

УДК 630*852.1

**ДІАГНОСТУВАННЯ ВІДШАРУВАННЯ СУЧКІВ
В ЗАГОТОВКАХ ДЛЯ СКЛЕЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ**

Шевченко С.А., к.т.н., доцент; Заславська Н.В., магістрант; Летко Б.І.
*(Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка)*

Запропонована діагностична ознака призначається для виявлення відшарування сучків у пиломатеріалах і заготовках для клеєних виробів. Ознака ґрунтується на визначенні просторової похідної яскравості пікселів зображення й спрямована на виявлення швидких змін похідної. Оскільки при визначенні діагностичної ознаки здійснюється нормування яскравості кожного пікселя до усередненої яскравості зображення, це значно послаблює вплив варіацій освітлення та оптичних властивостей деревини на результат діагностування.

Постановка проблеми. Пиломатеріали і заготовки, що використовуються в клеєних столярно-будівельних виробках і дерев'яних конструкціях, повинні відповідати доволі жорстким вимогам – зокрема, стосовно вад деревини. Зокрема, неприпустимими є частково зрощені та незрощені сучки, які значно послаблюють міцність деталей (оскільки є концентраторами напруг) [1, 2], сприяють проникненню вологи та є вразливими для біологічних пошкоджень. Зазвичай, видалення вад здійснюється із застосуванням лінії оптимізації. Перспективним напрямком удосконалення ліній оптимізації є використання методів неруйнівного контролю для автоматичного виявлення вад деревини – зокрема, за допомогою системи технічного зору. Така система складається з оптичних сенсорів, спрямованих на крайки та пласти заготовки, та комп'ютерної системи розпізнавання вад деревини. Ефективність роботи такої системи в значній мірі залежить від використовуваних діагностичних ознак дефектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] розглянуті гіпотези та тривимірні моделі орієнтації волокон деревини навколо сучків. Для визначення спрямування волокон у зоні ранньої деревини може використовуватися ефект трахеїд (зміна форми перетину лазерного променя трахеїдами), який усе частіше застосовується в промисловості [3]. Експериментальні дослідження здійснювались на прикладі зразків ялини норвезької. Наведені в [1] результати досліджень просторової орієнтації волокон деревини поблизу сучків можуть використовуватися при обґрунтуванні ознак для розпізнаванні сучків за допомогою систем технічного зору.

В дослідженні [4] для розпізнавання сучків використано метод порівняння шаблонів, доволі часто використовуваний при обробці зображень з метою виявлення об'єктів. При цьому визначалися точність розпізнавання і потреба в обчислювальних ресурсах комп'ютера залежно від розрізняювальної здатності зображення. Для цього стискали кольорове зображення, переходячи до відтінків сірого (8 біт/піксель) і збільшуючи розмір пікселя від 0,04 мм до 0,16 мм. Для зберігання образів сучків виділяли прямокутні фрагменти зображень. За результатами експериментів, здійснених на прикладі дощок з сосни звичайної, не рекомендується, щоб розмір пікселя перевищував 0,06 мм.

В роботі [5] запропоновано використовувати наступну методику для класифікації сучків. Попередня обробка зображення здійснюється із застосуванням перетворення Гілберта. Для зменшення об'єму даних перед подальшою обробкою використовується фільтр Габора (Gabor). Ознаки, одержані в результаті попередньої обробки, класифікуються методами розпізнавання образів – методом Байєса, а також із застосуванням RBF (Radial Basis function) та Bagging Techniques [6]. За результатами дослідження, найвищу точність розпізнавання досягнуто при використанні RBF.

За результатами аналізу робіт [1–6] можна зробити висновок про значні перспективи використання систем технічного зору для сортування пиломатеріалів і заготовок та потребу в подальших дослідженнях з обґрунтування ознак вад деревини. Зокрема, звернемо увагу на те, що при використанні систем технічного зору для розпізнавання сучків постає необхідність узгодження чутливості оптичних сенсорів і джерел світла в умовах варіації оптичних характеристик деревини.

Невирішеною частиною проблеми є оптимізація процесу діагностування відшарування сучків у пиломатеріалах і заготовках із застосуванням системи технічного зору в умовах зміни освітлювання та варіації оптичних характеристик деревини.

Метою даної роботи є обґрунтування ознаки відшарування сучків, інваріантної до зміни освітлювання та оптичних характеристик деревини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з перших етапів обробки зображення, від якого в значній мірі залежить ефективність системи технічного зору, є сегментація зображення (виділення необхідних об'єктів) [7]. Одержані при цьому дані використовуються при складанні опису виділеного об'єкта (визначенні розміру, форми тощо) і, у подальшому, його розпізнавання та інтерпретації [7]. Якщо алгоритми попередньої обробки зображень, складанні опису та подальших операцій, здійснюваних в системах технічного зору, мають багато спільного навіть для об'єктів різної фізичної природи, то операція сегментації ґрунтується на використанні особливостей структури та зображень об'єктів певної предметної галузі.

При обґрунтуванні ознаки відшарування сучків звернемо увагу на те, що особливістю дефектної ділянки, з точки зору сегментації зображення, є швидка зміна яскравості пікселів в напрямку поперек тріщини. Хоча оптичні характеристики деревини сучка та оточуючої деревини можуть відрізняються

незначно, тріщина між сучком та оточуючою деревиною подібна моделі абсолютно чорного тіла [8] і має значно менший коефіцієнт відбиття світла, ніж деревина. Звернемо особливу увагу на те, що зміна яскравості відбувається двічі – спочатку яскравість стрімко зменшується при переході від оточуючої деревини до тріщини, а потім яскравість зростає при переході від тріщини до деревини сучка. Те саме відбувається і при переході від деревини сучка до оточуючої деревини через ділянку відшарування. Що стосується зміни яскравості при переході між шарами ранньої і пізньої деревини здорових сучків, то у деяких хвойних порід і, особливо, у листяних порід, такі переходи не є різкими [9]. Відповідно, швидкість зміни яскравості буде значно меншою, ніж за наявності тріщини. Враховуватимемо також, що зазначені зміни відбуваються на порівняно малій ділянці зображення, протяжність якої становить близько міліметра.

Отже, розглядатимемо процес виявлення відшарування в межах прямокутної ділянки зображення (в граничному випадку один з розмірів такого фрагменту може дорівнювати одному пікселю). Прийнемо, що інформація зберігається відповідно до кольорової моделі RGB, що відповідає вихідним сигналам напівпровідникових сенсорів. Як і в [4], обробку зображення починемо з переходу до ахроматичного зображення, що дає змогу стиснути його перед подальшою обробкою. Огляд методів такого перетворення наведено в [10]. В даному дослідженні використана залежність:

$$I(x, y) = \frac{1}{3} \sqrt{R^2(x, y) + G^2(x, y) + B^2(x, y)}, \quad (1)$$

де I – яскравість пікселя; x – номер рядка; y – номер стовпця; R , G , B – вихідні сигнали, відповідно, червоного, зеленого і синього кольорів.

Кольори пікселів ахроматичного зображення визначаються:

$$R(x, y) = I(x, y), \quad G(x, y) = I(x, y), \quad B(x, y) = I(x, y). \quad (2-4)$$

На рис. 1 наведені зображення ділянок зразка деревини сосни розмірами 232×128 пікселів ($3,5 \times 1,9$ мм), одержані за допомогою USB-камери.



а)



б)

Рисунок 1 – Ахроматичні зображення зразків деревини: а – відшарування сучка; б – річні шари здорового темного сучка.

Для послаблення впливу випадкових перешкод (забруднення, розриви волокон деревини тощо) на результати сегментації та зменшення обсягу подальших обчислень, доцільно здійснити усереднення яскравості пікселів у межах кожного стовпця зображення, переходячи, таким чином, від матриці пікселів до вектора-рядка:

$$I(x) = \frac{1}{M} \sum_{y=1}^M I(x, y), \quad (5)$$

де N – кількість рядків зображення.

Для зменшення впливу інтенсивності освітлення та оптичних властивостей деревини (насамперед, коефіцієнту відбиття світлового потоку), нормуємо значення яскравості елементів вектора-рядка до середньої яскравості зображення:

$$I_M = \frac{\sum_{x=1}^N I(x)}{N}, \quad (6)$$

$$i(x) = \frac{I(x)}{I_M}, \quad (7)$$

де I_M – середня яскравість зображення; N – кількість стовпців зображення; i – відносна яскравість.

Для виявлення швидких змін яскравості зображення визначимо просторову похідну яскравості. Для цього застосуємо до (5) вікно, що ковзає (розглядатимемо вікна, довжина яких є непарним числом), та здійснимо лінійну апроксимацію зміни яскравості в межах вікна, використовуючи метод найменших квадратів:

$$j(x) = ax + b, \quad x \in [x_0 - n, x_0 + n], \quad (8)$$

де j – апроксимоване значення яскравості пікселя; a – просторова похідна яскравості, 1/мм; b – стала складова яскравості; x_0 – координата середини вікна, що ковзає; n – відстань від середини вікна, що ковзає, до його країв.

З формули (8) визначимо просторову похідну яскравості на середині вікна, що ковзає:

$$j'(x_0) = a. \quad (9)$$

На рис. 2 наведено графіки зміни просторової похідної яскравості, визначені по усереднених даних про яскравість пікселів (7) в 50 рядках із середньої частини зображень, наведених на рис. 1. Розмір вікна, використаного при визначенні похідної яскравості, становив 11 пікселів (0,17 мм).

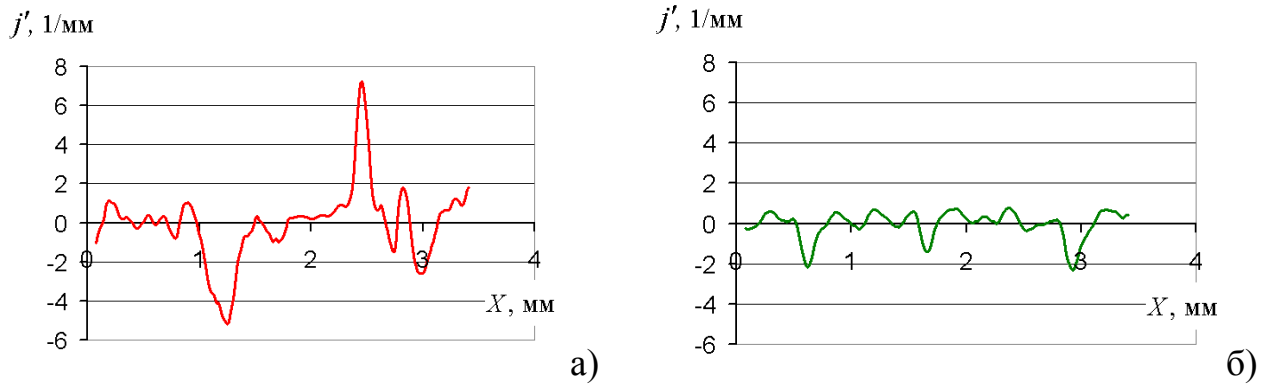


Рисунок 2 – Графіки зміни просторової похідної яскравості: а – відшарування сучка; б – річні шари здорового темного сучка.

Обчислюючи максимальне та мінімальне значення просторової похідної яскравості, визначимо часткові діагностичні ознаки відшарування сучка:

$$D_{\max} = \max(j'(x)) \quad n \leq x \leq N - n \quad (10)$$

$$D_{\min} = \min(j'(x)) \quad n \leq x \leq N - n \quad (11)$$

де D_{\max} – часткова діагностична ознака відшарування сучка по максимальному значенню просторової похідної яскравості, 1/мм; D_{\min} – часткова діагностична ознака відшарування сучка по мініимальному значенню просторової похідної яскравості, 1/мм.

Використовуючи (10, 11), визначимо діагностичну ознаку відшарування сучка:

$$D = D_{\max} - D_{\min} \quad (12)$$

де D – діагностична ознака відшарування сучка, 1/мм.

Зважаючи на колоподібний характер тріщини відшарування, доцільно визначати діагностичну ознаку відшарування сучка у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Значення часткових ознак (10, 11) та діагностичної ознаки відшарування сучка (12), одержані при обробці зображень (див. рис. 1) наведені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, за наявності тріщини значення діагностичної ознаки відшарування сучка багаторазово збільшується. Оскільки визначення

діагностичної ознаки відбувається у відносних величинах (нормованих до усередненої яскравості зображення), то це значно послаблює вплив варіацій освітлення та оптичних властивостей деревини на результат діагностування.

Таблиця 1 – Значення діагностичної ознаки відшарування сучка

Зображення	D_{\max} , 1/мм	D_{\min} , 1/мм	D , 1/мм
Відшарування сучка (рис. 1, а)	7,3	-5,2	12,5
Річні шари здорового темного сучка (рис. 1, б)	0,8	-2,3	3,1

Висновок. Запропонована діагностична ознака відшарування сучка спрямована на виявлення швидких змін яскравості, обумовлених наявністю тріщини між сучком та оточуючою деревиною, і ґрунтується на визначенні просторової похідної яскравості пікселів ахроматичного зображення. Перспективним напрямком подальших досліджень є обґрунтування параметрів діагностування – розміру пікселя, розміру вікна, використовуваного при визначенні просторової похідної яскравості пікселів, та граничного значення діагностичного параметра.

Список літератури

1. Min Hu, Andreas Briggert, Anders Olsson, Marie Johansson, Jan Oscarsson, Harald Sall. Growth layer and fibre orientation around knots in Norway spruce: a laboratory investigation. *Wood Science and Technology*. DOI 10.1007/s00226-017-0952-3
2. Пардаев А.С. Определение влияния пороков древесины на напряженно-деформированное состояние элементов столярно-строительных конструкций на основе имитационного моделирования. *Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. Вып. XVIII. С. 193-195.
3. Olsson A., Oscarsson J. Strength grading on the basis of high resolution laser scanning and dynamic excitation: a full scale investigation of performance. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2017. Vol. 75. No 1. P. 17–31.
4. Erik Johansson, Tobias Pahlberg, Olle Hagman. Recognition of sawn timber using template matching. Presented at the International Wood Machining Seminar: 14/06/2015 - 19/06/2015, 2015. 7 p.
5. Mohan S., Venkatachalapathy K. Wood Knot Classification using Bagging. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Volume 51. No.18. P. 50–53.
6. Bauer E., Kohavi R. An empirical comparison of voting classification algorithms: Bagging, boosting and variants. *Machine Learning*. 1999. Vol. 36. Issue 1,2. P. 105–139.
7. Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. – М.: Мир, 1989. – 624 с.

8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука. 1985. 512 с.

9. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства. – К.: НМК ВО 1992. – 320 с.

10. Kaleigh Smith, Pierre-Edouard Landes, Joëlle Thollot, Karol Myszkowski. Apparent Greyscale: A Simple and Fast Conversion to Perceptually Accurate Images and Video. *Computer Graphics Forum*. Wiley. 2008. Special Issue: Proceedings of Eurographics 2008. Vol. 27, No. 2. P. 193-200.

Аннотация

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОТСЛОЕНИЯ СУЧКОВ В ЗАГОТОВКАХ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Шевченко С.А., Заславская Н.В., Летко Б.И.

Предложенный диагностический признак предназначается для выявления отслоения сучков в пиломатериалах и заготовках для клееных изделий. Признак основывается на определении пространственной производной яркости пикселей изображения и направлен на выявление быстрых изменений производной. Поскольку при определении диагностического признака осуществляется нормирование яркости каждого пикселя к усредненной яркости изображения, это значительно ослабляет влияние вариаций освещения и оптических свойств древесины на результат диагностирования.

Abstract

DIAGNOSING KNOT DELAMINATION IN THE WORKPIECES FOR BONDING USING VISION SYSTEMS

Shevchenko S. A., Zaslavska N.V., Letko B.I.

The proposed diagnostic feature is intended to identify the detachment of knots in sawn timber and workpieces for glued products. The feature is based on the definition of the spatial derivative of the pixel brightness of the image and is aimed at detecting rapid changes in the derivative. As the determination of the diagnostic symptom, the normalization of the brightness of each pixel to the average brightness of the image, significantly weakens the effect of the variations in lighting and the optical properties of the wood on the result of the diagnosis.