

А.А. ДУДКИН, А.А. ВОРОНОВ, В.В. ГАНЧЕНКО, Е.Е. МАРУШКО, Л.П. ПОДЕНОК, А.В. ИНЮТИН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ ПРИ АНАЛИЗЕ 2D ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ В СУДЕБНО-ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

В работе приводится описание программной реализации системы выделения и оценки информативных признаков по фотографиям переломов костных объектов для классификации переломов и идентификации предполагаемого орудия, которым нанесена травма. В качестве признаков использовались текстурные характеристики Харалика, локальные бинарные образцы, фильтры Габора, энергетические текстурные характеристики Лавса для 2D изображений поверхностей переломов. Проведенная оценка информативности позволила выбрать признаки, наиболее подходящие для решения задачи классификации переломов. Результаты будут использованы для судебно-экспертного исследования сложных поверхностей переломов с применением автоматизированной системы анализа цифровых изображений.

Ключевые слова: костные объекты; текстурные характеристики; локальные бинарные образцы.

Введение

Существуют различного рода автоматизированные системы и экспертные системы для классификации переломов по изображениям костных объектов [1-2], однако они обладают определенными недостатками и, как правило, импортные. Предлагается программная реализация системы выделения и оценки информативных признаков по фотографиям переломов костных объектов для классификации перелома и идентификации предполагаемого орудия, которым нанесена травма.

Объектом исследования являются полноцветные цифровые изображения поверхностей переломов костных объектов, полученные с помощью цифровых камер, а также трехмерные модели этих поверхностей, полученные с помощью сканера «Artec Space Spider» компании Artec Group 3D Scanning Solutions.

Архитектура и описание работы системы

В общем виде разработанную систему можно описать как совокупность следующих подсистем:

- графического интерфейса пользователя, которая используется для отображения данных и взаимодействия с пользователем;
- хранения данных, которая выполняет взаимодействие с базой данных и файловой системой, обеспечивая чтение и запись данных;
- обработки и анализа, которая получает от подсистемы хранения данных указанные пользователем данные, осуществляет их обработку и анализ, после чего сохраняет результат, обращаясь к подсистеме хранения.

Все загруженные в систему файлы (фотографии и 3D-сканы), хранятся в виде файлов на файловой системе. Информация о загруженных в систему данных и их взаимосвязях хранится

в виде записей в базе данных (БД). Данные 3D будут использоваться в дальнейшем функциональном развитии системы.

Пользователь, работая с системой, всегда работает с набором данных, каждый из которых имеет свой уникальный идентификатор (ID), описание набора данных (название, время создания, время последнего обновления, текстовое описание и т.п.), а также связанные 2D и 3D данные, результаты их обработки. Пересылка больших объемов данных (2D изображение, 3D-скан) осуществляется только между модулем, требующим этой операции и подсистемой хранения данных.

Входными данными являются 2D фотоизображения в файлах формата *.png и результаты 3D сканирования в файлах формата *.ply. Формат результатов обработки определяется непосредственно модулем в котором происходит обработка данных. Файлы хранятся в формате указанном в соответствующей таблице в БД (Files). Система реализована на языке программирования Python с использованием библиотеки PyQt.

Предварительная подготовка 2D изображений костных объектов

На исходных изображениях, полученных с фотокамеры с разным разрешением, содержатся следующие элементы: фон, изображение инструментов измерений и области интереса (пример на рисунке 1). Пример областей интереса приведен на рисунке 2-3.



Рисунок 1 – Примеры исходных изображений переломов, зарегистрированных фотокамерой

Изображения были преобразованы в полутоновое представление, т.к. цвет изделия существенно зависит от освещенности и меняет текстуру поверхности объекта.

Все имеющиеся исходные изображения были разделены на две группы. Первая группа

для анализа была сформирована таким образом, чтобы выделенные области интереса включали непосредственно изображения переломов или неповрежденные фрагменты кости (пример на рисунке 2).

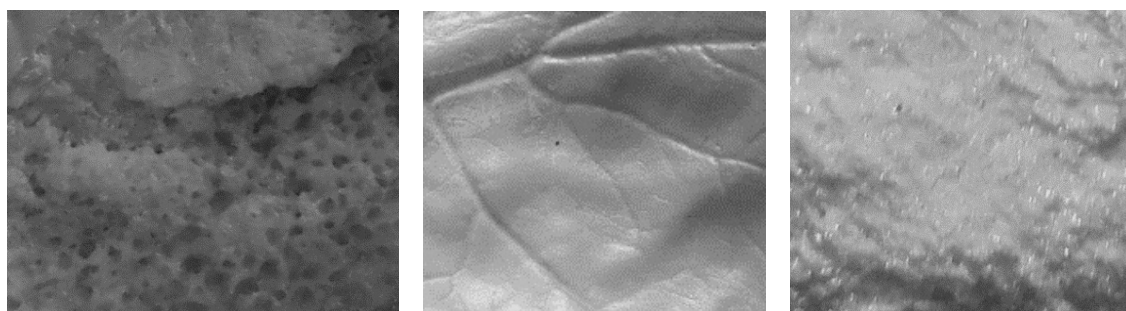


Рисунок 2 – Примеры изображений перелома и неповрежденных костей первой группы

Изображения второй группы (примеры на рисунке 3) содержат повреждения черепа со следами от удара твердыми тупыми предметами. При этом использовалась классификация основных следообразующих частей твердых тупых предметов (орудия травмы костей свода черепа) с выделением следующих классов повреждений:

1) плоская ограниченная поверхность (прямоугольной, продолговатой или треуголь-

ной формы) – плоскость_ребро_угол;

2) плоская ограниченная поверхность круглой формы – плоскость_ребро;

3) плоская преобладающая поверхность – плоскость;

4) цилиндрическая поверхность – боковая поверхность_ребро;

5) сферическая поверхность – поверхность сферы;

6) предметы с ребром или двугранным углом – боковая поверхность_ребро_угол.

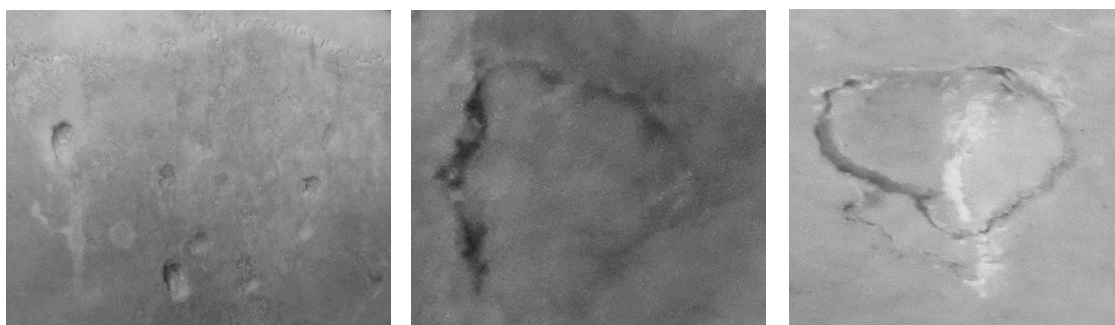


Рисунок 3 – Примеры изображений переломов второй группы

На рисунке 3 приведены три типа повреждений: плоская ограниченная поверхность, плоская ограниченная поверхность круглой формы, предмет с ребром или двугранным углом.

Исследование информативности текстурных признаков для второй группы

Были детально исследованы следующие группы текстурных признаков на предмет различения повреждений костей из первой группы: фильтры Габора [3], энергетические текстурные характеристики Лавса [4], 13 признаков Харалика на базе матриц смежности значений яркости [5], локальные бинарные образы пикселей (LBP) [6].

Использовались следующие энергетические текстурные характеристики Лавса: $L_N L_N$, $E_N E_N$, $S_N S_N$, $L_N E_N$, $E_N S_N$, $L_N S_N$, где

N – размеры базового вектора, которые могут принимать значения из диапазона [3, 5, 7]. В качестве оценки, также, как и для фильтров Габора, используется среднее значение матрицы, полученной при фильтрации изображения.

Всего исследовался 181 текстурный признак. Оценка информативности признаков выполнялась на основе статистических процедур ANOVA, на базе F-статистики [7], рекурсивного исключения признаков (RFE) [8] на основе L1 нормы (SVM) [9]. Кроме этого использовались классификаторы: ансамбль деревьев, который строит ряд рандомизированных деревьев решений [10], и случайный лес [11].

На рисунке 4 представлены суммарные нормализованные оценки информативности признаков для повреждений поверхности и переломов костей.

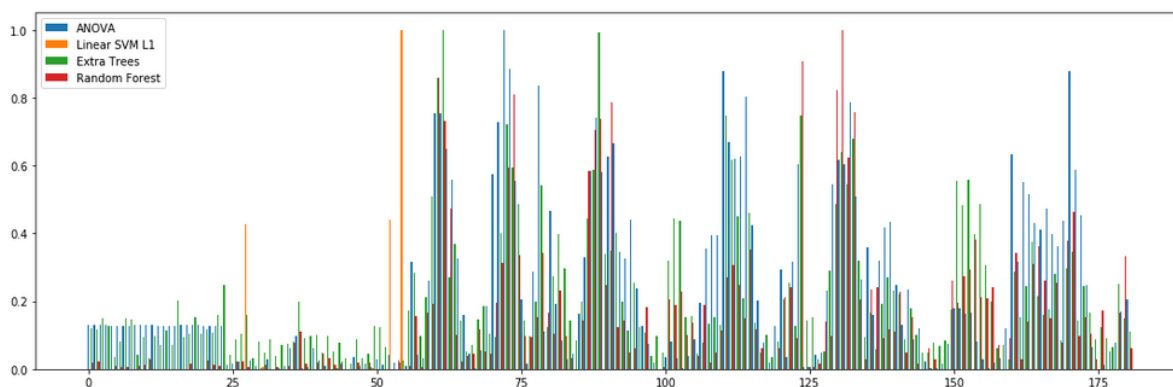


Рисунок 4 – Суммарные нормализованные оценки информативности всех признаков

На исследованном наборе из 27 изображений 13 костных объектов наиболее информативными оказались признаки типа LBP с разными радиусами.

На рисунке 5 представлены суммарные

нормализованные оценки информативности признаков для изображений повреждения черепа со следами от удара твердыми тупыми предметами.

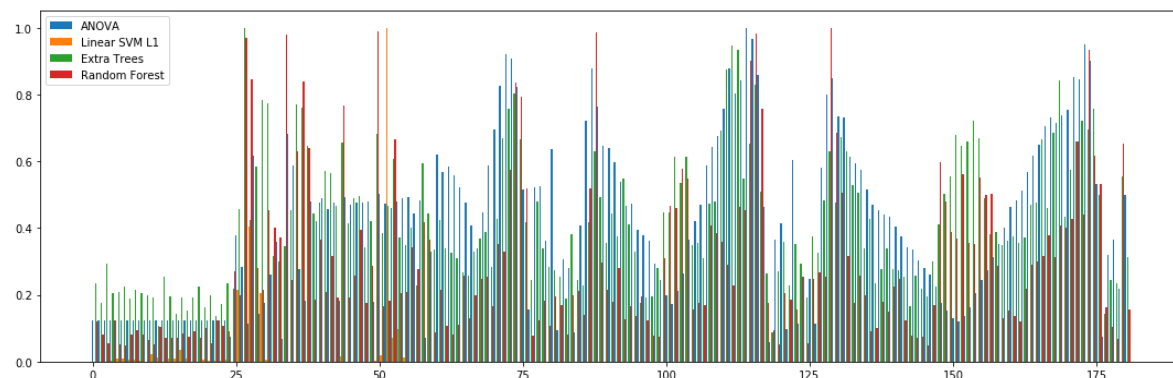


Рисунок 5 – Суммарные нормализованные оценки информативности всех признаков поверхности и переломов кости

На исследованном наборе из 45 изображений 6 костных объектов наиболее информативными оказались признаки типа LBP с разными радиусами и текстурная характеристика Харалика Correlation.

Заключение

Разработана программная реализация для выделения и оценки информативных признаков по фотографиям переломов костных объектов для классификации переломов и идентификации предполагаемого орудия, которым нанесена травма.

В качестве информационных признаков использовались текстурные характеристики

Харалика, локальные бинарные образцы, фильтры Габора, энергетические текстурные характеристики Лавса. По результатам экспериментов наиболее информативными оказались признаки типа LBP с разными радиусами и текстурная характеристика Харалика Correlation. Отобранные признаки позволяют выполнять классификацию и количественную оценку повреждений костных объектов по их фотоизображениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Волегов, П. С.** Поврежденность и разрушение: обзор экспериментальных работ / П.С. Волегов, Д.С.Грибов, П.В. Трусов // Физическая мезомеханика. – 2015. – Т.18. – №3. – С.11–24.
2. **Разрушение. Т. 1:** Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения / Под ред. Г. Либовица. – М.: Мир, 1973. – 620 с.
3. **Feichtinger, Hans G.** Gabor analysis and algorithms : theory and applications./ Feichtinger, Hans G. and Thomas Strohmer. – 1998. – Boston: Birkhäuser – 496 p.
4. **Laws, K.** Rapid texture identification / Kenneth I. Laws // Proc. SPIE 0238. Image Processing for Missile Guidance. – 1980. – San Diego, USA. – Vol. 238. – PP. 376-381.
5. **Haralick, R. M.** Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I.H. Dinstein // IEEE Trans. on systems, man, and cybernetics, 1973. – № 6. – P. 610–621.
6. **Ojala, T.** Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns / T. Ojala, M. Pietikainen, T. Maenpaa // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2002. – Vol. 24. № 7. – P. 971–987.
7. **Наследов, Д.** Математические методы психологического исследования / Д. Наследов. – 2008. – СПб.: Речь, 2008. – 172 с.
8. **Kuhn, M.** Applied Predictive Modeling / Kuhn Max and Kjell Johnson. – 2018. – New York, NY: Springer. – 600 P.
9. **Support vector clustering/ Ben-Hur, Asa [et al.]** // Journal of Machine Learning Research. – 2001. – Vol. 2. – P. 125–137.
10. **Geurts, P.** Extremely randomized trees / P. Geurts, D. Ernst. and L. Wehenkel // Machine Learning. – 2006. – Vol.63. – P.3-42.
11. **Breiman, L.** Random Forests / Breiman Leo // Machine Learning, 2001. – Vol.45. – P. 5-32.

REFERENCES

1. **Volegov, P. S.** Povrezhdennost' i razrushenie: obzor jeksperimental'nyh rabot / P.S. Volegov, D.S.Gribov, P.V. Trusov // Fizicheskaja mezomehanika. – 2015. – T.18. – №3. – S.11–24.. [In russian]
2. **Razrushenie. T. 1:** Mikroskopicheskie i makroskopicheskie osnovy mehaniki razrusheniya / Pod red. G. Libovica. – М.: Mir, 1973. – 620 s. [In russian]
3. **Feichtinger, Hans G.** Gabor analysis and algorithms : theory and applications./ Feichtinger, Hans G. and Thomas Strohmer. – 1998. – Boston: Birkhäuser – 496 p.
4. **Laws, K.** Rapid texture identification / Kenneth I. Laws // Proc. SPIE 0238. Image Processing for Missile Guidance. – 1980. – San Diego, USA. – Vol. 238. – PP. 376-381.
5. **Haralick, R. M.** Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I.H. Dinstein // IEEE Trans. on systems, man, and cybernetics, 1973. – № 6. – P. 610–621.
6. **Ojala, T.** Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns / T. Ojala, M. Pietikainen, T. Maenpaa // IEEE Trans. on pattern analysis and machine intelligence, 2002. – Vol. 24. № 7. – P. 971–987.
7. **Nasledov, D.** Matematicheskie metody psihologicheskogo issledovaniya / D. Nasledov. – 2008. – SPb.: Rech', 2008. – 172 s. [In russian]
8. **Kuhn, M.** Applied Predictive Modeling / Kuhn Max and Kjell Johnson. – 2018. – New York, NY: Springer. – 600 P.
9. **Support vector clustering/ Ben-Hur, Asa [et al.]** // Journal of Machine Learning Research. – 2001. – Vol. 2. – P. 125–137.
10. **Geurts, P.** Extremely randomized trees / P. Geurts, D. Ernst. and L. Wehenkel // Machine Learning. – 2006. – Vol.63. – P.3-42.
11. **Breiman, L.** Random Forests / Breiman Leo // Machine Learning, 2001. – Vol.45. – P. 5-32.

A. A. DOUDKIN, A. A. VORONOV, V. V. GANCHENKO, E. E. MARUSHKO, L. P. PODENOK, A. V. INYUTIN

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE INFORMATIVITY OF SIGNS IN THE ANALYSIS OF 2D IMAGES OF BONE OBJECTS IN FORENSIC EXAMINATION

The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

This article describes the software implementation of the system for extracting and evaluating information features from 2D images of bone fractures and bone objects for classifying fractures and identifying the alleged instrument that caused the injury. As parameters, the textural characteristics of Haralick, local binary patterns of pixels for 2D images, Gabor filters, Laws energy texture characteristics for 2D images are considered. The analysis carried out on basis of information content estimation to select the features that are most suitable for solving the problem of bone fractures classification. The results will be used for development of methods for complex forensic examination of complex polygonal surfaces of solid objects for automated system for analyzing digital images.

Keywords: bone fracture; bone objects; texture features; local binary patterns.



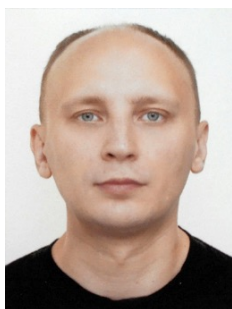
Дудкин Александр Арсентьевич, доктор технических наук, профессор. Заведующий лабораторией «Идентификации систем» ОИПИ НАН Беларуси. Сфера научных интересов: цифровая обработка сигналов и изображений, распознавание образов, архитектура и модели систем технического зрения.

Doudkin Aleksandr, Doctor of Sciences and Professor of computer science. Head of the Systems Identification Laboratory of the UIIP NAS of Belarus. Scientific interests: digital signal and image processing, pattern recognition, design and models of machine-vision systems.



Воронов Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, область научных интересов – цифровая обработка сигналов, дистанционное зондирование.

Voronov A., PhD, Associate Professor, research interests – digital signal processing, remote sensing, preliminary processing and classification of objects on images, recognition and processing of remote sensing images, designs and models of high-performance information processing systems.



Ганченко Валентин Вячеславович, кандидат технических наук, область научных интересов – цифровая обработка сигналов, дистанционное зондирование.

Ganchenko V., PhD, research interests – digital signal processing, remote sensing.



Марушко Евгений Евгеньевич, область научных интересов – обработка изображений и распознавание образов в системах компьютерного зрения, обработка изображений дистанционного зондирования, обработка телеметрических данных в системах управления космическими аппаратами.

Marushko Y., research interests – image processing and pattern recognition in computer vision systems, remote sensing image processing, telemetry processing in spacecraft control systems.



Поденок Леонид Петрович, область научных интересов – обработка изображений и распознавание образов в системах компьютерного зрения, обработка изображений дистанционного зондирования.
Podenok L., research interests – image processing and pattern recognition in computer vision systems, remote sensing image processing.



Инютин Александр Владимирович, область научных интересов – обработка изображений и распознавание образов в системах компьютерного зрения, обработка изображений дистанционного зондирования.
Inyutin A., research interests – image processing and pattern recognition in computer vision systems, remote sensing image processing.