

Т. В. Аюшеев, Т. Ц. Дамдинова, С. М. Бальжинимаева. Моделирование пористых тел на основе цифровой обработки изображений

УДК 004.925.84

DOI: 10.18101/978-5-9793-1626-0-5-10

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Аюшеев Түмэн Владимирович**

доктор технических наук, доцент,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова

Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

E-mail: tvaush@yandex.ru

© **Дамдинова Татьяна Цыбиковна**

кандидат технических наук, доцент,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

E-mail: damdinovata@mail.ru

© **Бальжинимаева Светлана Михайловна**

аспирант,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

E-mail: svmihb@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день моделирование пористых сред на основе изображений для изучения и прогнозирования процессов является важным направлением применения современной вычислительной техники. Методы цифровой обработки изображений пористых тел используются во многих отраслях, таких как медицина, строительство, геология и легкая промышленность. Доступность все более больших наборов данных изображений с высоким разрешением создает потребность в разработке алгоритмов, которые могут обрабатывать изображения большого размера с низкими вычислительными затратами. В данной статье представлен обзор методов моделирования пористых тел.

Ключевые слова: обработка изображения, моделирование, пористые материалы, структура пор

Для цитирования

Аюшеев Т. В., Дамдинова Т. Ц., Бальжинимаева С. М. Моделирование пористых тел на основе цифровой обработки изображений // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе: материалы региональной научно-практической конференции с международным участием (Улан-Удэ, 1 июля 2021 г.) / отв. ред. А. А. Тонхонова, науч. ред. Е. Р. Урмакшинова. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2021. С. 5–10.

В медицине используются методы обработки изображений в процессе диагностики заболеваний (меланома, экзема, акне, невусы и т. д.). Процедура диагностики кожных заболеваний на основе программного обеспечения сокращает время лечения и диагностики.

Обработка изображения выполняет операции с изображением, которые приводят к извлечению полезной информации. Процесс выявления кожных заболеваний начинается со сбора данных о кожных заболеваниях [1]. Набор данных состоит из цветных изображений. Изображения RGB были преобразованы в изображения шкалы серого или HSV перед извлечением признаков. Признаки были извлечены с использованием глубокой нейронной сети и алгоритма текстурных признаков HuMoment [2] и Haralick [3].

Выделение признаков на основе цвета выполняется с помощью гистограммы. Гистограмма изображения может быть построена путем построения графика зависимости глубины пикселя от частоты пикселя или возможностей глубины пикселя после преобразования изображения в изображение цветового пространства HSV. Из набора данных изображения получают характеристики, характерные только для данного типа заболевания. Для сопоставления входного изображения с определенным классом изображений используют классификатор Random forest, это хорошо известный классификатор, используемый в машинном обучении, который дает хорошее значение точности. Классификатор Random forest позволяет избежать чрезмерной подгонки, а затем выбора и использования наиболее эффективного дерева решений. Разработан полный пользовательский интерфейс, чтобы упростить процесс обнаружения кожных заболеваний с помощью интерактивного интерфейса. Пользовательский интерфейс GUI спроектирован так, чтобы пользователь мог легко загрузить изображение, просматривать его, а кнопка анализа предназначена для отображения результата анализа изображения. Изображение анализируется как большое изображение вместе с типом кожного заболевания среди кожных заболеваний — меланомы, прыщей и невусов [4].

В легкой промышленности исследование с помощью сканирующей электронной микроскопии выявляет морфологические изменения волокон и поперечного сечения кожи во время обработки кожи. Обработка кожи включает в себя множество единичных операций, которые изменяют физические, химические и биологические свойства необработанной кожи / шкуры животного. Одно из таких основных изменений касается структуры и размера пор, которые определяют способность кожи дышать. Понимание этого свойства необходимо для улучшения конечного использования кожаной матрицы. В рассматриваемом исследовании [5] использовался термопорометрический метод [6], чтобы выявить влияние различных этапов процесса на распределение пор кожи по размеру.

В качестве сырья была взята козья кожа. Замачивание, известкование, обеззоливание, травление и хромовое дубление проводили по стандартным методикам. Образцы вырезаны на разных этапах обработки кожи. Образцы для анализа на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) готовили путем постепенной дегидратации ацетоном, чтобы поры не изменились. СЭМ-микрофотографии были получены с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi при 15 кВ при различном увеличении. Для покрытия образцов использовалась установка ионного распыления с золотой мишенью. В результате исследования видно, что на капиллярную структуру коллагеновых волокон влияет характер взаимодействия с различными химическими веществами, используемыми в каждом процессе. Это следует из депрессии плавления и изменений энтальпии, связанных с водой, удерживаемой в коже. Термопорометрические исследования ко-

жи выявляют различия в распределении пор по размерам на каждом этапе обработки кожи. Настоящее исследование демонстрирует различные изменения, которые претерпевает кожа в процессе изготовления кожи. Пористость кожи — важный параметр, позволяющий коже дышать. Следовательно, мониторинг изменений, происходящих с кожей во время обработки кожи, поможет максимизировать это свойство конечной кожи путем внесения соответствующих изменений в процесс.

В геологии моделирование пористой среды, основанное на изображениях для изучения и прогнозирования технологических процессов, стало важным инструментом. В этом исследовании [7] представлен эффективный рабочий процесс для извлечения сетей пор из пористых доменов большого размера с использованием сегментации методом водораздела с геометрической декомпозицией доменов.

Для исследования вычислительной производительности и артефактов разложения геометрической области использовались 13 различных типов наборов 3D-данных. К ним относятся рентгеновские микроконтактные изображения различных типов горных пород, случайные упаковки образцов грунта в форме сфер и изображения большого размера образцов песчаников разных месторождений. Поддомены равного размера были созданы из исходных изображений в процессе декомпозиции предметной области, поэтому некоторые изображения были обрезаны на несколько вокселей, чтобы сделать их равномерно делимыми на коэффициент декомпозиции, а их окончательный обрезанный размер упоминается в соответствующем исследовании.

Алгоритм SNOW, разработанный Gostick (2017) [8], использовался для извлечения сетей пор на всех этапах этого исследования с использованием сегментации методом водораздела на основе маркеров. Сегментированные области, полученные с помощью этого алгоритма, затем используются для извлечения геометрической и структурной информации сети пор.

Изображение сначала делится на более мелкие субдомены так, что каждый субдомен имеет некоторые перекрывающиеся части в соседних субдоменах. Перекрытие важно, чтобы избежать краевых артефактов при сшивании результатов вместе. Критерии расчета для оценки толщины перекрытия основаны на том факте, что она должна быть равна (или немного больше) размеру самой большой области изображения или, точнее, самой большой области, касающейся каждой границы подобласти. Чтобы получить правильную сегментацию водораздела каждой подобласти, граница каждой должна быть расширена на соседние подобласти так, чтобы она содержала сферу максимального диаметра.

Количество поддоменов, созданных из двоичного образа, можно регулировать в зависимости от доступных вычислительных ресурсов, чтобы использовать все доступные ядра или минимизировать объем потребляемой оперативной памяти. Если размер изображения по любой оси не делится равномерно на желаемое число делений, тогда изображение должно быть обрезано соответствующим образом, иначе алгоритм может дать ошибочные результаты в текущей реализации. Это ограничение связано с трудностями в получении доступа к дополнительным частям поддоменов во время процесса сшивания. Также следует отметить, что размер перекрытия не должен превышать размер поддоменов, поэтому

существует верхний предел того, насколько точно домен может быть декомпозирован. По сути, это определяет верхний предел деления, и пользователь должен быть осторожен, чтобы не указать очень большое количество делений.

После выбора режима работы алгоритм SNOW применяется к каждому расширенному поддомену. Этот шаг выполняется в цикле, пока не будут обработаны все поддомены. Результатом является список сегментов водоразделов каждой расширенной подобласти. На этом этапе перекрывающаяся толщина каждой подобласти обрезается так, что сохраняется только срез соседних подобластей толщиной в 1 воксель. Этот дополнительный срез необходим для операции сшивания. Этот шаг гарантирует, что в окончательном перекомпонованном изображении не будет повторяющихся этикеток.

После процесса перемаркировки субдомены сшиваются с соседними субдоменами с использованием информации, встроенной в дополнительный срез, связанный с каждым соседним субдоменом. Поскольку последний срез каждого субдомена и первый срез в соседнем субдомене являются двойниками, они должны иметь одинаковое количество регионов, и регионы должны совпадать друг с другом. Кроме того, два среза будут иметь равное количество вокселей во всех областях двойников, если перекрывающаяся толщина была достаточной. Как только эти условия выполнены, метки областей дополнительного среза используются для замены меток областей-близнецов в соседних субдоменах. Процесс сшивания выполняется вдоль одной оси за раз, чтобы избежать неправильной перемаркировки областей в углах и краях подобластей, поскольку эти области могут охватывать более двух соседних подобластей.

После завершения процесса перемаркировки для всех подразделов лишние фрагменты в каждом поддомене удаляются, а поддомены перекомпоновываются в одно большое изображение. Результатом этого шага является сегментированное изображение, имеющее ту же форму, что и исходное входное двоичное изображение. Затем сегментированные метки изображений повторно упорядочиваются, чтобы обеспечить их непрерывность, поскольку некоторые метки отсутствуют после этапа изменения меток. Кроме того, метки областей пространственно рандомизированы так, что соседние области имеют существенно разные значения, что помогает визуализировать пористую область.

Сегментированное изображение используется для извлечения сети пор с использованием встроенной функции «region_to_network» [8], которая сканирует все области в сегментированном изображении и извлекает геометрические и структурные особенности пор и каналов. Помимо извлечения сети пор алгоритм может создавать граничные поры для определения граничных условий в процессе моделирования [9].

Одной из ключевых особенностей предлагаемого подхода к декомпозиции является то, что он может применяться ко всем поддоменам параллельно для повышения скорости или к каждому последовательно для уменьшения использования ОЗУ. Последовательный режим работы снижает использование ОЗУ до 50 процентов по сравнению с традиционным подходом. Это позволяет пользователю обрабатывать большие пористые домены на компьютере с ограниченной или средней вычислительной мощностью. С другой стороны, параллельный режим работы уменьшает время процессора в 7 раз на тестируемом изображении, позволяя обрабатывать большие домены намного быстрее, чем унаследованный метод.

Вычислительные мощности современных компьютеров позволяют моделировать пористые материалы и процессы в них. Это позволяет получать дополнительную информацию для понимания и прогнозирования процессов, характера протекания технологических процессов, улучшения функциональных свойств материалов и является важной темой для исследования.

Литература

1. Data Augmentation with Manifold Exploring Geometric Transformations for Increased Performance and Robustness / M. Paschali, W. Simson, A. G. Roy, M. F. Naeem, R. Göbl, C. Wachinger, N. Navab (Eds.). 2019. Pp. 517–529. URL: <https://arxiv.org/abs/1901.04420>.
2. Application of image retrieval based on convolutional neural networks and Hu invariant moment algorithm in computer telecommunications / Zhuang Wu, Shanshan Jiang, Xiaolei Zhou, Yuanyuan Wang, Yuanyuan Zuo, Zhewei Wu, Lei Liang, Qi Liu. 2020. Pp. 729–738. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.053>.
3. Medical image analysis of 3D CT images based on extension of Haralick texture features / Ludvík Tesař, Akinobu Shimizu, Daniel Smutek, Hidefumi Kobatake, Shigeru Nawano. 2008. Pp. 513–520. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2008.05.005>.
4. Diagnosis of skin pathologies using image processing techniques / H. Rashmi, M. S. Mallikarjunaswamy, R. Dinesh, K. Shailaja. 2020. P. 5. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.853>.
5. A DSC investigation on the changes in pore structure of skin during leather processing / N. Nishad Fathima, M. Pradeep Kumar, J. Raghava Rao, B. U. Nair. 2010. Pp. 98–102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2010.01.016>.
6. Marie Wulff. Pore size determination by thermoporometry using acetonitrile. 2004. Pp. 291–294. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2004.03.006>.
7. Zohaib Atiq Khan, Ali Elkamel, Jeff T. Gostick. Efficient extraction of pore networks from massive tomograms via geometric domain decomposition. 2020. 14 p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103734>.
8. Gostick J. T. Versatile and efficient pore network extraction method using markerbased watershed segmentation. 2017. 58 p. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.023307>.
9. Dual network extraction algorithm to investigate multiple transport processes in porous materials: Imagebased modeling of pore and grain scale processes / Z. A. Khan, T. Tranter, M. Agnaou, A. Elkamel, J. Gostick. 2019. Pp. 64–77. URL: <https://doi.org/10.1016/J.COMPHEMENG.2018.12.025>.

MODELING OF POROUS BODIES BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING

Tumen V. Ayusheev

Dr. Sci. (Engineering), A/Prof.,

East Siberian State University of Technology and Management

40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013, Russia

Dorzhi Banzarov Buryat State University

24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia

E-mail: tvaush@yandex.ru

Tatyana Ts. Damdinova

Cand. Sci. (Engineering), A/Prof.,
East Siberian State University of Technology and Management
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013, Russia
E-mail: damdinovtc@mail.ru

Svetlana M. Balzhinimaeva

Postgraduate student,
East Siberian State University of Technology and Management
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013, Russia
E-mail: svmihb@mai.ru

Abstract. Today, the modeling of porous media based on images for the study and forecasting of processes is an important area of application of modern computer technology. Methods of digital image processing of porous bodies are used in many industries such as medicine, construction, geology and light industry. The availability of ever larger datasets of high-resolution images creates a need to develop algorithms that can process large-size images at low computational costs. This article provides an overview of methods for modeling porous bodies.

Keywords: image processing, modeling, porous materials, pore structure