

ОПТИМИЗАЦИЯ НАБОРА ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Д. А. Юдин, В. З. Магергут

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород

Рецензент д-р техн. наук, профессор С. И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: генетический алгоритм; изображение; оптимизация; программное обеспечение; процесс обжига; сегментация; текстурные характеристики.

Аннотация: Рассмотрена оптимизация набора текстурных характеристик изображения процесса обжига на основе генетического алгоритма с элитным отбором. Сформулирован критерий оптимизации – максимизация средней точности сегментации изображения на четыре области: «факел», «материал», «футеровка» и «корпус и горелка». Найдена оптимальная комбинация текстурных характеристик, включающая в себя четыре характеристики: автокорреляцию, однородность, интенсивность, вариацию. Разработано программное обеспечение, реализующее рассматриваемую задачу.

Для сегментации изображений, практически не имеющих естественных контуров, применяются методы текстурного анализа. В частности, при анализе изображений процесса обжига во вращающихся печах необходимо выделять на них сегменты: «факел», «материал», «футеровка» и «корпус и горелка». Эта информация затем используется для формирования оценок параметров процесса обжига, применяемых операторами вращающихся печей для управления процессом. Важной задачей, возникающей при сегментации изображений, является определение набора геометрических и яркостных характеристик, достаточного для описания пространственной текстуры, присутствующей в изображении. Формальной процедуры задания исходного набора текстурных характеристик пока не существует. Характеристики, используемые при решении тех или иных задач, задаются лишь на основании опыта и интуиции специалиста [1, 2].

Юдин Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Техническая кибернетика», e-mail: yuddim@yandex.ru; Магергут Валерий Залманович – доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая кибернетика», заместитель директора института информационных технологий и управляющих систем, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород.

В работах [3, 4] для решения этой задачи применяется матрица текстурных характеристик \mathbf{X} , которая содержит составляющие $\mathbf{X}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i11}]$, где x_{ij} соответствует j -й текстурной характеристике: энергия ($j = 1$), контраст ($j = 2$), корреляция ($j = 3$), автокорреляция ($j = 4$), однородность ($j = 5$), энтропия ($j = 6$), инерция ($j = 7$), тень ($j = 8$), максимальная вероятность ($j = 9$), интенсивность (средняя яркость) ($j = 10$), вариация ($j = 11$). На основе матрицы \mathbf{X} формируется вектор сегментов $\mathbf{I}_C = [I_{C1}, I_{C2}, \dots, I_{CD}]^T$, где I_{Ci} – номер сегмента для i -й строки матрицы \mathbf{X} , он принимает целые значения от 1 до 4, соответствующие одному из сегментов, описанных выше.

Заранее неизвестно, какие из отобранных 11 текстурных характеристик лучше всего отражают текстурные особенности изображения процесса обжига.

Качество (точность) сегментации оценивается путем сравнения вектора \mathbf{I}_C с эталонным вектором номеров $\mathbf{I}_E = [I_{E1}, I_{E2}, \dots, I_{ED}]^T$, где I_{Ei} – эталонный номер сегмента для вектора \mathbf{X}_i , $i = 1, 2, \dots, D$. Вектор \mathbf{I}_E задается экспертом с помощью специальной формы ввода. Для сравнения \mathbf{I}_C с \mathbf{I}_E строится матрица \mathbf{U} размерности $R \times R$, где R – количество сегментов (классов), в частности, для рассматриваемой задачи $R = 4$. Элементом матрицы U_{ij} является количество пар номеров сегментов, входящих в векторы \mathbf{I}_C и \mathbf{I}_E , которые равны соответственно $I_{Cn} = i$ и $I_{En} = j$. Затем для каждого из сегментов k вычисляется точность сегментации P_{ck} :

$$P_{ck} = U_{kk} / \left(\sum_{i=1}^R U_{ki} + \sum_{i=1}^R U_{ik} - U_{kk} \right), \quad U_{ij} = \sum_{n=1}^D I(n, i, j);$$

$$I(n, i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } (I_{En} = i) \wedge (I_{Cn} = j); \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

Средняя точность сегментации P_c изображения определяется как

$$P_c = \sum_{k=1}^R P_{ck} / R. \quad (1)$$

При описании изображения только одной текстурной характеристикой обеспечивается точность сегментации (вычисляется по формуле (1)), показанная на рис. 1.

Необходимо найти такой набор текстурных характеристик размерности $1 \leq N \leq 11$, который обеспечивает максимум точности сегментации P_c . Такая задача решена в виде оптимизационной с критерием

$$I = P_c \rightarrow \max_{\substack{\mathbf{C} \\ 1 \leq N_{C1} \leq 11}} \Big|_{\mathbf{X} = \mathbf{X}_C}$$

где \mathbf{C} – маска (вектор) вида $\mathbf{C} = [c_0, c_1, \dots, c_j, \dots, c_{11}]$, $c_j = \{1, 0\}$, определяющая набор текстурных характеристик в строках матрицы \mathbf{X} ; \mathbf{X}_C – матрица текстурных характеристик, в которую входят только характеристики, соответствующие единичным элементам маски \mathbf{C} ; N_{C1} – количество единичных элементов вектора \mathbf{C} .

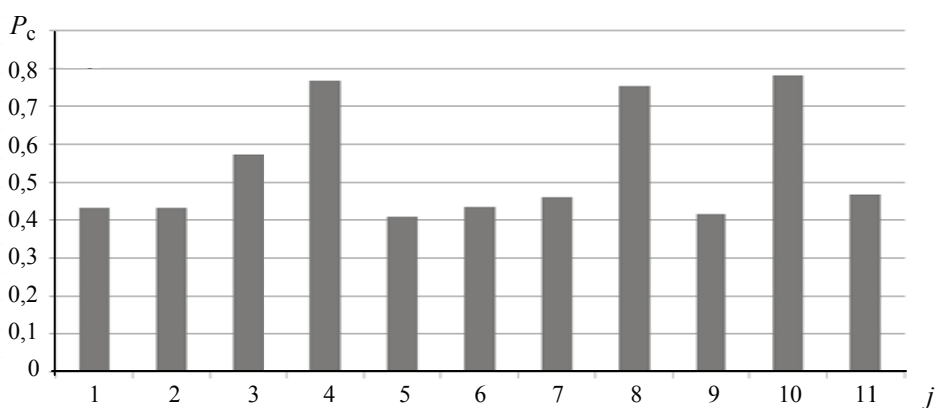


Рис. 1. Оценка точности сегментации P_c для каждой из 11 текстурных характеристик

Всего имеется $2^{11} = 2048$ различных комбинаций текстурных характеристик S . Полный перебор всех комбинаций неэффективен и ресурсоемок. Поэтому применен метод направленного поиска оптимального набора текстурных характеристик – генетический алгоритм [5].

Для решения поставленной задачи используется генетический алгоритм, основанный на элитном отборе особей-масок S , предусматривающем сохранение «наилучшей» особи (показывающей максимальную точность сегментации P_c) в популяции [6].

Остановка генетического алгоритма происходит в двух случаях: когда его выполнение не приводит к улучшению в пределах заданной относительной погрешности $\varepsilon = 0,00001$ среднего значения функции приспособленности (точности сегментации P_c , вычисляемой по формуле (1)) «элитных» особей (масок S) в течение смены пяти популяций подряд и после выполнения заданного количества итераций (смены заданного количества популяций). Тем самым гарантируется либо сходимость, либо окончание работы алгоритма за конечное число шагов. На рисунке 2 показано увеличение точности сегментации в зависимости от количества поколений особей генетического алгоритма.

На начальном шаге алгоритма 11 первых особей популяции инициализируются масками, содержащими одно единичное значение, номер позиции которого соответствует номеру текстурной характеристики (рис. 1).

В результате алгоритм сходится по прохождению 20 поколений (около 700 с) при размере популяции 50 особей, случайной точке кроссовера, вероятности мутации 0,5, инверсии с вероятностью 0,1 и пороге селекции 0,8 (рис. 2). В итоге была получена

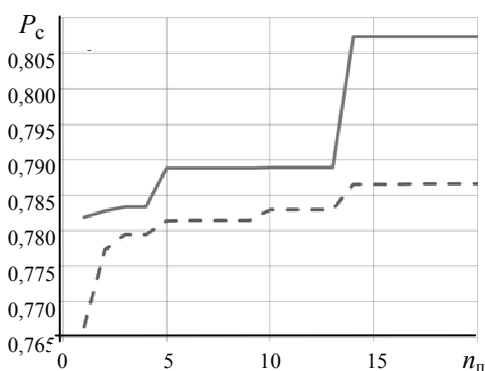


Рис. 2. Точность сегментации в зависимости от количества поколений $n_{п}$ особей генетического алгоритма:
 — — — для лучшей пробы;
 - - - - средняя для элитных особей

комбинация четырех признаков: $C_{\text{опт}} = [0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1]$ – автокорреляция, однородность, интенсивность, вариация, которая обеспечивает точность сегментации $P_c = 0,87$. Генетический алгоритм работает более чем вдвое быстрее алгоритма полного перебора, который находит тот же результат за около 1460 с. Время расчета приведено для компьютера со следующими характеристиками: процессор Intel Core i5 с частотой 2.7 ГГц (четыре ядра) и 64-битной операционной системой Windows 7, оперативная память типа DDR3 объемом 4 ГБ с частотой 1333 МГц.

Предлагаемый генетический алгоритм реализован в виде программного модуля GenAlg.cs на языке C# в среде Microsoft Visual Studio [7].

Найденный набор признаков $C_{\text{опт}}$ в дальнейшем используется для формирования матрицы текстурных характеристик X , которые поступают на вход алгоритма сегментации изображения, в частности, самоорганизующейся карты Кохонена.

Список литературы

1. Патана, Е. И. Статистический анализ и кластеризация основных текстурных функционалов / Е. И. Патана // Изв. ЮФУ. Техн. науки. – 2008. – Т. 81, № 4. – С. 192 – 198.

2. Мицель, А. А. Непараметрический алгоритм текстурного анализа аэрокосмических снимков / А. А. Мицель, Н. В. Колодовникова, К. Т. Протасов // Изв. Том. политехн. университета. – 2005. – Т. 308, №1. – С. 65 – 70.

3. Юдин, Д. А. Сегментация изображений процесса обжига с применением текстурного анализа на основе самоорганизующихся карт / Д. А. Юдин, В. З. Магергут // Информ. технологии. – 2013. – № 5. – С. 65 – 70.

4. Юдин, Д. А. Применение текстурного анализа для сегментации видеоизображений процесса обжига / Д. А. Юдин, В. З. Магергут // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 : сб. тр. XXV Междунар. науч. конф. : в 10 т., г. Волгоград, 28 – 31 мая 2012 г. / под общ. ред. А. А. Большакова. – Волгоград ; Харьков, 2012. – Т. 4. – С. 59 – 63.

5. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

6. Юдин, Д. А. Автоматизированная система управления вращающимися печами с применением технического зрения : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 ; защищена 22.05.2014 ; утв. 05.11.2014 / Юдин Дмитрий Александрович. – Белгород, 2014 – 203 с.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013618309. Программа многопараметрической оптимизации на основе генетического алгоритма / Юдин Д. А., Проценко В. В., Рыбин И. А. ; правообладатель ФГБОУ ВПО «Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова». – № 2013616188 ; заявл. 18.07.2013 ; зарег. 05.09.2013 ; опубл. 20.12.2013. – 1 с.

References

1. Patana E.I. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2008, vol. 81, no. 4, pp. 192-198.

2. Mitsel' A.A., Kolodovnikova N.V., Protasov K.T. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2005, vol. 308, no. 1, pp. 65-70.

3. Yudin D.A., Magergut V.Z. *Informacionnye Tehnologii*, 2013 no. 5, pp. 65-70.
 4. Yudin D.A., Magergut V.Z. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh - MMTT-25* (Mathematical Methods in Engineering and Technology - MMTT-25), Proceedings of the XXV International Conference, 28-31 May 2012, Volgograd, Khar'kov, 2012, vol. 4 of 10, pp. 59-63.
 5. Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L. *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte* (Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems), Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
 6. Yudin D.A. *PhD Dissertation (Engineering)*, Belgorod, 2014, 203 p.
 7. Yudin D.A., Protsenko V.V., Rybin I.A., Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, *Programma mnogoparametricheskoi optimizatsii na osnove genetycheskogo algoritma* (The program is multi-parameter optimization based on genetic algorithm), Russian Federation, 2013, Certificate of state registration of computer program 2013618309.
-

Optimization of Image Texture Features Based on Genetic Algorithms

D. A. Yudin, V. Z. Magergut

*V. G. Shukhov Belgorod State Technological University,
Belgorod*

Key words and phrases: firing process; genetic algorithm; image; optimization; segmentation; software; texture features.

Abstract: Optimization of a set of texture features of firing process image is described. It is based on a genetic algorithm with elite selection. Optimization criterion is formulated. It is maximization of middle image segmentation accuracy when we find four fields: “torch”, “material”, “lining” and “carcass and burner”. Optimal combination of texture features is found. It includes four features: autocorrelation, homogeneity, intensity, variation. Software which implements the considered task is developed.

© Д. А. Юдин, В. З. Магергут, 2014

Статья поступила в редакцию 02.11.2014 г.