

УДК 677.021

**ОЦЕНКА УГЛОВОЙ ДЕЗОРИЕНТАЦИИ СТЕБЛЕЙ
В СЛОЕ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА***

**EVALUATION OF ANGULAR DISORIENTATION OF STEMS IN THE FLAX
TRUSTS LAYER USING THE HOUGH TRANSFORM**

И. А. РУМЯНЦЕВА, Е. Л. ПАШИН, А. О. ЛАПЕТКИН
I. A. RUMYANTSEVA, E. L. PASHIN, A. O. LAPETKIN

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: rumyanceva-ia@yandex.ru

Разработан метод определения угловой дезориентации стеблей в слое льняной тресты, основанный на анализе изображения с использованием преобразования Хафа.

The article is devoted to the development of a method for determining the angular disorientation of stems in the layer of linen trusts, based on the image analysis using the Hough transform.

Ключевые слова: льняная треста, изображение, угловая дезориентация, стебли, слой, преобразование Хафа, алгоритм.

Keywords: the trust of flax, the image, the angular disorientation of the stems, layer, the Hough transform algorithm.

В работах [1], [2] рассмотрены известные подходы к определению угловой дезориентации стеблей в слое, основанные на компьютерном анализе изображения. Их анализ выявил недостатки. К наиболее значимым из них следует отнести определение угла наклона анализируемых стеблей в движущемся слое, которое осу-

ществляется через точки, расположенные неопределенным образом на стеблях. Однако алгоритм выявления координат этих точек не известен. Между тем для автоматизированного анализа изображений данное обстоятельство является определяющим в части точности оценки угловой дезориентации стеблей.

* Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ 14-08-31409 мол_а.

С учетом этого был проведен анализ известных методов цифровой обработки изображений [3]. В результате выявлено преобразование (алгоритм) Хафа, которое в компьютерной обработке изображений используется для поиска прямых или кривых линий [3], [4]. Преимуществом этого преобразования является отсутствие необходимости задания координат каких-либо точек на стеблях в слое для поиска прямых линий.

Преобразование Хафа строится на применении параметрического уравнения вида:

$$\rho = x \cos \varphi + y \sin \varphi, \quad (1)$$

где ρ – расстояние от прямой до начала координат в пикселях; φ – угол между внешней нормалью к прямой и осью абсцисс; x, y – координаты точки на изображении.

Суть преобразования состоит в том, что точки, лежащие на одной прямой в исходном пространстве xu , можно с помощью уравнения (1) отобразить в пространстве параметров $\rho\varphi$ в виде синусоид, которые будут пересекаться в точке (ρ_0, φ_0) . В алгоритме преобразования Хафа используется аккумуляторная функция $A(\rho, \varphi)$, абсолютное значение которой в точке (ρ_0, φ_0) равно числу точек искомой линии, лежащих на ней в пространстве xu .

Последовательность применяемых операций при определении угловой дезориентации стеблей в слое на изображении с помощью преобразования Хафа следующая. Полученное с помощью фото- или видеокамеры цветное или полутонное изображение преобразуется в бинарный (монохромный) вид. Для этого используется один из рекомендованных ранее методов бинаризации [5]. Подготовленное таким образом изображение состоит из областей, содержащих пиксели белого (стебли) и черного цветов (фон). Далее с помощью преобразования Хафа осуществляется поиск на изображении прямых линий в соответствии с заданными параметрами: длина искомой прямой линии ℓ , ее толщина d и максимально допустимое расстояние между линиями, лежащими на одной прямой t (рис. 1 – результат поиска пря-

мых линий в исходном пространстве xu изображения).



Рис. 1

Используя полученную информацию применительно для каждой найденной линии, определяется угол ее наклона α_k к оси x пространства xu по формуле:

$$\alpha_k = \arctg \left(\frac{y_{1k} - y_{0k}}{x_{1k} - x_{0k}} \right), \quad (2)$$

где (y_0, x_0) и (y_1, x_1) – координаты положения концов отрезка прямой линии; k – номер прямой линии.

Полагая, что распределение углов наклона α_k подчиняется нормальному закону, в итоге получаем их совокупность (выборку объемом n), которая должна обеспечивать требуемую точность анализа $P < 10\%$.

После выявления совокупности α_k определяем средний угол наклона стеблей $\bar{\alpha}$, среднеквадратическое отклонение σ_α и угловую дезориентацию стеблей 2β , которая с учетом правила « 3σ » будет примерно равна $6\sigma_\alpha$.

Проведенные исследования по оценке влияния на угловую дезориентацию стеблей параметров ℓ , d и t , используемых в преобразовании Хафа, показали, что толщина искомой линии d должна быть в пределах $(0,5 \dots 0,6)d_{cp}$ (где d_{cp} – средняя толщина стеблей на изображении в пикселях), величина t должна определяться, исходя из длины искомой линии ℓ , и должна исключать возможность нахождения двух

линий, лежащих на одной прямой. Наиболее значимое влияние на угловую дезориентацию стеблей из регулируемых параметров оказывает величина ℓ . Слишком малое значение длины линии ℓ приводит к нахождению большого количества "ложных" прямых, то есть линий, не характеризующих стебли на изображении. Это приводит к "засорению" информации о реальном расположении стеблей в слое. При большом значении ℓ количество найденных линий для некоторых изображений снижается до единицы, что является недопустимым.

Таким образом, появилась необходимость в обосновании рационального значения минимальной длины искомой линии ℓ на изображении, при которой наблюдается наименьшее отклонение между расчетным углом наклона стеблей в слое и углом, определенным посредством общепринятого контрольного метода [6].

Для этого были получены цифровые изображения различных участков слоя льняной тресты (с разрешением 3264×4912 пикселей). Характер расположения стеблей в слое на изображениях был разным: стебли без наклона, стебли с небольшим наклоном и стебли сильно дезориентированы. Каждое изображение обрабатывали с использованием преобразования Хафа, изменяя величину длины искомой линии от 100 до 900 пикселей с шагом 100 пикселей. В результате для каждого изображения были получены расчетные значения углов наклона стеблей.

Для каждого анализируемого участка слоя с использованием контрольного метода [6] выявляли посредством применения графического редактора координаты положения концов анализируемых стеблей на изображении и фактические значения углов. Для анализа выбирали стебли, которые наиболее точно отражали их общее расположение в слое.

Далее, используя расчетные и фактические значения α_k , находили абсолютную величину их отклонения Δ_α . В итоге по всем изображениям в пределах каждой длины линии определяли среднюю величину отклонения угла наклона стеблей и

величину доверительного интервала. Полученные результаты в виде диаграммы представлены на рис. 2.

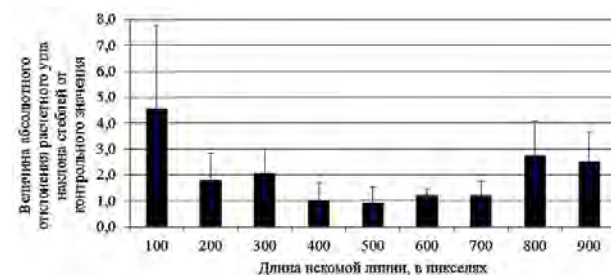


Рис. 2

Из анализа диаграммы следует, что наименьшее абсолютное отклонение угла наклона стеблей Δ_α наблюдается при величине длины линии в пределах от 400 до 700 пикселей, а именно 500 пикселей. Наихудшие результаты получаются при величине длины 100 пикселей. При таких значениях наблюдалось не только наибольшее отклонение расчетного угла от контрольного, но и их значительный разброс. Причиной этого являются выявленные по расчетам линии, не характеризующие реальное положение стеблей на изображении.

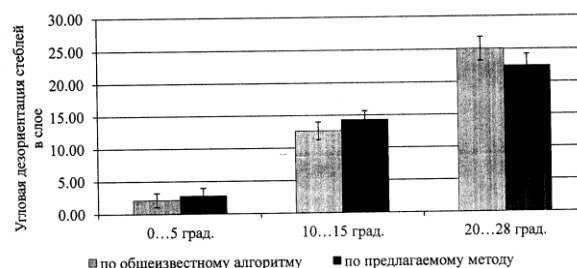


Рис. 3

С целью проверки эффективности предлагаемого метода был проведен сравнительный анализ определения угловой дезориентации в слоях стеблей с различной угловой дезориентацией. В качестве контроля использовали метод [6]. Все изображения слоя стеблей были рассортированы на 3 группы: угловая дезориентация стеблей в слое отсутствует ($0 \dots 5^\circ$); имеется небольшая угловая дезориентация ($10 \dots 15^\circ$) и стебли в слое сильно дезориентированы ($20 \dots 28^\circ$). Для каждого изоб-

ражения определяли угловую дезориентацию по двум методам: предлагаемому и [6]. Затем в пределах каждой группы рассчитывали средние значения угловой дезориентации и доверительные интервалы их распределения. Полученные результаты представлены на рис. 3. Их статистическая обработка показала, что средние значения угловой дезориентации в исследуемых группах не имеют статистически доказуемых различий.

ВЫВОДЫ

1. Использование преобразования Хафа при определении угловой дезориентации стеблей льна в слое позволяет в отличие от аналогов исключить неопределенность при выявлении реального расположения стеблей.

2. В условиях получения изображения с разрешением 3264×4912 пикселей рациональная величина длины искомой линии ℓ соответствует **500 пкс**. При этом толщина искомой линии d должна быть в пределах (0,5...0,6) от среднего диаметра стеблей на изображении, а величина t должна исключать возможность нахождения двух линий, лежащих на одной прямой, что определяется длиной искомой линии ℓ .

3. Проверка эффективности предложенного метода определения угловой дезориентации выявила статистически доказуемую взаимосвязь ($r = 0,989$) между расчетными и фактическими значениями углов наклона стеблей. Подтверждено соответствие расчетной угловой дезориентации ее фактическим значениям при анализе стеблевого слоя с различной структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашин Е.Л., Лапшин А.Б., Маянский С.Е. Механическая подготовка льна для получения трепаного волокна (проблемы и направления совершенствования). – Кострома: ВНИИЛК, 2006.

2. Румянцева И.А., Пашин Е.Л. Системы контроля параметров качества льнотресты для управ-

ления процессом ее переработки. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2014.

3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010.

4. Кудрина М.А. Использование преобразования Хафа для обнаружения прямых линий и окружностей на изображении // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. Т. 16, №4(2). С. 4769...4786.

5. Румянцева И.А., Кобелева А.И. Исследование методов сегментации как способа выделения стеблей льна на изображении // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №6. С. 46...50.

6. Румянцева И.А., Пашин Е.Л., Маянский С.Е. Определение параметров пригодности стеблевого слоя к трепанию при его обработке на слоеформирующей машине. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2010.

REFERENCES

1. Pashin E.L., Lapshin A.B., Majanskij S.E. Mehanicheskaja podgotovka l'na dlja poluchenija trepanogo volokna (problemy i napravlenija sovershenstvovaniya). – Kostroma: VNIILK, 2006.

2. Rumjanceva I.A., Pashin E.L. Sistemy kontrolja parametrov kachestva l'notresty dlja upravlenija processom ee pererabotki. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tehnol. un-ta, 2014.

3. Vizil'ter Ju.V., Zheltov S.Ju., Bondarenko A.V. i dr. Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zrenija. – M.: Fizmatkniga, 2010.

4. Kudrina M.A. Ispol'zovanie preobrazovanija Hafa dlja obnaruzhenija prjamyh linij i okruzhnostej na izobrazhenii // Izv. Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2014. Т. 16, №4(2). S. 4769...4786.

5. Rumjanceva I.A., Kobleva A.I. Issledovanie metodov segmentacii kak sposoba vydelenija stebel' l'na na izobrazhenii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №6. S. 46...50.

6. Rumjanceva I.A., Pashin E.L., Majanskij S.E. Opredelenie parametrov prigodnosti steblevogo sloja k trepaniju pri ego obrabotke na sloeformirujushhej mashine. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tehnol. un-ta, 2010.

Рекомендована кафедрой механических технологий волокнистых материалов. Поступила 31.03.16.