

Title	Research on Sensor Data Processing Methods for Recognizing and Understanding Factory Work Activities
Author(s)	Xia, Qingxin
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/85436">https://doi.org/10.18910/85436</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 夏清心 XIA Qingxin )	
論文題名	Research on Sensor Data Processing Methods for Recognizing and Understanding Factory Work Activities (工場作業行動の認識および理解のためのセンサーデータ処理手法に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>Technologies of inertial sensors are developing fast, with those sensors being available in wearable devices, enabling various human activity recognition systems by using sensor data collected from humans. In the industrial domain, sensor data collected from individual workers will be crucial for smart manufacturing to achieve professional management, improving productivity from two aspects: (1) optimizing work processes and (2) optimizing skill training for workers.</p> <p>In line-production systems, which are common in factories, each factory worker repetitively performs a predefined work process, with each period (one iteration of a complete work process) consisting of a sequence of operations. This thesis aims to recognize the starting times and duration (or end times) for individual operations in a work period by analyzing sensor data collected from the workers in an unsupervised manner to help factory managers optimize work processes.</p> <p>To recognize the starting times and duration for individual operations, this study explores two approaches based on data characteristics. We propose the similarity-based approach, which leverages (i) semantic similarities between operations predicted from the process instruction document and (ii) sensor-data similarities in an individual operation between consecutive periods, in addition to (iii) trend changes in the sensor data detected by a trend change detection algorithm, and (iv) frequent sensor-data patterns (motifs) discovered in the overall assembly work processes. We evaluated the proposed method using sensor data from six workers collected in actual factories, achieving a recognition accuracy of 80% (macro-averaged F-measure).</p> <p>The other is the structure-based approach that focuses more on frequent sensor data motifs, which correspond to particular actions performed by the workers that appear in every iteration of the work periods. Specifically, we propose to track two types of motifs: period motifs and action motifs, during the unsupervised recognition process. A period motif is a unique data segment that occurs only once in each work period. An action motif is a data segment that occurs several times in each work period, corresponding to an action that is performed several times in each period. Tracking multiple period motifs enables us to roughly capture the temporal structure and duration of the work period. Action motifs, which are spread throughout the work period, permit us to detect the start time of each operation precisely. We evaluated the proposed method using sensor data collected from workers in actual factories and achieved state-of-the-art performance.</p> <p>In addition, to discover skill knowledge from workers, industrial engineers have manually identified activity differences between skilled and unskilled workers by watching video recordings or sensor data to obtain skill knowledge. However, a factory has many workers, and manual comparison between pairs of workers is time-consuming. This thesis aims to identify acceleration sensor data segments with activity differences to help industrial engineers find skill knowledge efficiently to optimize skill training.</p> <p>To identify candidate segments with activity differences, we propose an attention-based neural network to visualize the importance of segments within input acceleration data that contribute to classifying the input data into a skilled or unskilled class, which is useful to identify activity differences between skilled and unskilled workers. Our proposed method consists of three phases: (1) network training for the skilled/unskilled worker classification and for attention layers that emphasize the input segments with significant activity differences, (2) detecting activity differences, which uses attentions to find input segments to select candidates of segments containing activity differences, and (3) identifying corresponding activities of the candidates in input acceleration data from the other worker class. For instance, when an action of screwing by a skilled worker is identified by the attention mechanism, the corresponding sensor data segment of the screwing action by an unskilled is identified in his sensor data. Finally, the system outputs every candidate of activity differences and the corresponding segments of the other worker class. We evaluated our method using four workers' data in two types of works and ask an industrial engineer to assess the performance of identifying candidates of activity differences by the attention mechanism.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 夏 清 心 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	准教授 前川 卓也
	副 査	教授 原 隆浩
	副 査	教授 藤原 融
	副 査	教授 松下 康之
	副 査	教授 下條 真司
	副 査	教授 鬼塚 真

## 論文審査の結果の要旨

提出された論文では、工場等の工員が装着するセンサデバイスから得られたセンサデータを用いた行動認識・分析手法の提案について述べている。工員による手作業が介在する生産プロセスは機械のそれに比べて画一的ではなく、生産性向上の余地は大きい。生産性向上のためには、生産ラインの効率化や非熟練工員のコーチングが重要と言える。本論文では、生産ラインの効率化やボトルネック検出に関連の深い工場作業行動の認識および、非熟練工員のコーチングに関連の深い作業行動のスキル分析に着目し、以下の研究成果について述べている。

1つ目の主な成果として、工場工員のウェアラブルデバイスにより得られた加速度センサデータから、工員の作業行動を教師なし学習により認識する手法を提案している。工員の作業内容は工員ごとに異なることが多く、工場環境にて教師あり学習のための学習データを用意することは困難である。そのため、作業ごとに用意された作業手順書に基づき学習データなしに行動認識する手法を実現している。特に、データの類似度に着目した手法と作業の構造に着目した手法を提案し、実際の工場で取得されたデータを用いて評価実験を行い、高い精度での認識を達成している。前者の手法は、手順書に記された各作業の意味的な類似度とセンサデータにおける類似度や、同じ作業のセンサデータにおける類似度の情報を利用して、行動認識を行う。一方、後者の手法は各作業に含まれる特徴的なセンサデータパターンの出現間隔などの構造的な情報を利用して、行動認識を行う。前者の手法はセンサデータの類似度を綿密に計算するため、高精度な行動認識が可能であるが、外れ値などの発生に脆弱である。一方、後者の手法は、綿密な行動認識の点では前者の手法に劣るが、外れ値などの発生には頑健である。2つ目の主な成果として、熟練と非熟練工員の作業を計測したセンサデータから、熟練工員の技能を抽出する手法を提案した。熟練工員の技能は、非熟練工員との作業の差に潜んでいるという考えを基に、注目機構を備えるニューラルネットワークを利用して、熟練と非熟練工員の作業の顕著な差異が含まれるデータ区間を検出している。実際の工場で計測したデータを用いたインダストリアルエンジニアとの実験により、提案手法が実際の熟練工員の技能に関する区間を検出できていることを確認している。

本論文は、工員を組み込んだ知的な生産プロセスを実現するための基礎技術を実現した。工場作業の教師なし認識を実現した研究はこれまでになく、80%程度の高い認識性能も達成している。また、データ駆動的な手法を用いて、工員の作業分析を実現した手法は、インダストリアルエンジニアによる手作業に依っていたこれまでの作業分析を変革する可能性をもつ。本論文により達成された成果は、人間による作業が組み込まれた生産プロセスの生産性を向上させる先端的な情報技術手法の研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。