

MINIMIZAREA DURATEI DE PROCESARE
LA FILTRAREA SUPRAFEȚELOR
ȘLEFUITE DIN LEMN MASIV CU UN
FILTRU GAUSS ROBUST

MINIMISING THE COMPUTATION TIME OF
USING A ROBUST GAUSSIAN REGRESSION
FILTER ON SANDED WOOD SURFACES

Lidia GURĂU

Assoc.Prof.dr. - TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr.29, 500036 Brașov, Romania
E-mail: lidiagurau@unitbv.ro

Mark IRLE

Research Director - L'UNAM Université, Ecole Supérieure du Bois
Laboratoire Matériaux et Composites Bois,
Adresa/Address: rue Christian Pauc, BP 10605, 44306 Nantes, France
Email : mark.irle@ecoledubois.fr

Hugh MANSFIELD-WILLIAMS

Principal Consultant, Trada Technology
Adresa/Address: Chiltern House, Stocking Lane, Hughenden Valley, High Wycombe,
Buckinghamshire, HP14 4ND, UK
E-mail: hmansfield-williams@trada.co.uk

Rezumat:

Rugozitatea unei suprafețe prelucrate trebuie filtrată pentru a elimina erorile de formă și ondulația. Cel mai comun filtru, filtrul Gauss, introduce distorsiuni atunci când este utilizat la unele suprafețe din lemn, în timp ce filtrul robust de regresie Gauss (RGRF) nu. Totuși, timpul de procesare la utilizarea filtrului RGRF este semnificativ mai mare, deoarece acesta operează iterativ și implică în evaluare toate valorile profilului analizat. În această lucrare este propus un algoritm modificat, care reduce numărul de valori ale ferestrei de ponderare. Efectul filtrului RGRF cu fereastră de ponderare scurtată este comparat cu acela al filtrării cu RGRF fără modificare, pe profile șlefuite din lemn și plastic și este evaluat ca valoare a erorii absolute a parametrilor de rugozitate R_a și R_t . Au fost testate diferite lungimi ale ferestrei de ponderare, însă s-a constatat că la o valoare egală cu $1,25\lambda$ (λ fiind lungimea de undă de prag a filtrului), erorile sunt neglijabile. Timpul de procesare scade semnificativ când numărul de valori ale profilului se limitează la această lungime a ferestrei de ponderare.

Cuvinte cheie: filtru robust de regresie Gauss; fereastră de ponderare; suprafețe șlefuite; durată de procesare.

INTRODUCERE

Orice evaluare cantitativă a rugozității unei suprafețe prelucrate din lemn necesită o filtrare a datelor achiziționate digital de către instrumentul de măsurare, de regulă un palpator sau laser, pentru a elimina erorile de formă și ondulația. Instrumentul scanează secvențial profilele suprafeței, care pot fi ulterior procesate și evaluate. Procesarea datelor începe cu eliminarea erorilor de formă cu ajutorul unei regresii bazate pe metoda celor mai mici pătrate

Abstract:

Roughness of a processed surface has to be filtered to remove form errors and waviness. The most common filter, the Gaussian filter, introduces distortions when used on some wood surfaces, whereas the Robust Gaussian Regression Filter (RGRF) does not. Unfortunately, the computation time when using the RGRF is increased significantly because the filter works iteratively and involves all profile data points in the evaluation. A modified algorithm that reduces the number of datapoints in the weighting window is proposed in this paper. The effect of the RGRF with a truncated window is compared to that of the RGRF without truncation on profiles of sanded wood and plastic and evaluated as an absolute error of R_a and R_t roughness parameters. Various weighting windows were tested and it was found that a window equivalent to 1.25λ (λ being the filter cut-off length), gave negligible errors. The computation time is reduced significantly when the number of data points is limited by this weighting window.

Key words: Robust Gaussian Regression Filter; weighting window; sanded surfaces; computation time.

INTRODUCTION

Any quantitative evaluation of the roughness of a processed wood surface requires that the data acquired digitally by a measuring instrument, usually a stylus or a laser, is filtered to remove form errors and waviness. The instrument scans sequential profiles of the surface, which can be later processed and evaluated. Data processing begins with removal of form errors by a least squares regression to obtain the primary profile. Further, the roughness profile, which includes only the shortest

pentru a obține profilul primar. Apoi se obține profilul de rugozitate, care include numai deviațiile de la profilul nominal cu lungime de undă scurtă, prin filtrarea profilului primar pentru a atenua lungimile de undă mai mari asociate cu undulația. Filtrarea utilizează o lungime de undă de prag (λ), fiind valoarea care determină care lungimi de undă urmează să fie eliminate din datele profilului. Un filtru calculează o linie medie prin mediere ponderată a valorilor vecine pentru fiecare punct al profilului. Conform celei mai utilizate metode de filtrare, ponderile derivă dintr-o funcție Gauss glisantă (Fig. 1), care este funcția de ponderare a filtrului Gauss.

wavelength deviations from the nominal profile, is obtained by filtering the primary profile to attenuate the longer wavelengths associated with waviness. Filtering uses a cut-off length (λ), which is the value that determines which wavelengths are to be removed from the profile data. A filter calculates a mean line by averaging locally weighted values at each point of the profile. According to the most widely used filtering method, the weights are derived from a sliding Gaussian function (Fig. 1), which is the weighting function of a Gaussian filter.

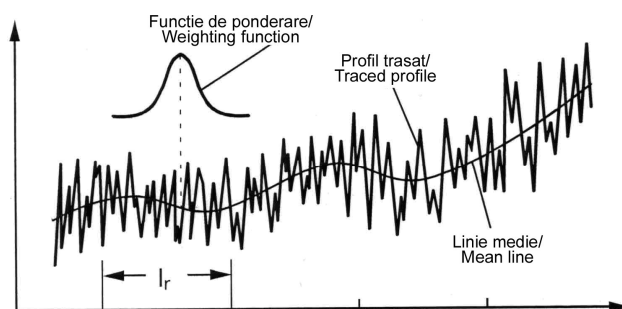


Fig. 1.

Procedură de calculare a liniei medii a profilului de rugozitate cu ajutorul unui filtru Gauss (Mahr GMBH 1999). l_r este lungimea de bază, care se ia, în mod obișnuit, egală cu lungimea de undă de prag (λ) a filtrului / Procedure for calculating the mean line of a roughness profile with a Gaussian filter (Mahr GMBH 1999). l_r is the sampling length, which is usually set as equal to the cut-off length (λ) of the filter.

Profilul de rugozitate este un vector compus din deviații verticale ale profilului primar de la linia medie. Importanța profilului de rugozitate derivă din faptul că permite o evaluare numerică a suprafeței utilizând parametri de rugozitate și făcând posibile comparații între diferite tipuri de suprafețe. Suprafețele șlefuite din lemn conțin neregularități datorate atât procesului de șlefuire, cât și anatomiei. Cele mai utilizate metode de filtrare a profilului, precum cele din ISO 11562 (1997), înlocuit de 16610-21 (2011), și ISO 13565-1 (1996), introduc un tip de distorsiune pe unele suprafețe din lemn cunoscută ca "push-up" (deviație în sus). Distorsiunea se produce mai ales în jurul grupurilor de pori, dar poate fi produsă și de vârfuri accidentale ale profilului, care nu caracterizează rugozitatea de prelucrare (Krisch și Csiha 1999, Anonymus 2002, Gurău ș.a. 2005). Un standard "robust" față de valorile izolate ale profilului este ISO/TS 16610-31 (2010), care descrie filtrul robust de regresie Gauss (RGRF). În cazul suprafețelor din lemn, văile adânci cauzate de anatomia lemnului sau vârfurile accidentale, care nu caracterizează prelucrarea, pot fi considerate valori izolate ale profilului. Algoritmii noului standard au fost testați încă din perioada când standardul era în formă draft, constatându-se aplicabilitatea lui în cazul lemnului (Gurău ș.a. 2002, Fujiwara ș.a. 2004, Gurău ș.a.

The roughness profile is a vector composed of the vertical deviations of the primary profile from the mean line. The importance of the roughness profile is that it allows a numerical evaluation of the surface using standard roughness parameters, enabling reliable comparisons between different surface textures.

Sanded wood surfaces contain irregularities due to both the sanding process and the anatomy. The most used profile filtering methods, such as those in ISO 11562 (1997), replaced by ISO 16610-21 (2011), and ISO 13565-1 (1996), introduce a type of distortion known as "push-up" on some wood surfaces. The distortion most commonly occurs around groups of pores, but can also be produced by accidental high peaks that are not characteristic of processing roughness (Krisch and Csiha 1999, Anonymus 2002, Gurău *et al.* 2005).

A standard that describes a Robust Gaussian Regression Filter (RGRF) in ISO/TS 16610-31 (2010) is "robust" against outliers. For wood surfaces, deep valleys caused by wood anatomy or accidental high peaks that do not characterise the processing may be considered as outliers. The algorithms of the new standard were tested when the standard was still in draft, and were found to be suitable for wood surfaces (Gurău *et al.* 2002, Fujiwara *et al.* 2004, Gurău *et al.* 2004). Later, the filter was tested by other authors who confirmed its usefulness for wood surfaces (Hendarto *et al.* 2005, Tan *et al.* 2010).

2004). Mai târziu, filtrul a fost testat și de către alți autori, care au confirmat utilitatea sa în cazul suprafețelor din lemn (Hendarto ș.a. 2005, Tan ș.a. 2010). RGRF este o modificare a filtrului din ISO 11562 (1996) și este aplicat în mod iterativ unui set de date până la atingerea unei condiții de convergență. Configurarea regresiei generalizate pentru RGRF a fost descrisă de Gurău ș.a. (2005) în formă digitală și s-a bazat pe informații din ISO/DTS 16610 31: 2002(E), Brinkmann ș.a. (2000, 2001) și Raja ș.a. (2002):

$$\sum_{l=1}^n (z_l - w_k^{(m+1)})^2 \cdot \delta_l^{(m)} \cdot s_{kl} \cdot \Delta x \rightarrow \min_{w_k^{(m+1)}} \quad (1)$$

(Gurău ș.a. 2005) (Eq.4 © 2004, Springer Science and Business Media)

unde:

- n - numărul valorilor (punctelor) profilului nefiltrat
- w_k - valoarea undulației pentru indexul k , care reprezintă valoarea liniei medii.
- z_l - înălțime a profilului nefiltrat
- s_{kl} - funcția de ponderare
- m - indice care marchează etapa de iterare (este un indice și nu o funcție de putere)
- δ - pondere verticală suplimentară
- Δx - interval de bază (intervalul între două puncte măsurate consecutive)

În prima iterație, când $m = 0$, filtrul de regresie Gauss calculează un nivel de referință pentru care se aplică fiecărui punct ponderea suplimentară $\delta^{(0)} = 1$. În iterațiile următoare, valoarea lui δ este dată de condiția:

$$\delta_l^{(m)} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{z_l - w_l^{(m)}}{c_B^{(m)}} \right)^2 \right]^2 & \text{pentru } |z_l - w_l^{(m)}| \leq c_B^{(m)} \\ 0 & \text{altfel} \end{cases} \quad (2)$$

(Gurău ș.a. 2005) (Eq.5 © 2004, Springer Science and Business Media)

unde:

- δ poate lua valori între 0 și 1.
- c_B este o valoare de prag dată în (3) și se bazează pe un studiu al lui Bodschiwinna (2000):

$$c_B^{(m)} = 4.4478 \cdot \text{median} |z_l - w_l^{(m)}| \quad (3)$$

(Gurău ș.a. 2005) (Eq.6 © 2004, Springer Science and Business Media)

Înălțimile profilului aflate aproape de linia medie stabilită în iterația precedentă sunt înmulțite cu valori ale lui δ apropiate de unu, astfel că aproximativ întreaga lor valoare este inclusă. Înălțimile profilului aflate mai departe de c_B față de linia medie sunt înmulțite cu zero. Valoarea lui δ este inclusă într-o funcție de ponderare modificată (4):

The RGRF is a modification of the filter from ISO 11562 (1996) and is applied iteratively to a dataset until a convergence condition is met.

The generalized regression arrangement of the RGRF was described by Gurău *et al.* (2005), in a digital form, and was based on information from ISO/DTS 16610 31: 2002(E), Brinkmann *et al.* (2000, 2001) and Raja *et al.* (2002):

$$\sum_{l=1}^n (z_l - w_k^{(m+1)})^2 \cdot \delta_l^{(m)} \cdot s_{kl} \cdot \Delta x \rightarrow \min_{w_k^{(m+1)}} \quad (1)$$

(Gurău *et al.* 2005) (Eq.4 © 2004, Springer Science and Business Media)

where:

- n - the number of data points in the unfiltered profile
- w_k - waviness value at index k , which is the value of the mean line
- z_l - is a profile height in the unfiltered profile
- s_{kl} - the weighting function
- m - index marking the iteration step (this is an index and not a power function)
- δ - additional vertical weight
- Δx - the sampling interval (the interval between two consecutive measuring points)

In the first iteration, when $m = 0$, a reference level is calculated by the Gaussian regression filter, and the additional weight $\delta^{(0)} = 1$ is applied to each data point. In subsequent iterations, the value of δ is given by the condition:

$$\delta_l^{(m)} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{z_l - w_l^{(m)}}{c_B^{(m)}} \right)^2 \right]^2 & \text{for } |z_l - w_l^{(m)}| \leq c_B^{(m)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

(Gurău *et al.* 2005) (Eq.5 © 2004, Springer Science and Business Media)

where:

- δ can take values of between zero and one.
- c_B is a threshold value given in (3) and is based on a study by Bodschiwinna (2000):

$$c_B^{(m)} = 4.4478 \cdot \text{median} |z_l - w_l^{(m)}| \quad (3)$$

(Gurău *et al.* 2005) (Eq.6 © 2004, Springer Science and Business Media)

Profile heights lying close to the mean line established in the previous iteration are multiplied by values of δ close to one, so almost their full value is included. Profile heights further than c_B from the mean line are multiplied by zero. The value of δ is contained in a modified averaging function in (4).

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot z_l \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (4)$$

(Gurău ș.a. 2005) (Eq.7 © 2004, Springer Science and Business Media)

Iterațiile se repetă până când diferența dintre două valori mediane consecutive este mai mică decât o toleranță dată.

Deși foarte eficiente, RGRF necesită durate lungi de procesare, întrucât ecuația (4) calculează o linie medie în care fiecare punct al profilului filtrat este ponderat prin participarea tuturor celorlalte puncte din profilul nefiltrat. Aceasta înseamnă că funcția de ponderare are aceeași lungime cu profilul nefiltrat.

OBIECTIV

Această lucrare prezintă rezultatele studiului asupra unei metode de a minimiza timpul de procesare al filtrului RGRF prin utilizarea unei ferestre scurtate de ponderare. Obiectivul este alegerea unei ferestre de ponderare optime care să producă erori neglijabile comparativ cu metoda RGRF de referință, dar să reducă semnificativ timpul de procesare. Algoritmul a fost verificat pe profile ale suprafețelor șlefuite din lemn.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

a) Algoritm RGRF scurtat

Deși vectorul funcției de ponderare a filtrului RGRF are aceeași lungime cu profilul, conține valori zero la fiecare capăt, deci numai valorile ordonate din jurul centrului funcției au ponderi diferite de zero. Datele punctelor ponderate cu zero nu modifică linia medie, însă lungesc durata procesului de filtrare. Aceasta sugerează faptul că fereastra de ponderare poate fi scurtată fără a afecta rezultatul final.

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot z_l \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (4)$$

(Gurău *et al.* 2005) (Eq.7 © 2004, Springer Science and Business Media)

The iterations are repeated until the difference between two consecutive median values is smaller than a given tolerance.

Although highly effective, the RGRF is computationally expensive, since the equation (4) calculates a mean line in which each data point in the filtered profile is weighted with the participation of all data points in the unfiltered profile. This means the weighting function has the same length as the unfiltered profile data.

OBJECTIVE

This paper presents the results of a study on a method to minimize the computation time of the RGRF using a truncated weighting window. The objective is to choose an optimum weighting window that gives negligible errors compared to the reference RGRF method, but with a significantly reduced computation time requirement. The algorithm has been verified on profiles of sanded wood surfaces.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

a) Truncated RGRF algorithm

Although the weighting function vector of the RGRF filter has the same length as the profile, it contains zeros at each end, so only ordinate values around the centre of the function have a non zero weighting. Data points weighted with zero do not alter the mean line, but they do lengthen the filtering process. This suggests that the weighting window can be truncated without affecting the overall result.

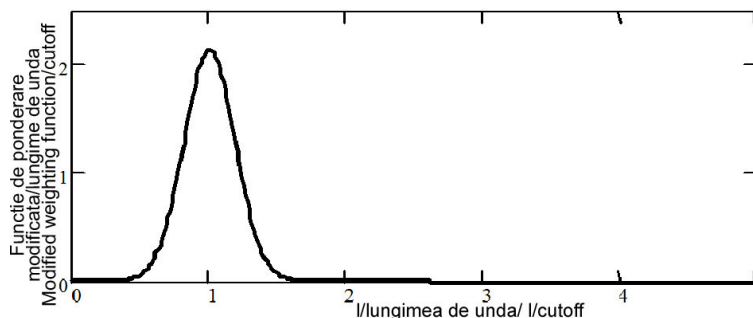


Fig. 2.

Exemplul unui poziții a funcției de ponderare centrată pe o valoare egală cu 1 a lungimii de undă și având lungimea egală cu lungimea profilului / Example of a weighting function vector centred at a value of one cut off length and having a length equal to the input profile data. The vector contains zeros at each end (Gurău *et al.* 2011, Fig. 6.18 © ISTE Ltd 2011).

Fereastra scurtată a funcției de ponderare poate fi definită ca având o lungime egală cu q intervale, astfel că rezultă $(q + 1)$ valori în fereastra respectivă. Când această fereastră scurtată este localizată centrat într-un profil cu n valori, profilul este divizat în trei regiuni cu lungimea dependentă de lungimea ferestrei. Regiunile de margine au o lungime de $q/2$ intervale, deci fiecare conține $(q/2 + 1)$ valori. Limitele funcțiilor sumă date în ecuația (4) variază după regiune.

În prima regiune, linia medie este calculată în conformitate cu ecuația (5). Fereastra funcției de ponderare nu este centrată pe valoarea filtrată până la ultima valoare a regiunii datorită poziției la marginea profilului.

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=1}^{q+1} z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=1}^{q+1} s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (5)$$

$k=1,2,\dots,\frac{q}{2}+1$

(Gurău ș.a. 2011, Eq.6.12 © ISTE Ltd 2011)

Regiunea de mijloc se extinde de la $(q/2 + 2)$ la $[n - (q/2 + 2)]$, iar funcția de ponderare este simetrică în jurul valorii filtrate (6).

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=k-\frac{q}{2}}^{k+\frac{q}{2}} z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=k-\frac{q}{2}}^{k+\frac{q}{2}} s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (6)$$

$k=\frac{q}{2}+2,\frac{q}{2}+3,\dots,n-\left(\frac{q}{2}+2\right)$

(Gurău ș.a. 2011, Eq.6.13 © ISTE Ltd 2011)

Regiunea finală este dată de ecuația (7) și funcționează pe același principiu ca (5), astfel că funcția de ponderare este simetrică doar față de prima valoare a intervalului, din cauza poziționării la marginea profilului.

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=n-(q+1)}^n z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=n-(q+1)}^n s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (7)$$

$k=n-(q+1),n-(q)\dots n$

(Gurău ș.a. 2011, Eq.6.14 © ISTE Ltd 2011)

b) Comparații ale efectului filtrului RGRF cu și fără scurtare a ferestrei de ponderare la suprafețe șlefuite

Epruvete de stejar, fag și molid au fost șlefuite manual, paralel cu fibrele, cu hârtie abrazivă cu granulație P1000. O astfel de granulație fină reprezintă un caz extrem de șlefuire în care

The truncated window of the weighting function may be defined as having a length of q intervals, so that there are $(q + 1)$ data points in the window. When this truncated window is centrally located in a profile containing n data points, the profile is thereby divided into three regions, which are related to the length of the window. The outer regions are $q/2$ intervals long so they each contain $(q/2 + 1)$ data points. The limits on the summation functions given in equation (4) vary by region.

In the first region, the mean line is calculated according to equation (5). The window of the weighting function is not centered on the filtered data point until the final data point because of the margin location at the start of the region.

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=1}^{q+1} z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=1}^{q+1} s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (5)$$

$k=1,2,\dots,\frac{q}{2}+1$

(Gurău et al. 2011, Eq.6.12 © ISTE Ltd 2011)

The middle region extends from $(q/2 + 2)$ to $[n - (q/2 + 2)]$ and the weighting function is symmetrical around the filtered data point (6).

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=k-\frac{q}{2}}^{k+\frac{q}{2}} z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=k-\frac{q}{2}}^{k+\frac{q}{2}} s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (6)$$

$k=\frac{q}{2}+2,\frac{q}{2}+3,\dots,n-\left(\frac{q}{2}+2\right)$

(Gurău et al. 2011, Eq.6.13 © ISTE Ltd 2011)

The final region is given by equation (7) and works on the same principle as (5) so the weighting function is only symmetrical around the first data point because of the margin location at the end of the region.

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=n-(q+1)}^n z_l \cdot s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=n-(q+1)}^n s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}} \quad (7)$$

$k=n-(q+1),n-(q)\dots n$

(Gurău et al. 2011, Eq.6.14 © ISTE Ltd 2011)

b) Comparison of the effect of RGRF with and without truncated weighting window on sanded surfaces

Specimens of oak, beech and spruce were sanded by hand parallel to the grain with P1000 grit paper. Such a fine grit size represents an extreme case of sanding, where the height variation due to processing is minimized

neregularitățile produse de șlefuire sunt minimizate, iar posibilitatea apariției distorsiunilor de filtrare este maximă. Aceste suprafețe permit testarea robusteții unei metode de filtrare la un nivel de încredere mai ridicat decât în cazul celor pregătite cu granule mai mari. Pentru a lărgi intervalul de analiză, o epruvetă de stejar a fost pregătită prin șlefuire cu P120, ca un exemplu de granulație tipică de șlefuire industrială înainte de finisare. Două suprafețe din plastic șlefuite cu P60 și P120 au fost adăugate ca exemple ale unui material omogen. Șlefuirile cu P60 și P120 au fost realizate pe o mașină de șlefuit cu bandă lată. Măsurătorile au fost realizate cu un instrument TALYSCAN 150 al companiei Taylor Hobson utilizând un palpator cu o rază la vârf de 2,5 μm și un unghi la vârf de 90°, cu o viteză de scanare de 1 mm/s. Pentru fiecare epruvetă s-a măsurat o suprafață de (16 × 50) mm² prin prelevarea secvențială de profile perpendicular pe fibră. Fiecare profil a fost înregistrat la o rezoluție de 1 μm, maxim posibilă cu acest instrument, iar distanța între profile a fost de 400 μm. O lungime a profilului de 50 mm a fost considerată suficientă pentru a cuprinde variația anatomică a lemnului. Datele au fost stocate în format ASCII și au fost prelucrate cu algoritmi definiți în MathCad™. Din fiecare suprafață s-a selectat un profil primar în mod aleator. Deși datele au fost înregistrate la o rezoluție de 1 μm, aceasta a fost scăzută în studiul de față la 10, respectiv 100 μm pentru a accelera viteza de procesare. Profilele de rugozitate au fost obținute prin filtrarea profilelor primare cu filtrul RGRF cu și fără scurtare a ferestrei de ponderare. Pentru suprafețele șlefuite cu P1000, s-a utilizat o lungime de undă de prag de 8 mm, în timp ce, pentru P60 și P120 a fost preferată o valoare de 2,5 mm. Această alegere s-a bazat pe un studiu anterior privind selecția acelor lungimi de undă care să nu distorsioneze suprafețele din lemn (Gurău ș.a. 2006). Pentru a verifica faptul că fereastra de ponderare scurtată la o lungime egală cu q intervale nu produce erori semnificative, profile de rugozitate obținute cu un număr de valori q au fost comparate cu profile de rugozitate de referință obținute fără scurtare. Lungimea q a ferestrei de ponderare a fost setată pe rând egală cu 0,25λ, 0,5λ, 0,75λ, λ, 1,1λ, 1,2λ, 1,25λ, 1,35λ, 1,5λ, 1,75λ și 2λ. Eroarea înregistrată pentru fiecare valoare a lui q a fost luată ca vector al diferențelor în fiecare punct între profilul obținut cu acea valoare a lui q și profilul de referință.

Au fost calculați doi parametri pentru evaluarea erorii: înălțimea totală a profilului Rt și media în valoare absolută a ordonatelor, Ra , conform ISO 4287 (1997).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Fig. 3 indică variația erorii ΔRa cu mărimea ferestrei de ponderare la stejar, fag și molid șlefuite cu P1000 și măsurate la o rezoluție de 10 μm.

and the possibility of filtering distortions is maximized. These surfaces allow the robustness of a filtering method to be tested with a greater degree of reliability than surfaces prepared with larger grit sizes. To widen the range of analysis, a surface of oak was sanded with P120, as this grit size is commonly used in industry for sanding prior to finishing applications. Two plastic surfaces sanded with P60 and P120 were added as examples of a homogeneous material. Sanding with P60 and P120 was achieved using a wide-belt sander.

Measurements were carried out with a Taylor Hobson instrument TALYSCAN 150 using a stylus with 2.5 μm tip radius and 90° tip angle, at a speed of 1 mm/s. An area on each specimen of (16 × 50) mm² was scanned by taking sequential profiles across the grain. Each profile was recorded at a resolution of 1 μm, the maximum possible with this instrument, while the gap between profiles was 400 μm. A profile length of 50 mm was considered sufficient to typify the wood anatomical variability. The data were stored in ASCII format and processed with algorithms written in MathCad™. One primary profile was randomly selected from every surface. Although the data was recorded at 1 μm resolution across the grain, this was decreased to 10 and 100 μm for this study, to speed the computation time.

The roughness profiles were obtained by filtering the primary profiles with the Robust Gaussian Regression Filter with and without a truncated weighting window. For surfaces sanded with P1000, a cut-off length of 8 mm was used, while for the P60 and P120, a cut-off length of 2.5 mm was preferred. This choice was based on a previous study regarding the selection of cut-off lengths, which do not distort the wood surfaces (Gurău *et al.* 2006).

To ensure that the truncation of the weighting window to a length of q intervals did not introduce significant errors, roughness profiles obtained with a range of q values were compared with reference roughness profiles obtained without truncation. The length q of the weighting window was set in turn to 0.25λ, 0.5λ, 0.75λ, λ, 1.1λ, 1.2λ, 1.25λ, 1.35λ, 1.5λ, 1.75λ and 2λ. The error for any value of q was taken as a vector of the differences at each point between the profile obtained with that value of q and the reference profile.

Two parameters were calculated to evaluate the error: the peak to valley height Rt and the mean of the absolute ordinates Ra as from ISO 4287 (1997).

RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 3 shows the variation of the error ΔRa with the size of the weighting window for oak, beech and spruce sanded with P1000 and measured at a resolution of 10 μm.

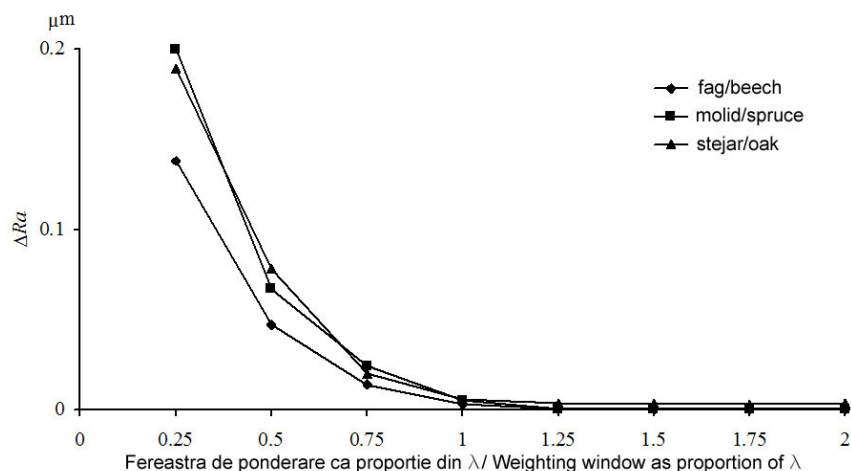


Fig. 3.

Comparație între RGRF și RGRF cu scurtare ca variație a lui Ra în funcție de mărimea ferestrei de ponderare. Speciile au fost șlefuite cu P1000 și măsurate cu o rezoluție de 10 μm / Comparison between RGRF and RGRF with truncation as a variation of Ra with the size of the weighting window. Species were sanded with P1000 and measured with a 10 μm resolution.

Din Fig. 3 se poate observa că pentru fiecare specie, eroarea a fost neglijabilă începând cu o lungime a ferestrei de ponderare de $1,25\lambda$. Valorile ΔRt sunt prezentate în Tabelul 1, pentru o serie de materiale, mărimi ale particulelor abrazive și lungimi de ferestre de ponderare, la o rezoluție de măsurare de 100 μm , iar în Tabelul 2, la o rezoluție de măsurare de 10 μm .

From Fig. 3 it can be seen that for each species the error was negligible from a window length of 1.25λ . The values of ΔRt are presented for a range of materials, grit sizes and window sizes, in Table 1, for a measuring resolution of 100 μm and in Table 2, for a measuring resolution of 10 μm .

Tabelul 1 / Table 1

Comparații între RGRF și RGRF cu scurtare evaluate prin parametrul Rt, pentru diferite valori ale ferestrei de ponderare q. Profilele au fost măsurate la o rezoluție de 100 μm / Comparisons between RGRF and RGRF with truncation evaluated with Rt, for different sizes of the weighting window q. The profiles had a 100 μm resolution

Epruvetă/ Specimen	$q = \lambda$	$q = 1.1\lambda$	$q = 1.2\lambda$	$q = 1.25\lambda$	$q = 1.35\lambda$	$q = 1.4\lambda$	$q = 1.5\lambda$
	ΔRt						
Stejar/Oak P1000	0.023	0.013	4.5×10^{-3}	2.033×10^{-3}	-	-	6.034×10^{-4}
Fag/Beech P1000	0.016	-	-	2.033×10^{-3}	-	-	1.319×10^{-4}
Molid/ Spruce P1000	1.207	0.062	0.036	0.013	4.454×10^{-3}	1.23×10^{-3}	4.59×10^{-4}
Stejar/Oak P120	0.279	-	-	0.012	-	-	1.098×10^{-3}
Plastic P60	-	-	-	0.023	8.97×10^{-3}	-	-
Plastic P120	-	-	-	0.121	0.119	2.835×10^{-3}	-

Tabelul 2 / Table 2

Comparații între RGRF și RGRF cu scurtare evaluate prin parametrul R_t , pentru diferite valori ale ferestrei de ponderare q . Profilele au fost măsurate la o rezoluție de $10 \mu\text{m}$ / Comparisons between RGRF and RGRF with truncation evaluated with R_t , for different sizes of the weighting window q . The profiles had a $10 \mu\text{m}$ resolution

Epruveta/ Specimen	$q = \lambda$	$q = 1.25\lambda$	$q = 1.5 \lambda$
	ΔR_t	ΔR_t	ΔR_t
Molid/Spruce P1000	0.064	0.016	9.764×10^{-3}
Stejar/Oak P1000	0.02	3.225×10^{-3}	
Fag/Beech P1000		2.76×10^{-3}	

Din Tabelul 1 și Tabelul 2 se poate observa că eroarea a scăzut pe măsură ce mărimea ferestrei de ponderare a crescut. Durata de procesare a crescut odată cu lungimea ferestrei de ponderare. Cea mai mare eroare ΔR_t la o lungime a ferestrei de ponderare de $1,25\lambda$ a fost de $0,121\mu\text{m}$, care este acceptabilă comparativ cu deviațiile cauzate de anatomia lemnului.

Timpul de procesare depinde de lungimea profilului și de rezoluția de măsurare, cu alte cuvinte, depinde de numărul de valori aflate în evaluare. Comparativ cu situația când au fost filtrate fără scurtare a ferestrei de ponderare, testele efectuate pe profile lungi de 50mm la o rezoluție de $10\mu\text{m}$ și o lungime de undă de 8mm au necesitat o treime din timpul de procesare când s-a utilizat o fereastră de ponderare de $1,25\lambda$. De remarcat faptul că timpul efectiv de procesare depinde de asemenea de performanța computerului, dar, de exemplu, pentru PC-ul pe care s-a realizat testarea profilelor, timpul de procesare la utilizarea filtrului RGRF a fost de 247s, care a scăzut la 100s pentru o fereastră de ponderare de 2λ și la 75 s pentru $1,25\lambda$. Pentru aceleași profile măsurate la o rezoluție de $100\mu\text{m}$, timpul de procesare s-a redus la aprox. 3s pentru o fereastră de 1.25λ , comparativ cu 7s pentru filtrul standard RGRF. Asemenea timpi rapizi de procesare sunt necesari dacă algoritmi sunt utilizați pentru procese de evaluare calitativă on-line.

CONCLUZII

Filtrul robust de regresie Gauss este adecvat pentru suprafețele din lemn, însă are dezavantajul că necesită durate lungi de procesare, deoarece la fiecare iterație toate valorile profilului sunt considerate în evaluare. În această lucrare a fost propus un algoritm RGRF modificat, care reduce numărul valorilor ferestrei de ponderare și divide profilul în trei regiuni având ferestre de ponderare specifice pentru zonele centrală, respectiv marginale. RGRF având diverse ferestre de ponderare au fost testate pe suprafețe șlefuite de stejar, fag, molid și plastic. O

From Table 1 and Table 2 it can be seen that the error decreased as the size of the window increased. The computation time increased with each increase in window length. The greatest ΔR_t error for a window length of 1.25λ was $0.121\mu\text{m}$, which is acceptable when compared to the deviations caused by wood anatomy.

The computation time depends on the profile length and the measuring resolution, in other words on the number of data points in the evaluation. When compared with filtering with no truncation, tests performed for profile lengths of 50mm with a measuring resolution of $10\mu\text{m}$ and a cut-off length of 8mm required only one third of the computation time when using a truncation window of 1.25λ . Note that effective computation time also depends on the computer performance, but, for example, on the PC where the profiles were tested, the computation time when employing RGRF was 247s, which decreased to 100s for a truncation window of 2λ and to 75s for a truncation window of 1.25λ . Sampling the same profiles measured at a resolution of $100\mu\text{m}$ reduced the computation time to approximately 3s with a truncation window of 1.25λ compared to 7s for the standard RGRF. Such high computation speeds are necessary if the algorithms are to be used for an on-line evaluation tool.

CONCLUSIONS

The Robust Gaussian Regression Filter is suitable for wood surfaces, but has the disadvantage that is computationally expensive, as all data points are considered at every iteration in the evaluation. A modified algorithm of the RGRF was proposed in this paper, which reduces the window of datapoints and divides the profile in three regions with specific weighting windows, for central and marginal areas. RGRF with various weighting windows were tested on sanded surfaces of oak, beech, spruce and plastic. A value of 1.25λ of the weighting window introduced negligible errors compared to a RGRF without truncation, but significantly reduced the computation time.

valoare de 1,25λ a ferestrei de ponderare a introdus erori neglijabile comparativ cu RGRF fără modificare, dar a redus durata de procesare în mod semnificativ.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Anonymous (2002) Surface Profile Filtering. (<http://www.predev.com/smg/filtering.htm>, accessed on 28 June 2002). Precision Devices Inc.
- Brinkmann S, Bodschwinn H, Lemke HW (2000) Development of a Robust Gaussian Regression Filter for Three-Dimensional Surface Analysis. In: Proc. of the 10th International Colloquium on Surfaces, 31 January- 01 February, Chemnitz, Germany, p. 122-131.
- Brinkmann S, Bodschwinn H, Lemke HW (2001) Accessing Roughness in Three-Dimensions using Gaussian Regression Filtering. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:2153-2161.
- Fujiwara Y, Fujii Y, Sawada Y, Okumura S (2004) Assessment of Wood Surface Roughness: A Comparison Between tactile Roughness and Three-Dimensional Parameters Derived Using a Robust Gaussian Regression Filter. *Journal of Wood Science*, 50(1):35-40.
- Gurău L (2004) The Roughness of Sanded Wood Surfaces. Doctoral thesis, Forest Products Research Centre, Buckinghamshire Chilterns University College, Brunel University.
- Gurău L, Mansfield-Williams H, Irle M (2002) An Analysis of Wood Surface Roughness Data. In: Proc. of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 19-21 August 2002, Berkeley Campus, California, USA, p. 17-25.
- Gurău L, Mansfield-Williams H, Irle M (2005) Processing Roughness of Sanded Wood Surfaces. *Holz als Roh und Werkstoff*, 63(1):43-52.
- Gurău L, Mansfield-Williams H, Irle M (2006) Filtering the Roughness of a Sanded Wood Surface. *Holz als Roh und Werkstoff*. 64(5):363-371.
- Gurău L, Mansfield-Williams H, Irle M (2011) Evaluating the Roughness of Sanded Wood Surfaces. Book Chapter 6., 51 pages. In: *Wood Machining*. Edited by J. Paulo Davim, University of Aveiro, Portugal. ISBN: 9781848213159. May 2011, p. 288, Publishing house: ISTE-Wiley (UK).
- Hendarto B, Shayan E, Ozarska B, Carr R (2005) Analysis of Roughness of a Sanded Wood Surface. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7/8):775-780.
- ISO 11562 (1996)+ Cor 1 (1998) Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method. Metrological Characteristics of Phase Correct Filters. International Organization for Standardization.
- ISO 13565-1 (1996) + Cor 1 (1998) Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture. Profile Method. Surfaces Having Stratified Functional Properties. Part 1: Filtering and General Measurement Conditions, International Organization for Standardization.
- ISO 16610-21 (2011) Geometrical Product Specifications (GPS). Filtration. Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters.
- ISO 4287 (1997) + Amd1 (2009) Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture. Profile Method. Terms. Definitions and Surface Texture Parameters. International Organization for Standardization.
- ISO/DTS 16610-31 2002(E) Geometrical Product Specification (GPS) – Filtration. Part 31: Robust Profile Filters. Gaussian Regression Filters. In Draft. International Organization for Standardization.
- ISO/TS 16610-31 (2010) Geometrical Product Specification (GPS) – Filtration. Part 31: Robust Profile Filters. Gaussian Regression Filters, International Organization for Standardization.
- Krisch J, Csiha C (1999) Analysing Wood Surface Roughness using an S3P Perthometer and Computer Based Data Processing. In: Proc. XIII Sesja Naukowa Badania dla Meblarstwa, Poland, p. 145-154.
- MAHR GMBH Germany (1999) Perthometer. Surface Texture Parameters. (Available on: <http://universalmeasurement.com/MahrFederalFinish.pdf> as last accessed in April 2012).
- Raja J, Muralikrishnan B, Shengyu F (2002) Recent Advances in Separation of Roughness, Waviness and Form, Precision Engineering. *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, 5274:1-14.
- Tan PL, Sharif S, Sudin I (2010) Roughness Models for Sanded Wood Surfaces. *Wood Science and Technology* 46:129-142.