast Fourier Transform)により算出した, ピークを検出したパワースペクトルの値とその周波数を加えた。取得したデータの内, 歩行と運搬を用いて定常動作の特徴量比較を実施した。各特徴量を3種類の組み合わせで試験を実施した。試験①(平均値, 標準偏差, ピッチ角), 試験②(平均値, 標準偏差, ピッチ角, 周波数, パワースペクトル値), 試験③(周波数, パワースペクトル値)とした。各試験の結果を表-3 に示す。

5. 構築したシステムの動作試験

以上の結果から, 図-1 に示したシステムを数値解析ソフト Matlab で構築した。分類に使用数するデータは4章で用いたものと同じである。各動作区分判別の教師データには静的動作は手元動作, 打合せ, 定常動作は歩行, 運搬を用いた。ウィンドウサイズは50 サンプルとし, 各特徴量は3章と4章で最も精度が高くなった組み合わせを用いた。分類試験の結果は図-3 に示す。

表-3 定常動作判別における特徴量比較

	Precision[%]
試験①	76.5
試験②	80.0
試験③	57.0

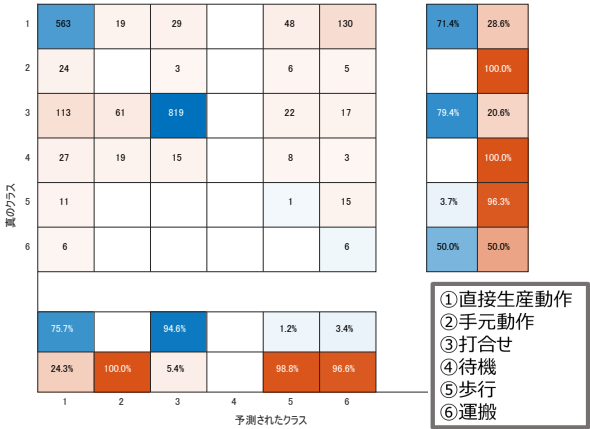


図-2 システム動作試験結果

6. おわりに

本研究は, 生産性管理データの収集方法として加速度から建設作業員の動作分類を行うシステムの構築を行った。変動検出と定常性有無判別のフェーズを組み込むことで汎用性の高いシステムの構築を行った。システムの動作試験では問題なくデータ分類が行われた。試験結果より直接生産動作と打合せは70%以上の精度で分類することができた。手元動作は変動検出がされないとしていたが, 実際の動作では変動検出される場合が多く, 新たな判別方法を考案する必要がある。歩行と運搬は動作が似ており動作区分判別においても歩行を運搬と誤分類する結果が得られた。今後は位置情報などを加えて新たな判別基準を設定し, 位置検出フェーズを完成させ, より実際の現場に適応可能なシステムの構築を行っていく。

【参考文献】

1) Behnam, S., Changbum, R., Reza, A., Amir, B., Mani, G., Hyunsoo, K., Yong, L., Abbas, R., and Ehsan, A.: Automated Methods for Activity Recognition of Construction Workers and Equipment: State-of-the-Art Review, ASCE, 2020.

2) 草柳俊二: 国際建設プロジェクトの生産性向上プログラムに関する研究, 土木学会論文集 No.528/VI-29, pp.143-154, 1995.

3) 村尾和哉, 寺田努: 加速度センサの定常性判定による動作認識手法, 情報処理学科論文誌, No.6, pp.1968-1979, 2011.