

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560271

研究課題名(和文) 高速M推定を用いた3次元表面粗さ用ローパスフィルタの開発

研究課題名(英文) Development of the low-pass filter for areal surface texture by using fast M-estimation method

研究代表者

沼田 宗敏 (NUMADA, Munetoshi)

中京大学・工学部・教授

研究者番号：00554924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：高速M推定型ガウシアンフィルタは、外れ値がない場合はガウシアンフィルタと特性が同じでありながら、外れ値に対してはロバストにふるまう高速なローパスフィルタである。ガウシアンフィルタとの特性一致、高速計算性、ロバスト性という表面粗さ測定用フィルタの三大特性の全ての達成が確認されている。このローパスフィルタを三次元表面性状用に適用し、振幅伝達特性ベースで方向特性を確認し、S.Brinkmannのロバストガウシアンフィルタやスプラインフィルタとの比較を交え4大特性の検証を行なった。

研究成果の概要(英文)：Fast M-estimation Gaussian filter is the high-speed robust low-pass filter of which transmission characteristic agrees with Gaussian filter's one if and only if no outlier exists. 1D fast M-estimation Gaussian filter obtains all of the three major characteristics of filters for linear roughness measurement (characteristic agrees with Gaussian filter, high-speed and robustness) are verified. This research verifies four major characteristics of the areal surface texture in transmission characteristic, and compares with S.Brinkmann's robust Gaussian filter and spline filter.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：機械計測 表面粗さ

1. 研究開始当初の背景

近年、工業製品の品質管理のための表面粗さ測定は1方向測定から、直交する2方向よりなる3次元表面粗さ測定への移行が進んでいる。現在は、国際標準であるガウシアンフィルタ (ISO 11562) を x 方向、y 方向に順次適用することにより、3次元表面粗さ用ローパスフィルタの4大特性(1)ガウシアンフィルタとの結果一致性、(2)高速計算性、(3)ロバスト性、(4)方向特性)のうち、(2)高速計算性、(3)ロバスト性を除く2つの特性を達成している。多くの測定対象表面の測定値には異常値が極めて少ないため、処理時間が遅いことを除けば実用上は問題がない。しかし、3次元表面粗さ測定機の普及が進み、様々な測定表面が対象となるにつれ、測定値に含まれる異常値も増えつつある。このような異常値に対応するため、ロバスト推定法を適用したローパスフィルタの研究が多くなされてきた。この中で実用化が検討されているのはスプラインフィルタと S. Brinkmann らのロバストガウシアンフィルタである。ただ、これらのフィルタでも、(3)ロバスト性以外の特性は未達成である。このため、測定対象表面に異常値があることが事前にわかる場合にしか使えず実用には向かない。

これに対し、申請者らは異常値のないデータに対しては最小二乗推定と推定値が一致し、高速計算も可能な新しいロバスト推定法である高速 M 推定法を提案した。これを表面粗さ用ローパスフィルタに適用し、異常値のないデータに対してはガウシアンフィルタ適用結果と同一結果を与え、外れ値のあるデータに対してはロバストにふるまうフィルタを実現し、初めて(1)-(3)の3大特性を満たすことに成功した。この高速 M 推定型ローパスフィルタの登場で、実用化が最も待ち望まれている3次元表面粗さ用ローパスフィルタへの適用が期待されている。

2. 研究の目的

本研究は1方向の高速 M 推定型ローパスフィルタを直交する2方向からなる3次元表面粗さ用ローパスフィルタへと拡張し、3大特性に方向特性を加えた4大特性の達成を目指し、以下のことを明らかにする。

- (1) 高速 M 推定を用いた1次元ローパスフィルタを、直交する2方向からなる2次元ローパスフィルタへと拡張する。
- (2) 高速 M 推定を用いた1次元ローパスフィルタを x 方向、y 方向に順次適用し、高速化を図る。計測データに異常値がない場合に、フィルタ結果が(1)の2次元フィルタの結果と一致することを確認する。
- (3) 高速 M 推定を用いた1次元ローパスフィルタの x 方向、y 方向の適用順序を入れ替え、フィルタ結果の異なる計測点が異常値であ

ることを確認する。

- (4) 上記(3)の異常値に対して、改めて(1)の2次元フィルタを適用することにより、フィルタ計算の高速化を図る手法を確立する。

- (5) 3次元表面粗さ用ローパスフィルタの4大特性である、(1)ガウシアンフィルタとの結果一致性、(2)高速計算性、(3)ロバスト性、(4)方向特性、の達成を確認する。

3. 研究の方法

高速 M 推定型ローパスフィルタを3次元表面粗さ用ローパスフィルタへと拡張し、4大特性の達成を目指すために、以下の研究項目を実施する。

- (1) 高速 M 推定を用いた2次元ローパスフィルタ開発
 - 3次元密度分布の効率的累積手法開発
 - 3次元パラメータ空間の大きさ検討
 - z 軸方向の M 推定値高精度計算法開発
- (2) 1次元ローパスフィルタの順次適用による2次元ローパスフィルタ置換法開発
- (3) 1次元フィルタの x-y 方向順番入替えに伴う結果不一致のメカニズム解明
- (4) 1次元フィルタ順次適用と2次元フィルタ直接適用の併用法開発
- (5) 3次元表面粗さ用ローパスフィルタの4大特性の達成度検証

4. 研究成果

- (1) 高速 M 推定を用いた、直交する2方向からなる2次元フィルタの直接適用

3次元密度分布の効率的累積手法開発：各計測データ毎に3次元密度分布を累積すると莫大な計算量を要する。1方向のローパスフィルタと同様、まず x-y 方向の2次元密度分布だけを累積し、続いて z 軸方向に平均処理を3度繰り返す方法を採用した。この手法は、単純な3次元密度分布累積法に比べ3倍-4倍の高速化を実現した。

3次元パラメータ空間の大きさ検討：x 方向、y 方向の計測データ数を N_x 、 N_y としたとき、z 方向の大きさ N_z を $\max(N_x, N_y) \sim 2 \times \max(N_x, N_y)$ とすることにより、総合的なバランスがよくなることを確認した。

z 軸方向の M 推定値高精度計算法開発：各座標において z 軸座標の最大点を、補正項の導入により分解能の 1/10 程度で計算する手法を確立し、シミュレーションで効果を確認した。

- (2) 高速 M 推定を用いた1方向のローパスフィルタを x 方向、y 方向に順次適用し、2次元フィルタの高速化を図った。シミュレーション

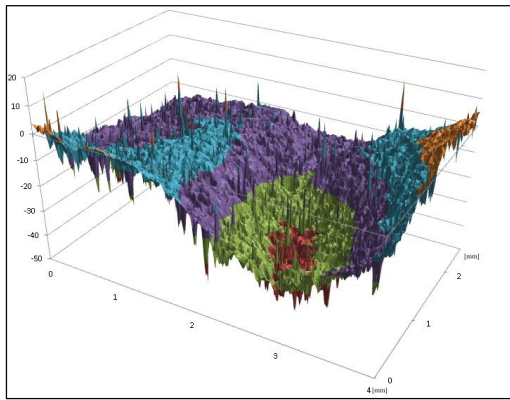


図1 元データ

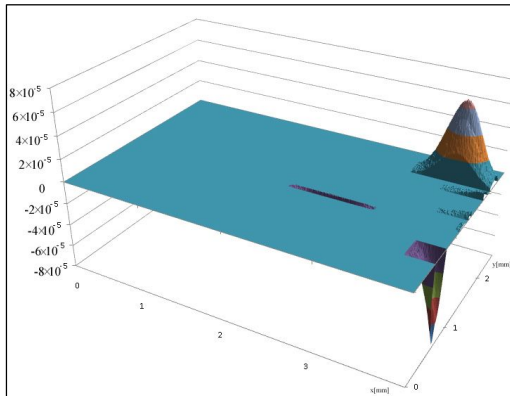


図2 1次元フィルタのxy順序入れ替えによる結果の差異

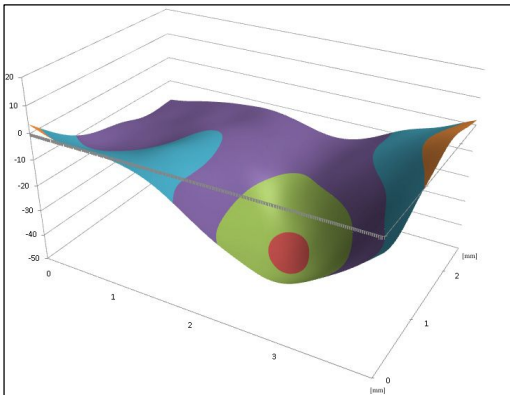


図3 フィルタ適用結果

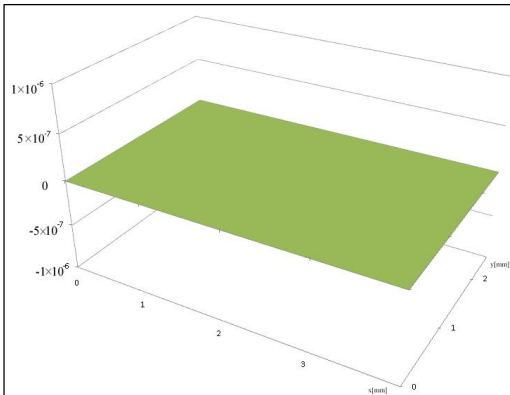


図4 提案手法による xy順序入れ替えによる結果の差異

幅伝達特性検証：本フィルタは異常値のないデータに対してはガウシアンフィルタと同じ性質を示す。その原因は本フィルタの振幅伝達特性（波長特性）にあるが、本フィルタの重み関数が陽には与えられないため特性はこれまで不明であった。これを計算する手法を確立し、異常値のないデータに対してはガウシアンフィルタの振幅伝達特性と一致することを確認した。

(4) 1次元フィルタの適用方向の順番入れ替えによる、結果不一致のメカニズム解明：異常値のある計測データでは、高速 M 推定型ローパスフィルタに方向特性が生じるので、1方向の高速 M 推定型ローパスフィルタの x-y 方向順次適用による結果と2次元フィルタの適用結果とは異なると予測される。また、1次元フィルタの x 方向, y 方向の計算順序を入れ替えても適用結果は異なると考えられる。これより、1方向ローパスフィルタを x 方向, y 方向と順次適用して得られた結果と, y 方向, x 方向と順次適用して得られた結果とが異なってくる。これらのことを、シミュレーション実験で検証した。

(5) フィルタ結果の不一致が生じる計測点に部分的な2次元フィルタを適用する2段階手法の確立：元データに対し1次元の M 推定型ローパスフィルタを x 方向, y 方向に適用した結果と、方向を入れ替えて適用した結果とが異なるポイントには異常値がある。そこで、この差異が生じるポイントにだけ2次元フィルタを直接適用することを検討した。直接適用するポイント数は異常値の数に比例し、全計測点の一部に過ぎないから、高速化を実現できる。これらをシミュレーション実験で検証した。

(6) 3次元表面粗さ用ローパスフィルタの計算手法を確立した。当初の計画は、元データ（図1）に対し高速 M 推定を用いた1次元ローパスフィルタを互いに直交する2方向へ順次適用したフィルタ結果 A および, x 方向, y 方向の順序を入れ替えて順次適用したフィルタ結果 B の不一致（図2）が生じる計測点に、部分的な高速 M 推定を用いた2次元フィルタを適用する2段階手法であった。最終的に高速 M 推定を用いた2次元フィルタの効率的計算手順を開発し、全計測データに2次元フィルタを直接適用する1段階手法に簡略化し、当初の計画の2段階手法よりも精度・処理速度ともに優れた結果（図3）を得た。提案手法を用いて、x 方向, y 方向のデータの並びを入れ替えて実施した結果間に差異は見られなかった（図4）。1次元フィルタの xy 順序入れ替えによる結果の差異は PV 値に対し 2.3×10^{-6} であったが、提案手法ではデータの xy 順序入れ替えによる結果の差異は 1.4×10^{-8} と 1/100 以下になった。

ョンでは、約 3.5 倍の高速化を達成した。

(3) 高速 M 推定を用いた1次元フィルタの振

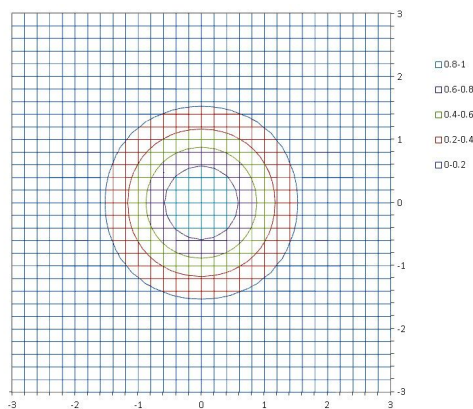


図5 フィルタの2次元振幅伝達特性(方向特性なし)

(7) 3次元表面粗さ用ローパスフィルタの4大特性を検証し、外れ値のない計測データに対しガウシアンフィルタと結果が一致すること、高速に計算できること、外れ値のある計測データに対しロバストであること、方向特性がないこと(図5),を実験で確かめた。

(8) 従来の代表的な表面粗さ用ローパスフィルタであるスプラインフィルタ, S. Brinkmann のロバストガウシアンフィルタの2次元フィルタで実験し, スプラインフィルタでは上記(7)の4大特性の内, , , が満足できないこと, S. Brinkmann のロバストガウシアンフィルタでは, , が満足できないことを確認した。

(9) 研究協力者である3次元表面粗さ測定機メーカーである株式会社小坂研究所と2014年3月より実用化のための共同研究をスタートした。1,2年のうちに本3次元表面粗さ用ローパスフィルタが実用化される見込みである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

近藤雄基, 沼田宗敏, 奥水大和: 高速M推定を用いたロバストガウシアンフィルタの振幅伝達特性, 精密工学会誌, 査読有, Vol. 79, No. 7, pp. 659-664 (2013.7).

〔学会発表〕(計8件)

近藤雄基, 沼田宗敏, 奥水大和: 2次元高速M推定ガウシアンフィルタ(FMGF)の四大特性, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, A08, p.13-14, 東京大学 (2014.3.8).

近藤雄基, 沼田宗敏, 奥水大和: FMGF(高速M推定ガウシアンフィルタ)の処理時間, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, G39, p.369-370, 関西大学 (2013.9.13).

近藤雄基, 沼田宗敏, 奥水大和: FMGF(高速M推定ガウシアンフィルタ)の振幅伝達特性, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, N02, p.889-890, 東京工業大学 (2013.3.13).

沼田宗敏, 近藤雄基, 奥水大和: 高速M推定を用いた2次元ガウシアンフィルタの構築, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, N03, p.891-892, 東京工業大学(2013.3.13).

Yuki Kondo, Munetoshi Numada, Hiroyasu Koshimizu: A robust Gaussian filter corresponding to the transmission characteristic of the Gaussian filter, Proc. of the 14th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces (MPES), TS7-02, p. 1-5, National Taiwan Univ., Taiwan (21, Jun. 2013).

Munetoshi Numada, Hiroyasu Koshimizu and Wakako Araki: A Robust Gaussian Filter by Using Fast M-Estimation Method, Proc. of the 3rd International Conference on Surface Metrology (ICSM2012), No. 179, p. 1-6, Polytech ' Annecy Chambery eng. school, France, (21 Mar., 2012).

沼田宗敏, 奥水大和: 高速M推定を用いた2次元ガウシアンフィルタの提案, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, N67, p. 904-905, 金沢大学(2011.9.22).

沼田宗敏: ローパスフィルタの鍵を握る高速M推定法の提案, 表面トポ研究会(招待講演), No. 3, p. 1-4, 長岡技術科学大学(2011.7.8).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼田 宗敏 (NUMADA Munetoshi)

中京大学・工学部・教授

研究者番号: 00554924

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: