

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440*

ISSN - 2500-0799

*Учредитель, издательство и редакция:
НИИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 22.06.2018
Дата выхода номера 22.07.2018
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 22.06.2018
Release date 22.07.2018
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Митронова Л.М.
Корректор Галенкина ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2018/3*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2018 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОФФЛАЙН-РАСПОЗНАВАНИИ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА <i>Басанько А.С., Белов Ю.С.</i>	5
СЕГМЕНТАЦИЯ ЧАСТЕЙ ПОРТРЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА SLIC <i>Воронцов А.Н., Рыбкин С.В.</i>	9
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ НОРМ РЕШЕНИЙ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ <i>Заика И.В.</i>	14
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА – ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА <i>Карелин А.Н.</i>	19
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ В СЕГМЕНТЕ ПРИДОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А.</i>	26
ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ <i>Редько А.В., Рыбкин С.В.</i>	32

CONTENTS**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

BASIC IMAGE PROCESSING TECHNIQUES IN OFFLINE HANDWRITING RECOGNITION <i>Basanko A.S., Belov Yu.S.</i>	5
SEGMENTATION OF PORTRAIT IMAGES ON THE BASIS OF THE SLIC ALGORITHM <i>Vorontsov A.N., Rybkin S.V.</i>	9
IDENTIFICATION OF EXTREMUMS OF THE NORMS OF SOLUTIONS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH AN APPENDIX TO THE ESTIMATION OF STABILITY <i>Zaika I.V.</i>	14
INFORMATIZATION OF SOCIETY – INNOVATIVE METHODS AND SOFTWARE <i>Karelin A.N.</i>	19
METHODS AND MEANS OF MONITORING OF AQUATORIES IN THE SEGMENT OF NEAR THE BOTTOM RESEARCH <i>Liskin V.A., Rimskiy-Korsakov N.A.</i>	26
3D OBJECT RECONSTRUCTION USING RECURRENT NEURAL NETWORK <i>Redko A.V., Rybkin S.V.</i>	32

УДК 004.912

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОФФЛАЙН-РАСПОЗНАВАНИИ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА

Басанько А.С., Белов Ю.С.

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, e-mail: antonbas1@rambler.ru*

В данной статье рассмотрены основные методы обработки изображения, которые применяются на этапе предварительной обработки при оффлайн-распознавании рукописного текста. Данные методы решают задачу повышения качества изображения, которая является достаточно актуальной, поскольку, чем лучше будет качество изображения, тем удобнее будет работать с ним на последующих этапах распознавания и, соответственно, качество распознавания также будет лучше. Рассмотрены основные этапы обработки изображения: преобразование изображения в градации серого, удаление дефектов изображения и отделение текста от фона. Представлены различные фильтры для удаления дефектов изображения: фильтр Гаусса (используется для подавления высокочастотного шума), медианный фильтр (используется для подавления шума «соль и перец») и фильтр на основе вейвлет-преобразования, который основан на представлении изображения в виде дискретного сигнала. Отмечены недостатки фильтров на основе вейвлет-преобразования. Рассмотрены основные алгоритмы отделения текста от фона: пороговая и адаптивная бинаризация. Отмечены основные недостатки этих методов. В рамках алгоритмов бинаризации рассмотрен метод Оцу, решающий задачу поиска порогового значения яркости. Также отмечены недостатки данного метода и способы их устранения.

Ключевые слова: распознавание рукописного текста, фильтр Гаусса, медианный фильтр, фильтр на основе вейвлет-преобразования, пороговая и адаптивная бинаризация, метод Оцу

BASIC IMAGE PROCESSING TECHNIQUES IN OFFLINE HANDWRITING RECOGNITION

Basanko A.S., Belov Yu.S.

*Kaluga branch of the Federal State Budget Education Institution of Higher Education
«Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)»,
Kaluga, e-mail: antonbas1@rambler.ru*

This article describes the basic methods of image processing that are applied at the stage of pre-processing in offline handwriting recognition. These methods solve the problem of increasing image quality, which is very essential because the better the image quality, the easier it will be to work with it in subsequent stages of recognition and, consequently, the quality of recognition will also be better. The basic stages of image processing: convert image to grayscale, remove imperfections from an image and separate text from background are described. A variety of filters for removing image defects: a Gaussian filter (used to suppress high frequency noise), median filter (used to suppress noise «salt and pepper»), filter based on wavelet transform, which based on the representation of the image in the form of a discrete signal are presented. The shortcomings of filter based on wavelet transform are noted. The main algorithms to separate text from the background: threshold and adaptive binarization are described. Their main shortcomings are noted. Method Otsu, which solve the task of finding threshold values of brightness, are described in the framework of the considered algorithms binarization. Also the shortcomings of this method and their solutions are noted.

Keywords: handwriting recognition, gaussian filter, median filter, filter based on wavelet transform, threshold and adaptive binarization, method Otsu

Оффлайн-распознавание рукописного текста обычно состоит из следующих этапов: предварительная обработка изображения, сегментация и нормализация, извлечение признаков, классификация и обработка результатов.

На этапе предварительной обработки изображения используются методы обработки изображений (фильтрация, шумоподавление и другие), и имеющие своей целью повысить качество изображения.

На данный момент задача распознавания рукописного текста является нерешенной. Задача повышения качества изображения при распознавании рукописного текста является

достаточно актуальной, поскольку чем лучше будет качество изображения, тем удобнее будет работать с ним на последующих этапах распознавания [1] и, соответственно, качество распознавания также будет лучше.

Улучшение качества изображения включает обычно в себя преобразование изображения в градации серого, удаление дефектов изображения и отделение текста от фона.

Преобразование изображения в градации серого

Обычно для упрощения дальнейшей работы с изображением делается преобразование изображения в градации серого [2].

Для каждого отдельного пикселя вычисляется значение яркости, которое измеряется в диапазоне от 0 до 255. Черный цвет соответствует 0 уровню яркости, а белый – 255 уровню. Это вычисление производится при помощи следующей формулы:

$$I = 0,299R + 0,587G + 0,114B,$$

где R, G, B – значения красного, зеленого и синего каналов соответственно.

Удаление дефектов

Удаление дефектов осуществляется стандартными методами обработки изображений. Наиболее часто для удаления шума используют фильтр Гаусса для подавления высокочастотного шума [3] и медианный фильтр для удаления шума «соль и перец» (рис. 1). Также перспективным фильтром является фильтр на основе вейвлет-преобразования [4].

Фильтр Гаусса

Данный фильтр основан на функциях Гаусса одной и двух переменных соответственно:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – «степень размытия» обработанного изображения (стандартное отклонение нор-

мального распределения); x, y – расстояние между пикселем (исходной точкой) и точкой, для которой подсчитывается значение функции Гаусса по вертикальной и горизонтальной оси соответственно [5].

Следовательно, при помощи функции Гаусса можно построить матрицу свертки, которая помогает для каждого пикселя изображения рассчитать средневзвешенное значение соседних пикселей:

$$r_{mn} = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k r_{m+i, n+j} G(i, j),$$

где k – размерность матрицы свертки.

Таким образом, посредством применения фильтра Гаусса шум будет подавлен, поскольку все зашумленные пиксели (яркость которых сильно отличается от яркости соседних пикселей) примут усредненное значение, в результате чего контуры объектов будут подчеркнуты, что положительно повлияет на результат распознавания образов (в том числе и рукописного текста) на цифровых изображениях.

Медианный фильтр

Понятие медианы лежит в основе медианного фильтра. Если множество A , состоящее из чисел A_i , где $i = 1..n$, отсортировано по возрастанию, то $A_{n/2}$ – является медианой этого множества [6]. Медиана будет делить отсортированный набор чисел на две части, где первая часть будет содержать числа, которые меньше, чем медиана, а вторая часть – больше.



а)



б)

Рис. 1. Примеры распространенных типов шумов: а) шум «соль и перец», б) высокочастотный шум

Распространенный способ реализации данного фильтра заключается в том, чтобы отсортировать значения яркостей пикселей при помощи окна [7] с нечетным радиусом и затем заменить значения яркостей пикселей на значение медианы результирующего множества.

Фильтр на основе вейвлет-преобразования

Так как изображение можно представить в виде дискретного сигнала, то для его обработки можно использовать фильтры, базирующиеся на частотном разделении в дискретной области. Вейвлет-анализ является достаточно перспективным способом анализа данных.

Сигнал можно представить следующим образом:

$$s(t) = f(t) + \sigma e(t),$$

где $f(t)$ – полезный сигнал, $e(t)$ – шум, σ – уровень шума, $s(t)$ – исследуемый сигнал.

Таким образом, вейвлет-преобразование позволяет удалить шум за 4 шага [8, 9]:

- разложение сигнала по базису вейвлетов;
- выбор порогового значения шума для каждого из уровней разложения;
- пороговая фильтрация коэффициентов детализации;
- восстановление сигнала.

Такой способ фильтрации лучше всего работает на гладких сигналах, т.е. на таких сигналах, в разложении которых лишь небольшое количество коэффициентов детализации значительно отличается от нуля.

Подбор вейвлета и глубины разложения обычно зависит от свойств фильтруемого сигнала.

Для выбора порога шума обычно используют критерии, которые минимизируют квадратичную функцию потерь для выбранной модели шума.

Данные фильтры реже используются по сравнению с медианными, потому что использование вейвлетов приводит к дополнительной параметризации программы и замедлению работы, поскольку требуется вычисление дополнительных массивов данных.

Отделение текста от фона

Отделение текста от фона является частным случаем задачи выделения объекта на изображении. Задача состоит в том, чтобы по изображению текста A построить бинарное изображение B , такое, что

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, P(i, j) \in T_A \\ 0, P(i, j) \notin T_A, \end{cases}$$

где $P(i, j)$ – пиксель (i, j) , T_A – текст на изображении A .

Данное преобразование позволяет в дальнейшем использовать анализ связанных компонент, контуров, скелетов и т.д.

Наиболее часто используемым методом отделения текста от фона служит пороговая бинаризация (threshold binarization). Пусть дано изображение, $I(i, j)$ – яркость пикселя с координатами (i, j) . Пороговой бинаризацией изображения называется по-пиксельное преобразование $f(i, j)$, такое, что

$$f(i, j) = \begin{cases} 1, I(i, j) \geq d \\ 0, I(i, j) < d, \end{cases}$$

где d называется порогом бинаризации.

Обычно на гистограмме яркости изображения текста наблюдается два пика: высокий пик в области светлых пикселей, который соответствует фону, и более низкий пик в области темных, который соответствует тексту. Таким образом, задача поиска порогового значения яркости, т.е. такого, чтобы пиксели с яркостью выше этого значения (фон) будут считаться черными, а ниже (текст) – белыми (такое «инвертирование» цвета делается в целях упрощения применения многих алгоритмов в дальнейшем), является задачей поиска оптимального значения между двумя пиками гистограммы. Для решения этой задачи существуют хорошо изученный метод Оцу и его вариации.

Метод Оцу

В данном методе диапазон яркостей $[0; L]$ изображения делится на две части пороговым значением T . Суть алгоритма состоит в том, чтобы минимизировать внутриклассовую дисперсию, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов. В алгоритме Оцу минимизация внутриклассовой дисперсии эквивалентна максимизации межклассовой дисперсии, которая рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_b^2 = \omega_1 \omega_2 (\mu_1 - \mu_2)^2,$$

где σ_b – межклассовая дисперсия, w_1 и w_2 – вероятности первого и второго классов, μ_1 и μ_2 – средние арифметические значения каждого из классов. Каждая из перечисленных величин рассчитывается следующим образом:

$$\omega_1(t) = \sum_{i=1}^t p_i,$$

$$\omega_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i = 1 - \omega_1(t),$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{ip_i}{\omega_0},$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1}.$$

Схема алгоритма описывается следующим образом:

– Рассчитывается гистограмма на основе значений $p_i = n_i / N$, где N – суммарное количество пикселей изображения, n_i – количество пикселей с яркостью i .

– Со значения порога $t = 1$ делается проход по всей гистограмме, пересчитывая на каждом шаге дисперсию $\sigma_b(t)$. Если на каком-либо шаге дисперсия стала больше максимума, то обновляется максимум дисперсии и назначается новое текущее значение $T = t$.

– T – результирующее пороговое значение.

Недостатком данного метода является чувствительность к неравномерной освещенности. Для решения данной проблемы обычно получают компонент освещения путем низкочастотной фильтрации G изображения при помощи фильтра Гаусса [10].

Метод адаптивной бинаризации

Еще одним недостатком метода Оцу является слипание близко расположенных областей, что может повлиять на дальнейшую обработку и распознавание. Поэтому существует метод адаптивной бинаризации, который к тому же позволяет решить проблему разности освещенности.

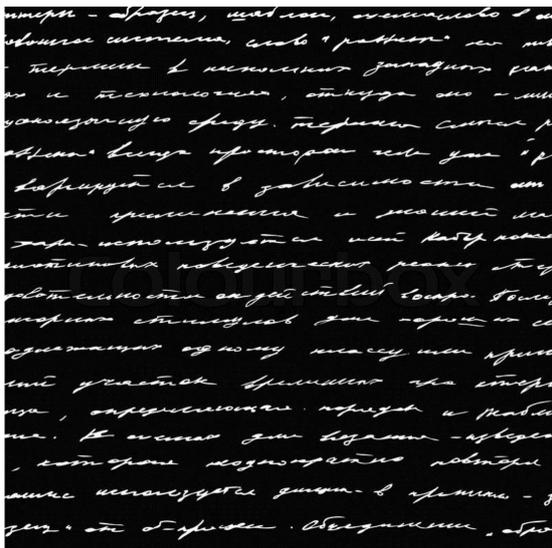


Рис. 2. Результат пороговой бинаризации

Для окрестности R пикселя вычисляется порог T . Порог T может являться средним

значением яркости по области R , медианой выборки из области R или вычисляться по формуле: $(I_{\max} - I_{\min}) / 2$. Значение пикселя $B(x, y)$ в бинарном изображении вычисляется следующим образом:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) > T + C \\ 0, & I(x, y) \leq T + C \end{cases}$$

где $I(x, y)$ – яркость пикселя в исходном изображении, C – произвольная константа.

Результатом бинаризации изображения является бинарное изображение белого текста на чёрном фоне, соответствующего исходному изображению (рис. 2).

Таким образом, были рассмотрены основные методы обработки изображений при оффлайн распознавании рукописного текста. Следует грамотно подходить к выбору методов обработки изображения, поскольку при правильном выборе они являются залогом успешного распознавания текста.

Список литературы

1. Нестеров А.Ю., Бурмистров А.В., Белов Ю.С. Методы определения положения объекта в задачах распознавания образов // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 2(6). – С. 82–89.
2. Гришанов К.М., Белов Ю.С. Методы выделения признаков для распознавания символов // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 1(5). – С. 110–119.
3. Исследование и разработка метода распознавания рукописных цифр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2017/fknt/sokolov/diss/index.htm> (дата обращения: 25.03.2018).
4. Предварительная обработка изображений – Национальная библиотека им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.bmstu.wiki/Предварительная_обработка_изображений (дата обращения: 25.03.2018).
5. Попов Г.А., Хрящёв Д.А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидролокационных изображений // Вестник АГТУ. – 2010. – № 1. – С. 63–68.
6. Фильтрация изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5830083/page:4/> (дата обращения: 25.03.2018).
7. Логинов Б.М., Коржавый А.П., Белов Ю.С., Либеров Р.В. Методика распознавания и классификации образов структур многокомпонентных материалов для электронных систем // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2017. – Т. 2, № 2(6). – С. 4–12.
8. Приложения вейвлет-анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/community/articles/wavelet-applications> (дата обращения: 25.03.2018).
9. Амелина В.Ю., Исаева В.С. Методы предварительной фильтрации изображения // Молодой учёный. – 2017. – № 20(154). – С. 179–182.
10. Попова В.В., Федосеев А.А. Предварительная обработка изображений в задаче оффлайн-распознавания рукописного текста // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки // Материалы IX студенческой международной заочной научно – практической конференции. – Новосибирск: СибАК, 2013. – С. 35–44.

УДК 004.932.1

СЕГМЕНТАЦИЯ ЧАСТЕЙ ПОРТРЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА SLIC

Воронцов А.Н., Рыбкин С.В.

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, e-mail: anton.vorontsov1994@yandex.ru*

Проведен общий анализ компьютерного зрения. Рассмотрены варианты анализа изображения и обосновано использование суперпикселей для анализа изображения. Кратко рассмотрены дивизионные, агломеративные и дискриминационные алгоритмы разбиения изображения на суперпиксели. Подробно рассмотрен дискриминационный алгоритм SLIC. Проведен обзорный анализ реализации алгоритма SLIC для языка matlab. В процессе обзорного анализа были выявлены и пояснены характерные особенности реализации алгоритма. Проведен эксперимент по подбору параметров в рамках решения задачи тегирования частей портретных изображений. В рамках эксперимента на основе 10 портретных изображений было сгенерировано 4200 конечных изображений, разбитых на суперпиксели. Для каждого портретного изображения было сгенерировано 420 конечных изображений с уникальным набором параметров. Эмпирическим путем была произведена выборка наиболее удачных результатов работы алгоритма. Проведен статистический анализ параметров изображений, набор которых включает в себя ожидаемое количество суперпикселей в результате, коэффициент веса между пространственной и цветовой компонентой, включение небольших групп пикселей в состав ближайшего суперпикселя, способ вычисления центра кластера. Сделаны выводы о влиянии фона изображения на результат алгоритма. Выведен рекомендуемый набор параметров для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: суперпиксели, SLIC, компьютерная графика, обработка изображений, цветовое пространство Lab, статистика

SEGMENTATION OF PORTRAIT IMAGES ON THE BASIS OF THE SLIC ALGORITHM

Vorontsov A.N., Rybkin S.V.

*Kaluga branch of the Federal State Budget Education Institution of Higher Education
«Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)»,
Kaluga, e-mail: anton.vorontsov1994@yandex.ru*

A general analysis of computer vision is carried out. The variants of image analysis are considered and the use of super pixels for image analysis is justified. Briefly considered are divisional, agglomerative and discriminatory algorithms for splitting an image into super pixels. The discrimination algorithm SLIC is considered in detail. An overview analysis of the implementation of the SLIC algorithm for matlab is performed. In the course of the review, the characteristic features of the implementation of the algorithm were revealed and explained. The experiment on selection of parameters within the framework of the solution of the task of tagging parts of portrait images was carried out. In the experiment, based on 10 portrait images, 4200 final images were generated, divided into super pixels. For each portrait image, 420 final images with a unique set of parameters were generated. Empirically, the most successful results of the algorithm were selected. A statistical analysis of image parameters is performed, the set of which includes the expected number of super pixels, resulting in a weight coefficient between the spatial and color component, the inclusion of small groups of pixels in the nearest super pixel, the calculation of the cluster center. Conclusions are made about the effect of the background of the image on the result of the algorithm. The recommended set of parameters for solving the set task is derived.

Keywords: super pixels, SLIC, computer graphics, image processing, color space Lab, statistics

Компьютерное зрение является одной из наиболее перспективных и востребованных областей применения вычислительной техники.

В первую очередь компьютерное зрение можно разделить на следующие части: во-первых, в начале идет подготовка изображения к обработке, а во-вторых, только подготовленное изображение проходит обработку.

Изображение готовят разными способами, однако наиболее распространенным из них является сегментация, т.е. разбиение изображения на относительно однородные сегменты [1, 2].

Конечно, можно обойтись и без этого и анализировать изображения попиксельно, однако при этом возникает проблема производительности: несколько десятков сегмен-

тов обрабатывается быстрее, чем несколько тысяч пикселей. Кроме того, в случае с сегментами можно говорить не только о связи соседних пикселей, но и о связи пикселей, весьма друг от друга отдаленных. Каждый сегмент суперпикселя можно представить как один объект (которым он и является с большой вероятностью), таким образом, перед моделью уже не так остро стоит задача об объединении пикселей в объекты.

Исходя из вышесказанного, можно отметить, что основным требованием к сегментам (или, как их чаще называют, «суперпикселям») является следующее: пиксели, которые включены в суперпиксель, должны быть схожи между собой и в большей степени должны отличаться от пикселей из другого сегмента. В таком случае необходимо использовать ал-

горитм, который по определенной закономерности будет выяснять «близость» пикселей друг к другу и при необходимости – относить их в разные сегменты [3].

Такие алгоритмы можно разделить на следующие три больших группы: Дивизионные (разделяющие); Агломеративные (объединяющие); Дискриминационные [4].

Отметим, что в первых двух группах изображение обычно представляют в виде ненаправленного взвешенного графа $G = (V, E)$, где V – вершины, а E – грани, соединяющие смежные пиксели. Мерой сходства вершин i и j является вес грани $w(i, j)$.

Дивизионные алгоритмы изначально представляют изображение как один большой суперпиксель, а затем делят его на кластеры. С другого конца подходят к решению задачи агломеративные, которые считают, что в изображении изначально каждый пиксель является суперпикселем, а затем объединяют их. Несмотря на разницу в подходе, недостаток у этих видов алгоритма общий – необходимо учитывать, до какой глубины у нас идет разделение/объединение пикселей в суперпиксели.

Несколько отличным путем идут дискриминационные алгоритмы. Изначально они разбивают изображения на некоторые кластеры, а уже потом итеративно уточняют их границы. К этой группе алгоритмов принадлежит и алгоритм SLIC (Simple Linear Iterative Clustering).

Алгоритм SLIC относится к классу дискриминационных алгоритмов. Вначале он формирует большое количество кластеров в пятимерном пространстве. Это пространство $labxy$. Оно состоит из трех координат цвета – lab и двух координат пространства – xy . Затем он проходит по пикселям и вычисляет их расстояние до центра кластеров. Пиксель приписывается к ближайшему центру, а затем центры тоже уточняются и т.д. В результате получаем k кластеров со сложной формой. В данной статье рассматривается реализация алгоритма SLIC для языка matlab, предложенная в статье [5].

Входными параметрами для данной реализации являются: само исходное изображение, k – число суперпикселей, на которое необходимо будет разбить изображение (в алгоритме предусмотрено дальнейшее уточнение количества суперпикселей для формирования устойчивой сетки), m – это весовой коэффициент, связывающий цветовую и пространственную составляющие), в данной реализации рекомендуется ставить значение 10, допустимо выставление значений в диапазоне 5...40, $seRadius$ в случае, если область меньше указанного значения, то она присоединяется к ближайшему суперпикселю (данную опцию можно

отключить. Рекомендуются значения 1 или 1.5), $colopt$ – значение этого параметра показывает то, каким образом должен вычисляться центр кластера, mw – размер окна для медианной фильтрации.

В качестве результата своей работы алгоритм возвращает следующее: L – размеченное изображение по заданному количеству суперпикселей (1... k), A_m – матрица сопряженности сегментов ($A_m(i, j)$ – показывает, что сегменты i и j смежные/связные или нет).

Атрибуты суперпикселя хранятся в структуре Sp : значения цветовых компонент – L, a, b ; значения строки и столбца – r, c ; стандартные отклонения цветовых компонент – $stdL, stda, stdb$; число включенных пикселей – N ; список ребер, который данная реализация не использует – $edges$; d – расстояние от приписанного центра суперпикселя.

В данной реализации были использованы предложения Радхакришны Ачанты [5] – суперпиксели инициализируются вместо четырехугольной сетки в шестиугольной, также в реализации нет смещений начальной позиции кластера, поскольку после первого обновления центров кластера это будет неактуально.

Шестиугольная сетка заменяет четырехугольную поскольку большая часть объектов имеет замкнутую и округлую форму, а шестиугольник ближе по своей форме к кругу, чем четырехугольник, у него более равномерное распределение расстояний до точек, расположенных на границе.

После изначальной подготовки и инициализации переменных алгоритм переводит первоначальное изображение в цветовое пространство Lab . В случае, если было указано применить медианную фильтрацию, то она применяется уже к изображению в пространстве Lab . Теперь входное изображение готово к анализу.

С помощью ожидаемого числа суперпикселей, которое передавалось во входных параметрах, рассчитаем расстояние между центрами кластеров в сетке, а затем получим количество узлов по вертикали (при этом нужно учесть, что количество узлов в четной и нечетной колонке будет различным из-за шестиугольной сетки). Теперь можно пересчитать расстояние между центрами сетки (S). То же самое сделаем со строками. Теперь, когда известно среднее количество ячеек в столбце и строке, их можно перемножить и получить верное количество суперпикселей.

Теперь инициализируем следующие переменные: матрицу S с информацией о центрах кластеров размерностью $b \times k$ (где k – это количество суперпикселей), здесь 1:3 отводится для значений Lab , 4:5 – строка и столбец центра, а 6 – количество пик-

селей. Метки пикселей находятся в матрице размерностью, совпадающей с размером изображения L . Матрица d будет содержать расстояния пикселей от центров кластеров.

Затем производится инициализация кластеров, после чего запускается непосредственно сам алгоритм. В данной реализации предусмотрено 10 итераций алгоритма, который запускается при этом для каждого кластера. При запуске алгоритма вокруг суперпикселя происходит выделение фрагмента изображения, после чего внутри него рассчитывается расстояние от каждого пикселя до центра кластера (при этом в реализации предусмотрено вычисление расстояния двумя разными способами). Если расстояние до центра данного кластера меньше, чем расстояние до центра другого кластера, то обновляем информацию.

Обновляем информацию о центрах кластеров, делаем пересчет окончательных атрибутов суперпикселей и записываем обновленную информацию внутрь массива структур Sp . Теперь произведем расчет стандартных отклонений цветовых компонент каждого суперпикселя, а затем записываем число пикселей в суперпиксели.

Набор входных параметров для функции расчета расстояния до центра кластера: S – рассматриваемый кластер, im – подизображение вокруг кластера, $r1$ и $c1$ – строка и столбец верхнего левого угла подизображения, S – размер сетки, m – весовой коэффициент, который связывает цвет и координату. Функция возвращает матрицу расстояний от каждого пикселя до центра кластера.

В рамках исследования поставлена задача тегирования сегментов портретных изображений (волосы, кожа, остальное) с использованием нейронных сетей [6, 7], одной из частей создаваемой модели является алгоритм сегментации [8]. С помощью алгоритма SLIC планируется сегментиро-

вать портретные изображения [4], однако для этого необходимо выбрать параметры, с которыми можно будет запускать алгоритм и получать результат, подходящий для дальнейшего использования.

Для решения данной задачи было выбрано 10 портретных изображений, и для каждого из них алгоритм сгенерировал 420 вариантов разбиения на сегменты. После этого из каждого множества нами были отобраны наиболее удачные результативные изображения, в результате отбора мы получили 42 изображения. В первую очередь обратим внимание на количество суперпикселей в данной подборке (табл. 1).

Таблица 1
Распределение суперпикселей в отобранных изображениях

Количество суперпикселей в изображении	10	20	30	40	50	60	70
Число изображений с этим параметром	2	4	3	6	13	9	5

Интересным является тот факт, что наилучшим значением является количество суперпикселей, равное 50–13 отобранных картинок имеют данное количество суперпикселей, при этом большее количество пикселей дает несколько более худший результат (9 и 5 изображений), а меньшее – результат ухудшается в два раза (6 изображений). Таким образом, мы выявили оптимальное количество суперпикселей для портретного изображения – 50. Различия можно увидеть на рис. 1.

Теперь необходимо подобрать параметр m – вес между пространственной и цветовой компонентой. На этот раз мы будем рассматривать исключительно изображения с количеством суперпикселей 50 (табл. 2).

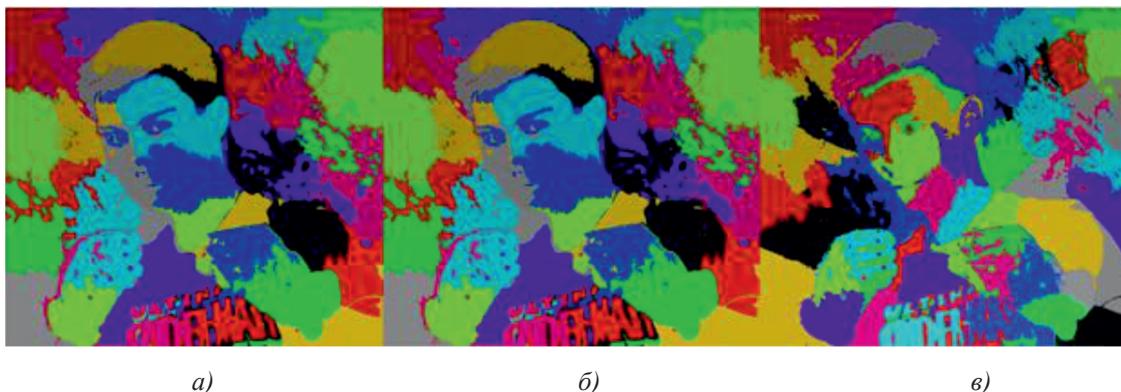


Рис. 1. Различия изображения с разным количеством суперпикселей: а) 40 суперпикселей; б) 50 суперпикселей; в) 60 суперпикселей

Таблица 2

Распределение весов между пространственной и цветовой компоненты для отобранных изображений с количеством суперпикселей, равным 50

m	5	10	15	20	30
количество изображений	2	3	3	3	2

Как мы видим из таблицы, равное количество изображений имеет три веса – 10, 15 и 20. Для нашей цели мы возьмем средний вес (15), но в дальнейшем анализе будем учитывать и другие веса. На рис. 2 мы можем наблюдать сравнения изображений с различными весами.

Рассмотрим значение величины $seRadius$, регионы с размером меньше $seRadius$ – присваиваются ближайшему суперпикселю. Обратим внимание на то, что при использо-

вании входного параметра $seRadius = 0$ опция не используется.

Из табл. 3 видно, что лучшие результаты у нас получаются при отключенной функции. Результат работы алгоритма с разными параметрами мы можем увидеть на рис. 3.

Таблица 3

Распределение $seRadius$

$seRadius \backslash m$	10	15	20	Сумма:
0	3	2	2	7
1	0	1	1	2
1,5	0	0	0	0

Рассмотрим статистику по способу вычисления центра кластера – $mean/median$, но при таком количестве суперпикселей явной разницы замечено не было (см. рис. 4), вследствие чего в качестве метода вычисления будем использовать $mean$.



а)

б)

в)

Рис. 2. Изображения с 50 суперпикселями и весом между цветовой и пространственной компонентой, равным: а) 10; б) 15; в) 20



а)

б)

в)

Рис. 3. Изображения с $seRadius$ равным: а) 0; б) 1; в) 1,5



а) б)

Рис. 4. Вычисление центров кластеров при помощи: а) *mean*; б) *median*



а) б)

Рис. 5. Разница между распределением суперпикселей на изображениях с однородным и разнородным фоном

Исходя из нашего эксперимента, мы определили следующий набор рекомендуемых параметров: 50 суперпикселей, вес между цветовой и пространственной компонентой – 10, $seRadius = 0$, центр кластера вычисляется с помощью *mean*.

Применим ко всем 10 фото обработку с заданными параметрами. Как можно заметить, в случае с однородным фоном результат лучше, чем в случае с фоном, на котором расположено большое количество объектов, поскольку они «перетягивают» на себя суперпиксели (рис. 5). Кроме того, из-за нехватки суперпикселей на лице некоторые суперпиксели захватывают часть волос и лица.

Если рассматривать средний результат по фото, то можно отметить, что он соответствует поставленной задаче: в большей части случаев есть возможность отделить суперпиксели, соответствующие коже, волосам и остальному.

Список литературы

1. Логинов Б.М. Методика распознавания и классификации образов структур многокомпонентных материалов для электронных систем / Б.М. Логинов, А.П. Коржа-

вый, Ю.С. Белов, Р.В. Либеров // Электromагнитные волны и электронные системы. – 2017. – № 2. – С. 4–12.

2. Редько А.В. Использование алгоритмов определения ключевых точек изображения в задаче реконструкции трехмерных сцен / А.В. Редько, А.Н. Молчанов, Ю.С. Белов // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ2 (13). – С. 59–66.

3. Сакович И.О. Обзор основных методов контурного анализа для выделения контуров движущихся объектов / И.О. Сакович, Ю.С. Белов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2014. – № 12 (36). – С. 11.

4. Саввин С.В. Методы суперпиксельной сегментации и их применение для анализа изображения с разнородной текстурой / С.В. Саввин, А.А. Сирота // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. – 2016. – № 4. – С. 165–173.

5. Image Segmentation using SLIC SuperPixels and DBSCAN Clustering // Centre for Exploration Targeting The University of Western Australia [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.peterkovesi.com/projects/segmentation/> (дата обращения: 15.04.2018).

6. Мурашов Д.М. Применение теоретико-информационного подхода для сегментации изображений / Machine Learning and Data Analysis. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 231–243.

7. Гришанов К.М. Тестирование сверточной нейронной сети в задачах машинного зрения / К.М. Гришанов, С.В. Рыбкин // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 2 (12). – С. 186–193.

8. Воронцов А.Н., Белов Ю.С. Виды глубоких сетей для неконтролируемого или генеративного обучения // Технологии XXI века: проблемы и перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2017. – С. 50–53.

УДК 519.6

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ НОРМ РЕШЕНИЙ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ

Заика И.В.*Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрог,
e-mail: irin-zaik@yandex.ru*

Предлагается компьютерный метод численной оптимизации на основе сортировки, с помощью которого идентифицируются экстремумы и нули функций по значениям и индексам данных. Представленная схема позволяет программно вычислять экстремумы произвольной функции рассматриваемого вида в области определения функции и может быть перенесена на случай функции трех и более переменных, но при этом требует увеличения затрат машинного времени. Метод отличается от известных возможностью распараллеливания, и без принципиальных изменений переносится на случай решения систем нелинейных уравнений общего вида. При этом алгоритм численной оптимизации инвариантен относительно размерности системы и вида задачи. Метод применяется для поиска экстремумов и нулей разностных решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Представленный алгоритм применяется для поиска экстремумов норм решений ОДУ. На основе оптимизационного алгоритма и компьютерных схем оценки устойчивости можно оценить локально и глобально экстремальное отклонение системы от устойчивого состояния при вариации параметров. Работа включает тексты программ и описание численного эксперимента, в частности рассматривается применение схемы к анализу возмущений энергетических систем большой мощности при возмущении параметров.

Ключевые слова: идентификация экстремумов решений дифференциальных уравнений, оценка устойчивости разностных решений дифференциальных уравнений

IDENTIFICATION OF EXTREMUMS OF THE NORMS OF SOLUTIONS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH AN APPENDIX TO THE ESTIMATION OF STABILITY

Zaika I.V.*Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) Rostov State University of Economics, Taganrog,
e-mail: irin-zaik@yandex.ru*

A computer method of numerical optimization based on sorting is proposed, which helps identify extremums and zeros of functions by values and indexes of data. The presented scheme allows us to programmatically calculate the extrema of an arbitrary function of the form in question in the domain of the function definition and can be transferred to the case of a function of three or more variables, but this requires an increase in the expenditure of computer time. The method differs from the known by the parallelization possibility, and without fundamental changes it is transferred to the case of solving systems of nonlinear equations of general form. In this case, the numerical optimization algorithm is invariant with respect to the dimensionality of the system and the type of problem. The method is used to search for extrema and zeros of difference solutions of systems of ordinary differential equations (ODE). The presented algorithm is applied to the search for extrema of the norms of the ODE solutions. Based on the optimization algorithm and computer stability estimation schemes, it is possible to estimate locally and globally the extreme deviation of the system from a stable state with variation of parameters. The work includes the texts of programs and the description of a numerical experiment, in particular, the application of the scheme to the analysis of perturbations of high-power power systems under perturbation of parameters is considered.

Ke words: identification of extremums of solutions of differential equations, estimation of the stability of difference solutions of differential equations

Предлагаются алгоритмы для определения по индексам входных данных экстремальных значений норм решений систем ОДУ. Схема модифицируется для поиска экстремумов норм [1, 2] преобразованных разностных решений систем уравнений при вариации параметров. Анализируется экстремальное отклонение решения системы от устойчивого состояния, и на основе этих данных алгоритмы применимы к оценке устойчивости, в частности при возмущении параметров.

Вычисление экстремальных значений функции двух действительных переменных

В начале рассматривается функция одной действительной переменной $y = f(x)$.

Пусть функция определена и задана на промежутке $[x^{(0)}, x^{(N)}]$. На сетке считываются значения функции $f(x)$, $c[i] = f(x_{i-1})$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Значения $c[i]$ сортируются. Процедура сортировки в программе обозначена как *sort* [3, 4]. К выходу процедуры сортировки подсоединяется специально сконструированный оператор: $|e[k-l] - e[k]| > \varepsilon$, $l = 1, 2, \dots, k-1$. С помощью данного оператора производится автоматическая идентификация каждого минимума в промежутке ε среди элементов $c[i]$.

Смысл условия в том, что в ε -промежутках входных значений функции с индексом $e[k]$ нет значений уже в от-

сортированном массиве $c1$, больших по значению, чем элемент с индексом [5]. Это значит, что значение функции y в узле $x0 + e[k]*h$ не превосходит значений во всех точках заданной ε -окрестности.

Если оператор $|e[k-1] - e[k]| > \varepsilon$ заменить на другой оператор, с помощью которого локализуется максимум $|e[k+1] - e[k]| > \varepsilon$, $l = 1, 2, \dots, n-k$, то осуществляется вычисление максимумов функции.

Изложенная схема применяется для вычисления всех экстремумов функции двух переменных $z = f(x, y)$ [6]. Задаются границы $[x^{(0)}, x^{(N)}]$ и $[y^{(0)}, y^{(M)}]$, где строится область: $h = |x^{(N)} - x^{(0)}| / N$, $x_\ell = x^{(0)} + \ell h$, $\ell = 0, 1, \dots, N$, $y_\ell = y^{(0)} + \ell h$, $\ell = 0, 1, \dots, M$.

Для нахождения минимумов функции $z = f(x, y)$ перебираются значения вдоль j -го столбца по ординате OY , в результате чего находится наименьшее по строкам значение $c[j] = \min f(x_j, y_i)$, $1 \leq i \leq M$, которое поступает на вход сортировки с индексом j .

После реализации сортировки подсоединяется представленный выше оператор, с помощью которого локализуется минимум.

Оператор для текущего узла $e[k]$ находит каждый узел $x0 + e[k]*h$, в проекции ε , на абсциссу OX среди которых нет точек, предшествующим значениям в отсортированном массиве.

Значение точки минимума $xk := x0 + e[k]*h$ фиксируется, после чего локализуется ордината, в которой вычисляется приближенное минимальное значение функции двух действительных переменных.

Представленная схема позволяет программно вычислять экстремумы произвольной функции рассматриваемого вида. Алгоритм может использоваться для иден-

тификации экстремумов функций нескольких переменных [7].

Решение нелинейных систем уравнений

Схема применяется к приближенному решению систем нелинейных уравнений. Пусть исходная система преобразована к виду $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$, $i = \overline{1, n}$, где левые части являются функциями от n действительных переменных. Совокупность функций $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ образует n -мерную вектор-функцию аргументов x_1, x_2, \dots, x_n . Пусть требуется приближенно найти все решения системы $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$, $i = \overline{1, n}$ в заданной области $[x_1^{(0)}, x_1^{(L_1)}]$, $[x_2^{(0)}, x_2^{(L_2)}]$, ..., $[x_n^{(0)}, x_n^{(L_n)}]$. Строится сетка $x_{j\ell j} = x_j^{(0)} + \ell_j h_j$, $h_j = (x_j^{(L_j)} - x_j^{(0)}) / L_j$, $\ell_j = 0, 1, \dots, L_j$, $j = \overline{1, n}$. Во всех ее узлах вычисляются значения нормы $\|Z\| = \sum_{i=1}^n |z_i|$

рассматриваемой функции, которые принимаются за элементы n -мерного массива: $c_{j\ell j} = |f_1(x_{j\ell j})| + |f_2(x_{j\ell j})| + \dots + |f_n(x_{j\ell j})|$, где индексы соответствуют узлам многомерной сетки. Левая часть $c_{j\ell j}$ интерпретируется как дискретная функция n переменных, ее минимумы можно идентифицировать программно по изложенной схеме.

Пример. Приближенное решение системы

$$\left. \begin{aligned} x^2 + y^2 - z &= 0, \\ x^2 + y^2 - z^2 &= 0, \\ \ln x - \sqrt{y} + 0,8 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

в области $x \in [0, 1]$, $y \in [0, 1]$, $z \in [0, 1]$ вычисляется по программе Program UpravNelin, представленной в листинге [2]:

```
label 21,22,23; const eps0=0.1; h=eps0/23; x00=0.1;
x11=1; y00=0; y11=1; z00=0; z11=1;
n00=trunc(6/h); nn=n00+round(n00/2)+1;
type vect1=array [1..2*nn+nn] of double;
vect2=array [1..2*nn+nn] of longint;
var i,j,k,k1,r,rx,ry,rz,nn0,kx,ky,kz : integer;
c,a1,az: vect1; e, ex, ey,ez: vect2;
x,x0,x1,xk,minx,minz: double;
y,y0,y1,yk,z0,z1,z,zk: double;
function ff1(x,y,z: double): double;
begin ff1:= x*x+y*y-z; end;
function ff2(x,y,z: double): double;
begin ff2:= x*x+y*y-z*z; end;
function ff3(x,y,z:double): double;
begin ff3:= ln(x)-sqrt(y)+0.8; end;
function func(x,y,z: double): extended;
var p: double; i1: integer;begin
func:= abs(ff1(x,y,z))+abs(ff2(x,y,z))+abs(ff3(x,y,z)); end;
procedure minyz(var x,y,z,minx: double);
```

```

begin minx:=func(x,y,z); i:=1;
while i<= trunc((y11-y00)/h) do begin
j:=1; while j<= trunc((z11-z00)/h) do
begin y:=y0+i*h; z:=z0+j*h;
IF minx > func(x,y,z) then minx:=func(x,y,z);
j:=j+1; end; i:=i+1; end; end;
procedure minyy (var x,y,z,minz:extended);
begin minz:=func(x,y,z); i:=1;
while i<=trunc((y11-y00)/h) do begin
begin y:=y0+i*h; if minz > func(x,y,z) then
minz:=func(x,y,z) end; i:=i+1;end; end;
procedure sort(var nn0:
longint; var c: vect1; var e: vect2);
{ Описание процедуры sort }
begin x0:=x00; x1:=x11;
y0:=y00; y1:=y11; z0:=z00; z1:=z11; nn0:=n00;
for rx:=1 to nn0 do begin
x:=x0+rx*h; minyz (x,y,z,minx); a1[rx]:=minx; end;
sort( nn0, a1, ex); kx:=1;
while kx<= nn0 do begin
for rx := 1 to kx-1 do
IF abs( ex[kx]-ex[kx-rx] ) <= eps0/h then goto 21;
xk:= x0+ex[kx]*h; for rz:=1 to nn0 do begin
z:=z0+rz*h; x:=xk;
minyy (x,y,z,minz); az[rz]:=minz; end;
sort( nn0, az, ez); kz:=1;
while kz<= nn0 do begin
for rz := 1 to kz-1 do
IF abs(ez[kz]-ez[kz-rz]) <=eps0/h then goto 22;
zk:= z0+ez[kz]*h;
for ry:=1 to nn0 do begin
y:=y0+ry*h; a1[ry]:=func(xk,y,zk) end;
sort( nn0, a1, ey); ky:=1;
while ky<= nn0 do begin
for ry := 1 to ky-1 do
IF abs(ey[ky]-ey[ky-ry]) <=eps0/h then goto 23;
yk:= y0+ey[ky]*h;
writeln ( ' ', xk, ' ');
writeln ( ' ', yk, ' ');
writeln ( zk, ' ', ff1(xk,yk,zk):3:5, ' ', ff2(xk,yk,zk):3:5, ' ', ff3(xk,yk,zk):3:5);
23: ky:=ky+1; end;
22: kz:=kz+1; end;
21: kx:=kx+1; end; end.

```

Результат вычислений:

X	Значения аргументов		Значения компонент
	Y	z	
0,8870	0,4609	1,0000	f1 = -0,0009 f2 = -0,0009 f3 = -0,0012

Представленный алгоритм может использоваться для решения трансцендентных уравнений [2] и по способу построения отличается от аналогов [8–10].

Идентификация экстремумов и нулей разностных решений систем ОДУ

Пусть рассматривается задача Коши для уравнения

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y), \quad y(t_0) = y_0 \quad (1)$$

и выполняются условия существования и единственности решения. Для решения (1) с малым шагом h на промежутке $[t_0, T]$ используется метод Эйлера:

$$y_{i+1} = y_i + f(t_i, y_i)h, \quad t_i = t_0 + ih, \quad i = 0, 1, \dots, N; \\ h = (T - t_0) / N; \lim_{N \rightarrow \infty} y_i = y. \quad (2)$$

Разностные значения из (2) рассматриваются как элементы массива

$$c[i] = y(t_{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

После сортировки массива (3) применяется оператор локализации экстремумов. Схема локализации экстремальных элементов в массиве (3) такая же, как и для массива (1) функции одной переменной, за исключением того, что в случае разностной схемы нельзя выполнить спуск. Погрешность вычисления экстремумов решения уравнения (1) полностью определяется погрешностью разностного приближения. С точностью до этой оговорки имеют место устойчивость локализации и вычисления экстремумов решения (2) [11, 12].

Для поиска нулей достаточно взять модули значений (3) и среди их минимумов выбрать близкие к нулю. Как и в случае функции одной переменной, необходимо смещение текущего отрезка по всему промежутку поиска экстремумов с дополнительной проверкой границ смещаемого отрезка на экстремум.

Схема без принципиальных изменений переносится на случай двух и более уравнений путем ее буквального повторения для каждого уравнения в отдельности. Предполагается, что для задачи Коши [13]

$$dY/dt = F(t, Y), \quad Y(t_0) = Y_0, \quad (4)$$

где

$$F(t, Y) = (f_1(t, Y), f_2(t, Y), \dots, f_n(t, Y)),$$

$$Y = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)),$$

$$Y_0 = (y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0n}),$$

выполнены все условия существования и единственности, а также, что имеет место сходимости к решению рассматриваемого разностного метода на отрезке $[t_0, T]$. На вход сортировки подаются разностные приближения каждой компоненты решения:

$$y_{k(i+1)} = y_{ki} + f_k(t_i, y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni}) \cdot h;$$

$$ck[i] = y_{ki}(t_{i-1}); \quad k = 1, 2, \dots, n; \quad t_i = t_0 + ih;$$

$$i = 0, 1, \dots, N; \quad h = (T - t_0) / N.$$

На выходе метода идентифицируются все локальные экстремумы каждой переменной y_k , в виде последовательности $ck[i]$, в окрестностях малого промежутка на всем отрезке $[t_0, T]$.

Нули разностных приближений компонент получаются, если на вход подавать модули значений $ck[i] = y_{ki}(t_{i-1})$ с оцен-

кой на выходе малости минимумов. По-прежнему необходимо смещение текущего отрезка по всему промежутку поиска экстремумов с проверкой границ смещаемого отрезка на экстремум. Вместо метода Эйлера могут применяться разностные методы высшего порядка [14], численный эксперимент показывает возможность идентификации экстремумов с точностью до формата представления данных в языке программирования.

Под устойчивостью понимается устойчивость по Ляпунову [1]. Пусть рассматривается система нелинейных ОДУ:

$$\frac{dY}{dt} = F(t, Y, a_1, a_2, a_3), \quad Y(t_0) = Y_0,$$

где $Y(t)$ определяются по методу Эйлера, $t_0 \leq t \leq T$; a_1, a_2, a_3 – варьируемые числовые параметры в диапазоне $a_{10} \leq a_1 \leq a_{11}$, $a_{20} \leq a_2 \leq a_{21}$, $a_{30} \leq a_3 \leq a_{31}$. Возмущенные начальные данные обозначаются $\tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0$, соответственное им возмущенное решение записывается в виде $\tilde{Y}(t)$. Требуется найти все экстремальные отклонения от нуля нормы разности между возмущенным и невозмущенным решениями системы dY/dt при вариации числовых параметров.

Способ оценки отклонений опирается на схему идентификации экстремумов [4] дискретно представленных функций четырех действительных переменных. На вход алгоритма подается функция одной независимой переменной t , роль трех других играют варьируемые параметры. Роль функции играет норма разности вычисляемых по разностной схеме значений вектор-функций $Y(t) - \tilde{Y}(t)$. При выборе нормы:

$$\sqrt{|y_1[i-1]|^2 + |y_2[i-1]|^2 + \dots + |y_n[i-1]|^2},$$

$$i = 1, 2, \dots, N.$$

На вход метода поступает

$$c[i] = \sqrt{\sum_{k=1}^n |y_k[i-1] - \tilde{y}_k[i-1]|^2},$$

$$i = 1, 2, \dots, N.$$

При этом решения $Y(t)$, $\tilde{Y}(t)$ вычисляются по разностной схеме отдельно для каждого набора дискретизированных значений трех варьируемых параметров. Выбранные дискретизированные значения левой части $c[i]$ задают трехмерный массив, к которому добавляется еще одно измерение по независимой переменной t . Получится четырехмерный массив с эле-

ментами $c[i, j, \ell, r]$, где $c[i, j, \ell, r] = c[i]$ из

$$c[i] = \sqrt{\sum_{k=1}^n |y_k[i-1] - \tilde{y}_k[i-1]|^2}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

при значениях параметров $a_1 = a_1[j]$, $a_2 = a_2[\ell]$, $a_3 = a_3[r]$, индексы которых указывают номера шагов дискретизации.

Найденные экстремумы характеризуют меру отклонения возмущенного решения от невозмущенного (меру возмущения решения). Значение глобального максимума позволит найти наибольшее значение возмущения на отрезке $t_0 \leq t \leq T$ при всех дискретных значениях трех параметров.

Соответственные программы приводятся в [2, 6]. В [2] детально изложено применение подхода к анализу возмущений энергетических систем при возмущении параметров. Изложенный метод применяется к оценке устойчивости на основе анализа поиска нулей характеристического полинома. Для системы [2] характеристическое уравнение имеет вид $1 + G(s)e^{-t_0 s} = 1 + e^{-t_0 s} / s(s+1)^2$ или $s^3 + 2s^2 + s + e^{-t_0 s} = 0$.

Нули полинома и трансцендентной функции в левой части последнего уравнения можно найти как минимум модуля функции $f(s) = s^3 + 2s^2 + s + e^{-t_0 s}$ при вариации параметра t_0 . Данный метод переносится на поиск решений систем нелинейных уравнений, которые могут содержать трансцендентные функции, при этом вместо минимума модуля ищется минимум нормы компонент зависимых переменных на многомерной сетке.

Заключение

С помощью оптимизационного алгоритма осуществляется оценка экстремального отклонения системы от ее устойчивого состояния при вариации параметров. Особенности предложенного метода являются его построение на основе сортировки, автоматичность программной локализации экстремальных значений различных решений, схема может иметь про-

извольные размеры поиска экстремумов в области определения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-07-00100).

Список литературы

1. Чезари Л. Асимптотическое поведение и устойчивость решений обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир. – 1964. – 478 с.
2. Romm Y.E., Zaika I.V. Numerical sorting-based optimization as applied to general differential and nonlinear equations // Cybernetics and Systems Analysis. – 2011. – Т. 47. № 2. – С. 316–329.
3. Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А. Метод вычисления собственных значений матриц на основе сортировки в приложении к распознаванию изображений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2006. – № 1. – С. 11.
4. Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А. Применение сортировки для поиска нулей и особенностей функций с приложением к идентификации плоских изображений: учебное пособие. – Таганрог, 2009. – 172 с.
5. Заика И.В., Тюшнякова И.А. Обзор методов сортировки // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 2, № 1(1). – С. 206–211.
6. Заика И.В. Разработка и исследование схем оптимизации на основе алгоритмов сортировки с приложением к идентификации экстремумов решений дифференциальных уравнений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог, 2007. – 19 с.
7. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных / Никлаус Вирт. – Изд-во: ДМК Пресс, 2011. – 272 с.
8. Бахвалов Н., Лапин А., Чижонков Е. Численные методы в задачах и упражнениях. – Изд-во: Бином Лаборатория знаний, 2016. – 352 с.
9. Зенков А.В. Численные методы / А.В. Зенков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 124 с.
10. Фофанов О.Б. Алгоритмы и структуры данных / О.Б. Фофанов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 126 с.
11. Ромм Я.Е., Заика И.В., Тюшнякова И.А. Локализация экстремумов и нулей функций на основе сортировки в приложении к анализу устойчивости // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–4. – С. 718–723.
12. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения / В.И. Арнольд. – М.: МЦНМО, 2012. – 344 с.
13. Шипачев В. Высшая математика / Виктор Шипачев. – Изд-во: Инфра-М, 2017. – 480 с.
14. Сухарев А.Г. Численные методы оптимизации: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 367 с.

УДК 004

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА – ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Карелин А.Н.

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: super.cascad@yandex.ru*

В статье рассматривается нормативно-правовое обеспечение реализации государственных программ по информатизации в области культуры и туризма. Для реализации государственных программ предлагается проведение работ по проектной деятельности в области информационно-инновационных проектов. Информационные технологии все шире применяются для решения самых разных вопросов в области экономики, производства и образования. Одним из таких направлений является сфера туризма и отдыха. Организация и проведение экскурсий регламентируются многочисленными нормативными документами и подзаконными актами. Приоритеты государственной политики в сфере культуры и туризма установлены стратегическими документами и нормативными правовыми актами Российской Федерации, реализация которых позволила наметить пути решения многих проблем в сфере культуры и туризма и решить некоторые из них. Реализация программ по информатизации предполагает разработку и совершенствование информационно-коммуникационных технологий в рассматриваемой отрасли. Разработка специализированного программного обеспечения и адаптация для решения прикладных задач является эффективным методом реализации данных программ. Решение задач по информатизации требует привлечения самого широкого круга специалистов из разных областей науки и культуры. Комплексный подход обеспечивает оптимальное сочетание затрачиваемых ресурсов и полученный результат. Разработанные технологии могут применять и в других областях промышленности, науки и культуры. Данные технологии обеспечивают решение самого широкого спектра социально значимых задач государственной политики.

Ключевые слова: информационные технологии, аудиогид, нормативно-правовые документы, культура, туризм, обеспечение безопасности

INFORMATIZATION OF SOCIETY – INNOVATIVE METHODS AND SOFTWARE

Karelin A.N.

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: super.cascad@yandex.ru*

The Abstract: the article deals with the normative and legal support of the implementation of state programs on information in the field of culture and tourism. For implementation of the state programs carrying out works on project activity in the field of information and innovative projects is offered. Information technologies are increasingly being used to address a wide range of economic, industrial and educational issues. One of these areas is the sphere of tourism and recreation. The organization and conduct of excursions are regulated by numerous regulations and bylaws. The priorities of the state policy in the spheres of culture and tourism are set by strategic documents and normative legal acts of the Russian Federation, the implementation of which has allowed to identify ways to solve many problems in the fields of culture and tourism and to solve some of them. Implementation of information programs involves the development and improvement of information and communication technologies in the industry. Development of specialized software and adaptation for solving applied problems is an effective method of implementing these programs. Solving problems of information requires the involvement of a wide range of experts from different fields of science and culture. An integrated approach ensures an optimal combination of inputs and outputs. The developed technologies can be applied in other fields of industry, science and culture. These technologies provide a solution to a wide range of socially important tasks of public policy.

Keywords: information technologies, audio guide, regulatory and legal documents, culture, tourism, security

Информационные технологии все шире применяются для решения самых разных вопросов в области экономики, производства и образования. Одним из таких направлений является сфера туризма и отдыха.

Организация и проведение экскурсий регламентируются многочисленными нормативными документами и подзаконными актами.

Основопологающим нормативным документом, регламентирующим туристическую деятельность в РФ, является Конституция РФ – каждый гражданин РФ имеет право на отдых [1].

Законодательство Российской Федерации о туристской деятельности состоит из

Федерального закона «Об основах туристской деятельности в РФ», принимаемых в соответствии с ним федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации [2].

Приоритеты государственной политики в сферах культуры и туризма установлены стратегическими документами и нормативными правовыми актами Российской Федерации, реализация которых позволила наметить пути решения многих проблем в сферах культуры и туризма и решить некоторые из них.

В связи с этим реализация государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 гг. (далее – Программа) определяет следующие приоритеты.

Основные приоритеты программы [3]:

– обеспечение инновационного развития отраслей культуры и туризма, вывод их на лидирующие позиции в области применения современных технологий;

– усиление присутствия учреждений культуры в цифровой среде, создание необходимых условий для активизации инвестиционной деятельности в сферах культуры и туризма;

– использование возможностей информационно-телекоммуникационной сети Интернет для презентации российской культуры, искусства и творчества народов России;

– развитие производства и проката произведений российской кинематографии;

– развитие и поддержка анимационной отрасли [3].

Для создания благоприятных условий устойчивого развития сфер культуры и туризма предполагается реализация подпрограммы «Обеспечение условий реализации государственной программы Российской Федерации Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 годы [4].

Эта подпрограмма предусматривает следующие пункты, а именно:

– реализация мер по развитию информатизации отрасли;

– поддержка приоритетных инновационных проектов;

– систематическое проведение фундаментальных и прикладных исследований в сферах культуры и туризма [4].

Государство в своих нормативных документах определяет туристскую деятельность как одну из приоритетных отраслей экономики Российской Федерации.

Важная составная часть государственной политики в области туризма это – формирование представления о Российской Федерации как стране, благоприятной для туризма [1–3].

Основные задачи органов государственной власти Российской Федерации в сфере туризма это – информационное обеспечение туризма.

Для реализации этих задач государство содействует созданию и функционированию туристских информационных центров, систем навигации и ориентирования в сфере туризма.

Одна из основных задач – это координация и направление деятельности музеев по популяризации коллекций и культурного наследия России, памятников есте-

ственной истории, материальной и духовной культуры с помощью современных компьютерных технологий в соответствии с рекомендациями [5].

Одним из эффективных инструментов реализации данной политики является туристический продукт [5, 6].

Туристский продукт формируется туроператором по его усмотрению исходя из конъюнктуры туристского рынка или по заданию туриста или иного заказчика туристского продукта (далее – иной заказчик).

Реализация туристского продукта осуществляется на основании договора, заключаемого в письменной форме, в том числе в форме электронного документа, между туроператором и туристом и (или) иным заказчиком, а в случаях, предусмотренных настоящим федеральным законом, между турагентом и туристом и (или) иным заказчиком.

Указанный договор должен соответствовать законодательству Российской Федерации, в том числе законодательству о защите прав потребителей.

Типовые формы договора о реализации туристского продукта, заключаемого между туроператором и туристом и (или) иным заказчиком, и договора о реализации туристского продукта, заключаемого между турагентом и туристом и (или) иным заказчиком, утверждаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти [3].

Одним из многочисленных ресурсов сети Интернет являются виртуальные музеи – новый динамично развивающийся феномен культуры.

Виртуальные музеи осуществляют бесплатный доступ посетителей к культурному наследию и мировым художественным достижениям.

Рейтинг посещаемости сайтов и страниц виртуальных музеев очень высок: они являются каналом распространения культурных ценностей и приобщения населения к культуре.

Феномен виртуальных музеев является новым объектом научных исследований, который в настоящее время недостаточно изучен наукой.

Техническим осуществлением данных задач может быть реализация программ и проектов по направлению реализации виртуальных музеев и аудиогидов.

Информационные технологии виртуальных музеев и электронных средства аудиогидов обеспечивают возможность реализации государственной политики в данной области деятельности [1–3].

Эти условия реализуются с помощью технических средств – электронных аудиогидов.

Составной частью аудиогuida является система распознавания QR-кодов (рис. 1) [7].



Рис. 1. Сотовый телефон – система распознавания QR-кодов

В символах QR-кода, которые воспроизводятся на экранах мобильных устройств, шифруется информация, необходимая для владельца устройства.

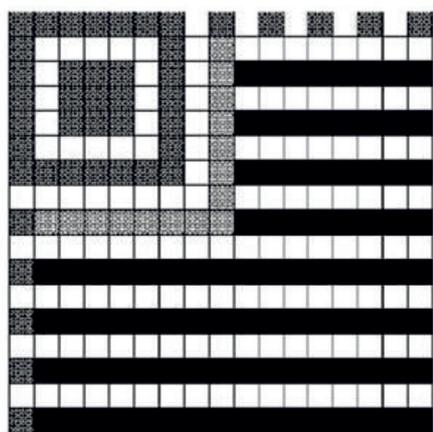
Символ QR-кода, пересылаемый на мобильный телефон (устройство) с помощью технологий сети Интернет и содержащий зашифрованную информацию (рис. 2) [8].

Преимуществом QR-кода является то, что код способен восстанавливать содержащуюся в нем информацию, даже в случае, когда определенная часть символов на изображении QR-кода повреждены или не распознаны [9].

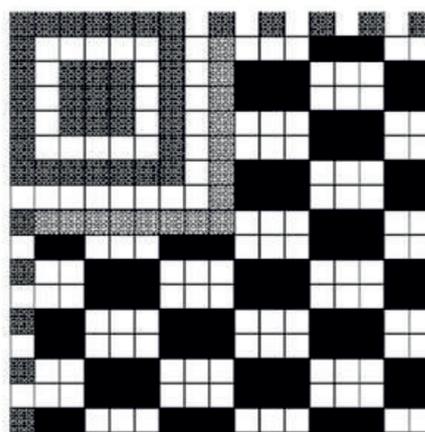
Символы QR-кода электронных дисплеев, обычно, состоят из пикселей (рис. 3).

Увеличенный фрагмент символа QR-кода, отображаемого на экране мобильного устройства (рис. 1), на котором показаны отдельные пиксели экрана.

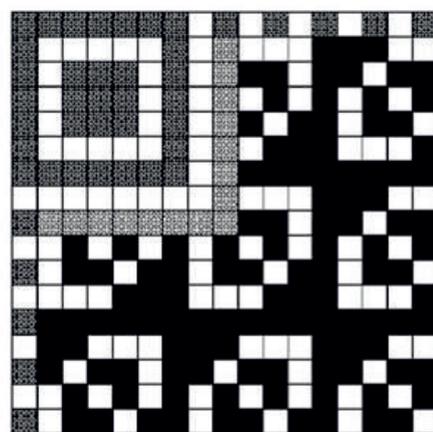
Считывание символа под углом также может привести к искажению символа, что создает трудности для некоторых мобильных устройств (рис. 3) [11].



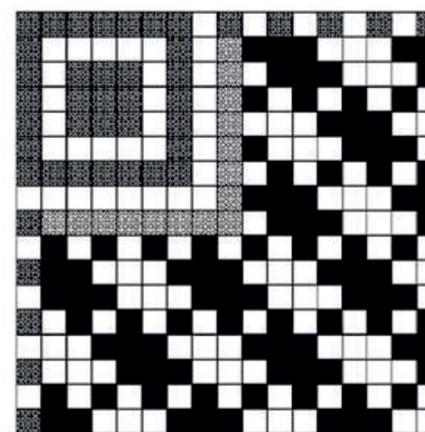
Шаблон маскировки 00



Шаблон маскировки 01



Шаблон маскировки 10



Шаблон маскировки 11

Рис. 2. Шаблоны маскировки данных, применяемых для микро кода-QR символа версии М-4 [10]

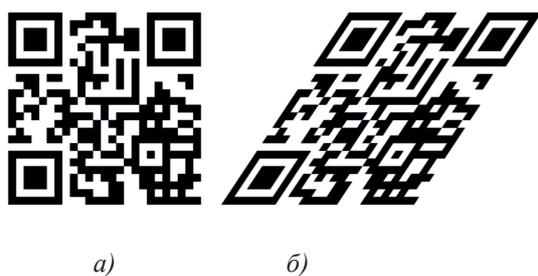


Рис. 3. Считывание символа под углом

Если мобильное устройство располагается под углом ($< 20^\circ$) к размещению символа в точке, то увеличится вероятность успешного считывания символа (режим MBR3).

Параметр «Шум свободной зоны» оценивается путем вычисления контрастных отношений зонных значений в свободной области и в области символа.

Для символик без установленной свободной зоны OZN – 0.

Средние значения определяют – на базовом полутоновом изображении проводят четыре контрольные линии, составляющие менее чем 0,5 свободной зоны или находящиеся на расстоянии двух модулей от краев символа, образующих внешние границы.

Для каждой контрольной линии определяют разность между средним значением 10% самых светлых и средним значением 10% самых темных значений на всем протяжении этих линий. Наибольшая разность значений, найденная на любой из четырех линий, является средним значением шумов (Navg).

На базовом полутоновом изображении области символа (исключая свободную зону) выбирают 10% самых темных и 10% самых светлых значений.

Savg – это разность между средним значением выбранных светлых значений и средним значением выбранных темных значений (рис. 4) [12].

Оценку параметра «Шум свободной зоны» следует проводить по классам.

Для применения этих технологий необходимо разработать специализированное программное обеспечение распознавания и адаптировать данные программы для решения данных задач.

В результате необходимо решить следующие задачи:

- изучить алгоритмы преобразования геометрических объектов на плоскости, кодирования и декодирования QR-кодов, распознавания и обработки изображений;
- алгоритмы выделения QR-кодов на изображении;
- алгоритмы, необходимые для преобразования QR-кодов к стандартному виду;
- реализовать алгоритмы декодирования QR-кода, содержащего символы ASCII;
- разработать и адаптировать программу распознавания и декодирования QR – кодов.

Необходимо рассмотреть технологии обработки изображений и кодирования/декодирования QR-кодов.

Основные нормативные документы [13–16]:
ISO/IEC 15415. Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Bar code symbol print quality test specification – Two-dimensional symbols [14].



Рис. 4. Оценка параметра «Шум свободной зоны» (элементы QR-код)

Информационные технологии – Технологии автоматической идентификации и сбора данных – Спецификация испытаний символов штрихового кода для оценки качества печати – Двумерные символы [14].

ISO/IEC 15416. Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Bar code print quality test specification – Linear symbols [15].

Информационные технологии – Технологии автоматической идентификации и сбора данных – Спецификация испытаний штрихового кода для оценки качества печати – Линейные символы [15].

ISO/IEC 19762. Information technology – Automatic identification and data capture techniques Harmonized vocabulary [16].

Информационные технологии – Технологии автоматической идентификации и сбора данных – Гармонизированный словарь [16].

Для разработки верификаторов и спецификаций различают различные режимы сканирования:

– первый режим – MQR, когда символ штрихового кода направляют на мобильное устройство или другое устройство отображения для считывания сканером QR-кода;

– второй режим – MBR, когда мобильное устройство используют для считывания с помощью встроенной фотокамеры напечатанных или отображаемых на электронном дисплее символов QR-кода.

Для распознавания QR-код подносят к преобразователю сигнала от изображения и считывания (рис. 5) [9].

С точки зрения применения представляет интерес новый многофункциональный двумерный матричный код – нанобар-код.

Для того чтобы реализовать данный проект, целесообразно применить «метод проектов». Методология «метода проекта» для решения данной задачи может быть сформулирована следующим образом.

Основная задача проекта – создание благоприятных условий для устойчивого развития сфер культуры и туризма предусматривается: реализация мер по развитию информатизации отрасли; поддержка приоритетных инновационных проектов; систематическое проведение фундаментальных и прикладных исследований в сферах культуры и туризма [2–5].

Предметная область, в которой будет запущен проект, это автоматизация обеспечения доступа к информационным ресурсам в области культурно-просветительской деятельности.

Основная идея проекта – это получение социально значимого и востребованного результата в области обеспечения доступности культурных ценностей для населения.

Создание проекта подобного типа требует решения комплекса взаимосвязанных задач (рис. 6).

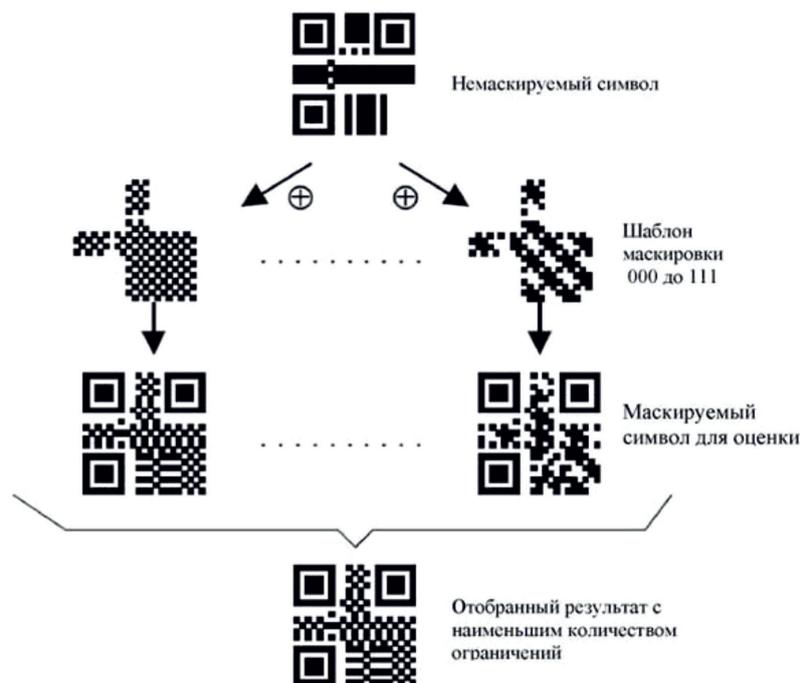


Рис. 5. QR-код – полученный результат с наименьшим количеством ограничений



Рис. 6. Интерактивная структура разработки проекта

Цель исследования – информатизация общества, разработка и продвижение информационных продуктов, создание новой социокультурной услуги – предоставления аудиогидов туристам, разработка инновационной методологии образного и наиболее полного описания объектов.

Задача научно-исследовательского проекта – это разработка программного средства для проведения экскурсий по городу с помощью мультимедийных технологий, материальное обеспечение проекта, запись экскурсий и перевод, создание туристской карты с номерами и названиями экскурсионных объектов.

Объект исследования (в общем) – процесс предоставления историко-культурной информации о городе с применением мультимедийных технологий.

Предмет исследования (тема исследования) – условия разработки мобильного приложения для процесса предоставления историко-культурной информации о городе.

Проблема исследования – поиск путей и способов создания мобильного приложения, позволяющего провести экскурсию с помощью мультимедийных технологий по городу.

В качестве *объекта исследования* также может рассматриваться город с его достопримечательностями.

Предметом исследования является история создания города.

Контент мобильного приложения состоит из информационно-коммуникационных систем: аудио-, видеозаписей, текстовых документов, изображений, геолокационной информации и данных (обеспечивающих возможность ориентации в пространстве и на местности).

Особенностью данного проекта является то, что реализуются как прикладные мультипредметные компетенции на стыке информационных технологий, знания иностранных языков, истории, музеологии и культурологии.

Проектирование включает следующие этапы:

1. Анализ потребительской актуальности проекта. Оценка социальной значимости продукта, создания многоязычной версии продукта.

2. Программное и аналитическое моделирование предметной области. Определение технических требований, разработка архитектуры приложения.

3. Разработка логической модели реализации проекта, запись аудиофайлов, ввод визуального и аудиоконтента, хранения и представления данных. Проработка дизайна внешнего вида и интерфейса приложения.

4. Интерфейс программы включает в себя диалоговое окно (выбор экскурсии), окно карты города, текущего местоположения пользователя и маршрут.

5. В определенной точке маршрута автоматически включается воспроизведение аудиофайла с экскурсией и текстовой информации о текущей достопримечательности.

Текущее местоположение пользователя определяется автоматически с помощью GPS-навигации.

Местонахождение пользователя визуализируется с помощью карт Google.

Таким образом, предложен и разработан проект для реализации высокотехнологических инновационных продуктов нового поколения.

Список литературы

1. Конституция Российской Федерации (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ). URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/ (дата обращения: 19.04.2018).
2. Федеральный закон от 24.11.1996 N 132-ФЗ (ред. от 28.12.2016) «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации». URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/ (дата обращения: 19.04.2018).
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 годы (Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 годы (с изменениями на 30 марта 2018 года) / Правительство Российской Федерации, Постановление от 15 апреля 2014 года N 317 Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 годы). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162185/ (дата обращения: 19.04.2018).
4. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 317 (с изменениями на 30 марта 2018 года) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013–2020 годы». URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162185/ (дата обращения: 19.04.2018).
5. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 года № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики» и приказ Министерства культуры РФ от 19 июля 2013 года № 760 «Об утверждении плана деятельности Министерства культуры Российской Федерации на период до 2018 года». URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/396486/> (дата обращения: 19.04.2018).
6. Распоряжение Правительства Москвы от 02.04.2008 N 660-ПП «О концепции Городской целевой программы мероприятий по созданию туристско-рекреационных зон в Восточном административном округе города Москвы на 2009–2011 гг.». URL: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/19676220/> (дата обращения: 19.04.2018).
7. Мобильный смартфон показаны сканер QR-код – Стоковое изображение. URL: <https://ru.depositphotos.com/10117452/stock-photo-mobile-smart-phone-showing-qr.html> (дата обращения: 19.04.2018).
8. Информационные технологии Методы автоматической идентификации и выделения данных Спецификация символики штрихового кода QR 2005 СТ РК ИСО/МЭК 18004-2009. URL: <https://bestprofi.com/document/519473379?1> (дата обращения: 19.04.2018).
9. Печатайте QR (и другие 2D) коды на упаковке и этикетках правильно. URL: http://www.paketoff.kiev.ua/index.php?page=pechat_qr_koda (дата обращения: 19.04.2018).
10. Информационные технологии Методы автоматической идентификации и выделения данных Спецификация символики штрихового кода QR 2005 СТ РК ИСО/МЭК 18004-2009. URL: <https://bestprofi.com/document/519473379?0> (дата обращения: 19.04.2018).
11. Номинация лучший музей. URL: <http://grazit.ru/> (дата обращения: 19.04.2018).
12. Печатайте QR (и другие 2D) коды на упаковке и этикетках правильно. URL: http://www.paketoff.kiev.ua/index.php?page=pechat_qr_koda (дата обращения: 19.04.2018).
13. ISO/IEC 18004:2015 Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- QR Code bar code symbology specification. URL: <https://www.iso.org/standard/30789.html> (дата обращения: 19.04.2018).
14. ISO/IEC 15415:2011 Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Bar code symbol print quality test specification -- Two-dimensional symbols. URL: <https://www.iso.org/standard/54716.html> (дата обращения: 19.04.2018).
15. ISO/IEC 15416:2016 Automatic identification and data capture techniques -- Bar code print quality test specification -- Linear symbols. URL: <https://www.iso.org/standard/65577.html> (дата обращения: 19.04.2018).
16. ISO/IEC 19762:2016 Information technology -- Automatic identification and data capture (AIDC) techniques -- Harmonized vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/61301.html> (дата обращения: 19.04.2018).

УДК 551.46.08/.09

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ В СЕГМЕНТЕ ПРИДОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹Лискин В.А., ^{1,2}Римский-Корсаков Н.А.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Организация мониторинга акваторий в настоящее время испытывает большие затруднения из-за ограниченной линейки необходимых средств для выявления состояния прибрежных акваторий путем выполнения синхронных измерений в течение продолжительного времени. В морях Российской Федерации, в особенности в районах, подверженных сезонным гидрометеорологическим и ледовым явлениям, возможности натурных наблюдений и научных исследований, включая спутниковую океанологию, ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга на основе распределенных сетей долговременных автономных станций с необходимым набором измерительных средств и дистанционной передачей результатов измерений. Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного и количественного массообмена на поверхности раздела «вода – дно» с использованием донных гидрохимических станций. Донные станции нового поколения позволяют качественно и количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. Получаемые таким образом данные являются фундаментом для изучения придонного химического массообмена, ответственного за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, для оценки и прогнозирования антропогенного воздействия на экологию, для изучения и оценки месторождений полезных ископаемых на основе анализа углеводородных эманаций. Для оперативного контроля и управления режимами работы станций используются гидроакустическая телеметрия и микропроцессорные технологии. Построение станции основано на использовании ряда унифицированных измерительных модулей – интеллектуальных датчиков, которые объединяются в единую информационную сеть.

Ключевые слова: мониторинг, донные станции, гидрохимический модуль, гидроакустическая телеметрия

METHODS AND MEANS OF MONITORING OF AQUATORIES IN THE SEGMENT OF NEAR THE BOTTOM RESEARCH

¹Liskin V.A., ^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Organization of monitoring of the water areas is currently experiencing great difficulties due to a limited range of necessary means, to identify the state of the coastal waters, by performing synchronous measurements for a long time. In the seas of the Russian Federation, especially in areas prone to seasonal hydrometeorological and ice phenomena, the possibilities of field observations and scientific research, including satellite oceanology, are limited. It is possible to resolve the current situation by organizing monitoring on the basis of distributed networks of long-term autonomous stations with the necessary set of measuring aids and remote transmission of measurement results. A special place in the monitoring of water areas is studying the processes of qualitative and quantitative mass transfer at the water-bottom interface using bottom hydrochemical stations. Bottom stations of the new generation allow qualitative and quantitative assessment of chemical exchange at the «water-bottom» boundary by direct measurements of the fluxes of dissolved and gaseous components. The data obtained in this way are the foundation for the study of bottom chemical mass transfer, responsible for the sedimentation and bio-productivity of the water areas, for the assessment and prediction of anthropogenic impact on the environment, for the study and evaluation of mineral deposits based on the analysis of hydrocarbon emanations. For on-line monitoring and control of the operating modes of the stations, hydroacoustic telemetry and microprocessor technologies are used. The construction of the station is based on the use of a number of unified measuring modules – intelligent sensors, which are combined into a single information network.

Keywords: monitoring, bottom stations, hydrochemical module, hydroacoustic telemetry

Организация мониторинга акваторий в настоящее время испытывает большие затруднения из-за ограниченной линейки необходимых технических средств для выявления состояния прибрежных вод путем выполнения синхронных измерений в течение продолжительного времени. В морях Российской Федерации, в особенности в районах, подверженных сезонным ледовым явлениям, возможности натурных наблюдений и научных исследований, вклю-

чая спутниковую океанологию, в настоящее время ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга на основе распределенных сетей долговременных автономных станций, обладающих необходимым набором измерительных средств и средств дистанционной передачи результатов измерений на береговые или мобильные (суда) посты.

Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного

и количественного массообмена на поверхности раздела «вода – дно». Газы и другие химические компоненты, выделяемые и поглощаемые донными отложениями, являются отражением постседиментационных процессов, процессов, связанных с формированием месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, а также результатов антропогенного воздействия на среду. Они могут быть зафиксированы в растворенном или газообразном состоянии в придонной воде. На этом основан метод донных камер, позволяющий количественно оценить химический обмен на границе «вода – дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов [1, 2].

Постановка задачи и состояние проблемы

Создание распределенной сети донных геохимических станций поколения позволяющей при разумных затратах:

- охватить большие акватории и обеспечить длительные синхронные измерения с необходимой пространственной и временной дискретностью;
- обеспечить передачу измеренных данных дистанционным способом;
- выполнять измерения подо льдом, с длительным накоплением результатов и последующей их передачей.

Таким образом, проектирование донных и приповерхностных станций является актуальной задачей, так как в настоящее время отечественные серийные образцы отсутствуют. Приобретение импортных образцов, в связи с их высокой стоимостью проблематично, что снижает эффективность процесса исследований и освоения (экология, ресурсы, коммуникации, безопасность) акваторий, попадающих в зону интересов России, и приводит к фактическому вытеснению России из международных океанологических, в том числе арктических проектов. Важно, что создание многоцелевых вариантов автономных океанологических станций нового поколения представляет коммерческий интерес в плане их тиражирования, реализации внутри страны и за рубежом, а также обеспечения занятостью квалифицированных инженерных и рабочих кадров.

В предыдущие годы в нашей стране были разработаны:

- автономная донная станция в упрощенном недорогом варианте, позволяющая измерять температуру, электропроводность, давление воды, направление и скорость течения у дна с передачей результатов на борт судна по гидроакустическому каналу связи с глубин до 200 м (ИО РАН, 2002 г.);
- автономная экологическая стационарная станция (АПС-ЭКО) для определения

фоновых уровней загрязнения и измерения гидрофизических параметров водных масс до глубины 200 м и передачи данных через поверхностный радиобуй (ЦНИИ «Гидроприбор», 1997 г.);

– в 1999г. Институтом океанологии РАН при поддержке Миннауки РФ была создана и испытана отечественная донная гидрохимическая мини-станция, которая продемонстрировала работоспособность на глубинах до 50 м. К 2002 г. были разработаны отдельные узлы новой станции с рабочей глубиной до 200 м.

Наиболее совершенными зарубежными образцами океанологических станций являются:

- многопараметровая мониторинговая станция CTD-F фирмы «Cheisea Technologies Group» с глубиной измерений до 60 м и съемом измеренных данных по кабелю длиной 1200 м (2000 г.);
- многопараметровая станция сбора данных CTD-S4 фирмы «Inter Ocean systems, inc» с глубиной измерений до 70 м и считыванием измеренных данных после подъема станции на борт судна (2000 г.);
- автономный измеритель течений, температуры, электропроводности и давления воды до 3500 м UCM-60 фирмы «General Oceanics» и считыванием измеренных данных после подъема станции на борт судна (2001 г.).

Наиболее существенными недостатками всех зарубежных автономных многоцелевых океанологических станций являются:

- необходимость использования крупных специализированных научно-исследовательских судов;
- высокая заявляемая стоимость (более \$100000), как правило, без учета стоимости якорной системы, размыкателей троса, кабелей для съема измеренных данных, сигнальных радиобуев и т.п.;
- большая стоимость тарирования станций перед постановкой в море, так как отдельно от станций измерительные датчики не тарируются.

Применительно к мониторингу морей Российской Федерации, подверженных сезонным ледовым явлениям, одним из основных требований является наличие на станции гидроакустического канала связи для передачи измеренных данных на береговой пост и далее на спутник, а также для контроля и управления режимами работы станции. Высокая вероятность сильного волнения, особенно в северных морях, существенно снижает надежность успешной передачи измеренных данных через радиобуй и тем более через кабель. Эти особенности затрудняют использование станций без гидроакустического канала связи [3, 4].

*Обоснование предлагаемого
решения задачи*

При создании автономных донных станций нового поколения, для мониторинга гидрофизических и гидрохимических параметров морской среды с использованием гидроакустической телеметрии и реализации энергосберегающих технологий, логично использовать модульный принцип построения станции на основе унифицированного ряда измерительных ячеек – интеллектуальных модулей, которые объединяются в единую информационную сеть. Каждый модуль является законченным автономным прибором, исполняющим свою функцию в сети (измерение определенного параметра, размыкание-замыкание, гидроакустическая связь и т.д.) по команде «ведущего», которым может быть назначен любой из них. Модули объединяются в единый подводный комплекс – станцию, которая может быть установлена на дне либо подвешена в толще воды с помощью якорной системы, притопленного или поверхностного буя. Кроме того, модульный комплекс может быть использован в качестве многопараметрического гидрофизического зонда с неограниченной глубиной погружения. Этот же комплекс, будучи объединен с гидрохимическим блоком, а также с боксами для изучения потока вещества через поверхность раздела «вода – грунт», составляет донную гидрохимическую станцию. Гидрохимический блок представляет собой набор из двадцати отборников проб воды с автономным управляющим блоком, осуществляющими программированный отбор проб. Боксы, реализующие боксовый метод, создаются из специальных синтетических материалов, исключающих влияние коррозии, газовыделения или растворения элементов конструкции.

*Сравнение предлагаемых решений
с достижениями мировой
и отечественной науки*

Характеристики многоцелевой автономной донной станции приведены в таблице, в сравнении с характеристиками ранее разработанных отечественных и зарубежных образцов.

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что многопараметрическая донная станция обладает рядом преимуществ в сравнении с другими станциями по перечню измеряемых параметров, по глубине измерений и количеству измерительных модулей. Следует отметить, что станция имеет высокоскоростной гидроакустический канал передачи данных

с дальностью действия до 2000 м, а также допускает установку любого набора измерительных модулей и программирование их работы непосредственно перед постановкой в море. Также имеется возможность тарировки измерительных модулей – каждого в отдельности. Следует отметить, что станция оснащается модулем измерения концентрации растворенного метана (CH_4). Таким образом, можно утверждать то, что станция не имеет аналогов в среде известных лучших образцов.

Донная станция представляет собой обтекаемый блок плавучести из сферопластика, со стабилизирующей плоскостью. Габаритные размеры блока 350x350x350 мм. В нем предусмотрены 20 вертикальных отверстий для установки цилиндрических контейнеров с измерительными модулями (1–3 измерительных канала в каждом модуле) и техническими модулями (гидроакустический канал связи, размыкатель троса, проблесковый/радиомаяк и др.). Контейнеры однотипны (диаметр 50 мм, длина 250 мм). Все измерительные и технические модули в составе станции объединены в единую информационную сеть. Для управления работой станции может быть назначен любой из модулей. Программа работы станции запускается (или корректируется) непосредственно перед её постановкой в море или после постановки по гидроакустическому каналу. Передача данных измерений со станции после их накопления за любой срок производится по запросу, сделанному с берегового поста, судна обеспечения или информационного буя по гидроакустическому каналу связи, с последующей их трансляцией через спутник в центр обработки океанологической информации ИО РАН. После окончания срока работы автоматически или по команде станция всплывает на поверхность водоема. После всплытия станции на поверхность, автоматически включается проблесковый огонь и радиомаяк.

Гидрохимический модуль станции представляет собой пространственную раму (1000x1000x300 мм) с закрепленными на ней боксами (камерами). На раме установлены кассеты пробоотборников, исполнительные механизмы, источники питания, другие сенсоры и вспомогательное оборудование. Основным назначением гидрохимического блока (модуля) станции является: отбор проб в придонном слое по заданной программе в герметичные пробоотборники, с одновременным измерением гидрохимических параметров воды, с целью оценки потоков газов и других химических компонентов в придонной области водоема.

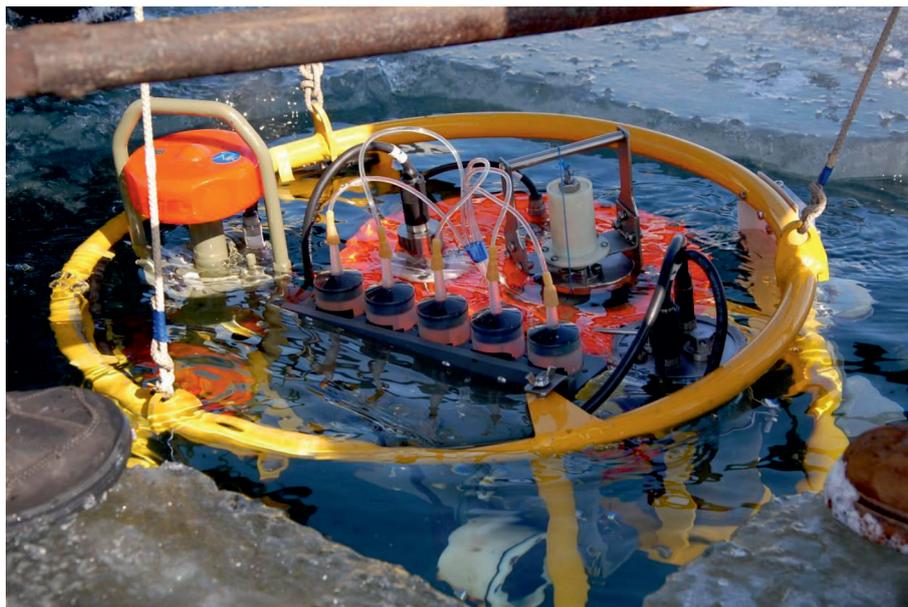
Характеристики станций

	Многоцелевая станция ИО РАН	Донная станция ИО РАН	АПС-ЭКО «Гидро-прибор»	«CTD-F» CheiSea Technology Group	«CTD-S4» Inter Ocean Systems, inc.	VCM-60 General Oceanics
Глубина измерений, м	2000	200	200	60	70	3500
Автономность	1,2 года	до 1 года	1 год	Зависит от программы	Зависит от программы	Зависит от программы
Способ передачи данных	ГА-канал	ГА-канал	Кабель или радиобуй	Кабель 1200 м или после подъема	После подъема	После подъема
Кол-во измерительных модулей, шт	до 36	5	12	До 20	До 10	До 8
Объем памяти, Mbytes	256	2	–	16	20	16
Интерфейс	RS485	RS485	–	RS422	RS232	RS232
Масса, кг	10–50 (от кол-ва модулей)	50	500–2000	6–8	10–20 (от кол. модулей)	10–20 (от кол. модулей)
Длина, м	0,35	0,1	5,0	0,4	1,0	1,0
Измеряемые параметры: диапазон/погрешность						
Давление, бар/%FS	$\frac{0-200}{0,1}$	$\frac{0-20}{0,1}$	$\frac{0-20}{0,1}$	$\frac{0-60}{0,02}$	$\frac{0-100}{0,15}$	$\frac{10-350}{0,2}$
Температура, °C	$\frac{-2+40}{0,005}$	$\frac{-2+35}{0,01}$	$\frac{-2+30}{0,1}$	$\frac{-2+35}{0,005}$	$\frac{-5+45}{0,02}$	$\frac{-5+45}{0,1}$
Электропроводность, мСм/м	$\frac{1,2-72}{0,005}$	$\frac{2-65}{0,02}$	неизв.	$\frac{0-70}{0,005}$	$\frac{1-70}{0,02}$	$\frac{2-74}{0,06}$
Раств. кислород O ₂ , мл/л	$\frac{0-12}{0,25}$	нет	неизв.	нет	нет	нет
РН, ед	$\frac{2-12}{0,05}$	$\frac{5-10}{0,05}$	$\frac{3-11}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{2-12}{0,5}$	нет
Раств. метан CH ₄ , мл/л	$\frac{0-30}{0,001}$	нет	неизв.	нет	нет	нет
Напр. теч., град	$\frac{0-360}{2}$	$\frac{0-360}{5}$	$\frac{0-360}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{0-360}{2}$	$\frac{0-360}{2}$
Скор. теч, см/с	$\frac{0-500}{2}$	$\frac{0-200}{5}$	$\frac{0-150}{\text{неизв.}}$	нет	$\frac{0-350}{2}$	$\frac{0-600}{2}$

Уникальность гидрохимического донного модуля заключается в его конструкции, позволяющей при постановке на дно нижними кромками измерительного бокса изолировать внутренний объем воды от внешней среды и проводить отбор проб из самого бокса. При этом обеспечивается циркуляция воды в течение эксперимента со скоростью, близкой к скорости придонной циркуляции, что осуществляется с помощью специального перемешивающего устройства. В модуле применен дополнительный бокс для оценки биохимического фона придонной воды, а также гидрохиновые контейнеры для корректировки раз-

личия циркуляции воды снаружи и внутри боксов, что расширяет возможности боксового метода. Подобные подходы являются оригинальными и использованы в отечественной практике впервые.

Гидрохимический модуль станции представляет собой пространственную раму из стали (рисунок), на которой монтируются ряд подсистем: два винипластовых измерительных бокса, кассета из 20-ти пробоотборников, микропроцессорный измерительно-управляющий модуль с блоком памяти, блок питания, система спуска-подъема станции, с размыкателем троса, блок гидрофизических измерительных модулей [5–7].



Гидрохимическая станция (МГС-1), разработанная в ИО РАН, в процессе подледной постановки. В центре красная крышка рабочего бокса с устройством перемешивания и оптронными датчиками содержания кислорода. Перед боксом автономный блок с пятью отборниками проб воды. Внизу, под водой, виден белый корпус двигателя привода механизма срабатывания отборников проб воды. Слева блок гидрофизических измерителей параметров среды, с головкой доплеровского измерителя скорости и направления течения красного цвета

Применение и планируемые результаты

Многоцелевая автономная гидрохимическая донная станция с дистанционным считыванием измеренных данных предназначена для мониторинга акваторий, в том числе подверженных сезонным ледовым явлениям и сильному волнению. Измеренные с её помощью данные до глубин более 2000 м крайне необходимы для изучения сезонной, синоптической, мезо- и микро- масштабной изменчивости водных масс, построения и использования диагностических и прогностических моделей акваторий, для обеспечения хозяйственной деятельности (добыча минеральных и био-ресурсов, строительство гидротехнических сооружений, природоохранная деятельность) и решения оборонных задач.

Данные, собираемые донными гидрохимическими станциями, являются фундаментом для изучения процессов химического массообмена у дна, ответственных за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, оценки антропогенного воздействия на среду, прогнозирования, изучения и оценки месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа на основе анализа углеродородных эманаций.

Благодаря оригинальной возможности проведения синхронных измерений в зара-

нее выбранных точках длительное время, данные автономных станций при мониторинге позволят применять экономичные схемы численного моделирования, свободные от сложных обратных задач восстановления полей, что позволит реально изучать и прогнозировать процессы синоптической и мезомасштабной изменчивости водных масс, включая положение фронтальных зон, вихрей и линз.

Заключение

Разработка и изготовление многоцелевой донной автономной станции модульной конструкции нового поколения с неограниченной глубиной погружения допускает применение ее в нескольких вариантах. При этом будут использоваться уже разработанные методы создания океанологической техники, образцы которой на протяжении многих лет успешно применяются в разнообразных исследовательских проектах по фундаментальной и прикладной тематике, в том числе в международных экспериментах. При создании донной станции будет использована концепция «интеллектуальных датчиков» и модульный принцип, позволяющие компоновать ее в нескольких вариантах: как донную гидрофизическую, донную гидрохимическую или притопленную гидрофизическую станцию. Разрабатывается структура

и конструкция всех элементов станции: унифицированные микроэлектронные схемы и микропроцессорные узлы, конструкционные узлы измерительных модулей, гидроакустический комплекс для передачи данных, интеллектуальный комплекс управления работой станции, накопления и обработки измеренных данных, оборудование для постановки и подъема станции.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект № P20 а 17-05-41041) и РНФ (проект 14-50-00095).

Список литературы

1. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 427. № 6. – С. 821–825.

2. Вершинин А.В., Горницкий А.Б., Егоров А.В., Розанов А.Г. Методика изучения химического обмена через границу вода – осадок в открытой системе морского дна // Океанология. – 1994. – Т. 34. № 1. – С. 139–145.

3. Вайнерман М.И., Минин М.В., Пономарев Л.О., Эделев О.К. Многофункциональная подводная станция, обеспечивающая выполнение поисковых, научно-исследовательских работ, а также обследование грунтов при работе на глубоководных шельфовых месторождениях // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т. 2. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2011. – С. 28–30.

4. Егоров А.В., Рожков А.Н. Формирование залежей газовых гидратов в подводных грязевых вулканах // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2010. – № 5. – С. 103–113.

5. Розанов А.Г., Вершинин А.В., Егоров А.В. Исследование химического обмена на границе вода – дно в Голубой бухте Черного моря // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. № 3. – С. 341–350.

6. Суконкин С.Я. Технология подводных исследований и поисковых работ, подводные аппараты и роботы // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». – Т. 2. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2011. – С. 20–21.

7. Черевко И.В., Розанов А.Г. Лендеры в шведских фьордах для исследования химического обмена на границе вода – дно // Материалы Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». – Т. 1. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М., 2013. – С. 102–104.

УДК 004.032.26:004.932

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Редько А.В., Рыбкин С.В.

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, e-mail: a.redko4@gmail.com*

В данной статье была рассмотрена модель для решения задачи реконструкции трехмерного объекта по изображениям с различных ракурсов. Разработанная модель представляет собой нейронную сеть с многослойной архитектурой, в основе которой лежит рекуррентная сеть типа LSTM (Long Short Term Memory). Представлена архитектура многослойной нейронной сети, используемой для решения задачи реконструкции. Подробно описаны основные компоненты модели: сверточная нейронная сеть, используемая для кодирования 2D изображений в вектор более низкой размерности, рекуррентная LSTM нейронная сеть, декодирующая нейронная сеть на основе сверточной архитектуры, преобразующая скрытое состояние LSTM сети в трехмерную воксельную модель. Приведено описание реализации рассматриваемой модели с использованием языка Python и библиотеки Theano. Отмечены особенности процесса реконструкции при использовании нейронных сетей LSTM типа. Выполнен анализ качества реконструкции трехмерных объектов, выполненной при помощи предложенной модели. Приведено описание метрик, которые использовались для оценки качества реконструкции. Рассмотрена зависимость качества реконструкции от различных конфигураций LSTM-сети. Указаны основные преимущества и недостатки предложенной модели реконструкции трехмерных моделей по изображениям с различных ракурсов.

Ключевые слова: реконструкция трехмерных сцен, 3D модель, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, LSTM-сети

3D OBJECT RECONSTRUCTION USING RECURRENT NEURAL NETWORK

Redko A.V., Rybkin S.V.

*Kaluga branch of the Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education
«Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)»,
Kaluga, e-mail: a.redko4@gmail.com*

In this article, we describe a model designed to solve the Multiview 3D object reconstruction problem. The proposed model is a neural network that has a multilayer architecture and it is based on a LSTM network. We describe the architecture of the multilayer neural network used to solve the reconstruction problem. All main components of the network are showed in details: a convolutional neural network for encoding 2D images to a low-dimension feature vector, a recurrent LSTM network and a deconvolutional neural network that is used to decode hidden state of the LSTM network in order to obtain a 3D object. The specifics of the reconstructions process using LSTM neural network is considered. We made the analysis of the 3D reconstruction quality. Two metrics to estimate the reconstruction quality are described. We consider the quality of the reconstruction depending on different configuration of the LSTM network. The main advantages and disadvantages of the model are showed.

Keywords: 3D reconstruction, 3D model convolutional neural network, recurrent neural network, LSTM network

Получение трехмерной формы объекта по его изображениям с различных ракурсов является перспективным способом быстрого и качественного построения 3D моделей, которой можно найти множество различных областей применения [1–4].

Реконструкция трехмерных объектов по изображениям – это процесс получения 3D-модели объекта по набору его изображений, выполненных с различных ракурсов. В данной статье предлагается модель решения задачи реконструкции. Рассматриваемая модель представляет собой многослойную нейронную сеть, в основе которой лежит рекуррентная LSTM сеть.

*Архитектура нейронной сети
для реконструкции трехмерных сцен*

Для решения задачи реконструкции трехмерных сцен используется нейронная

сеть. Входными данными для нейронной сети является набор изображений трехмерного объекта с различных ракурсов. Выходом нейронной сети будет являться трехмерная модель.

Нейронная сеть состоит из трех основных компонентов:

- сверточная нейронная сеть для 2D изображений (Кодирующая нейронная сеть) [5, 6];
- рекуррентная Long Short Term Memory (LSTM) нейронная сеть [7–9];
- декодирующая нейронная сеть на основе сверточной архитектуры [5].

Принимая на вход одно или несколько изображений объекта с произвольных ракурсов, сверточная нейронная сеть сначала кодирует каждое входное изображение x в вектор низкой размерности $\tau(x)$. Затем данный закодированный вектор передается

на полносвязный слой. Выход полносвязного слоя соединен со входом рекуррентной LSTM нейронной сети, которая обновляет внутреннее состояние ячеек. На последнем этапе декодирующая нейронная сеть декодирует скрытые состояния блоков LSTM и генерирует трехмерную воксельную реконструкцию. Общая схема модели приведена на рис. 1.

Кодирующая сверточная нейронная сеть

Для преобразования изображения в вектор атрибутов используется многослойная сверточная нейронная сеть, структура которой изображена на рис. 2.

На вход подается RGB изображение размером 127x127 пикселей. Нейронная сеть состоит из 6 стандартных сверточных слоев. После каждого слоя свертки идет субдискретизирующий слой. В качестве функции активации для сверточных слоев исполь-

зуется линейный выпрямитель с утечкой (Leaky Rectified Linear Unit), который задается следующим образом:

$$LeakyReLU(x) = \begin{cases} \alpha x, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases},$$

где α – малая константа.

Выход кодирующей сети передается на вход полносвязного слоя, который сжимает выходное значение до вектора атрибутов t размерностью 1024.

Рекуррентная LSTM нейронная сеть

Центральной частью реконструкции является рекуррентная нейронная сеть, которая позволяет модели «запомнить» ту часть объекта, которую она уже «видела», и обновлять свою память, когда появляются новые детали объекта.

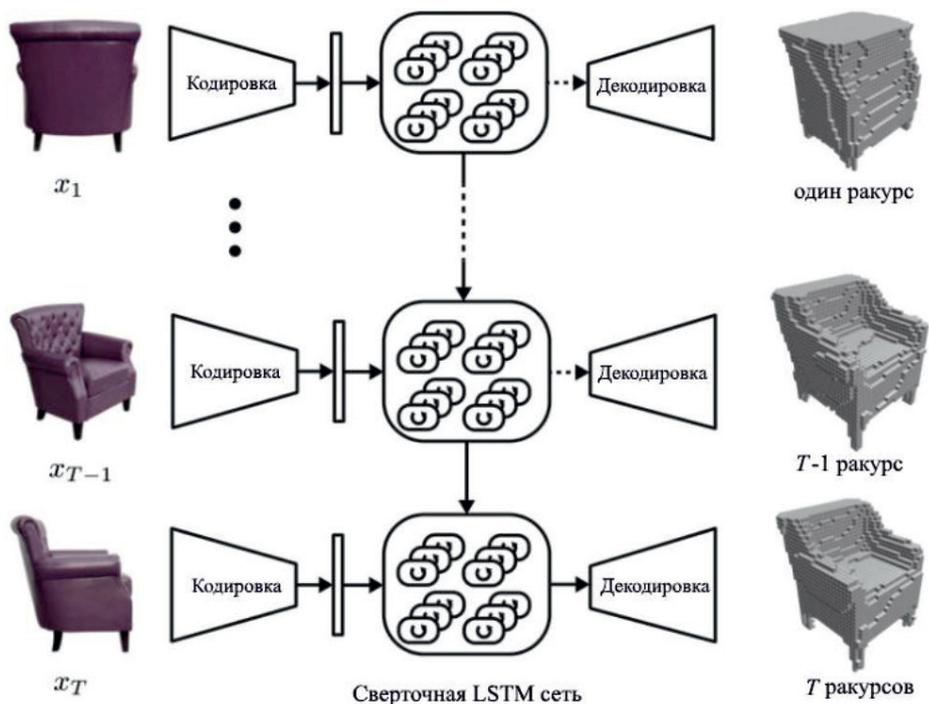


Рис. 1. Схема используемой модели реконструкции

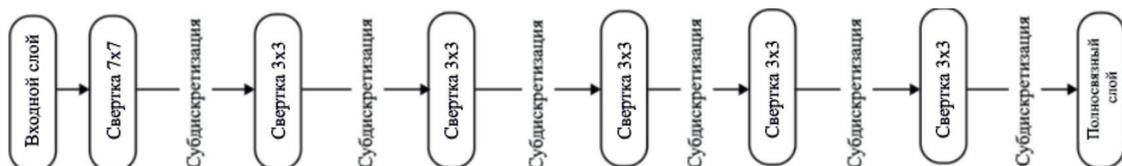


Рис. 2. Кодирующая сверточная нейронная сеть

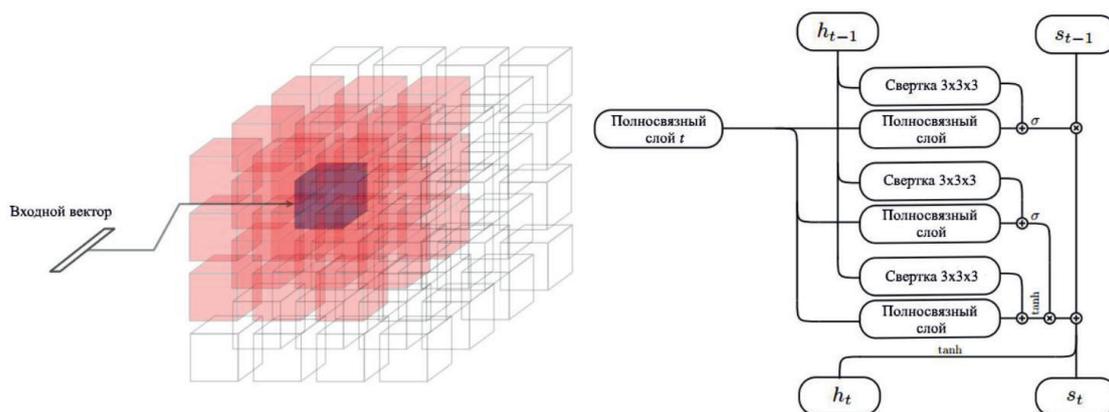


Рис. 3. Структура реконструирующей рекуррентной нейронной сети

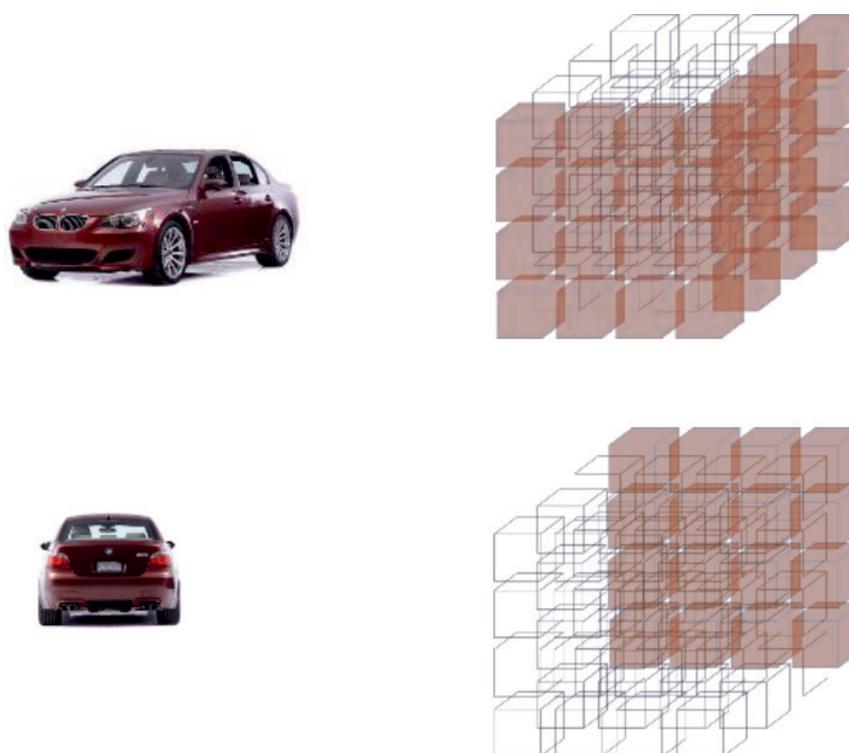


Рис. 4. Обновление состояния блоков, отвечающих только за определенный ракурс объекта

Модули LSTM организованы в трехмерную сетку размером $4 \times 4 \times 4$. Использование классической архитектуры LSTM для выходного пространства такой большой размерности достаточно сложно. Поэтому используемая нейронная сеть отличается от стандартной LSTM сети применением сверточных слоев (рис. 3). Каждый из модулей сети отвечает за реконструкцию конкретной части конечного объекта.

Каждый модуль имеет независимое скрытое состояние $h_t(i, j, k)$ и запоминаемое состояние c_t . Для сокращения количе-

ства параметров обучения из классического LSTM-блока [9] был убран выходной фильтр. Вместо этого выходное значение сразу передается к следующему блоку без изменений.

$$f_t = \sigma(W_f \tau(x_t) + U_f h_{t-1} + b_f),$$

$$i_t = \sigma_g(W_i \tau(x_t) + U_i h_{t-1} + b_i),$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \sigma_c(W_c \tau(x_t) + U_c h_{t-1} + b_c),$$

$$h_t = \sigma_h(c_t).$$

Интуитивно такая конфигурация позволяет блоку LSTM-сети обрабатывать несоответствие между конкретным предсказываемым участком реконструкции и моделью реального объекта, так что каждый блок учится восстанавливать одну область пространства воксела вместо того, чтобы реконструировать все пространство (рис. 4).

Кроме того, в классической LSTM сети все модули соединены друг с другом последовательно [9]. Это значит, что на текущее состояние h_t оказывают влияние все h_{t-1} элементы. В используемой архитектуре влияние на скрытое состояние оказывают только элементы, находящиеся по соседству с текущим. Количество соседей определяется размерностью используемого ядра свертки.

Декодирующая нейронная сеть

На последнем этапе используется декодирующая нейронная сеть, задачей которой является преобразование скрытого состояния (размерностью $4 \times 4 \times 4$) к более высокому выходному разрешению ($32 \times 32 \times 32$). Количество слоёв свертки определяется требуемым в результате разрешением трехмерной модели.

Структура декодирующей нейронной сети изображена на рис. 5.

В используемой модели применяется 5 сверточных слоёв. После последнего сверточного слоя результат, представляющий собой вектор $v \in R^{4 \times 4 \times 4 \times 2}$, преобразуется к трехмерной матрице вероятности занятости вокселем каждой ячейки (i, j, k) . Данное преобразование выполняется с помощью функции softmax, применяемой к каждому вокселю:

$$\text{softmax}(v_i) = \frac{e^{v_i}}{\sum_j e^{v_j}}.$$

При использовании данной функции суммирование ведется по всем нейронам слоя сети. Такой выбор обеспечивает сумму выходов слоя, равную единице при любых значениях входа x и позволяет минимизировать сумму перекрестных энтропий.

Функция потерь нейронной сети

Функция потерь для модели нейронной сети определяется как сумма перекрестных энтропий всех вокселей:

$$L(X, y) = \sum_{i,j,k} y_{(i,j,k)} \log(p_{(i,j,k)}) + (1 - y_{(i,j,k)}) \log(1 - p_{(i,j,k)}),$$

где X – множество входных изображений, $y_{(i,j,k)}$ – соответствующее истинное значение

занятости вокселя, $p_{(i,j,k)}$ – предсказываемая вероятность занятости вокселя.

Реализация

Для реализации модели нейронной сети использовалась библиотека Theano [10]. Для обучения сети использовались 3D модели, на основе которых генерировались входные изображения и выходные сетки вокселей. Все ракурсы выбирались случайно. В качестве входных использовались изображения размером 127×127 , размер выходной сетки вокселей – $32 \times 32 \times 32$.

Исходные 3D модели и их изображения были взяты из базы данных ShapeNet. Набор данных был разделен на два подмножества: 80% данных использовалось для обучения, 20% для тестирования сети. Для слоя LeakyReLU использовался коэффициент α , равный 0,1. Для обучения использовался метод стохастического градиентного спуска [5].

Оценка качества реконструкции

На рис. 6 приведены результаты реконструкции для некоторых моделей.

Для оценки качества реконструкции использовались две метрики. В качестве основной использовалась метрика Intersection-over-Union, равная отношению количества вокселей, получаемых при пересечении результата реконструкции с исходной моделью, к количеству вокселей, получаемых при объединении результата с исходной моделью.

$$IoU = \frac{\sum_{i,j,k} [I(p_{(i,j,k)} > t) I(y_{(i,j,k)})]}{\sum_{i,j,k} [I(p_{(i,j,k)} > t) + I(y_{(i,j,k)})]},$$

где I – индикаторная функция, t – порог вероятности, при котором считается, что воксель должен быть покрашен, $p_{(i,j,k)}$ – вероятность закраски вокселя (результат реконструкции), $y_{(i,j,k)}$ – закраска вокселя в исходной модели.

Чем больше значение функции IoU, тем более точная модель была получена в результате реконструкции.

В качестве второй метрики использовалась сумма перекрестных энтропий вокселей:

$$L(X, y) = \sum_{i,j,k} y_{(i,j,k)} \log(p_{(i,j,k)}) + (1 - y_{(i,j,k)}) \log(1 - p_{(i,j,k)}).$$

Чем меньше значение данной метрики, тем выше качество реконструкции.

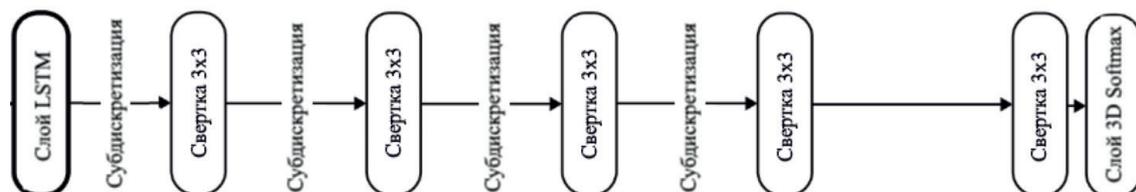


Рис. 5. Декодирующая нейронная сеть

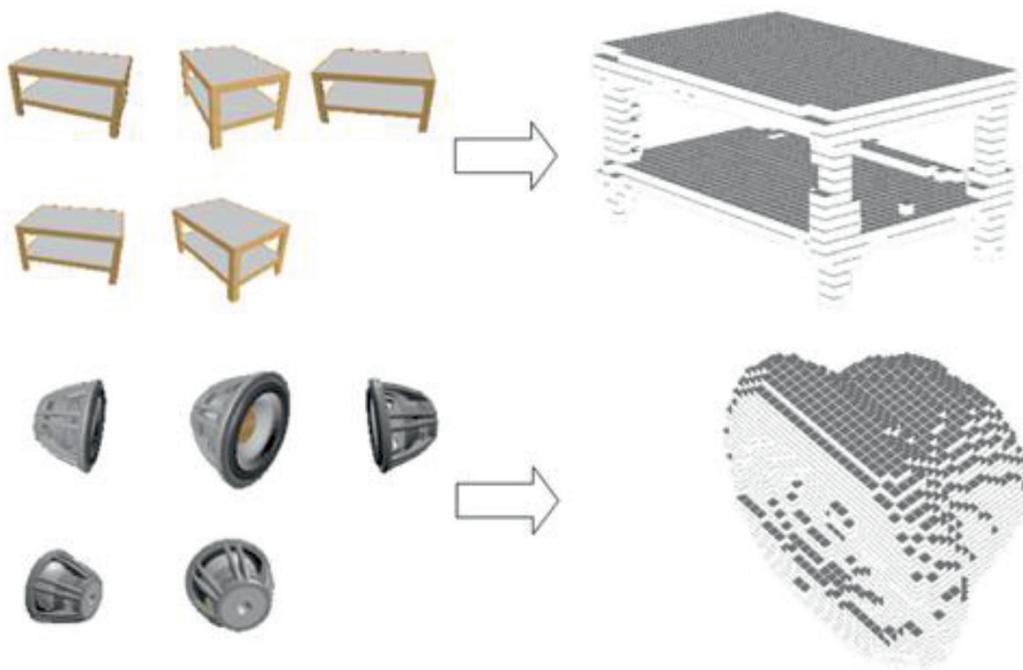


Рис. 6. Результаты реконструкции объектов

Исходная трехмерная модель преобразовывалась к воксельному представлению размером $32 \times 32 \times 32$. Затем данная модель сравнивалась с моделью, полученной в ходе реконструкции.

Было проведено сравнение качества реконструкции в зависимости от используемого размера ядра свертки.

Средние результаты для LSTM сети и ядра свертки размером $1 \times 1 \times 1$ и $3 \times 3 \times 3$ приведены в таблице.

Результаты оценки качества реконструкции объектов LSTM сетью в зависимости от размера ядра свертки

Ядро свертки	IoU	Сумма перекрестных энтропий
$1 \times 1 \times 1$	0,499	0,116
$3 \times 3 \times 3$	0,539	0,106

Результаты показывают, что для ядра свертки размером $3 \times 3 \times 3$ качество реконструкции выше. Использование ядра свертки размером $3 \times 3 \times 3$ означает, что соседние рекуррентные блоки соединены между собой, тогда как при использовании ядра свертки размером $1 \times 1 \times 1$ значения соседних рекуррентных блоков не учитываются.

Таким образом, была рассмотрена модель реконструкции трехмерных сцен по изображениям с различных ракурсов на основе нейронных сетей LSTM типа. Основным преимуществом использования такой сети является ее способность эффективно обрабатывать самоперекрывающиеся объекты. Если в очередном входном изображении видны детали объекта, которые ранее были перекрыты из-за ракурса съемки, то такая сеть обновит состояние LSTM для ранее невидимых деталей объекта, но при этом состоянии других частей объекта остаются прежними. Это позволяет получить

достаточно качественную трехмерную модель объекта по небольшому количеству входных изображений, тогда как классические алгоритмы реконструкции [11–13] требуют не менее 10 различных ракурсов для получения качественной реконструкции. Однако, в отличие от классических алгоритмов, при увеличении количества входных изображений увеличение качества реконструкции происходит незначительно.

Список литературы

1. Редько А.В., Рыбкин С.В. Обзор методов реконструкции трехмерной сцены по изображениям // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 4(9). – С. 86–91. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/4a7f792360758d98e672a06eb07d88be.pdf> (дата обращения: 30.03.2018)/
2. Кузнецов Г.С., Белов Ю.С. Обзор метода 3D распознавания лиц без преобразования лицевой поверхности // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 2 (6). – С. 104–110. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/c55b621e3573609edbc25b8820cddcb0.pdf> (дата обращения: 30.03.2018).
3. Белов Ю.С., Гришанов К.М. Морфологические операции для уменьшения шума на изображении // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 2(6). – С. 90–95. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/1a285e863136e8b1a05511d28ee530c1.pdf> (дата обращения: 30.03.2018).
4. Глебов С.А., Редько А.В. Применение методов фильтрации в задаче построения поверхности по облаку точек // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ2(13). – С. 92–97. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/8fb0d4bd92c1faf8d2b852c91d528e1f.pdf> (дата обращения: 30.03.2018).
5. Sutskever I., Vinyals O., Le Q.V. Sequence to sequence learning with neural networks // Advances in neural information processing systems. – 2014. – P. 3104–3112.
6. Гришанов К.М., Рыбкин С.В. Тестирование сверточной нейронной сети в задачах машинного зрения // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 2(12). – С. 186–193. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/c578cad060b02dc5d46322258d9ad57a.pdf> (дата обращения: 31.03.2018).
7. Sundermeyer M., Schluter R., Ney H. Lstm neural networks for language modeling // In: INTERSPEECH. – 2012. – P. 194–197.
8. Liu F., Shen C., Lin G. Deep convolutional neural fields for depth estimation from a single image. // IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2015. <https://arxiv.org/abs/1411.6387> (accessed 30.03.2018).
9. Olah C. Understanding LSTM Networks [Электронный ресурс]. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (accessed 30.03.2018).
10. Theano [Электронный ресурс]. – URL: <http://deeplearning.net/software/theano/> (accessed 30.03.2018).
11. Barnes C., Shechtman E., Finkelstein A., Goldman D. Patchmatch: A randomized correspondence algorithm for structural image editing // ACM Transactions on Graphics-TOG. – 2009. – no. 28(3). URL: http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/Barnes_2009_PAR/patchmatch.pdf (accessed 30.03.2018).
12. Seitz M., Curless B., Diebel J., Scharstein D., Szeliski R. A Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2006. – T. 1. – P. 519–526.
13. Белов Ю.С., Молчанов А.Н., Редько А.В. Использование алгоритмов определения ключевых точек в задаче реконструкции трехмерных сцен // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ2(13). – С. 59–66. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/fe26f5f18cd1b9e9c0d32299da69ef5a.pdf> (дата обращения: 30.03.2018).