

УДК 004.93'1: 004.932.2

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ХАОТИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ОДНОТИПНЫХ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОГО ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА

Екимов Д.А.

*ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,
Петрозаводск, e-mail: edmitr2007@mail.ru*

Предложен метод вычисления информативных признаков, характеризующий фракционный состав хаотично расположенных однотипных упорядоченных структур, присутствующих на изображении, не требующий поиска и выделения объектов. Задача является актуальной, когда сегментация и непосредственное измерение размеров объектов на изображении затруднено, например, ввиду их расположения группами или слоем. Метод применен для исследования изображений образцов древесной массы с известными механическими свойствами. Описывается методика подготовки образцов. Показано, что межклассовое различие в пространстве информативных признаков более чем в 3 раза превышает максимальное различие между элементами одного класса древесной массы. Установлена стохастическая связь механических свойств образцов древесной массы и полученных в результате анализа информативных признаков. Результаты работы могут быть использованы для измерения фракционного состава продуктов предприятий ЦБП, лесопереработки, камнедробильных заводов.

Ключевые слова: анализ изображения, информативный признак, фракционный состав, гранулометрический состав, древесная масса, щебень, классификация, моделирование

IMAGE DESCRIPTORS FOR RANDOMLY DISTRIBUTED AND UNIFORMLY ORDERED STRUCTURES

Ekimov D.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: edmitr2007@mail.ru

In this paper a novel method to extract image descriptors is proposed. The image descriptors contain information about size distribution of the uniformly ordered objects, which are randomly distributed in the image plane. The method does not require any searching process of the objects, while it is based on statistics. The topic is critical, when the image segmentation and direct measurement of an object size is difficult, for example, due to location of the objects in layers. The method was applied to study the mechanical pulp having certain mechanical properties. Digitizing and sample preparation is shown in detail. We show that the Euclidean distance between objects having different mechanical properties in three times more than maximum distance between objects having same properties. Stochastic relationship between mechanical properties of the pulp samples and their image descriptors was found. The method could be used to measure the product of pulp and paper mills, timber and stone crushing industries.

Keywords: image analysis, image descriptor, composition, size distribution, mechanical pulp, crushed stone, classification, modeling

Многие приложения требуют измерения гранулометрического состава. Например, при производстве щебня [1] размеры зерен измеряют с применением специального набора сит, а измерение содержания зерен пластинчатой и игловатой форм (лещадность) проводят вручную [1]. Фракционный состав при производстве щепы [2] измеряют с помощью ситового механического анализатора и весов. В ЦБП от размеров волокон древесной массы зависят её механические свойства, такие как степень помола, разрывная длина, сопротивление раздиранию [4].

Для управления качеством в процессах дробления, рубки, дефибрирования и измельчения необходимы методы оперативного измерения геометрических размеров элементов. Один из возможных способов реализации – применение систем машин-

ного зрения. Здесь надёжное распознавание объектов на изображении и определение их геометрических размеров не представляет сложности в случае, когда все они расположены отдельно друг от друга на контрастном фоне. При расположении группами или слоем границы объектов на изображении не очевидны, что затрудняет их измерение и подсчёт. В таких случаях для определения лещадности щебня и сегментации зерен щебня на изображении некоторые авторы [5] применяют алгоритм водораздела (Watershed). Недостатком такого подхода является то, что размеры сегментов на изображении не равны размерам зерен щебня, так как некоторые зерна перекрывают друг друга в плоскости изображения. В данной работе предлагается метод вычисления информативных признаков, характеризующих

фракционный состав хаотично расположенных однотипных упорядоченных структур, присутствующих на изображении, не требующий поиска и выделения объектов. Приводятся результаты применения метода для исследования образцов древесной массы с известными механическими свойствами.

Метод вычисления информативных признаков

Предлагается использовать следующий алгоритм вычисления информативных признаков:

1. Изображение размером $N \times N$ пикселей считывается в двумерный массив чисел $M[x, y]$, каждый элемент которого содержит значение яркости пиксела с координатами x, y (темные волокна на белом фоне).

2. Значения элементов массива нормализуются в диапазоне от 0 до 1, причём белому фону ($M = M_{\text{MAX}}$) соответствует значение $M'[x, y] = 0$.

$$M'[x, y] = 1 - \frac{M[x, y] - M_{\text{MIN}}}{M_{\text{MAX}} - M_{\text{MIN}}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{MIN}}, M_{\text{MAX}}$ – значения минимальной и максимальной яркости пиксела на изображении.

3. Пусть $n_i = 2$, а i – обозначает масштаб $i = \log_2(n_i)$ и на первой итерации равно 1.

4. Изображение условно разбивается на смежные квадратные области с размерами $n_i \times n_i$ пикселей, количество которых равно $N_i \times N_i$, причём $N_i = \frac{N}{n_i}$.

5. Для каждой смежной области с индексами $ix = 0 \dots N_i - 1$; $iy = 0 \dots N_i - 1$ вычисляются суммы:

$$SX_{ix, iy}[y] = \sum_{x=0}^{n_i-1} M'[ix \cdot n_i + x, iy \cdot n_i + y]; \quad (2)$$

$$SY_{ix, iy}[x] = \sum_{y=0}^{n_i-1} M'[ix \cdot n_i + x, iy \cdot n_i + y]. \quad (3)$$

6. Затем по известным $SX_{ix, iy}[y]$ и $SY_{ix, iy}[x]$ для каждой области с индексами ix, iy вычисляются функции $FX[m]$ и $FY[m]$ путем накопления массивов:

$$FX_{ix, iy}[m] = FX_{ix, iy}[m] + 1$$

для всех $1 \leq m \leq SX_{ix, iy}[y]$ и $y = 0 \dots n_i - 1$;

$$FY_{ix, iy}[m] = FY_{ix, iy}[m] + 1 \quad (4)$$

для всех $1 \leq m \leq SY_{ix, iy}[x]$ и $x = 0 \dots n_i - 1$.

7. Вычисляется суммарное по всем областям значение D_i

$$D_i = \sum_{ix=0}^{N_i-1} \sum_{iy=0}^{N_i-1} \sum_{m=1}^{n_i} |FX_{ix, iy}[m] - FY_{ix, iy}[m]|. \quad (5)$$

8. Если $n_i < N$, то увеличиваем размер области в два раза: $n_{i+1} = 2 \cdot n_i$, увеличиваем i на единицу и повторяем алгоритм, начиная с пункта номер 4.

9. Вычисляется сумма всех элементов массива:

$$S = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N M'[x, y]. \quad (6)$$

10. Процесс повторяется, начиная с первого пункта для всех изображений выборки, при этом суммы D_i и S накапливаются.

11. Значения D_i нормируются на сумму всех элементов всех изображений выборки:

$$ND_i = \frac{D_i}{S}. \quad (7)$$

Ранее данный алгоритм был применен для параметризации изображений волокон древесной массы, сгенерированных при помощи имитационной модели и отличающихся фракционным составом. Было показано [3], что вычисленные таким образом информативные признаки ND_i содержат информацию о размерах элементов, представленных на изображениях. Предлагаемый метод был реализован в виде процедуры на C++, которая осуществляет предварительную обработку изображений и выделяет различительные признаки для последующей классификации.

Применим данный алгоритм для параметризации изображений реальной древесной массы различного фракционного состава.

Методика исследования образцов древесной массы

Для исследования взято пять классов (образцов) древесной массы, механические показатели которых были предварительно измерены на стандартном оборудовании специалистами лаборатории оценки качества продукции древесномассного завода АО «Кондопога». Значения этих показателей приведены в табл. 1.

Введем меру различия механических свойств исследуемых образцов древесной массы как евклидово расстояние. Для этого предварительно выполним нормирование каждого из механических свойств по формуле

$$b = \frac{a - \bar{a}}{a_{\text{max}} - a_{\text{min}}}. \quad (8)$$

Нормированные значения свойств древесной массы представлены в табл. 2.

Таблица 1

Механические свойства исследуемых образцов древесной массы

Номер образца (класса)	a_1	a_2	a_3
	Степень помола, °ШР	Разрывная длина, м	Сопротивление раздиранию, Н
1	66	2350	375
2	62	2050	326
3	77	3150	352
4	75	3050	349
5	69	2870	370

Таблица 2

Нормированные значения свойств образцов древесной массы

Номер образца (класса)	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
1	-0,253	-0,313	0,420	0,174	-0,151
2	-0,520	-0,585	-0,580	-0,174	-0,509
3	0,480	0,415	-0,049	0,413	0,380
4	0,347	0,324	-0,110	-0,587	-0,211
5	-0,053	0,160	0,318	0,174	0,491

Таблица 3

Межклассовое различие механических свойств исследуемых образцов древесной массы

Номер класса	1	2	3	4	5
1	0,00	1,07	1,13	1,02	0,52
2	1,07	0,00	1,51	1,34	1,26
3	1,13	1,51	0,00	0,17	0,70
4	1,02	1,34	0,17	0,00	0,61
5	0,52	1,26	0,70	0,61	0,00

В табл. 3 приведены значения евклидовых расстояний в пространстве механических свойств для исследуемых образцов древесной массы, полученные по формуле

$$Dist(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (b_i(A) - b_i(B))^2}, \quad (9)$$

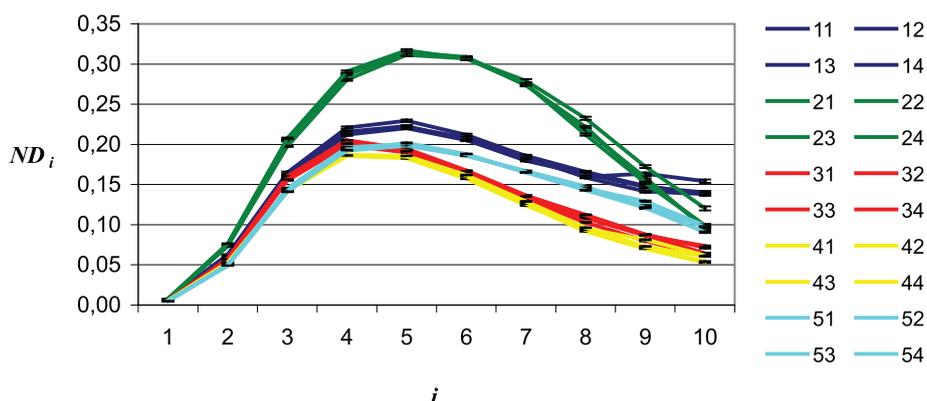
где A и B – номера образцов древесной массы в диапазоне от 1 до 5 согласно табл. 1.

Из таблицы видно, что наименее по механическим свойствам отличаются образцы № 3 и 4, а наиболее – образцы № 2 и 3.

Для получения изображений исследуемых образцов древесной массы их концентрации измерены и доведены до $(0,0674 \pm 0,0006)\%$ абсолютно сухого вещества путем разбавления водой. Измерения выполнялись с помощью высокоточных весов, погрешность которых составляет 0,001 г. Каждый образец тщательно перемешан (дезинтегрирован)

с помощью специального миксера и помещен на поверхность четырех предметных стекол. При этом количество раствора контролировалось с помощью весов и составило $0,52 \pm 0,03$ г. Таким образом подготовлены 20 предметных стекол с образцами древесной массы: по четыре образца каждого из пяти классов.

После сушки всех предметных стекол в горизонтальном положении волокна древесной массы стало удобно наблюдать под микроскопом, так как все они теперь находились в пределах глубины резкости. Далее с помощью специального микроскопа с предметным столиком, позиционируемым шаговыми двигателями, и с помощью специально разработанной для него программы управления предметные стекла были просканированы. В результате этого были получены выборки, содержащие 50–60 изображений с каждого предметного стекла, с разрешением 1024×1024 и размером пиксела изображения – 1,87 мкм.



Графики информативных признаков, полученные на основе изображений 20 образцов древесной массы (по 50–60 изображений каждого образца); первая цифра легенды обозначает номер образца (согласно табл. 1)

Результаты исследования образцов древесной массы

Используя выборку из 50–60 изображений, для каждого из 20 образцов были вычислены 10 значений информативных признаков ND_i . Результаты представлены на рисунке.

Для оценки информативности предложенного метода вычисления информативных признаков необходимо ввести меру, которая бы характеризовала степень различия образцов в пространстве этих признаков. Так как на графиках не наблюдается резких выбросов, то в качестве меры выбрано евклидово расстояние:

$$Dist(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (ND_i(A) - ND_i(B))^2}, \quad (10)$$

где A и B – номера образцов древесной массы в диапазоне от 1 до 20.

Таким образом вычислена матрица евклидовых расстояний размерностью 20×20 между всеми образцами древесной массы. Элементы матрицы, имеющие максимальное значение расстояния между различными образцами, принадлежащими к одному классу, сведены в табл. 4.

Для нахождения межклассового различия вычислены средние значения информативных признаков путем усреднения по четырём образцам, принадлежащим каждому классу, и рассчитана матрица евклидовых расстояний размерностью 5×5 между образцами различных классов, которая приведена в табл. 5.

Из табл. 5 следует, что минимальное евклидово расстояние между различными классами составляет 0,132 (для классов № 3 и 4). Тогда как из табл. 4 следует, что максимальное расстояние между элементами одного класса равно 0,039 (для класса № 2). Следовательно, межклассовое различие более чем в 3 раза превышает максимальное

Таблица 4

Внутриклассовое различие образцов в пространстве информативных признаков

Номер класса	1	2	3	4	5
Мера различия	0,032	0,039	0,018	0,016	0,012

Таблица 5

Межклассовое различие образцов в пространстве информативных признаков

Номер класса	1	2	3	4	5
1	0,000	0,788	0,538	0,643	0,291
2	0,788	0,000	1,160	1,267	0,975
3	0,538	1,160	0,000	0,132	0,299
4	0,643	1,267	0,132	0,000	0,385
5	0,291	0,975	0,299	0,385	0,000

различие между элементами одного класса древесной массы, что говорит о пригодности предложенного метода вычисления информативных признаков для классификации исследуемых образцов древесной массы с различными механическими свойствами.

Коэффициент корреляции механических свойств и полученных информативных признаков образцов древесной массы, вычисленный по данным табл. 3 и 5, равен 0,92. Следовательно, предложенный метод вычисления информативных признаков пригоден для классификации исследуемых образцов древесной массы с различными механическими свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы «Университетский комплекс ПетрГУ в научно-образовательном пространстве Европейского Севера: стратегия инновационного развития».

Список литературы

1. ГОСТ 8269.0–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – Взамен ГОСТ 3344–83, ГОСТ 7392–85, ГОСТ 8269–87; введ. 1998–07–01. – М.: Госстрой России, сор. 1998. – 98 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. ГОСТ 15815–83. Щепа технологическая. Технические условия. – Взамен ГОСТ 15815–70; введ. 1985–01–01. – М.: Госстандарт России, сор. 1992. – 13 с. – (Государственный стандарт Союза ССР). – Переизд. с измен.
3. Екимов Д.А. Параметризация изображений волокон древесной массы с целью экспресс анализа её фракционного состава // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 1.1 (35). – С. 150–154.
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волоконистых целлюлозно-бумажных материалов. – Киров, 2002.
5. Рябчиков М.Ю., Бурнашев Р.Э., Богданов Н.В. Способ оценки геометрических параметров зерен щебня и использование результатов оценки для управления процессом дробления в дробилках центробежно-ударного типа действия // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 6–1 (46). – С. 44–47.

References

1. GOST 8269.0–97. Scheben i graviiy iz plotnykh gornykh porod i otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitelnykh работ. Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy [State Standard 8269.0–97. Rubble and gravel from dense rocks, and industrial waste products for construction works. Methods of physico-mechanical tests]. Moscow, Gosstroy Rossii, 1998. 98 p.
2. GOST 15815–83. Schepa tekhnologicheskaya. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 15815–83. Woodchips. Specifications]. Moscow, Gosstandart Rossii, 1992. 13 p.
3. Ekimov D.A. Parametrizatsiya izobrazheniy volokon drevnesnoy massy s tselyu ekspress analiza ee fraktsionnogo sostava – Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii, 2009, no. 1.1 (35), pp. 150–154.
4. Komarov V.I. Deformatsiya i razrushenie voloknistykh tsellyulozno-bumazhnykh materialov (Deformation and disintegration of pulp and paper materials). Kirov, 2002.
5. Ryabchikov M.Yu., Burnashev R.E., Bogdanov N.V. Sposob otsenki geometricheskikh parametrov zeren shebnya i ispolzovanie rezultatov otsenki dlya upravleniya protsessom drobleniya v drobilkakh tsentrobezhno-udarnogo tipa deystviya – Privolzhskiy nauchnyy vestnik, 2015, no. 6–1 (46), pp. 44–47.