

Образец для сличений	Компонент	$D_j$	$D_{\%,j}$	$U(D_j)$	$E_{n,j}$
1070	$C_3H_6$	-0,06	-1,2	0,11	-0,6
	$C_3H_8$	-0,02	-0,02	1,0	-0,02
	$i-C_4H_{10}$	0,07	1,4	0,11	0,7
	$n-C_4H_{10}$	0,02	0,4	0,09	0,2
	$i-C_5H_{12}$	0,002	0,2	0,031	0,06
	$n-C_5H_{12}$	0,005	0,5	0,033	0,2
1066	$C_3H_6$	-0,011	-1,8	0,023	-0,5
	$C_3H_8$	0,15	1,5	0,32	0,5
	$i-C_4H_{10}$	-0,34	-0,9	0,54	-0,6
	$n-C_4H_{10}$	0,29	0,6	0,81	0,4
	$i-C_5H_{12}$	-0,003	-1,5	0,015	-0,2
	$n-C_5H_{12}$	-0,001	-0,5	0,016	-0,06

Разработаны и внесены в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь государственные стандартные образцы (ГСО) состава сжиженных углеводородных газов – смеси сжиженных углеводородов с регистрационными номерами ГСО РБ 2578-12, ГСО РБ 2579-12, ГСО РБ 2152-09, ГСО РБ 2151-09.

В БелГИМ освоено единичное повторяющееся производство ГСО состава сжиженных углеводородных газов и смесей сжиженных углеводородов для обеспечения единства измерений компонентного состава СУГ, других продуктов добычи и переработки нефти и природного газа во всех отраслях и видах деятельности, включая сферы, на которые установлен государственный метрологический контроль и надзор.

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с.
2. ТР-201/00/ТС Требования к сжиженным углеводородным газам для использования их в качестве топлива. Технический регламент Таможенного союза (проект).
3. ГОСТ Р 54484-2011 Газы углеводородные сжиженные. Методы определения углеводородного состава.
4. СТБ ISO 7941-2011 Пропан и бутан технические. Газохроматографический анализ.
5. Способ приготовления смеси сжиженных углеводородных газов и устройство для его осуществления : пат. 15049 Респ. Беларусь, МПК (2006) F 17C 5/02, G 01N 1/22 / В.Н. Ананьин, М.В. Мохнач, С.С. Скакун, А.С. Ключиц.
6. Комплекс для измерения и дозирования компонентов смесей сжиженных углеводородных газов : пат. 5686 Респ. Беларусь, МПК (2006) B 01F 15/04 / С.С. Скакун, В.Н. Ананьин, А.С. Ключиц, М.В. Мохнач.
7. Способ ввода пробы углеводородных сжиженных газов в хроматограф : пат. 9858 Респ. Беларусь, МПК (2006) G 01N 30/00, G 01N 1/10 / В.Н. Ананьин.
8. Способ ввода жидкой пробы углеводородных сжиженных газов в анализатор состава или свойств : пат. 14132 Респ. Беларусь, МПК (2009) G 01N 30/00, G 01N 1/10 / В.Н. Ананьин, М.В. Мохнач.
9. СТБ ИСО 6142-2003 Анализ газов. Приготовление калибровочных газовых смесей. Гравиметрический метод

УДК 004.932

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ОПТИЧЕСКИХ МИКРОСКОПОВ В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК

Артемьев В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л.  
Институт прикладной физики НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь

Целью работы являлась разработка методов и алгоритмов обработки изображений с оптических микроскопов высокого разрешения для решения задач исследования поведения ансамблей биологических клеток. Для решения этой задачи в составе микроскопов предусмотрены устройства видеовыхода с возможностью цифровой записи последовательности динамических изображений. Обработка изображений движущихся биологических клеток состоит из этапов фильтрации, локального обнаружения, кластеризации, селекции кластеров, соответствующих биологическим клеткам, а также построения траекторий их движения. Пример исходного изображения популяции биологических клеток, подлежащего обработке, приведен на рис. 1. Ниже описывается ме-

тодика решения задач на каждом из указанных этапов.

Задача синтеза фильтров решалась методом оптимизации Лагранжа для условий подавления постоянной и линейной составляющих фона в пределах апертуры фильтра, минимизации дисперсии шумов на его выходе и сохранения изображений клеток. Дана сравнительная оценка фильтров различных размерностей и показано, что малоразмерные способны лучше подавлять шумы и фон, в то время как высокоразмерные дают возможность лучше выделять изображения клеток. Полученные результаты опубликованы в работах [1, 2].

Под локальным обнаружением понималось принятие решения о наличии сигнала объекта в

каждом элементе изображения. Для решения задачи обнаружения использован метод максимального правдоподобия в предположении, что закон распределения шумов является гауссовым. Получены зависимости вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог от уровня шумов. Показано, что априорная неопределенность значений контраста объекта приводит к уменьшению вероятности правильного обнаружения эквивалентному уменьшению отношения сигнала к шумам в два раза. На рис. 3. приведен результат фильтрации и обнаружения клеток с исходного изображения с рис. 2. Результаты исследований по вопросам локального обнаружения опубликованы в статьях [3, 4].

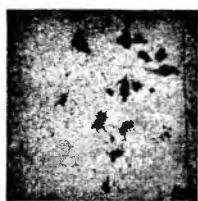


Рисунок 1 – Изображение популяции биологических клеток с выхода оптического микроскопа



Рисунок 2 – Бинарное изображение после этапов фильтрации и обнаружения

После этапа локального обнаружения, возникает задача группировки элементов изображения кадра по их принадлежности к отдельным объектам, т.е. задача кластеризации. В качестве признаков использовались расстояния между обнаруженными элементами изображения и модули разности их яркостей.

Кластеризация осуществлялась на основе порогового критерия. Для выбора уровня порога предложена новая процедура построения гистограмм по последовательности кратчайших расстояний между элементами изображения и соответствующих им модулей разностей яркости. В результате гистограммы имеют ярко выраженный максимум вблизи начала координат, что позволяет обоснованно выбрать пороги кластеризации для каждого текущего изображения кадра.

После образования кластеров следует выделить те из них, которые соответствуют изображениям биологических клеток. Эта операция называется селекцией и осуществлялась на основе признаков, характерных для изображений кле-

ток: удлинение, площадь, периметр, компактность и плотность. Уровни порогов для селекции были найдены на основе тестовых изображений. Результаты исследований по кластеризации и селекции опубликованы в статье [5].

На последнем этапе решалась задача сопровождения биологических клеток. Поскольку модель движения биологических клеток в общем случае неизвестна, то в качестве основы для нахождения алгоритма сопровождения был выбран метод наименьших квадратов (МНК). С его помощью получены алгоритмы в явной форме записи с использованием априорных предположений только о гладкости траектории движения и скорости ее изменения. В рамках МНК задача решена на основе введения функционала качества сопровождения, в составе которого учтены гладкость изменения координат и скорости. Такая задача относится к категории плохо определенных и для ее решения использованы способы регуляризации, основанные на введении в состав функционала слагаемых с весами, являющимися коэффициентами регуляризации.

Предложен вариант функционала качества и способ нахождения входящих в него коэффициентов регуляризации. Получены алгоритмы сопровождения МНК со сглаживанием координат и скорости, а также со сглаживанием только координат.

На конкретном примере дана сравнительная оценка дисперсий ошибок сопровождения алгоритмами МНК и ФК. Сделан вывод о том, что при использовании МНК целесообразно выбирать алгоритм сопровождения со сглаживанием координат и скорости, поскольку он обеспечивает более высокую точность оценок скорости по сравнению с вариантом сглаживания только координат.

На рис. 3 приведен пример траекторий движения клеток, полученных с помощью алгоритма сопровождения МНК со сглаживанием координат. Методика построения траекторий опубликована в работе [5].



Рисунок 3 – Траектории движения биологических клеток

Таким образом, разработанные алгоритмы фильтрации, обнаружения, кластеризации, селекции и сопровождения позволяют изучать параметры движения и взаимодействия биологических клеток. В основе методики использованы положения теории статистического оценивания.

Результаты работы могут также использоваться при изучении других биологических структур и диагностике новых материалов.

1. Артемьев, В.М. Синтез фильтров подавления фона на цифровых изображениях в оптико-электронных системах / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2012. – № 3. – С. 5–15.
2. Артемьев, В.М. Обнаружение точечных объектов на изображениях в условиях неопределенности / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 15–24.
3. Артемьев, В.М. Обнаружение объектов конечных размеров на изображениях в условиях неопределенности / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2010. – № 4. – С. 5–14.
4. Артемьев, В.М. Кластеризация и селекция изображений воздушных объектов в обзорных оптико-электронных системах / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2012. – № 1(33). – С. 18–26.
5. Артемьев, В.М. Алгоритм сопровождения объектов в оптико-электронных системах на основе метода наименьших квадратов / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2013. – № 3. – С. 5–12.

УДК 531.241(476)

### ЭТАЛОННАЯ БАЗА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ФОТОМЕТРИИ

Баковец Н.В.<sup>1</sup>, Никоненко С.В.<sup>2</sup>, Скумс Д.В.<sup>1</sup>, Тарасова О.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Фотометрия принадлежит к числу точных научно-технических дисциплин и базируется на таких фундаментальных науках, как оптика и метрология. В Республике Беларусь приступили к формированию системы обеспечения единства измерений в области фотометрии в середине 90-х гг. прошлого века. Ведущая роль в этой работе принадлежит Белорусскому государственному институту метрологии (БелГИМ), на который, в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», Госстандартом Республики Беларусь возложены функции главного центра национальных эталонов.

На сегодняшний день эталонная база Республики Беларусь в области фотометрии включает: Национальный эталон единиц цвета, спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн от 0,20 до 2,5 нм (НЭ РБ 3-00); Национальный эталон единиц силы света и освещенности (НЭ РБ 8-02); Национальный эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения (НЭ РБ 17-10) и Исходный эталон единицы белизны (ИЭ РБ 13-08).

**1. Национальный эталон единиц цвета, спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн от 0,20 до 2,5 нм**

Эталон разработан и введен в действие в 2000 году. Базируется на прецизионном спектрофотометре «Cary-500 Scan». Воспроизведение, хранение и передача размера единиц нижестоящим по

рангу эталонам и рабочим средствам измерения (СИ) осуществляется с помощью: мер цвета, выполненных из прозрачного и опалового цветного стекла; мер спектральных коэффициентов направленного пропускания, выполненных из кварцевого стекла и стекла типа НС; мер спектральных коэффициентов диффузного отражения, выполненных из молочного стекла типа МС и прессованного порошка политетрафторэтилена (PTFE).

Точность воспроизведения единиц цвета, спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения подтверждена результатами международных сличений с аналогичными эталонами Польши, Словакии, России, Франции и Украины.

**2. Национальный эталон единиц силы света и освещенности**

Эталон разработан и введен в действие в 2002 году. Воспроизводит, хранит и передает нижестоящим по рангу эталонам и рабочим СИ единицы силы света, освещенности, коррелированной цветовой температуры и цветности.

В состав эталона входят: оптическая скамья; группа светоизмерительных ламп; группа прецизионных приемников оптического излучения; системы измерения расстояний, питания светоизмерительных ламп и регистрации информации. В период с 2007 по 2010 г. была проведена модернизация, в результате которой состав эталона дополнился колориметрическим блоком и блоком малых уровней освещенностей.