

氏名	サンダック ヤクブ ミハル SANDAK JAKUB MICHAL
学位の種類	博士 (農学)
学位記番号	甲第321号
学位授与年月日	平成16年 3月12日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Sensors for evaluation of wood surface smoothness (木材の加工面粗さ測定に使用されるセンサーの評価)
学位論文審査委員	(主査) 田中千秋 (副査) 瀧本義彦 作野友康 藤井禧雄 西野吉彦

学位論文の内容の要旨

Conditions of the wood surface after cutting - smoothness and dimensional accuracy - are important considerations for characterizing the quality of wood products and wood machining processes. Unfortunately, it is very difficult to assess wood smoothness in the industrial environment. The anatomical structure of wood and wood-based materials, wood density, moisture, anisotropy, kinematics of the cutting process, machine conditions and other factors make the wood surface complex. The best methods for determining surface smoothness in an industrial environment should be resistant to a rough environment (machine vibration, dust, and the like), have a sufficient measurement range, be sufficiently accurate, and be capable of performing measurements at very high scanning speeds. A number of innovative sensors and novel measurement methods have been introduced into industry following intensive research. However, not all of these new techniques are applicable in the wood industry.

The objective of this study was to survey the various methods used or which potentially could be used for wood surface inspection in industrial applications, to determine their advantages and limitations, and to identify their possible areas of application in on-line surface smoothness evaluation. An important part of this research was investigation of sources of measurement errors and misrepresentations of scanned profiles. Performance limiting factors for all the methods investigated have also been defined.

Chapters Two through Five present literature reviews. Problems discussed include wood surface complexity, filtration of the profile signal, and mathematical estimation of the surface geometrical properties. Chapter Four presents a review of sensing techniques to be used for assessment of porous surfaces, and discusses methods for comparison of sensor performances.

Amplitude-wavelength graphs, range-to-resolution response graphs, transfer functions, Cumulative Power Spectral Densities, spectral ratios and statistical evaluation of profiles are presented and evaluated.

Chapter Six presents investigation of new and fast noncontacting sensors to determine their usefulness for wood surface evaluation and to verify their accuracy. Two types of laser displacement sensors [equipped with position sensitive detector (PDS) and a charge coupled device (CCD) detector] are compared with a conventional stylus and with theoretical profiles. Measurements were made using 15 wood species with differing densities and colors. Specific triangular profiles of differing slope and height were prepared based on these characteristics. The accuracy of the laser sensor was estimated by statistical analysis of roughness parameters measured from the profiles. Experimental results show that LDS imitated profiles correctly. However, LDS accuracy depends on the properties of the wood scanned (density and color), installation position of the sensor, and profile shape. It was found that evaluation of dark and high-density wooden surfaces was imperfect. Resolution of both sensors decreases as the height of the profile decreases. The error ratios of the laser-scanned profiles change as a function of profile height, in the range 5%-33%. The CCD is superior for accurate surface roughness evaluation, although the PSD approach can still be used for monitoring the error of form in most applications.

The aim of the work presented in Chapter Seven was to review, test, and compare various methods which can be used for wood surface inspection, and to identify their possible areas of application. The advantages and weaknesses of diverse sensing techniques are presented. The techniques examined include stylus measurement, three types of laser displacement sensors (specular-reflective and diffuse-reflective with both PSD and CCD detectors), shadow profilometer, and laser line scanner. Results to date show multi-element array sensors are superior to other laser displacement sensors. Profile scanning with shadow measurement may be appropriate for rapid, accurate measurement of total surface area. The areas of application for each technique have been determined.

Chapter Eight details examples of practical implementation of the research undertaken. A prototype of the shadow profilometer for evaluation of surface roughness, on-line lamellae thickness monitoring systems and a multi-sensor system designed for plywood defect detection are described in that section.

An additional outcome of the research is contained in the Appendix, examining the presenting a phenomenon of interaction between light (electromagnetic wave) and wood (porous structure). Maps of light reflectance, laser beam scatter and light transmittance toward the wood are given. Variations of the laser spot shape focused on the wood surface are presented in relation to the workpiece density, color and fiber angle. Finally the impact of light scatter on measurement accuracy by optical methods is discussed.

論文審査の結果の要旨

木材を切削後の加工面粗さ、加工精度は、切削面の品質、加工状態を知る上で、大切な判断因子である。しかしながら、作業現場で加工面粗さを評価することは、不可能に近いのが現状である。これは、木材が持つ固有の組織粗さ、比重、含水率、異方性、切削挙動、加工条件等が粗さに関与し、加工面を複雑にしていることに起因する。

作業場で加工面粗さをオンライン測定するには、振動や粉塵という劣悪な作業環境下で、十分な精度で作動し、測定速度が生産速度に対応する性能を持つ測定器が必要となる。今迄に、様々なセンサーを有する測定器と測定方法が提案され、検討されてきているが、木材の加工面粗さに対して適合したものは未だ存在しない。

本研究は、作業環境下で加工面粗さを測定できる様々な新しい測定方法を開発することを目的とし、現存する色々なセンサーを組み合わせた測定システムを構築し、その長所、短所を見出し、生産速度の下で使用できる条件を決定することである。特に、測定精度と測定曲線に誤差が発生する原因について詳しく検討した。また、検討したすべてのシステムの使用可能範囲についても言及した。

第2章から第5章は、文献調査である。すなわち、第2章では木材加工面の複雑さを、第3章では、測定曲線のフィルター特性、加工面粗さの数学的表示法を調査している。第4章では、多孔質表面を評価するための測定技術を言及し、第5章では、センサーの性能を比較している。

第6章は、非接触型レーザーセンサーによる加工面粗さ評価の可能性とその性能を検討している。すなわち、PSDセンサーとCCDセンサーの性能を、汎用されている触針子の性能と理論粗さと比較した。密度と色が異なる15種類の木材を、高さや斜辺が異なる三角形に加工して試験材とした。レーザーセンサーは正確に測定できる。しかし、その精度は木材固有の特性（密度と色）、センサーの位置、被測定形状の影響を受ける。高比重で黒い木材の測定精度は良好でない。

PSDセンサーとCCDセンサー共に三角形の高さが低くなると測定精度は落ちる。測定誤差は高さの影響を受け5～33%であった。CCDセンサーは高精度の測定に適する。PSDセンサーは形状の誤差を監視するのに適していることを明らかにした。

第7章では、加工面粗さ測定に用いられ得る各種測定システムの性能を比較し、各測定システムの使用適正範囲を検討している。検討した測定システムの測定センサーは、触針子、3種類のレーザーセンサー（PSDセンサーとCCDセンサー）、光陰影センサー、とレーザー線センサーである。

各センサーを用いた測定法の長所、短所と使用適正範囲を記述している。検討した測定法の中で光陰影センサーが最も優れており、光陰影センサーは被測定面全体を高速で且つ高精度に測定することを明らかにしている。

第8章は、検討したセンサーの結果を踏まえて、それらセンサーの実用性を検証した。光陰影センサーは、製材品、単板多孔質材料、繊維板、紙、葉というような多孔質材料の加工面を三次元で、高速、高精度計測するのに適している。

測定面に非接触で測定できるので、測定面を傷付けることがなく、その上、光陰影は直線性を保ち、高精度であるので、オンライン測定が可能である。従って、光陰影センサーは生産ラインで利用するのに適している。

レーザーセンサーは、薄板の厚み測定に適している。センサーを板の上下両面にセットし、薄板両面の平滑さをそれぞれ測定することにより、厚みを生産ライン速度で高精度測定が可能である。また、厚さに対する製品自動選別も可能である。

センサーを複合して使用すると、節、割れ、合板の汚れを生産ライン下で、生産ライン速度で検出

することができる。これは、節、割れ、合板の汚れ部では、色調、密度の違い、または、平滑さの違いが見られるので、これらを識別することに基づいている。合板の汚れ検出はカラーCCDカメラ、レーザー光線、X線など色々な装置を利用しても可能である。

以上のように、本論文は、加工面粗さ測定用各種センサーが木材加工面粗さ測定に与える影響を検討し、今後の木材加工面粗さ測定法の確立に重要な示唆を与えており、学位論文として十分な価値を有するものと判断した。