

Система поиска в электронной коллекции изображений петроглифов Карелии*

© А.А. Рогов,

К.А. Рогова,

К.Н. Спиридонов,

М.Ю. Быстров

Петрозаводский государственный университет

rogov@psu.karelia.ru, ksushar@mail.ru, spiridonov@psu.karelia.ru, maksimkab@yandex.ru

Аннотация

При создании любой коллекции электронных изображений возникает три задачи:

1. Приведение графических документов к единому стандарту, удобному для формирования электронной коллекции.
2. Формирование электронной коллекции графических документов.
3. Разработка комплекса программ по поиску в данной электронной коллекции графических документов.

Задача поиска по электронным коллекциям графических документов в общем случае является достаточно сложной. На практике, ее удается решить только для определенных классов изображений.

В данной статье описаны способы решения трех вышеперечисленных задач на примере создания коллекции электронных изображений петроглифов Карелии, реализованные в информационно-поисковой системе «PIRS». Эта система, обеспечив наглядность и доступность исторического материала, позволяет, наряду с традиционными, применять математические методы и компьютерные технологии при исследовании петроглифов.

Разработанные информационные методы анализа петроглифов и полученные с их помощью результаты позволяют использовать их при анализе петроглифов других регионов России и во всем мире. В настоящее время ведутся разработки по присоединению в систему «PIRS» информации о петроглифах Северной Фенноскандии, в первую очередь петроглифы Мурманской области (Канозеро) и Норвегии (Альта). Данная система рассчитана в первую очередь на исследователей наскальных изображений, а также будет интересна любому человеку, интересующемуся петроглифами. В

связи с тем, что в других публикациях авторами подробно рассмотрены разработанные ими методы, в данной статье сделана попытка общего описания системы со ссылкой на предыдущие работы.

1 Введение

Петроглифы Карелии были выбиты более 3 тысяч лет назад на скалах восточного побережья Онежского озера и берегах Белого моря [9]. Наскальные рисунки постоянно подвергаются таким природными воздействиями как: осадки, ветер, температурные колебания, зарастание мхом и т.д. В результате, некоторые петроглифы могут найти только специалисты. К перечисленным воздействиям добавились и случаи вандализма людей, стремящихся увековечить свое пребывание рядом с историческими памятниками. С целью сохранения информации об уникальном наследии и создания возможностей для его изучения была разработана информационно-поисковая система «PIRS». Информационно-поисковая система «PIRS» состоит из четырех блоков: электронной коллекции петроглифов, модуля подготовки изображений для данной коллекции, модуля онлайн-доступа и модуля локального доступа к электронной коллекции [8].

В качестве средства создания электронной коллекции была применена технология Microsoft Access (mdb), а сами изображения представляют собой файлы графических форматов BMP и JPEG.

Для разработки модулей системы использовалась среда Borland C++ Builder 6 (за исключением модуля онлайн-доступа).

2 Электронная коллекция петроглифов

Электронная коллекция петроглифов является основой системы. В нее входят графитные копии, фотографии, карты, черно-белые схемы, характеристики и текстовые описания петроглифов. Выделены: группы петроглифов по местонахождению, сюжетные группы и отдельные петроглифы. Описание сюжетных групп содержит: название, кодовый номер, занимаемая площадь, карта местности, текстовая информация, фотографии и графитные копии (не менее трех для каждой). Каждый петроглиф в группе имеет собственное описание, включающее следующую информацию: кодовый номер, назва-

Труды 10-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2008, Дубна, Россия, 2008.

ние, высота над уровнем моря, глубина вырезки, обрастание мхом, сохранность, угол поворота, фотографии и графитные копии каждого петроглифа (более 10 для каждого).

Электронная коллекция графических документов зарегистрирована в государственном регистре баз данных (ФГУП Научно-технический центр «Информрегистр», №0220611248).

3 Модуль подготовки изображений для электронной коллекции петроглифов

Модуль подготовки изображений для электронной коллекции петроглифов состоит из подпрограмм, реализующих решение следующих задач: выделение отдельных изображений из группы, сегментация изображений, приведение изображений к единому стандарту, нанесение защитных надписей на фотографии.

3.1 Сегментация

Сегментация изображений [3] производится с использованием двух методов: порогового [5] и мультифрактальной параметризации структур. Следует отметить, что эти методы не являются взаимоисключающими, а выгодно дополняют друг друга. На входе и выходе – графические файлы. Пороговый метод сегментации работает следующим образом: по рисунку определяется набор эталонных цветов (векторов RGB) фона и петроглифа. Для каждого пикселя, определяется к какому из эталонных векторов входной вектор ближе всего. Если он ближе к одному из цветов фона, то он перекрашивается в белый цвет, иначе – в черный цвет. После этого производится фильтрация получившегося черно-белого изображения.

Точность алгоритмов при сегментации текстурной мозаики, состоящей из двух текстур Бродаца [1] размером 512×512 , составляет порядка 95%.

Применение данных методов при работе с электронной коллекцией графических документов петроглифов Карелии показало следующие результаты: точность сегментации – в среднем 90% (при удачном выборе эталонов), время работы алгоритма – 1 с для изображения размерностью 100 килопикселей и глубиной цвета 24 бита.

3.2 Мультифрактальная параметризация структур

В методе мультифрактальной параметризации структур одной из основных характеристик изображения является спектр фрактальных размерностей Реньи D_q , где $q \in R$ [11]. Для численного расчета таких спектров была использована методология мультифрактальной параметризации структур, первый вариант которой был разработан в лаборатории прочности металлических материалов ИМЕН РАН в 1993 [2]. В качестве меры отличия μ двух спектров D_q и используется следующее выражение:

$$m = \sum_q |D_q - D'_q| \quad (1)$$

Функционирование данной подпрограммы включает следующую последовательность шагов:

- подача изображения на вход программы;
- предложение пользователю выделить область петроглифа S_{petr} и область скалы S_{rock} ;
- автоматическое разбиение каждой из областей S_{petr} и S_{rock} на квадратные фрагменты размером $n \times n$ пикселей;
- расчет спектра Реньи D_q для каждого квадратного фрагмента и $q = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40$;
- отделение пикселей, относящихся к изображению петроглифа от остальных, относящихся к фону т.е. скале.

При настройке и анализе работы данной подпрограммы была выявлена зависимость качества сегментации от размеров квадратных фрагментов. В результате серии экспериментов выявлены следующие свойства спектров D_q :

- для положительных значений q , среднее значение D_q слабо зависит от размеров квадратных фрагментов, по которым идет анализ;
- при увеличении размера квадратных фрагментов, величина стандартного отклонения значений D_q для $q \geq 0$ убывает;
- минимальный размер фрагментов, при котором наблюдается приемлемая точность расчетов спектров D_q , равен 12×12 пикселей;
- оптимальный размер фрагментов равен 30×30 пикселей.

3.3 Выделение отдельных изображений

Для подпрограммы выделения отдельных изображений на вход подается черно-белая копия группы, а на выходе – графические файлы с отдельными изображениями.

При этом возникает следующая проблема: если разные петроглифы соединены линией, то они воспринимаются как одно изображение. В этом случае необходимо разделение вручную. Заметим, что таких изображений не больше 5%. Программа показала свою работоспособность на изображениях размером до 30 мегапикселей.

3.4 Нанесение защитных надписей

Нанесение защитных надписей на фотографиях, представленных на сайте, необходимо для защиты авторских прав. В качестве защиты выбрана надпись адреса сайта по центру фотографии.

4 Модуль онлайн-доступа

Модуль онлайн-доступа реализован в виде раздела «Каталог» сайта «Петроглифы Карелии». Поиск происходит по признаку «местонахождение петроглифа» путем перемещения с помощью гиперссылок по картам.

Кроме того, сайт «Петроглифы Карелии» содержит следующие разделы:

- «Информация» включает в себя общую информацию о петроглифах Карелии. Отдельно описано каждое скопление изображений в каждой стране (это описание включает место расположения петроглифов, познавательную информацию, петроглифы как объект международного сотрудничества, состояние, бережение и использование петроглифов в научных исследованиях, туризме и образовательных целях).
- «Исследователи» предназначен для ознакомления посетителей сайта с теми, кто причастен к открытию и изучению петроглифов. Кратко представлена биография К.И. Гревингга, Г. Халлстрема, А.М. Линевского, А.Я. Брюсова, В.И. Равдоникаса, К.Д. Лаушкина, А.Д. Столяра, Р.Б. Климова, Ю.А. Савватеева, Н.В. Лобановой.
- «Публикации» содержат статьи и ссылки о петроглифах.
- «Новости» отражают свежую информацию о конференциях, встречах, проектах, открытиях исследователями новых петроглифов.
- «Фото и видео» – материалы, которые пополняются периодически и являются визуальным дополнением информации, представленной в других разделах.
- «Математические методы» – характеризует применение данных методов и технологий в истории (на примере изучения петроглифов).
- «Форум» необходим для поддержания обратной связи пользователей и разработчиков, а также для обеспечения возможности интерактивного общения между заинтересованными лицами.

В настоящий момент на сайте находится более 500 фотографий групп петроглифов с их описаниями. Общее количество представленных петроглифов превышает 2000 фигур. Адрес сайта: <http://smalt.karelia.ru/~petroglyphs>. При желании пользователь может получить доступ к ресурсу через мобильные устройства. Для этого необходимо всего лишь иметь возможность выхода в интернет и установленный на мобильном устройстве HTTP браузер.

5 Модуль локального доступа к электронной коллекции петроглифов

Модуль локального доступа к электронной коллекции петроглифов имеет больше функциональных возможностей по сравнению с онлайн версией и

состоит из следующих подпрограмм: поиск по признакам, поиск по изображениям, классификация по признакам, классификация по схожести текстуры изображений [6, 7]. Данный инструментарий позволяет упростить работу исследователя при анализе изображений петроглифов.

5.1 Поиск по признакам изображений

Рассмотрим на примере петроглифов лосей и оленей Беломорья. Было выделено 16 признаков: тип головы, тип корпуса, наличие/отсутствие холки, изгиб передней и задней пар ног и т.д. Все признаки проанализированы на статистическую зависимость с помощью критерия Пирсона. Были найдены зависимые признаки, например, изгиб спины и наличие/отсутствие холки, тип головы и серьга на шее и т.д. Общая схема работы с данным поиском следующая: пользователю предлагается выбрать значения признаков и точность поиска (количество совпадений признаков). После выбора условий поиска будут найдены петроглифы, соответствующие выделенным критериям.

Пользователю доступны изображения найденных петроглифов и полная информация о них.

5.2 Классификация по признакам

Из базы данных пользователю предлагается выбрать петроглифы, которые требуется разбить на определенные группы, а также набор признаков. При помощи иерархического кластерного анализа (метод ближайшего соседа), все выделенные петроглифы разбиваются на группы.

5.3 Классификация по схожести текстуры графического изображения

Классификация основана на гипотезе о том, что разные люди использовали разную технику выбивания петроглифов. Это позволило поставить задачу о проведении классификации петроглифов по степени близости (различию их текстур). Для решения этой задачи необходимо было найти характеристику поверхности скалы являющуюся инвариантом петроглифа, определенного по технике его выбивки. В качестве такой характеристики был взят описанный выше спектр фрактальных размерностей Реньи [10].

Заметим, что инвариант графического изображения должен сохранять свои значения:

- при изменении яркости одного и того же изображения;
- при повороте изображения;
- при масштабировании изображения.

Была проведена серия экспериментов на предмет наличия данных свойств у спектров Реньи D_q . В качестве исходных изображений были взяты текстуры из альбома Бродаца [1] и фрагменты изображений петроглифов. Опишем эксперименты более подробно.

1. Свойства спектров D_q при изменении яркости одного и того же изображения.

Для проверки изменения значений спектра D_q при изменении яркости изображения необходимо иметь набор одного и того же изображения с разными значениями яркости.

Уровень яркости исходных изображений брался за нулевой. Было установлено, что уменьшению разброса значений спектров способствует предварительная обработка изображений, в частности – γ -коррекция изображения [4].

Для каждого изображения и для различных его вариаций уровней яркости после γ -коррекции рассчитывался спектр фрактальных размерностей Реньи D_q .

Было установлено, что величина вариации значений D_q анализируемых изображениях при данном преобразовании изменяется в пределах от 0.029 до 0.2 для $q = -40$ и от 0.008 до 0.027 для $q = 40$. Проведенные исследования показали, что яркостные преобразования несущественно влияют на значения спектров Реньи D_q .

2. Свойства спектров D_q при повороте одного и того же изображения.

Было установлено, что величина вариации значений D_q анализируемых изображениях при данном преобразовании изменяется в пределах от 0.005 до 0.018 для $q = -40$ и от 0.0025 до 0.022 для $q = 40$. Проведенные исследования показали, что преобразование поворота несущественно влияет на значения спектров Реньи D_q .

3. Свойства спектров D_q при масштабировании одного и того же изображения.

Масштаб исходных изображений приняли за 100%. Далее в графическом редакторе размер исходных изображений уменьшили, получая копии текстуры масштабам 80%, 40%, 20%. Величина вариации значений D_q анализируемых изображениях при данном преобразовании изменяется в пределах от 0.006 до 0.2 для $q = -40$ и от 0.0003 до 0.033 для $q = 40$. Проведенные исследования показали, что преобразование масштаба несущественно влияет на значения спектров Реньи D_q .

Кроме того, были выявлены дополнительные свойства спектров фрактальных размерностей Реньи:

1. Различие значений D_q для фрагментов между областями петроглифа и скалы на одном фотоснимке.
2. Близость значений D_q для фрагментов из области петроглифа на различных фотоснимках одного и того же петроглифа.
3. Различие значений D_q для фрагментов из областей петроглифа различных петроглифов.

4. Слабая зависимость средней величины D_q для определенных q от размеров фрагментов.

Проведенные эксперименты показали, что спектр фрактальных размерностей Реньи можно использовать для классификации изображений по схожести текстур. Программу, реализованную на основе фрактальной размерности Реньи, можно описать следующей последовательностью шагов:

- пользователем из базы данных выбирается набор изображений петроглифов, классификацию которых необходимо провести;
- для каждого петроглифа рассчитывается спектр;
- на основе введенной меры различия (1) методом иерархического кластерного анализа производится классификация изображений петроглифов.

В результате работы программы было выявлено, что при классификации изображений с точностью до уровня яркости ошибка классификации составляет порядка 7-11% от общего количества изображений, с точностью до поворота – 6-9%, с точностью до масштабирования – 7-12%.

5.4 Поиск по изображениям

Поиск по изображениям предназначен для поиска изображений, похожих на данное или на его фрагмент. На вход подается исследуемое изображение, а на выходе должны появиться изображения из базы данных, наиболее похожие на исходное.

На сегодняшний день все новейшие материалы по петроглифам Карелии представляют собой набор цветных фотографий. Определенную сложность поиска создает фактическое отсутствие некоторых частей изображения. Поиск также осложняется тем, что часто невозможно определить, где верх, а где низ изображения. При этом, требование, что при поиске необходимо только совпадение контура изображения, позволяет упростить поиск, а значит, изображение петроглифа можно рассматривать, как бинарное (скале соответствует белый цвет, а петроглифу – черный). В зависимости от выбранных параметров поиска (точность поиска, процент совпадений элементов изображений) будет найдено одно или несколько изображений. Для поиска используются сеть адаптивного резонанса и структурный метод поиска. В настоящее время заканчивается разработка двухуровневого метода поиска.

В результате поиска, пользователю предоставляется доступ к информации о кодовом номере, месторасположении, характерных признаках найденного петроглифа и петроглифах, близких к нему по ранее описанным признакам.

5.4.1 Структурный метод поиска

Структурный метод поиска основан на выделении скелетов изображений и их сравнении. Скелетом изображения является ломаная линия, аппроксимирующая множество всех центров вписанных в

фигуру окружностей максимального радиуса. Использование структурного метода поиска петроглифа осуществляется при помощи следующего алгоритма:

1. выделение скелета изображения;
2. кусочно-линейная аппроксимация скелета с заданным параметром близости;
3. перевод кусочно-линейной аппроксимации в последовательность символов – цепочку примитивов, представляющих собой последовательность цифр, разделенных пробелом, обозначающих длины отрезков скелетона, углов между ними. Начиная с крайней левой точки, происходит обход всего скелетона по контуру против часовой стрелки;
4. анализ кодов рисунков на совпадение кодов или их фрагментов с учетом правил их преобразования.

Две цепочки примитивов считаются равными, если существует такая циклическая перестановка, когда с определенной точностью совпадут углы, а длины будут пропорциональны. Сравнение цепочек примитивов происходит при помощи стандартного алгоритма сравнения строк. Сложность сравнения заключается в том, что цепочки являются замкнутыми.

5.4.2 Двухуровневый метод поиска

Ускорение поиска при увеличении объема базы данных потребовало разработку новых методов. В настоящее время разрабатывается двухуровневый поиск, который осуществляется следующим образом. Вначале применяется быстрый, но неточный способ отбора похожих изображений, сужающих зону поиска. Затем используется точный, но медленный метод для окончательного отбора изображений. Для быстрого первичного отбора используется следующий алгоритм. Вокруг петроглифа описывается окружность минимального радиуса, затем с шагом в 10 градусов проводятся радиусы, на которых определяются отрезки, соединяющие дугу окружности и границу петроглифа. Длина каждого отрезка делится на длину радиуса. Последовательность полученных чисел называется кодом петроглифа. Изображения считаются близкими, если существует циклическая перестановка кода петроглифа, такая что расстояния между кодами петроглифов меньше заданного числа. Для окончательного отбора была применена нейронная сеть Хемминга и сеть адаптивного резонанса.

5.5 Определение зон видимости изображений

Изучая области видимости наскального рисунка можно ответить на вопрос о целевой аудитории автора, не только распознать изображение петроглифа, но и делать выводы о символическом значении данного образа для древних людей, понимать особенности быта и образа жизни. Эта задача решалась за несколько этапов:

1. Анализ видимости объекта: выделение параметров, влияющих на видимость, построение математической модели, функции от известных параметров для определения видимости.

2. Оцифровка топографических карт: ввод карты, получение матрицы высот, анализ точности результатов.

3. Применение функции видимости для нахождения на карте областей видимости петроглифов, зная размеры и местоположение последних.

Для статических объектов параметры яркости и контрастности являются постоянными и определяются экспериментальным путем на местности. Определяющим видом параметром становится угол наблюдения, который прямо зависит от размеров и расстояния до объекта. При расчетах дальности требуется, чтобы угловые размеры наблюдаемого объекта превышали остроту зрения нормального человека. Поэтому, задав минимальный угол зрения α по формуле (2) можно вычислить максимальное расстояние x до объекта пока он будет видимым.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{H-h}{x}\right) - \arctg\left(\frac{H-v}{x+r}\right), \quad (2)$$

где H – высота точки наблюдения (рост человека с учетом высоты точки стояния),

h – высота нижнего края петроглифа,

v – высота верхнего края петроглифа,

r – расстояние между точками петроглифа.

На данный момент создана функциональная модель видимости, создана библиотека функций для определения угла зрения при заданных параметрах изображения, позиции наблюдателя и расстояния от него до объекта, и определения максимально возможного расстояния, на котором сохраняется видимость объекта. Реализовано проверочное приложение для определения угла наблюдения.

В ходе экспедиции к беломорским петроглифам был произведен ряд наблюдений для определения эмпирических значений угла видимости не закрашенных петроглифов. Приняв для расчета среднее значение расстояния видимости, ландшафт местности и минимальный линейный размер деталей петроглифа был определен необходимый угол зрения для наблюдения петроглифа. Для восприятия изображения необходимо чтобы расстояние до объекта не превышало размеры объекта более чем в 150 раз. Расчеты показывают, что при этом угловые размеры объекта составляют 23 угловых минуты. Однако эксперименты показывают, что при солнечном освещении для наблюдения петроглифа достаточно угла в 4-5 угловых минуты.

Оцифровка топографических карт проводится в автоматизированном режиме. Ввиду небольшого количества карт, требуемых оцифровки, не ставилась задача полностью автоматизировать данный процесс.

Непосредственно к этой задаче примыкает задача оценки численности группы людей, одновременно видящих данный петроглиф или сюжетную группу. Она решается методом имитационного моделирования. В качестве параметров задается средний рост взрослых и детей, соотношение их количества и т.д.

6 Заключение

Разработанные информационные методы анализа петроглифов и полученные с их помощью результаты позволяют использовать их при анализе петроглифов других регионов России и во всем мире. В настоящее время ведутся разработки по присоединению в систему «PIRS» информации о петроглифах Северной Фенноскандии, в первую очередь петроглифы Мурманской области (Канозеро, более 1000 изображений) и Норвегии (Альта, более 5000 изображений). Данная система рассчитана в первую очередь на исследователей наскальных изображений, а также будет интересна любому человеку, интересующемуся петроглифами. Число пользователей не ограничено.

7 Литература

- [1] USC-SIPI Image Database – <http://sipi.usc.edu/database/>
- [2] Встовский Г.В., Колмаков А.Г. и др., Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. – М. : R&C Dynamics, 2001. – 115 с.
- [3] Верденская Н. В. Сегментация изображений – статистические модели и методы // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, 2002. – №12.
- [4] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [5] Грузман И.С., Киричук В.С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах : Учеб. пособие. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.
- [6] Рогов А.А. Применение методов теории распознавания для анализа петроглифов Карелии / Материалы IX международной конференции «Интеллектуальные системы и компьютерные науки», Т. 2, ч. 2. – М. : Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2006. – С. 260–262.
- [7] Рогова К.А., Быстров М.Ю. Задачи анализа изображений в информационно-поисковой системе PIRS // Материалы XIII Всероссийской конференции «Математические методы в распознавании образов». – М. : МАКС Пресс, 2007. – С. 528–530.
- [8] Рогова К.А. Информационно-поисковая система «Петроглифы Карелии» //Интеллектуальные системы и компьютерные науки. – М. : Изд-во ЦПИ при мех.-мат. факультете МГУ, 2006. – С. 262–264.
- [9] Саватеев Ю.А. Залавруга. – Л. : Наука, 1970. – 250 с.
- [10] Спиридонов К.Н. К вопросу об инварианте графического изображения // Материалы XIII Всероссийской конференции «Математические методы в распознавании образов». – М. : МАКС Пресс, 2007. – С. 393–396.
- [11] Спиридонов К.Н. Применение мультифрактального анализа при изучении петроглифов Карелии // Материалы IX международной конфе-

ренции «Интеллектуальные системы и компьютерные науки». – М. : Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2006. – Т. 2, ч. 2. –С. 278–280.

The Search Systems in Electronic Collection of Karelian Petroglyphs Images

A.A. Rogov, K.A. Rogova, K.N. Spiridonov,
M.Yu. Bystrov

While creating any electronic collection of images, three tasks should be solved:

1. Graphic images reduction to common standard. This standard should be convenient to use for forming a database.
2. Creating a database of graphic images.
3. Developing a complex of programs for searching in electronic document collection.

The article describes the ways of solving the above-listed tasks by the example of the creation of electronic images collection of Karelian petroglyphs, that are realized in the information retrieval system “PIRS”. This system provides obviousness and availability of historical materials and allows, along with traditional methods, using mathematical methods and computer technologies for the investigation of petroglyphs.

The developed informational methods of petroglyphs’ analysis and results achieved by these methods can be applied for the analysis of petroglyphs from other regions of Russia and all over the world. Nowadays information about Northern Fennoscandia petroglyphs is being added to the system “PIRS”, first of all, petroglyphs from Murmansk region (Kanozero) and Norway (Alta).

The system was created mostly for researchers of rock art, but would be also interesting for any person who is interested in petroglyphs.

* Данная научная разработка поддержана грантами РГНФ №05-01-12118в, № 08-01-1211в (руководитель Н.В. Лобанова).