

УДК 674.093

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТОСКОПИИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

© *А.Е. Алексеев, д-р техн. наук, проф.*

*И.А. Толокнов, асп.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: i.toloknov@agtu.ru

Совместное использование трехмерного и оптического сканирования поверхности необрезных пиломатериалов позволяет получить высокую точность выбора наиболее выгодного варианта их раскроя. Сканирование формы дает возможность определить максимальные размеры будущей пилопродукции и параметры обзола, оптическое сканирование отражающей способности поверхности пиломатериала – наличие и положение основных сортообразующих дефектов. Для реализации процесса дефектоскопии пиломатериалов на основе анализа формы и изображения поверхности доски необходимо разработать соответствующие алгоритмы и методы. Во-первых, определить принцип действия и функциональную схему устройства сканирования, во-вторых, на ее основе создать алгоритмы управления установкой, в-третьих, определив первичный вид данных, получаемых в процессе сканирования, приступить к разработке алгоритмов анализа. Данные сканирования предварительно необходимо привести к пригодной для дефектного анализа форме – геометрической модели и цельному изображению поверхности пиломатериала. Изображение должно быть сопоставлено с формой таким образом, чтобы для каждой точки на изображении можно было определить ее пространственные координаты на поверхности. Результатом работы стали алгоритмы дефектоскопии необрезных пиломатериалов и устройство сканирования с программным обеспечением. Описана принципиальная схема и алгоритм работы фотометрической установки сканирования формы и отражающей способности поверхности необрезных пиломатериалов. Разработаны алгоритмы построения трехмерной модели формы доски на основе получаемых от установки данных, а также алгоритмы выделения пласти и некоторых механических повреждений. Приведен метод формирования линеаризованного изображения поверхности пиломатериала, а также алгоритмы выделения основных пороков древесины. В результате выполнения описанных алгоритмов еще до начала обработки можно определить возможные варианты обработки пиломатериала, а также спрогнозировать качество будущей пилопродукции для каждого варианта. Получаемые в результате сканирования данные можно в дальнейшем использовать для разработки и проверки различных алгоритмов анализа качества пиломатериалов и сбора статистических данных.

*Ключевые слова:* дефектоскопия пиломатериалов, алгоритмизация деревопереработки, техническое зрение, трехмерное сканирование, оптическое сканирование.

Для получения высокой точности выбора наиболее выгодного варианта обрезки пиломатериалов предложено совместно использовать трехмерное и



Рис. 1. Схема алгоритма управления

оптическое сканирование поверхности необрезных пиломатериалов. На рис. 1 представлена схема алгоритма процесса дефектоскопии пиломатериалов.

Для реализации данного алгоритма была разработана установка (рис. 2) и сопутствующее программное обеспечение.

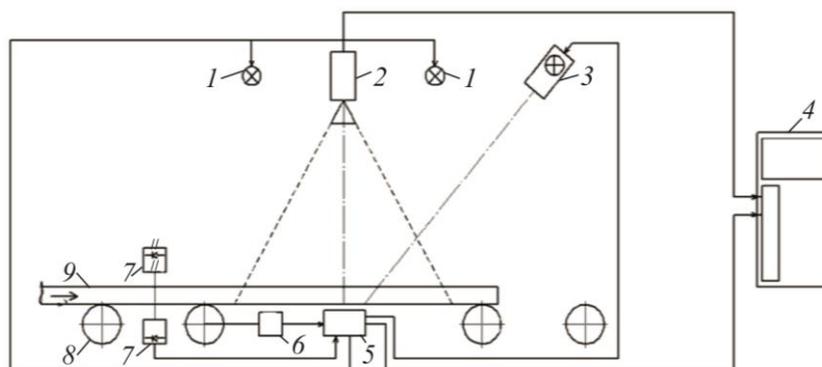


Рис. 2. Структурная схема установки: 1 – источник света; 2 – камера; 3 – лазерный излучатель; 4 – ЭВМ; 5 – контроллер; 6 – датчик продольного перемещения; 7 – инфракрасный датчик наличия доски; 8 – пиломатериал, 9 – роликовый конвейер

Установка предназначена для получения данных о форме и отражающей способности поверхности необрезных пиломатериалов и представляет собой роликовый конвейер с закрепленными на нем камерой (2), сфокусированным в линию лазером красного цвета (3), а также датчиками продольного перемещения (6) и наличия доски (7). Она передает управляющему программному обеспечению данные о наличии и перемещении доски и изображение с камеры. Лазерный

излучатель 3 сфокусирован в линию и направлен под углом к камере таким образом, чтобы в кадре образовывался контур, соответствующий форме сечения пиломатериала. Источники освещения 1 и лазер 3 управляются контроллером 5, что позволяет переключать установку из режима сканирования геометрической формы в режим получения изображения поверхности.

Цифровая видеокамера 2 передает полученное изображение (рис. 3, а) управляющему программному обеспечению в виде двумерного массива  $M$ , каждая из ячеек которого состоит из трех значений, определяющих цвет соответствующей точки на изображении.

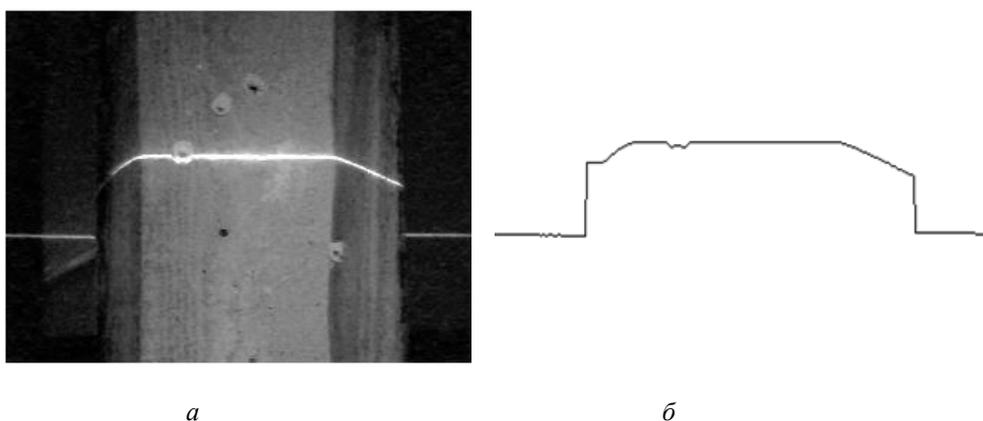


Рис. 3. Выделение контура, подсвеченного лазером: а – изображение, полученное с камеры; б – выделенный контур

На изображении присутствует подсвеченный лазером контур, соответствующий сечению пиломатериала в точке съемки, с помощью которого можно восстановить трехмерную форму поверхности. В первую очередь необходимо определить положение всех точек контура на изображении. Для этого в каждом столбце массива находится ячейка с максимальным значением красной составляющей цвета.

В целях оптимизации алгоритма поиск проводится в заранее определенном по высоте диапазоне. Координаты полученной ячейки (строка и столбец) пересчитываются относительно центра и заносятся в массив  $d$ . Результат выполнения алгоритма представлен на рис. 3, б, схема работы алгоритма поиска контура – на рис. 4.

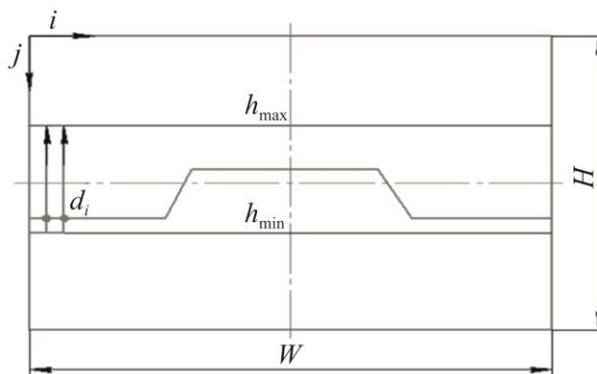


Рис. 4. Схема работы алгоритма поиска контура, подсвеченного лазером:  $i, j$  – направления лучей;  $h_{\min}, h_{\max}$  – минимальная и максимальная

высоты;  $d_i$  – разрешение;  $W$  – длина сканирования;  
 $H$  – высота

После определения координат всех точек контура на изображении необходимо определить их положение в пространстве. Вычисления сводятся к нахождению точки пересечения луча, выпущенного из центра камеры, в направлении точек и плоскости, создаваемой лазером. Схема расчета пространственных координат точек контура представлена на рис. 5.

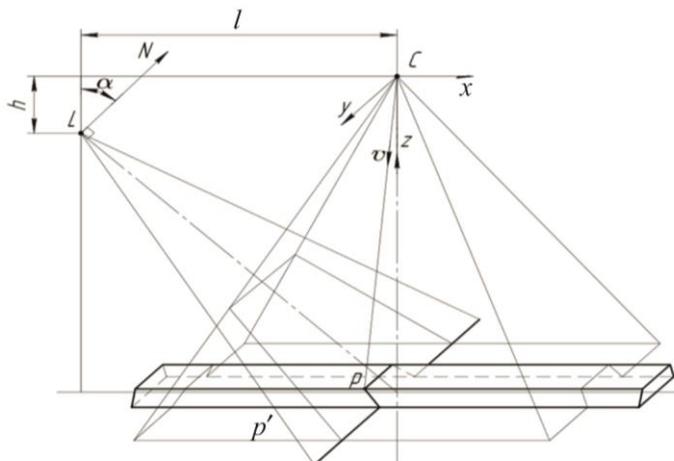


Рис. 5. Схема расчета:  $C$  – оптический центр камеры, совмещенный с началом координат;  $L$  – центр лазерного излучателя, создающего плоскость;  $p$  – искомая точка на поверхности;  $p'$  – точка, определяющая направление луча;  $\alpha$  – угол между нормалью  $N$  к плоскости лазера и осью  $z$ ;  $h$  – расстояние от камеры до источника освещения по нормали;  $l$  – то же по горизонтали;  $v$  – направление луча сканирования

Уравнение плоскости, создаваемой лазером, определяется взаимным положением камеры и лазера. Для данной схемы оно будет иметь следующий вид:

$$x \cos \alpha - z \sin \alpha + h \cos \alpha - l \sin \alpha = 0;$$

Направление луча  $v$  можно определить по формуле

$$\vec{v} = P^{-1}d,$$

где  $P$  – матрица камеры размера  $4 \times 4$ ;

$d$  – координаты искомой точки на изображении.

Матрица  $P$  выражается следующим образом:

$$P = K[R|\vec{t}],$$

где  $K$  – верхняя треугольная матрица внутренних параметров камеры размера  $3 \times 3$ ;

$R$  – ортогональная матрица размера  $3 \times 3$ , определяющая поворот камеры относительно глобальной системы координат;

$\vec{t}$  – положение камеры в пространстве.

Запишем в общем виде матрицу внутренних параметров камеры:

$$K = \begin{bmatrix} f & s & c_x \\ 0 & af & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $f$  – фокусное расстояние камеры;

$s$  – наклон пикселей;

$c_x, c_y$  – положение оптического центра.

Если оси координаты плоскости камеры перпендикулярны друг другу ( $s = 0$ ) и имеют одинаковый масштаб (квадратные пиксели) ( $a = 1$ ), а центр изображения имеет нулевые координаты ( $c_x = c_y = 0$ ), то

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Так как в данном случае центр камеры лежит в начале координат, а главная ось камеры сонаправлена с осью  $z$ , то

$$t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = I; P = K[I|0].$$

Отсюда

$$\vec{v} = K^{-1}d.$$

Положение точки  $\vec{p}$  на прямой можно определить из выражения

$$\vec{p} = \vec{v}r$$

или в параметрическом виде:

$$\begin{cases} p_x = v_x r \\ p_y = v_y r, \\ p_z = v_z r \end{cases} \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от центра камеры до точки  $p$ .

Подставив выражения (1) в уравнение плоскости, получим уравнение с одной неизвестной:

$$v_x r \cos \alpha - v_y r \sin \alpha + h \cos \alpha - l \sin \alpha = 0. \quad (2)$$

Отсюда

$$r = \frac{l \sin \alpha - h \cos \alpha}{v_x \cos \alpha - v_y \sin \alpha}. \quad (3)$$

Значение  $r$  необходимо подставить в уравнения (1) для определения координаты искомой точки в пространстве.

Соединив полученные точки между собой, имеем пространственный контур пиломатериала для данного кадра. Для формирования трехмерной модели необходимо расположить полученные

контуры в соответствии с данными датчиков продольного перемещения и объединить соседние точки в полигоны. Полученная таким образом модель представлена на рис. 6.

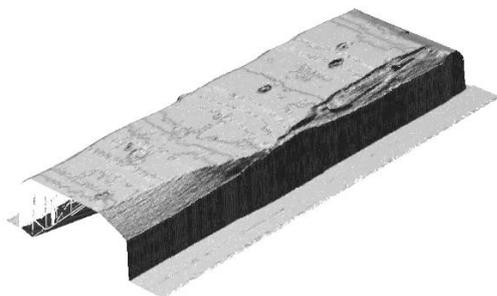


Рис. 6. Результат трехмерного сканирования

Смещение точек по продольной оси  $x$  при использовании энкодера с редуктором определяется как

$$l_x = \frac{n}{N} i \pi D,$$

где  $n$  – количество импульсов энкодера;

$N$  – количество импульсов энкодера на оборот;

$i$  – передаточное число редуктора;

$D$  – диаметр выходного вала.

Точность модели зависит от частоты получения кадров, скорости движения доски, разрешения камеры, фокусировки лазера.

Для оптимизации процесса анализа формы поверхности трехмерная модель, состоящая из точек, объединенных в полигоны, преобразуется в поле высот (рис. 7) – двумерный массив, каждая из ячеек которого соответствует точке поверхности с координатами

$$x = i k_x; y = j k_y; z = H - K_{i,j} k_z,$$

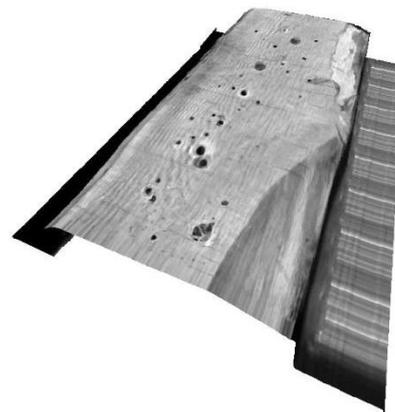
где  $i, j$  – индекс ячейки массива;

$k_x, k_y, k_z$  – масштаб поля высот;

$H$  – расстояние от камеры до базовой плоскости;

$K_{i,j}$  – массив поля высот.

Рис. 7. Результат совмещения оптического и трехмерного сканирования



Выделение пласти и обзола на поверхности пиломатериала производится путем анализа гистограммы распределения высот. Так как пласти занимает большую площадь поверхности и имеет форму, близкую к плоской (узкий диапазон высот), она проявляется как пик в правой части гистограммы. Гистограмма высот с выделенным участком, принадлежащим области пласти, представлена на рис. 8 (нулевая высота в анализе не учитывается).

Поле высот для поверхности пиломатериала в графическом виде представлено на рис. 9, а. На гистограмме высот выделен диапазон значений, соответствующий пласти. Область поверхности со значениями, попадающими в выделенный диапазон, представлена на рис. 9, б.

Изображение, полученное с камеры, также несет в себе информацию об отражающей способности поверхности. Она может быть использована для поиска дефектов и пороков древесины. Предварительно необходимо из полученных кадров составить целостное изображение поверхности доски. Размер объекта на изображении зависит от расстояния до камеры, что вызывает перспективные искажения. Они могут быть скорректированы путем попиксельной проекции изображения на трехмерную форму поверхности из точки съемки.

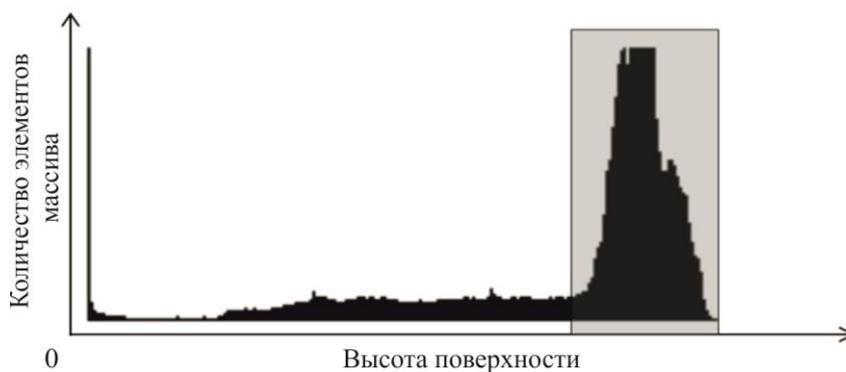


Рис. 8. Гистограмма высот

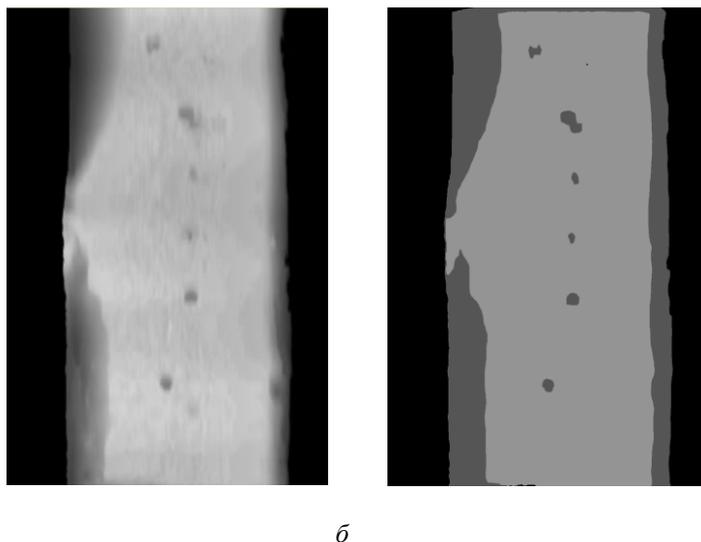


Рис. 9. Выделение пласти: *a* – поле высот; *б* – выделенная область высот

Но при частом фотографировании, когда выполняется условие  $\text{atan} \frac{lf}{h} < 25^\circ$  (где  $l$  – расстояние между кадрами;  $h$  – расстояние от камеры до поверхности), перспективными искажениями можно пренебречь. Тогда изображение составляется из полосок, вырезанных из центральных частей кадра (рис. 10, *a*). Швы удаляются путем линейной интерполяции цветовых значений между соседними кадрами (рис. 10, *б*).

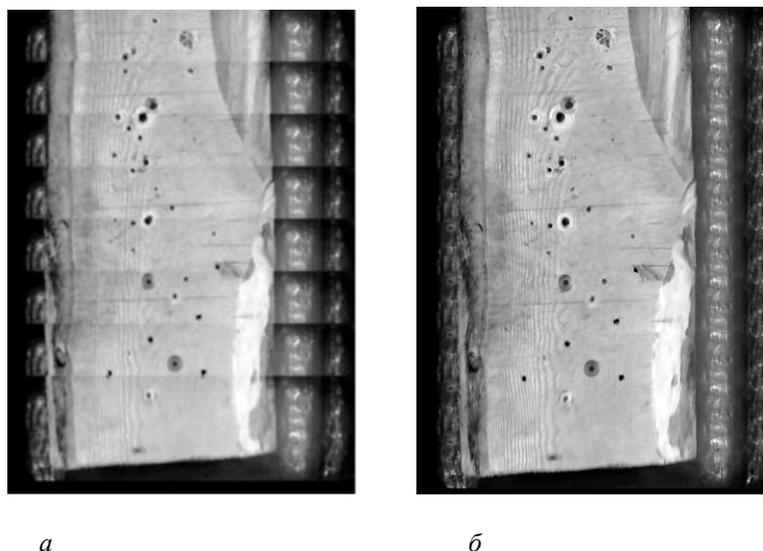


Рис. 10. «Сшитое» изображение: *a* – без линейной интерполяции, *б* – с линейной интерполяцией

После получения целостного изображения поверхности доски оно может быть совмещено с моделью формы поверхности (см. рис. 7).

Такие пороки древесины как гнилые, здоровые темные сучки, смоляные кармашки и трещины заметно темнее здоровой древесины и могут быть выделены с помощью порогового фильтра. В

результате применения порогового фильтра получается бинарное изображение. Для его анализа могут быть использованы морфологические операции сегментации, основанные на объединении соседних пикселей в сегменты. В процессе сегментации могут быть определены такие параметры сегментов, как продольный и поперечный размеры и площадь. На этом этапе могут быть отсеяны сегменты слишком малой площади. Для надежной классификации сегментов в большинстве случаев необходимо пользоваться несколькими признаками ( площадь, ориентация, форма, яркость в различных цветовых диапазонах и положение сегмента).

Таким образом, полученная информация о форме поверхности пиломатериала, наличии и расположении дефектов в нем позволяет с высокой точностью выбрать вариант торцовки и определить качество будущей пило-продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Копейкин А.М., Задраускайте Н.О., Турушев В.Г., Гельфанд Е.Д.* К вопросу автоматизирования определения дефектных участков на пиломатериале // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 72–75. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Техническое зрение роботов/ Под ред. Ю.Г. Акушенкова. М.: Машиностроение, 1990. С. 162–164.
3. *Szeliski R.* Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010. P. 578–616.

Поступила 12.04.13

УДК 674.093

#### **Algorithmization of Wood Flaw Detection**

*A.E. Alekseev, Doctor of Engineering, Professor*

*I.A. Toloknov, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: i.toloknov@agtu.ru

The use of the optical form and image scanning of the uncut timber surface allows to define the most profitable cutting variant. The form scanning is using to determine the maximum dimensions of sawn timber and future wane, and the reflectivity scanning of the lumber surface is using to determine the presence and position of the main defects. To implement the wood flaw detection based on the analysis of form and image of the board surface, it is necessary to develop relevant algorithms and techniques. Firstly we need to determine the principle of action and the functional diagram of the scanning device. After that we need to create the control algorithms of the scanner. Defining the primary type of obtained during the scanning process data, we can begin developing analysis algorithms. Previously, the scanned data must be led to the suitable form for the defective analysis - the geometric model and whole image of the timber surface. The image should be matched with the shape so that for the every point of the image its spatial position on the surface have been determined. The experiment resulted in the detection algorithms of the uncut timber and the scanning device with the software. The paper describes the concept and

algorithms of the photometric shape and surface reflectance of uncut timber scanner. An algorithm for constructing a three-dimensional shape model of boards, based on data received from the device, as well as algorithms face and some mechanical damage allocation are developed. The formation method of lumber surface linearized image, and algorithms for allocating major defects are also described. As a result of the described algorithms we can identify possible options for timber processing and predict the future quality of sawn timber for each option before processing. Obtained as a result scan data can also be further used for the development and testing of various algorithms to analyze the quality of sawn timber, as well as the collection of statistical data.

*Keywords:* wood flaw detection, algorithmization woodworking, technical vision, three-dimensional scanning, optical scanning.

#### REFERENCES

1. Kopeikin A.M., Zadrauskaite N.O., Turushev V.G., Gelfand E.D. K voprosu avtomatizirovaniya opredeleniya defektnykh uchastkov na pilomateriale [The Question of the Automate Determining of the Defective Sites at the Lumber]. *Izv. vissh. ucheb. zavedeniy. Lesnoy zhurnal* 2012, no. 3, pp. 72-75.
2. Akushenkov Y.G. Tehnicheskoe zrenie robotov [Technical Robot Vision]. Moscow, 1990, pp. 162-164.
3. Szeliski R., Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010, pp. 578-616.

