

画像処理を使った旋削加工中の切りくず形態認識

三好 由記博*

Chip Shape Recognition during Turning Operations using Image Analysis

Yukihiro MIYOSHI*

Abstract: A method using image analysis to discriminate unbroken or tangled chips from broken ones is presented. Images for the analysis are captured by using an off-the-shelf security camera during turning operations with a NC machine. An image area including chip images is selected on the basis of edge lines corresponding to the boundaries of the tool turret and tool shank. An AND operation between an edge image and a difference image of even and odd fields is useful to diminish non-chip edge images included in the chip image area. A proportion of the total edge length of chip images to the line length surrounding the chip image area is adopted as a feature parameter to distinguish broken or unbroken chips. A weighted average of length ratios of sides of a rectangle surrounding the chip edge image is used as another feature parameter. These two feature parameters are revealed to be useful discriminator of chip shapes: broken, almost straight, and tangled chips.

Keywords: chip shape recognition, image analysis, turning operation, unbroken chip, tangled chip

1. はじめに

切削加工中に発生する切りくずは、処理を容易にし、またからみついで製品に傷を付けたり、あるいは火災の原因になったりしないように、チップブレーカを用いて短く折断するのが常である。しかし、チップブレーカは切削条件に応じて、異なる形状のものを細かく使い分ける必要があり、また同じ切削条件でも作用が異なることがある。無人で運転することの多いNC工作機械では、加工中に切りくずの形態を機械的に判別できれば、加工状態の良し悪しを把握するのに有効であり、また上記のような切りくずのからみつきに起因するトラブルを事前に検知することが可能となる。

工具に特別な工夫を施すことなく切りくずを認識する手段としてビデオカメラや放射温度計の利用が試みられている。切りくず監視にビデオカメラを応用した例では、特定場所に堆積した切りくずの画像を認識する研究¹⁾があるが、加工中の認識ではなく、また異なる切りくずの堆積に対応できるか不明である。加工中の切りくず認識では、放射温度計を用いて刃先に停留する切りくずを検出する研究²⁾があるが、切りくずの形状判別には

必ずしも最適ではないと考えられる。

本研究では、加工中に取得したビデオカメラの画像を解析して、チップブレーカで折断できなかった切りくず、あるいは工作物へのからみつきの危険性が高い連続した切りくずを、正常に折断された切りくずと区別して認識することを試みる。

2. 画像取得

本研究は、ビデオカメラが、切削点近傍を追跡して、連続的に画像を取り込み、切りくずの形態を識別することを想定しているが、切りくず認識の手法開発に際しては、カメラからコンピュータに取り込んだ画像をコンピュータ上で解析する。図1のようにNC旋盤内に設置した、市販の防犯用ビデオカメラを使って旋削状態を撮影し、工具刃先近傍を含んだ画像を24ビットRGBカラーとしてコンピュータに取り込む。ビデオカメラは固定焦点で、シャッタースピード1/500, 1/750, 1/1000に設定した。旋削は超硬工具とS45C材を用いて、切削速度120 m/min, 送り0.2, 0.3, 0.4 mm/rev, 切り込み0.4, 1.0 mmにて行った。

旋削加工中に撮影した画像の例を図2に示す。なお、図2は実際の画像の上下を逆にしてある。NC旋盤の工具はすくい面が下向きになるため、実際の画像は図2と上下が逆になる。撮影に使用したカメラは1フィー

* 理工学部理工学系機械工学系 教授 工学博士
Mechanical Engineering, School of Science and Engineering, Professor, Dr. of Engineering

ルドあたり 1/60s のインターレス方式のため、高速シャッターでも画像は二重になる。そこで、コンピュータに取り込んだ画像を偶数フィールドと奇数フィールドに分け、グレイレベルに変換し、さらにメディアンフィルタでノイズを除去して、以下の解析で使用する。図2から得られる偶数フィールド、奇数フィールドの画像をグレイレベルに変換しメディアンフィルタを作用させた結果の画像を図3に示す。

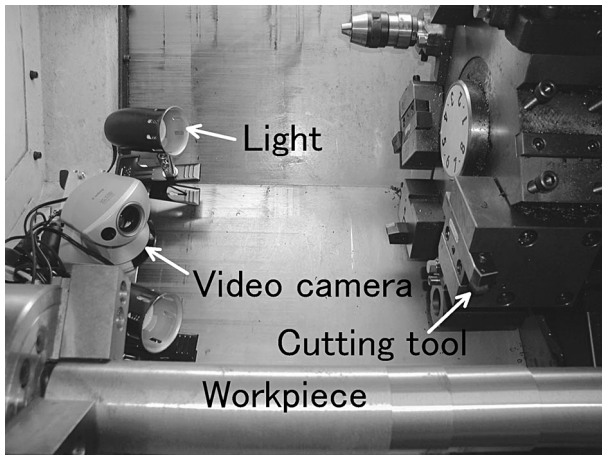


Fig. 1 Experimental setup in a NC turning machine

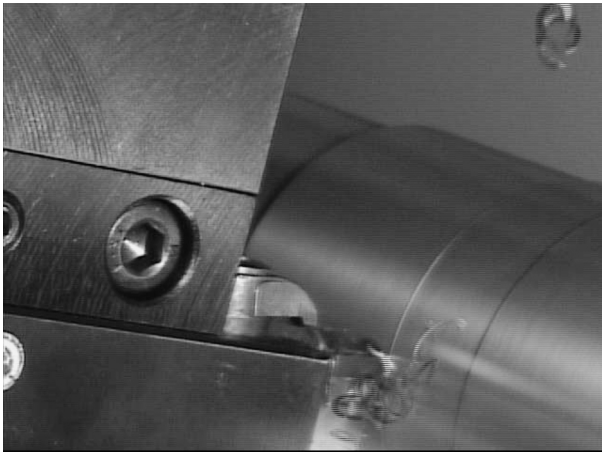


Fig. 2 Image of a turning tool and chips

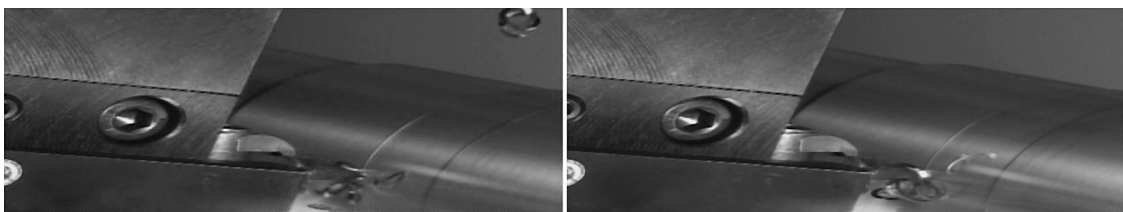


Fig. 3 Even and odd fields of the image in Fig. 2

3. 切りくず領域の設定

切りくずの認識を行う画像領域を限定する。解析したいグレイレベルのフィールド画像から、ソベルオペレータを使ってエッジを抽出する。抽出したエッジについてラベリングを行い、属する画素数が50画素以下のラベルは画像から除去する。この後、エッジは画素に変換されラベルを持つエッジ画素とする。そして全てのエッジ画素は同じラベルを持った画素のグループに分けられる。以後、同じラベルを持ったこのエッジ画素の集まりを「エッジグループ」と記載する。図3左側の偶数フィールド画像からエッジを計算し、ラベリングを行って、50画素以下のラベルを除去して得られたエッジの画像を図4に示す。

次に、各エッジグループの画素を、100画素の一部重なった線分に区切り、各区切りごとに直線をあてはめ、正の傾き（1以上100以下）の直線と、負の傾き（-0.2以上0以下）の直線を探す。100画素の各画素群が直線であるかどうかの判断は式(1)の直線度³⁾ L が0.99以上であるかどうかで行い、

$$L = \frac{\sqrt{4v_{xy}^2 + (v_x - v_y)^2}}{v_x + v_y} \quad (1)$$

直線の傾き α と切片 β は、主成分分析の最大固有値に対応した固有ベクトルを使って式(2)より計算する。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{2v_{xy}}{(v_x - v_y) + \sqrt{(v_x - v_y)^2 + 4v_{xy}^2}} \\ \beta &= G_y - \alpha G_x \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 G_x 、 G_y は上記100画素の重心の x 座標(横方向)、 y 座標(縦方向)、 v_x 、 v_y は x 座標、 y 座標から計算した分散、 v_{xy} は x 、 x 座標から計算した共分散である。

正負の両直線が1本ずつ以上含まれるエッジグループを探し、それを使って、切りくずの認識を行う画像領域を区切ることにする。図4を含め、多くの画像で図5のような同一ラベルのエッジが、上記2本の直線を含むエッジグループとして選ばれる。図5は、上記2本の直線を含むエッジグループとして、図4の画像から抽出された画像である。直線 l_1 が傾き1以上100以下の直線であり、直線 l_2 と l_3 が傾き-0.2以上0以下の直線である。直線 l_1 と l_2 から交点Bを、またこのエッジグループで最も右端にある点として点Cをそれぞれ選

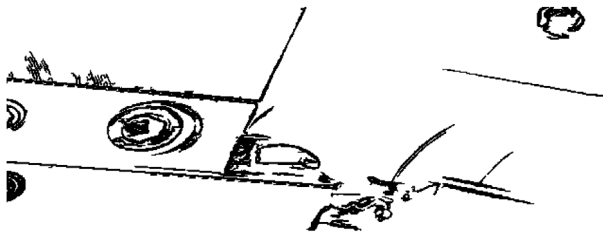


Fig. 4 Edge image of the even field image of Fig. 3: Labeled pixel groups under 50 pixels are skipped.



Fig. 7 A difference image between the even field and the odd field of the images in Fig. 3.

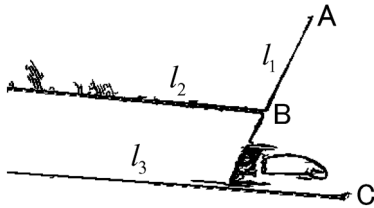


Fig. 5 Image of pixels having a same label and including straight lines.



Fig. 8 Edge image of chips obtained by the AND operation between Fig.6 and Fig. 7.

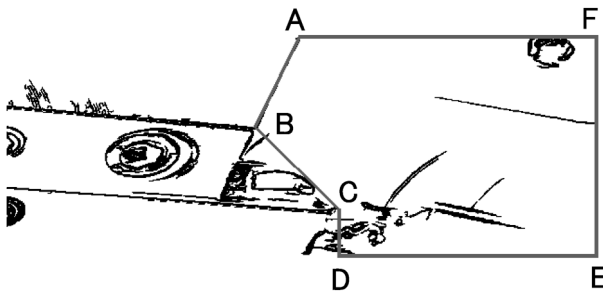


Fig. 6 Border lines ABCD defining a chip area as a right side of the lines.

び、線分 ABC および C から真下に下ろした直線により切りくず領域の境界線を構成する。線分 AB は工具タレットの縁であり、直線 l_3 は工具シャンクの上面である。図 6 は図 4 のエッジ画像に、この切りくず領域境界線を重ね書きしたものである。図 6 の線分 ABCDEF の内側が切りくず領域であり、その領域に重心が存在するエッジグループを切りくずの候補とする。以後、各画像で、この線分 ABCDEF 内に相当する領域を「切りくず領域」と記載する。その大きさは各画像により変化する。なお、切りくず領域の検出に失敗した場合には、1 フィールド前の画像で設定した切りくず領域を使うことにする。

4. 切りくずエッジの絞込み

図 6 の切りくず領域（線分 ABCDEF の内側）には切りくず以外のエッジ画素が存在しており、このまま切りくずの認識を行えば誤認識の危険性がある。ところで、図 3 に示したような偶数フィールドと奇数フィールドの間の時間差は 1/60s 程度であり、切りくずのように

高速で移動する対象物以外は偶数フィールドと奇数フィールドの間でほとんど変化しないと考えられる。そこで、同じ撮影画像から得られた偶数フィールドと奇数フィールドの差分を使って切りくず以外の画素群を極力除去することとする。同じ撮影画像から得られた偶数フィールドと奇数フィールドをグレースケールに変換しメディアンフィルタに通したものを、それぞれ画像 E と画像 O とする（図 3 の画像は図 2 から得られた画像 E, O の例である）。画像 E, O それぞれの座標 (x, y) での画素の輝度（0~255）を e_{xy}, o_{xy} とし、以下の演算により偶数フィールドと奇数フィールドの差分を求める。

$$e_{xy}, o_{xy} = \begin{cases} \text{そのまま} & \frac{2|e_{xy} - o_{xy}|}{e_{xy} + o_{xy}} > 0.2 \\ 255 & \frac{2|e_{xy} - o_{xy}|}{e_{xy} + o_{xy}} \leq 0.2 \end{cases} \quad (3)$$

例えば図 3 の 2 枚の画像から式 (3) を使って差分を求めると図 7 のようになり、偶数フィールドと奇数フィールドにあった両方の切りくずが重なって表れ、切りくず以外の背景の画素は弱められる。

そして、エッジ画像（例えば図 4）とこの差分画像（例えば図 7）を重ね合わせて、共通部分のみを取り出し、切りくず領域に重心のあるエッジグループのみを残せば、ほとんど切りくずのみのエッジ画像が得られる。図 8 は、図 4 と図 7 で AND 演算を行い、切りくず領域に重心があるエッジグループのみを残して得られた画像である。

5. 切りくず形態の認識

今回の実験で得られた切りくずの形態を、折断、ほぼ

直線、低密度のからみ、中密度のからみ、高密度のからみ、の5種類に分類した。折断は、チップブレイカがうまく働いて切りくずが短く折れて分離した場合であり、図8のエッジ画像あるいは図3のフィールド画像に見られるように、切りくずは小さな塊の画像になる。折断以外の、ほぼ直線、低密度のからみ、中密度のからみ、高密度のからみは、いずれもチップブレイカが働かなかった場合の切りくずである。ほぼ直線は、図9のグレーレベル・フィールド画像(図の上半分)と切りくずのエッジ画像(図の下半分)に見られるように、切りくずが折断されることなく、しかもほとんどカールせず、まっすぐ流出した場合である。この切りくずは図9の状態の後、工作物に絡みつ়危険性がある。低密度のからみ、中密度のからみ、高密度のからみは、図10、図11、図12に見るように、折断されずに流出した切りくずが自らカールして絡まった場合であり、低密度、中密度、高密度は、空間に存在する切りくずの密度に応じて、そのように区別した。この自ら絡まった切りくずもやがて刃先付近で工作物あるいは工具に絡まって加工の障害になる危険性を持っている。

図8, 9, 10, 11, 12下半分の切りくずのエッジ画像

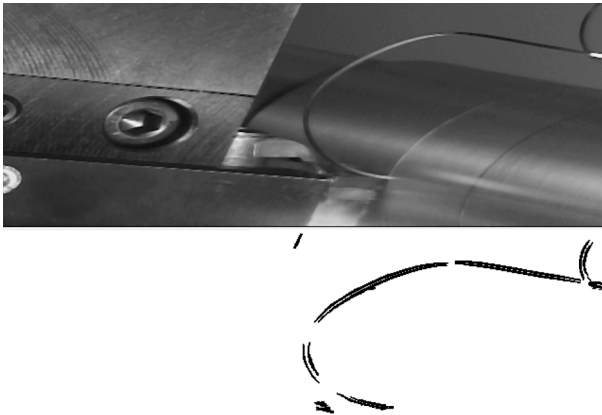


Fig. 9 Chip with almost straight shape.



Fig. 10 Chip tangled in low density.

を比較して、まず切りくず領域中の全切りくずエッジの長さ(エッジの画素数)の合計が切りくず形態を識別するパラメータの候補として考えられる。本研究では、切りくずのエッジ長さの合計値 l_{chip} を切りくず領域の境界線(例えば図6の線分 ABCDEF)の長さ l_{border} で割って、切りくず形態を認識するパラメータの一つ l_r とする。

$$l_r = \frac{l_{\text{chip}}}{l_{\text{border}}} \quad (4)$$

さらに、図8の小さな塊のような形状と図9下半分の細長い線状の形状を識別するために、切りくず領域内にある i 番目エッジグループについて、それを包絡する長方形を求め、その短辺の長さ s_1 と長辺の長さ s_2 の比 $s_r(i)$

$$s_r(i) = \frac{s_1}{s_2} \quad (5)$$

を使って切りくずの形状を表すこととする。エッジグループを包絡する長方形は、式(2)の傾き、切片を持った直線と、式(2)に直交する式(6)の傾き α 、切片 β を持った直線、それぞれへの各画素からの正負距離の最大値



Fig. 11 Chip tangled in medium density.

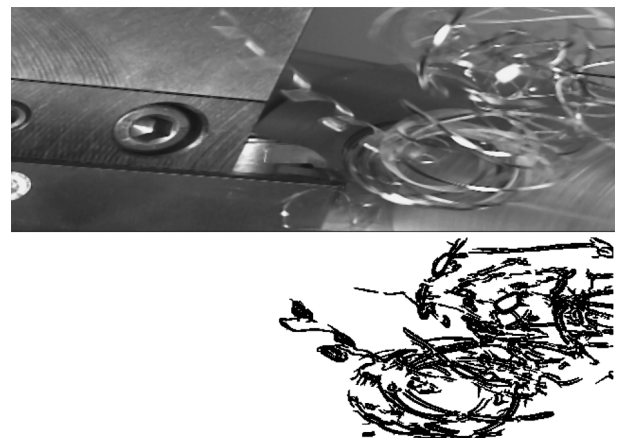


Fig. 12 Chip tangled in high density.



Fig. 13 Rectangles enveloping chip edge images.

を使って計算する。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{2v_{xy}}{(v_x - v_y) + \sqrt{(v_x - v_y)^2 + 4v_{xy}^2}} \\ \beta &= G_y - \alpha G_x \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

たとえば、図9下半分の各エッジグループを包絡する長方形は図13のようになり、短辺の長さ s_1 と長辺の長さ s_2 の比が $s_r(1), s_r(2), \dots, s_r(9)$ と9個計算できる。ところで図9上半分の例のように、元々は1本であった切りくずも撮影を経て図9下半分のように画像中ではさまざまな長さに分断されることが多い。その結果、式(5)の $s_r(i)$ を単純に平均すると、小さなエッジグループの値が結果に大きく影響してしまい好ましくない。そこで、 i 番目エッジグループを包絡する長方形の辺の比 $s_r(i)$ に、そのエッジグループの周囲長さ $l_{chip}(i)$ を掛けて、切りくず領域内のエッジグループすべてについて、式(7)の重みつき平均 s_r を計算し、切りくず認識の特徴パラメータとして使用する。

$$s_r = \frac{\sum_i s_r(i) \cdot l_{chip}(i)}{\sum_i l_{chip}(i)} \quad (7)$$

図8, 9, 10, 11, 12から計算した l_r と s_r の値は表1のようになり、両者を組み合わせれば図8~12の切りくず形態の識別に利用できる可能性がある。

実験で得られた画像から、式(4)、式(7)の特徴パラメータを計算して、切りくず形態ごとに印を変えてグラフにすると図14のようになる。図14より、式(4)の l_r と式(7)の s_r を用いて、折断された切りくず(図中○印)を、他の折断されていない切りくずから判別できること、式(4)の l_r を用いて折断されていない切りくずを、さらに、もつれ合いの程度に応じて区別できることが分かる。

6. ま と め

NC旋盤内で旋削加工中に撮影したビデオ画像を使って、チップブレーカで折断できなかつた切りくず、あるいは工作物へのからみつきの高危険性が高い連続した切りくずを、正常に折断された切りくずと区別して認識する手法を検討した。

ラベリングを行ったエッジ画像に直線をあてはめ、工

Table 1 Examples of feature parameters

Figure	Chip shape	l_r	s_r
Fig. 8	broken off	0.63	0.53
Fig. 9	almost straight	1.03	0.17
Fig. 10	tangled in low density	2.44	0.41
Fig. 11	tangled in medium density	3.52	0.30
Fig. 12	tangled in high density	3.91	0.50

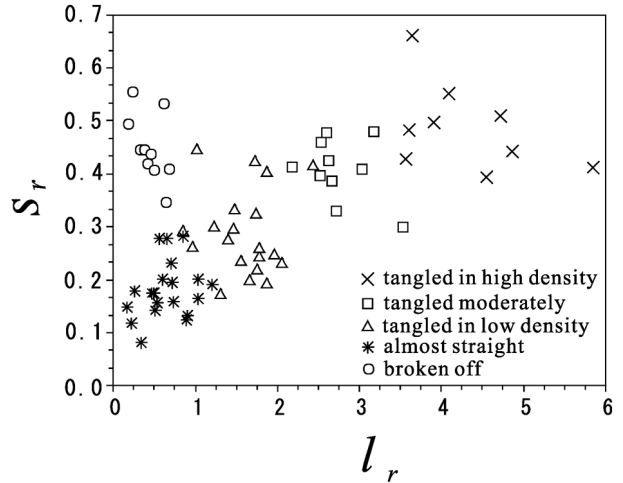


Fig. 14 Feature parameters for chip style identification.

具タレットの縁と工具シャンクの上面を検出することにより切りくずの存在する画像領域を限定することが可能である。さらに、インターレス画像であることを利用して、偶数・奇数フィールド間の差分を計算し、エッジ画像と重ね合わせることによって、切りくずの存在する領域内で、切りくず以外のエッジ画素を弱めることが可能である。抽出した切りくずのエッジ画像を使い、切りくず画像のエッジ長さの合計を、切りくず領域の周囲長さで割った値を特徴パラメータの一つとした。さらに、切りくず画像のエッジ長さを重みとして用い、切りくず画像を包絡する長方形の辺の比の重みつき平均値を計算して特徴パラメータとした。この2つの特徴パラメータを組み合わせ、折断された切りくずを、他の折断されていない切りくずと識別できること、折断されていない切りくずを、もつれ合いの程度に応じて区別できることが分かった。

参 考 文 献

- 1) 五十嵐智, 本多庸悟, 堆積画像に基づく切りくず形状の識別, 精密工学会誌, 53巻, 2号 (1987), p130-135.
- 2) 新井実ほか, 放射温度計による切りくず排出状態の監視, 精密機械, 51巻, 4号 (1985), p122-127.
- 3) 大津展之ほか, パターン認識, 朝倉書店 (2000), p60.