

Realtime Monitoring and Stability Diagnosis of Cutting Process by Applying Disturbance Observer

February 2016

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree
of Doctor of Philosophy in Engineering



Keio University

Graduate School of Science and Technology
School of Integrated Design Engineering

Ryo Koike

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	小池 綾
主 論 文 題 目 :			
Realtime Monitoring and Stability Diagnosis of Cutting Process by Applying Disturbance Observer (外乱オブザーバを応用した切削プロセスの実時間監視と安定性診断)			
(内容の要旨) 数値制御工作機械は、あらかじめ作成された数値プログラムを忠実に実行できるため、それまで作業者の技量に大きく依存してきた加工精度や能率を大幅に向上させた。一方で、加工プロセスが自動化されたために、加工中に生じ得る異常を感覚的に検知することが困難になった。これまでに様々な異常検知手法や安定加工条件予測手法が提案されたものの、付加的なセンサを必要とするこれらの手法は導入・維持管理の手間やコストが加工現場の需要と相反するため実用化に至る例は少ない。 本研究では、数値制御工作機械の稼働中に生じ得る問題に対して、付加的なセンサを必要としない加工状態監視手法および安定加工条件同定手法を提案している。具体的には制御工学における外乱オブザーバの外乱推定理論を工作機械制御系に適用し、サーボ情報から推定した切削負荷に基づき加工状態を解析している。特に加工中に生じ得る異常として、工具摩耗、工具衝突、工具欠損、びびり振動の4種類の問題を対象にした検知手法と、びびり振動を対象とした安定加工条件同定手法を開発し、その有用性を実験的に示している。 第1章では、工作機械技術の発展と問題点を説明し、本研究の目的を示している。 第2章では、本研究を理解する上で必要となる基礎事項を概説している。また、工具欠損の検知精度向上のために二次元平面上を時計回りに動く信号のみを抽出する「回転デジタルフィルタ」と、推定切削負荷からびびり振動を少ない計算回数で検知するための「移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法」を提案している。 第3章では、加工実験のための実験装置と加工シミュレータ用の並列計算システムを説明している。 第4章では、主軸・各送り軸制御系のサーボ情報から切削負荷を推定する手法を示し、ドリルとタップの摩耗検知が可能であることを実験的に明らかにしている。 第5章では、工具衝突実験を通して、各送り軸の推定切削負荷の一階微分値を監視することで、工具衝突を高応答に検知できることを示している。 第6章では、 x 方向と y 方向の推定切削負荷を回転デジタルフィルタで解析することで、ドリル刃先の欠損を検知できることを示している。 第7章では、移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法を提案し、主軸の推定切削負荷からびびり振動と強制振動を種類別に実時間検知できることを示している。 第8章では、びびり振動に対する安定主軸回転数同定手法として、加工中に主軸回転数を徐々に減速させる診断加工法を提案している。側面加工実験および時間領域フライス加工シミュレータによって、急激なびびり周波数遷移が生じる主軸回転数が安定主軸回転数となることを実験的かつ理論的に示している。 第9章は本研究で得られた成果を総括し、加工状態監視手法および安定加工条件同定手法における今後の展望について触れ、結論を述べている。			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	First name Surname Ryo Koike
Title Realtime Monitoring and Stability Diagnosis of Cutting Process by Applying Disturbance Observer		
<p>Abstract</p> <p>Numerical control machine tools drastically enhance machining accuracy and efficiency which had depended on worker's skill for a long time. Although the numerical control machine tool can accurately perform a premade program by itself, the process automation makes it difficult to monitor the process sensuously. That is why many researchers have proposed sensor-based process monitoring methods until now. However, these methods are hardly employed in industrial fields because mounting additional sensors on the machining space is clearly against the demands of industries such as cost reduction, maintenance free, and so on.</p> <p>In this research, cutting-state monitoring and stable cutting-condition identification are proposed, which never require additional sensors. In concrete terms, the machining state is analyzed based on the variation in cutting load estimated by introducing disturbance observer theory to the machine-tool control system. The proposed monitoring method aims to detect tool wear, tool collision, tool fracture, and chatter vibration, and the stability diagnosis focuses on chatter vibration. The performances of the observer-based process monitoring and stability diagnosis are evaluated experimentally.</p> <p>Chapter 1 presents technical progresses and problems of machine tools to explain the purpose of this research.</p> <p>Chapter 2 explains the fundamentals to perform the proposed methods. Additionally, two signal-processing methods are proposed; one is a "rotational digital filter (RDF)" which can extract a signal moving on a circular orbit in clock-wise direction in order to improve the tool fracture detection accuracy, the other is an "integration of moving variance and moving Fourier transform algorithms (MV+MFT)" which can detect chatter with a small number of computation.</p> <p>Chapter 3 contains experimental apparatuses for the cutting tests and a parallel calculation system for a time-domain milling simulator.</p> <p>Chapter 4 proposes the cutting load estimation using servo information in each axis control system including the spindle. Experimental results clearly show that the proposed method can capture the tool wear progress in drilling and tapping.</p> <p>Chapter 5 shows that tool collision can be detected with high responsiveness by monitoring a differential value of the estimated cutting load.</p> <p>Chapter 6 presents that drill fracture is detectable by applying the RDF to the estimated cutting load in x and y directions.</p> <p>Chapter 7 describes that chatter can be monitored separately from forced vibration in realtime by adopting the MV+MFT to the estimated disturbance torque information.</p> <p>Chapter 8 presents a self-diagnosis method to identify stable spindle rotations against chatter, which gradually decreases the spindle rotation during chatter. It is experimentally and theoretically confirmed through side milling tests and time-domain milling simulations that spindle rotations, at which a drastic chatter frequency shift occurs, are stable against chatter.</p> <p>Chapter 9 summarizes the obtained results and concludes this research, including the future prospects of the proposed process monitoring and stability diagnosis of cutting process.</p>		