実時間びりり限界切込み予測システムにおける 概外形状の同定*

井 原 透** 川 上 勲*** 諸 潔**

Determination of Shape/Size on Real Time Chatter Prediction System

Tohru IHARA, Isao KAWAKAMI and Jie ZHU

In the previous report, a methodology that could predict the limit value of the chatter vibration, of which the main reason was the outer configuration changes of workpiece in lathe-turning, was proposed. On basis of this method, an application system that could predicate the boundary of cutting conditions, for example, the cutting depth, had also been built up. The input information to the system was a series of changing sizes of the workpiece during lathe-turning. The system, however, has no sub-system to measure the size of the work piece in real-time automatically. To overcome this weakness, a sub-system using picture processing techniques by CCD camera was developed in our resent research. This paper is going to report on how this sub-system has been established and the running results of the new system.

Key word: chatter vibration, cutting depth, CCD camera, real-time chatter limit prediction system

1. は じ め に

主として、旋削中の被削材の概外形寸法の変化に起因するびりり振動のびりり限界値を予測する手法を既報¹⁾²⁾にて報告した。あらかじめ典型的な3種類の概外形状を持つ被削材のびりり限界値を実測しておき、対象とする被削材の概外形状が3種類の典型的な例にどの程度類似しているかをファジ処理で判断することによって瞬時にメリットの理論を補正しびりり限界を予測する手法である。したがって、同システムを用いれば、たとえば旋削中の被削材の概外形寸法の変化を入力することによって、引き続き切削の切削条件を決める拘束条件を予測することができる。しかしながら同システムには、切削中の被削材の概外形寸法を実時間で測定するシステムがなかったため実時間での拘束条件の変化の知ることは実際にはできなかった。そこで本研究ではCCDカメラによる画像処理を用いた被削材の概外形状認識システムを開発し、これを同システムに組み込むことによって実時間びりり限界切込み予測システムを構築したので報告する。

2. びりり限界切込み予測システム

切削加工の作業設計においては、数表やデータベースあるいは解析結果などの情報がそのまま使われることは少なく、被削材形状や工作機械の機差などによる現場的な不確定性を作業者の経験的なノウハウによって加味されて利用されることが多い。こうした現場での作業設計を行う自動化システムを開発するためには解析的知識とこれを補完するための経験的知識の両者を

融合的に取り扱うことが必要である。そこで既報¹⁾において、作業設計などの知識処理を行うために、解析的知識と共に、ファジ処理を利用した経験的知識による補完を用いることによって解析的知識の補正を行うフレーム型の知識表現を提案し、さらに同表現を多段階に用いることによって旋削を対象とした被削材の概外形寸法の変化に主として起因するびりり振動の限界値の推論を行う方法を提案した。以下において同提案を簡単に述べる。

2. 1 びりり限界の多段階推論システム

作業設計を対象とした解析的知識を用いる場合、エラー補正の方法、解析的知識内のパラメータの決定、の2点を考慮する必要がある。エラー補正については、フレーム型の解析及び経験知識勘案型の知識表現²⁾を使用し、フレーム内には予測値、理論値、補正量、誤差割合、類似度の5スロットを用意した。予測値、理論値、及び補正量のスロットには、それぞれの算出式が記述されており、予測値スロットの値は、解析知識から得られた理論値スロットの値と経験知識から得られる補正量スロットの値によって自動的に算出されるようになっている。一方、パラメータの決定については、作業設計上、別の用途や目的のために解析知識を用いて既に求められているものや、また逆に求めておくことによって別の用途や目的のために後工程で利用できる可能性のあるものもあるので、別フレームに単位知識化表現した。同枠組みを多段階に用いることによってシステムを構成すると図1のシステムが得られる。同図の矢印部が解析的知識を利用する部分であり、破線部がファジ処理を行う部分である。例えば、ステージ2の2次元切削における再生びりりの安定限界を求める解析的知識としては、式(1)に示すメリットの理論式を用いた。

$$B = \frac{k\delta\sqrt{1-\delta^2}}{\lambda\cos(\alpha-\beta)\cos\alpha} \quad \left(\delta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \right) \quad (1)$$

但し、 α 、 β 、 λ はそれぞれ被削材の振動方向、切削力方向、

* 原稿受付 平成7年2月7日

** 正 会 員 中央大学理工学部(東京都文京区春日1-13-27)

*** 学生会員 中央大学大学院

比切削抵抗である。同様に、各ステージで理論式とファジ処理を融合することによって、本システムでは、切込みにおけるびりり限界値を求める。被削材概外形状はこのファジ処理を行う際に用いる。ファジ処理は前述したように、対象とした被削材の概外形状が図2に示す3種類の典型的な概外形状にどの程度類似しているかを判断するために用い、この時に典型的な概外形状を持つ被削材の実測値を用いた補正を行うわけである。本研究では、この概外形状を画像処理によって求め、同システムと組み合わせることによって実時間びりり限界予測システムを構築した。

Fig.1 Prediction method of stability boundary of chatter vibration by multistage inference

Fig.2 Distribution of ratio of error²⁾

3. 概外形状測定画像処理システム

本予測システムの機器構成を図3に示す。パーソナルコンピュータからの制御で、CCDカメラの画像を512×480画素、256画調でフレームメモリーに取り込む。取り込んだ画像はイーサネット経由でワークステーションに送られて上述のびりり限界切込み予測システムと結合している。本研究では概外形状計測システムとして、汎用性のあるものと丸物に特化したものの2システムを作成した。以下にこれを述べる。

Fig.3 Configuration of system

3.1 汎用性のある概外形状計測システム

原画像に対する二値化処理を主体とした被削材の概外形状計測を得る本システムは旋削加工以外の被削材対象物が計測可能であるという汎用性がある。本システムは、まず旋削加工中の被削材の画像を取り込み、次いでこの原画像に適当なしきい値を指定することによって二値化処理を繰り返し、被削材外形が完全に現れるような二値化画像を作成する³⁾。ただし二値化画像上の被削材位置を指示しなければならないので、図4に示すように画面上に現れるボックスの位置・大きさ・角度を手動操作で被削材を取り囲むことによって指示するようにした。その後は計算機が自動的に、ボックス内を軸方向に軸径をはかりながら探索を行い、被削材の概外形状計測法を決定する。本システムは汎用性は高いが、二値化処理におけるしきい値の指定、被削材やチャックの位置・角度の指示など、認識の多くを利用者が行う必要があり、実時間性に劣る。

そこで丸物に特化することによって、利用者の介入なしで被削材寸法を求めることの可能なシステムを開発した。

Fig.4 Aspect of binarization measuring system

3.2 丸物に特化した概外形状計測システム

本システムは丸物に特化することによって作業介入の必要性をなくした。本システムの特徴を次に述べる。CCDカメラを用いて図5に示す旋削加工中の被削材の画像を取り込むが、その際に以下のような制約を課す。まず画像にはチャックと被削材が含まれるようにする。チャックは被削材の左側にあるようにする。被削材の画面に対する傾きは上下30°以内とする。適切な照明を行う。背景の明度を被削材より大とするために、白い紙を背景とする。

Fig. 5 Rotating workpiece with chuck

取り込んだ原画像から被削材の寸法をもとめるための基準を決める。例えばチャックの寸法を既知とする。本システムにおける認識は次のようである。まず形状変化の少ないチャックをパターンマッチングで探し、同チャック部につながる右側部分を被削材と判断する。なおチャックの認識のためのパターンマッチングを行うためには、テンプレートの位置・大きさ・角度の3要素が変数として必要であるため、多くの繰り返し計算が必要であるが、本システムでは、「チャックは回転しているため、チャックの部位の外形に沿って回転軸をはさんだ平行な線対があらわれる」という特徴を用いることによって、パターンマッチング時における変数の数を減らした。テンプレートの位置はこの平行線に沿って探索され、テンプレートの大きさは、対をなす線間の幅から求められる。テンプレートの角度は、原画像での被削材の傾きを上下 30° 以内に抑えたため、水平であるとなすことができ、この結果、計算量が減り、かなりの高速化が達成された。

Fig. 6 Vector indication for pattern of Fig. 5

Fig. 7 Chuck recognition

具体的な手続においては、図5の原画像に量子化処理、ベクトル化処理が順次施され、この結果、図6に示される旋盤本体の一部とチャック、被削材と背景との境界に沿ったベクトル群が得られる。これに前述の処理を施することによってチャック位置が図7に示されるように同定される。

上述の処理によって、チャック及び被削材のおおよその位置が判明するので、同結果に基づいて、背景と被削材が原画像においていかなる明度分布をなしているかを計量することによって図8が得られる。同図から、被削材と背景を完全に分離することが可能となる。概外形寸法の探索方向は原画像中の被削材の存在する数か所のX座標値において画面垂直方向に境界探索を行い、被削材の上下端のY座標値をサンプリングする。これらの座標群から中心線を回帰計算し、同結果を被削材の中心、すなわち横探索方向とした。次いで同中心線に沿って被削材径を細かなピッチで計測する。この場合被削材のおおよその位置が分かっているため、外形近傍から探索を始めることによって処理の高速化が達成された。

Fig. 8 Distribution of brightness intensity

4. 画像認識システムを併用した実時間びり限界切込み予測システムの検討

4.1 びり実験による検討

画像認識プログラムを導入したびり処理システムを実際に稼働し、これより算出したびりの予測値と実験値とを比較することによって、本システムの有用性を検討した。本システムの出力画面を図9に示す。

最大径60mmの黄銅を図10に示す3種類の被削材形状に分けて、3次元びりの絶対安定境界を予測してみた。本システムで求めた3次元切削でのびり限界の予測値と、実測値との比較を図11に示す。○印が安定、▲印がびりった点であり、絶対安定境界は破線となる。これに対し本システムによる予測値は実線で示され、両者は良く合っていることが分かるので、本システムが予測システムとして充分有用であると考えられる。なお本システムの性能は取り込んだ被削材画像から概外形状法を得るまでが約2秒であり、また別途に6種類の丸物被削材の計測をも試みたが、そのすべてが図11と同程度の精度で正確に計測できた。

Fig.9 Display of system

Fig.10 Workpiece of complex shape

Cutting conditions: material, Brass; tool, K10, 45, 45, (6, 6, 6, 6, 15, 15, 0, 4), 30, 0; cutting speed, 10-120m/min; cutting feed rate, 0.18mm/rev; cutting fluid, dry (tool entry face)

Fig.11 Stability boundary of chatter vibration on three-dimensional cutting
Side cutting edge angle: 45°

4.2 CNC旋盤を用いた拡張システムの検討

実時間びりり限界切込み予測システムをCNC旋盤に取り込むことによって本システムの拡張性を検討した。CNC旋盤にCCDカメラを持ち込み画像認識システムを介してびりり限界を算出し、得られた予測値をもとに次のステップで使用可能な切込みを選択してこれを工作機械の制御系に指示することを試みた。指示はワークステーションがNCプログラムを生成し、これをローカルネットワークを経由してCNC旋盤に転送し、起動をかけることで行った。実切削時の切込み量は簡単のため離散的な値を用意しておき、びりり限界以下の値の最大値とした。図12に実験装置を示す。CNC旋盤の機能の制約のため、システムの完成度は低いが、前述した情報系の実験は可能であった。同実験の結果から適切な照明と切削位置の指定およびCCDカメラの保護を行うことによって、本システムをCNC旋盤を用いたシステムに拡張可能であることがわかった。従って本システムによって、旋削中の被削材の概外形寸法の変化に応じて、引き続き切削に切込みを決める際の拘束条件を予測することが可能となる。

Fig.12 Picture of system

5. 結 論

- (1) 旋削加工における被削材の概外形寸法計測に対して、二値化画像による概外形寸法計測システムとパターンマッチングによる概外形寸法計測システムを作成し、同システムと既報のびりり限界切込み予測システムとを組み合わせることににより、実時間びりり限界切込み予測システムを構築した。
- (2) パターンマッチングによる実時間びりり限界切込み予測システムとCNC旋盤との結合を実験的に検討することにより、同システムが切込みに対する拘束条件の提示に有効であり、十分な拡張性のあることが確認できた。

謝 辞

本研究の画像処理装置については株式会社ニコンの御協力によりとところが大きい。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井原 透, 三木 勉: 切削加工における解析及び経験知識勘案型の知識表現 (第1報) - 再生びりり安定限界の予測 -, 精密工学会誌, 57, 2 (1991) 250.
- 2) 井原 透, 三木 勉: 切削加工における解析及び経験知識勘案型の知識表現 (第2報) - 多段階推論による3次元びりり限界の推定 -, 精密工学会誌, 57, 9 (1991) 1591.
- 3) 横井茂樹ほか: 画像処理の基本技法, 技術評論社, (1986) 68.

編集後記

本年の最終号をお届けします。今年は内外共に政治・経済・社会とあらゆる面で大きな出来事が続きました。阪神大震災・オウム関連事件・仏中核実験に象徴されるように、高度化した科学技術の「こころ」への期待が問われた年であったともいえます。研究開発での物質的民学間格差は大きく、拡大の一方であり、掲載論文にも研究費の伺える時があります。現状はいかんともし難いながら、見方を変えれば、各々の役割分担が一層明確化されてきたともいえ、連係の要となる学会の果たす役割の重要性が増しています。

今世紀あとわずかに残った歳月で、科学技術急展開の世紀であった20世紀のけじめをつけ、後世代に引き継ぐ必要があります。なされるべきことは多いけれども、その基幹を見据えた意味でも、今号の特集は、精密工学のほとんどの分野が深く関連し、正に精密工学の集大成ともいえる総合技術となってきた超精密位置決め技術を総括して将来を展望した、意義深い内容となっています。

現時点の「超精密」は精度0.1 μm 以下の概念であって、関連技術の確立によってナノメートルの位置決めを実現可能にして、「超精

密」を確固たるものにしました。長年、先導的立場に立って来られた「超精密位置決めに関する専門委員会」によって、この特集が実現しました。ここに関係各位のご尽力に感謝申し上げます。

現在、位置決め精度に占める変位帰還信号精度の割合が非常に大きくなるまで、技術的に突き詰められていることもあって、本号では、計測・制御の方向に重点をおいて光を当てています。ご覧になるに際して、4年前の57巻10号の「超精密位置決め技術の現状」特集号を改めて書棚から取り出し、あわせて読まれますと、一層興味深いものがあると思います。アンケート調査にもあるとおり、近年の技術革新は目覚ましく、近未来の位置決め精度到達限界は1nmと言われています。また、STM, AFMに代表されるSPM関連では既に現実となっていますが、ピコメータ技術が普通に議論され、ピコテクノロジーが確立されるのも遠い話ではないでしょう。

このように、精密工学の各分野で素晴らしい成果が挙がっているのを拝見しますと、高度技術を背景とした高付加価値指向を運命づけられている我が国ではもちろんのこと、精密工学が時代の鍵を握る存在になっていることを実感します。

更なる飛躍を求めて、新しい年も会員諸兄がますますご活躍されることをお祈り致します。 (小泉邦雄)