

# ロバストガウシアン回帰フィルタの出力に及ぼす重み因子と終了条件の影響

## Effect of weighting factors and termination criteria on output of robust

### Gaussian regression filter

岩手大・理工(院)\*高梨 椋平, (正) 内館 道正

Ryohei Takanashi, Michimasa Uchidate

Iwate University

#### 1. 緒言

近年, 工業製品の小型化, 高精度化の発展に伴い, 部品の加工精度などに対する要求が高まっており, 表面粗さ等の表面性状パラメータは高精度な加工を行うため必須となる。

表面粗さは測定データにフィルタリング技術を用いることで得られる。現在, 標準的に用いられているフィルタはガウシアンフィルタであり, そのガウシアンフィルタを改良し, 深い谷部のような外れ値の影響を無視することができるフィルタとして, ロバストガウシアンフィルタがある。ロバストガウシアンフィルタは繰り返し処理を行い, 長周期成分を求めるが, その実装方法や有効性, 繰り返し処理の終了条件が十分に明確にされていない。

本研究の目的は, ロバストガウシアンフィルタの計算方法や有効性を明確にすることである。

#### 2. 理論

次の最適化問題<sup>1)</sup>を解くことにより, ロバストガウシアン回帰フィルタの長周期成分(以後, 出力) $w$ が得られる。

$$E(k) = \sum_{p=0}^{n-1} \left\{ (z(p) - w(k))^2 \delta(i, p) S_{MOD}(k, p) \Delta x \right\} \rightarrow \text{Min} \quad (1)$$

ここで,  $z(p)$ はプロファイルのデータ点,  $\delta(i, p)$ は重み因子,  $S_{MOD}(k, p)$ はガウス関数で与えられる重み関数,  $\Delta x$ はサンプリング間隔である。外れ値の重みを 0 にする閾値を決めるパラメータ  $c$  については, 一般的に用いられている  $c=4.4$ <sup>2)</sup>とした。

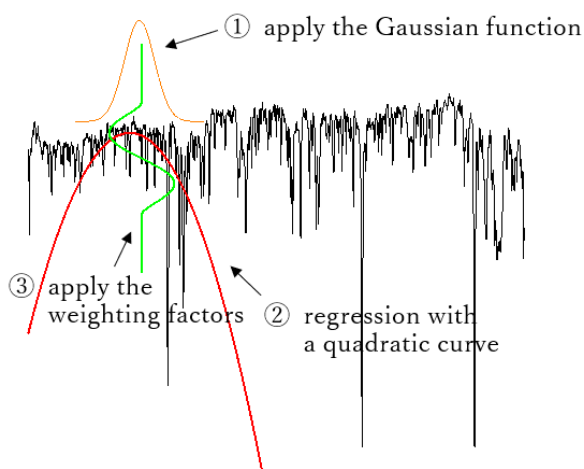


Fig.1 Schematic of Second-order Robust Gaussian regression filter

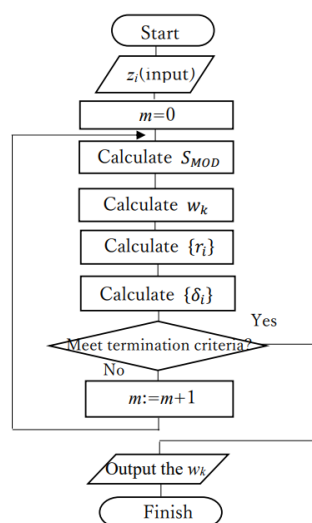


Fig.2 Flowchart of Robust Gaussian regression filter

Figure 1はロバスト二次ガウシアン回帰フィルタの概略図を示す。始めに, ①プロファイルのデータ点に対して, ガウスの重み関数  $S_{MOD}$ を適用し, データ近傍の値を加味した重み付けを行う。次に, ②二次曲線で回帰し,  $z$  と  $w$  の差が最小となるような  $w$  を求める。その後, ③重み因子を適用して,  $z$  に対する  $w$  の乖離具合に応じて, 重みを変化させ, 閾値よりも離れたデータ点の重みを 0 にする。これを全てのデータ点に対して行い, 出力を得た。ここで, 外れ値とみなす閾値は  $C_B = c \times \text{median}(|r|)$ と表される。Figure 2は, ロバストガウシアン回帰フィルタのフローチャートを示す。得られた出力  $w$  から  $\delta(i, p)$ の値を更新し, 繰り返し最適化問題を解くことにより, 最終的な処理結果  $w$  を求めることができる。

#### 3. 検討方法

ロバストガウシアン回帰フィルタの異なる重み因子による出力の違い, 終了条件の目安について検討した。4つの比較用標準片, 平面ラップ仕上げ(Flat lapping), 研磨面(Polishing), ホーニング加工(Honing), 平面研削(Grinding)を測定して得られた輪郭曲線に対して, 針先端補正は  $2 \mu\text{m}$ を適用し, ローパスフィルタのカットオフ値は  $\lambda_s = 2.5 \mu\text{m}$ を適用

して、断面曲線を得た。その後、Python で作成したロバストゼロ次ガウシアン回帰フィルタ、ロバスト二次ガウシアン回帰フィルタのプログラムにプロファイルとして入力し、出力を得た。ハイパスフィルタのカットオフ値 $\lambda_c$ については $\lambda_c=0.25$  mm を適用した。

この研究では、①ガウシアンフィルタ、②ロバストゼロ次ガウシアン回帰フィルタ、③ロバスト二次ガウシアン回帰フィルタ、の3つのフィルタを適用して、ガウシアンフィルタとロバストガウシアン回帰フィルタの出力の違い、異なる重み因子による出力の違い、また、ロバストガウシアン回帰フィルタは繰り返し処理における終了条件が決まっていなかったため、繰り返し処理の終了条件の目安について検討した。

#### 4. 結果と考察

Figure 3はガウシアンフィルタとロバスト二次ガウシアン回帰フィルタによる出力の違いを示す。折れ線がプロファイルのデータ点 $z$ 、実線がロバスト二次ガウシアン回帰フィルタ、破線がガウシアンフィルタの出力 $w$ 、点線が重みを0にする閾値 $C_B$ である。ガウシアンフィルタでは、うねり曲線が谷部に引っ張られてしまっているが、ロバスト二次ガウシアン回帰フィルタは谷部に引っ張られず、波形が歪んでいない。ロバスト二次ガウシアン回帰フィルタは、点線で表される閾値 $C_B$ よりも離れたデータ点の重みを0にするため、深い谷部によって波形が歪まない出力を得ることができる。

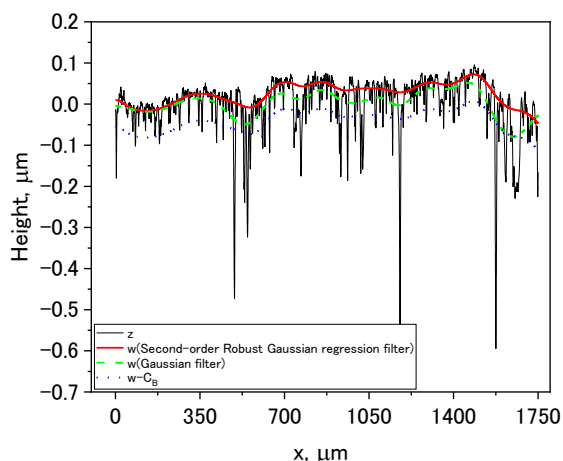


Fig.3 Difference in waviness curves of different filters

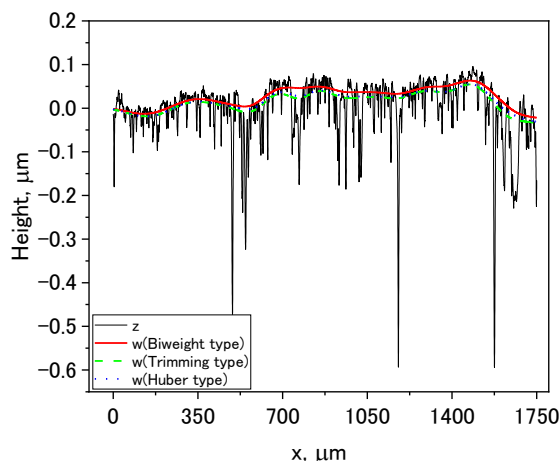


Fig.4 Difference in waviness with different weighting factors

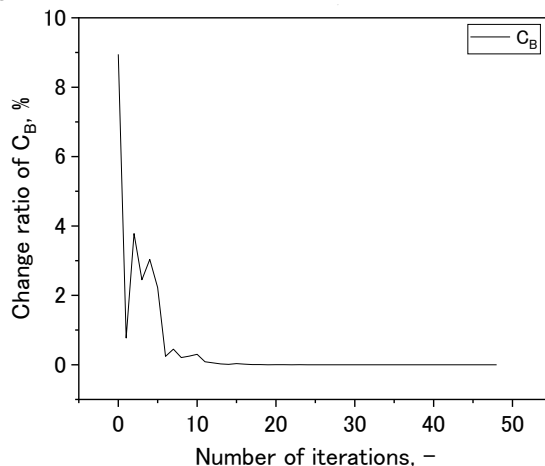


Fig.5 Change ratio of  $C_B$  against iteration

Figure 4は異なる重み因子によるうねり曲線の違いを示す。ロバストゼロ次ガウシアン回帰フィルタを適用し、重み因子には、Biweight 型、刈り込み型、フーバー型<sup>3)</sup>を適用した。Biweight 型の重み因子を適用した場合は、他の重み因子を適用した場合と比べて、谷部の影響がより少ないうねり曲線が得られた。刈り込み型やフーバー型は外れ値でない値に対して重みをつけないが、Biweight 型は外れ値でない値に対しても、 $z$  に対する  $w$  の乖離具合に応じて重みをつけるため、谷部の影響が少なくなったと考えられる。

Figure 5はFlat lapping の表面に Biweight 型を適用し、繰り返し回数 50 回行ったときの  $C_B$  の変化率を示す。繰り返し回数 10 回前後までは  $C_B$  の変化率は大きいですが、20 回前後で  $C_B$  の変化率は  $10 \times 10^{-4}$  ほどになった。  $C_B$  の変化率は 20 回前後で変化がほとんどなくなり、そのときの  $C_B$  の変化率は  $10 \times 10^{-4}$  ほどである。Flat lapping 以外の 3 つの表面に関しても同様の結果が得られたため、終了条件として  $C_B$  の変化率が  $10 \times 10^{-4}$ 、 $10 \times 10^{-5}$  以下が一つの目安になるのではないかと考えた。今後について、重み因子に Biweight 型、刈り込み型、フーバー型の 3 種類を適用してうねり曲線の違いを比較したが、各重み因子を適用した場合の収束までにかかる回数などをこれから検討していく必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) J. Seewig, Praxisgerechte Signalverarbeitung zur Trennung der Gestaltabweichungen technischer Oberflächen, Thesis University of Hanover, (2000).
- 2) ISO 16610-31:2016 Geometrical product specifications(GPS)-Filtration-Part31:Robust profile filters: Gaussian regression filters.
- 3) 藤澤洋徳, ロバスト統計-外れ値への対処の仕方-, 近代科学社, (2017) 16-18.