

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОРФОЛОГИЯ В ПРИМЕРАХ ИЗ МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ.

Методическое пособие.
Фатеев Д.А., Фатеев О.Д.

ftvmetrics.com
Москва, январь 2021
ver 1.0



Методическое пособие можно скачать. Для просмотра необходимо [загрузить](#) бесплатный плеер [WolframCDF](#).

Методическое пособие состоит из 3-х частей.

Часть 1 из 3 - [ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ](#) (124 Мб)

Часть 2 из 3 - [МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА](#) (146 Мб)

Часть 3 из 3 - [ОБЩИЕ ОПЦИИ](#) (112 Мб)

[Все части вместе](#) zip архивом (283 Мб)

Сложности автоматизации в медицине и биологии связаны с экспериментальным и творческим характером работы, когда специалисты изначально не знают, что ищут и что могут найти. Поэтому непонятно, какие операции можно поставить «на поток» автоматизации.

По факту самым востребованным методом работы является итерационное чередование компьютерного и биологического зрения. На УЗИ врач исследует прибором

подозрительные участки, которые фиксирует биологическим зрением (глазами) на получаемых компьютерных образах (мониторе).

В медицине и биологии работа с изображениями, полученными с помощью микроскопии, УЗИ, МРТ, тепловизоров, обладает существенными особенностями. Они связаны с необходимостью извлечения из изображений свойств, полезных для представления и описания изучаемых объектов (выделение контуров, остовов, выпуклых оболочек, мелких объектов).

Кроме того, для анализа изображений, полученных непосредственно с прибора, необходима их предварительная обработка для подавления внешних шумов, снижения уровня помех, возникших в результате дискретизации и квантования.

Применение машинного обучения в данной сфере ограничено малым количеством имеющихся примеров и спецификой каждого отдельного случая. В общем случае также неизвестно, на чем основывается то или иное решение искусственного интеллекта (невозможно восстановить логику). Можно либо соглашаться, что искусственным интеллектом принимаются удовлетворительные решения или нет. Такая ситуация еще больше затрудняет использование нейросетей.

В идеале желательно иметь возможность совмещать достижения современных информационных технологий и практического опыта и интуиции специалистов. Решением в данной ситуации является формирование промежуточных образов, которые одновременно могут восприниматься биологическим зрением специалистов и использоваться в вычислительных процедурах (в том числе, в нейросетях).

Математическая морфология позволяет создавать такие образы: выделять интересные объекты, используя различные формы их представления.

Особые перспективы математической морфологии связаны с началом применения тепловизоров при лапароскопических операциях: в ходе операции необходимо сопоставлять исходный рентген с патологией по якорям (особенностям) с изображением тепловизора для точного определения места патологии, поскольку операции под рентгеном запрещены.

Существует широкий набор функций для анализа и обработки 2D и 3D изображений, позволяющие решать реальные задачи: распознавать образы, описывать и выделять их детали, проводить морфологический анализ, вычислять их свойства, восстанавливать утраченные признаки и др.

Ниже представлен список некоторых возможных процедур обработки изображения и некоторых функций математической морфологии, с помощью которых можно их осуществить.

решаемая задача	операторы
удаление маленьких компонентов	DeleteSmallComponents[]
удаление мелких темных элементов	Dilation[]
удаление тонких темных элементов	Closing[] ImageAdd[image, BottomHatTransform[image]]
удаление мелких светлых элементов	Erosion[] ImageSubtract[image, TopHatTransform[]]
удаление маленьких отверстий в элементах	Closing[]
удаление фоновых объектов	ImageSubtract[... , FillingTransform[]] GrowCutComponents[] RemoveBackground[]
удаление перцового шума	Closing[]
удаление шума соль-перец	GeodesicOpening[] ImageAdd[MaxDetect[], MinDetect[]] InverseDistanceTransform[] GeodesicClosing[GeodesicOpening[]]
удаление изолированных пикселей	MorphologicalTransform[]
заполнение внутренних компонентов	FillingTransform[]
заполнение пробелов	MorphologicalTransform[]
разделение перекрывающихся компонентов	WatershedComponents[DistanceTransform[]]

решаемая задача	операторы
нахождение границ объектов	ImageSubtract[Dilation[]] MinDetect[] MorphologicalPerimeter[]
нахождение внешних границ объектов	MorphologicalTransform[]
вычисление внутреннего морфологического градиента	1-Erosion[]
нахождение углов	MaxDetect[CornerFilter[]]
упрощение форм через построение скелетона	SkeletonTransform[] Pruning[] Thinning[]
построение графа	MorphologicalGraph[Thinning[]]
выделение точек ветвления скелетона	MorphologicalBranchPoints[]

создание шаблонов	операторы
нахождение места, где находятся наибольшие объекты	HitMissTransform[]
нахождение небольших ярких областей определенного цветового канала	TopHatTransform[ColorSeparate[]]
создание фоновой маски	MinDetect[]
нахождения маски объектов	MaxDetect[]
вычисление предельной эрозии объектов	MaxDetect[DistanceTransform[]]

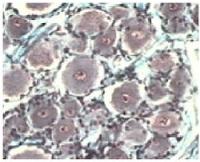
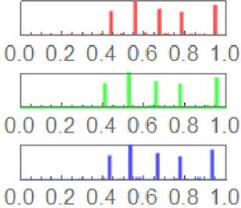
изменение освещения	операторы
коррекция неравномерного освещения	TopHatTransform[]
инвертирование высокочастотных областей	BottomHatTransform[]
замена значений пикселей	MorphologicalTransform[] Threshold[]

вычисление свойств	операторы
подсчёт количества связанных компонентов	Max[MorphologicalComponents[]]
определение свойств компонентов	ComponentMeasurements[]
выбор компонентов с заданными характеристиками	SelectComponents[]

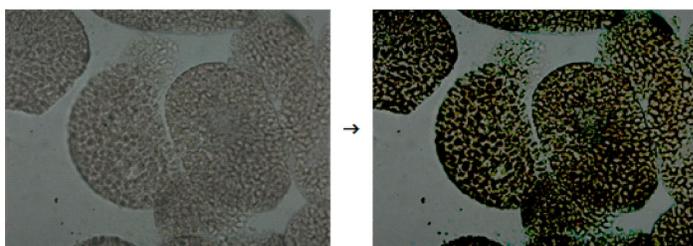
Далее приведены примеры использования операторов математической морфологии при обработке изображений, а также представлена структура и основные разделы Методического пособия.

Предварительная обработка изображения включает, в том числе, его базовый анализ, бинаризацию, фильтрацию, изменение размерности. Пороговая обработка позволяет изменить яркость и контрастность.

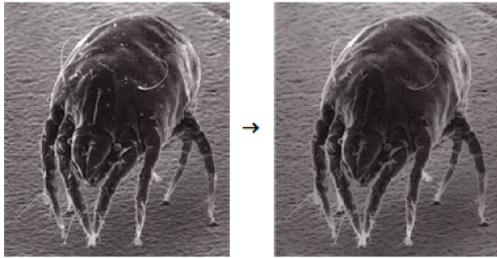
Для облегчения обработки изображения часто уменьшают количество цветов, используемых для его представления с помощью оператора **ColorQuantize**, как представлено для изображения гистологического препарата нейронов спинномозгового узла.

изображение	ImageHistogram до квантования	ImageHistogram после квантования
		

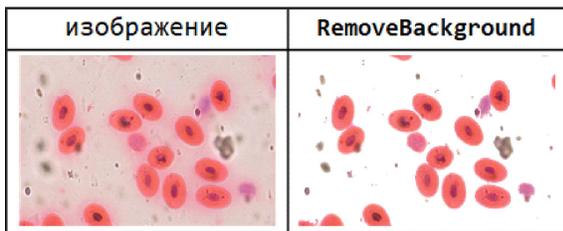
Увеличение контрастности и яркости изображения поздней бластулы лягушки проведено с помощью оператора **Threshold**:



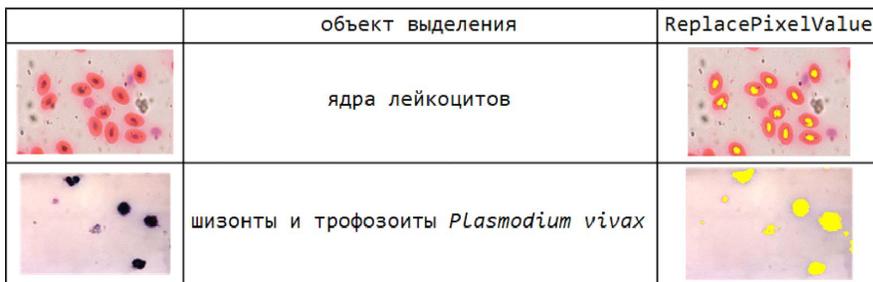
Изображение пылевого клеща очищено от пыли с помощью оператора **GeodesicOpening**:



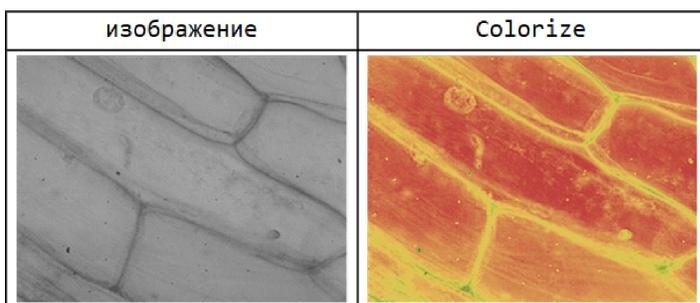
Удаление фона изображения мазка крови:

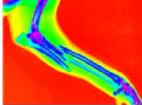
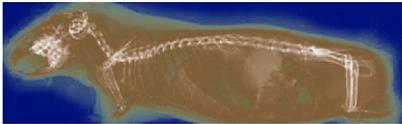


Выделение объектов в изображениях с помощью оператора **ReplacePixelValue**:

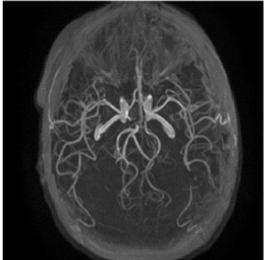


Псевдоколоризация изображений клеток кожицы лука и рентгеновских снимков.

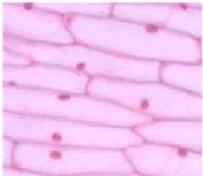
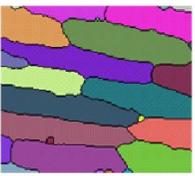
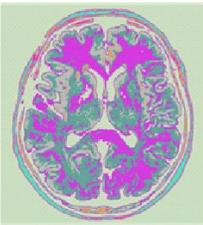
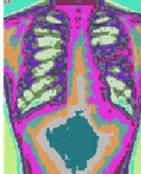


ColorFunction→ Hue		
ColorFunction ->DarkTerrain		

Псевдоколеризацию изображения КТ головного мозга определяет чистая функция:

изображение	ColorFunction→ (Blend[{White,Purple},#]&)
	

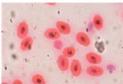
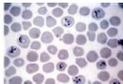
Сегментирование изображений:

микрореферат кожицы лука	WatershedComponents		
МРТ головного мозга	ClusteringComponents		
рентген грудной клетки	ClusteringComponents		

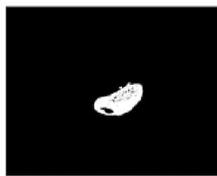
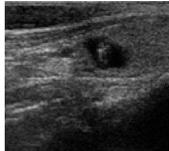
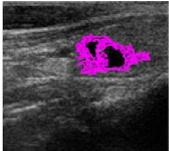
Выделение интересующей области изображения рентгена грудной клетки собаки, заданной с помощью бинарного изображения, с использованием **HighlightImage[image,{RGBColor[0,0,1,1], Binarize[image]}]** отдельно и совместно с оператором **EdgeForm**, сглаживающим границы:

изображение	HighlightImage	HighlightImage [...EdgeForm[],...]
		

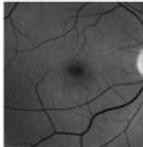
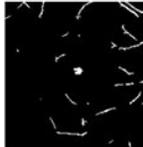
Выделение указанных объектов:

изображение	интересуемые области	операция	результат
		GeodesicErosion[[img,...]]	
	возбудители пироплазмоза у кошки	ImageSubtract[GeodesicClosing[img,...],img]	
	фолликулы ямчников на УЗИ	DeleteSmallComponents[MinDetect[PeronaMalikFilter[img,...]]]	
	изоляция контраста в КТ брюшной полости	TopHatTransform[img,...]	

Сегментация УЗИ-изображения с помощью RegionBinarize[image,mask,...]:

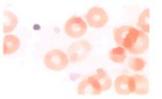
пятая неделя беременности		 
киста щитовидной железы		

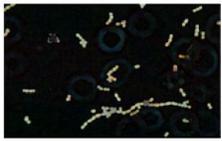
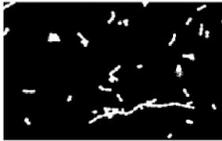
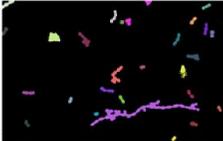
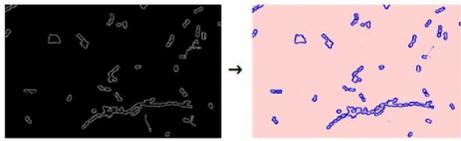
Выделение различных областей на изображении:

нахождение сосудов разного размера в сосудистом русле сетчатки	MinDetect[image, 0.1]	MinDetect[image, 0.05]
		

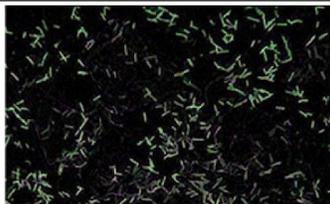
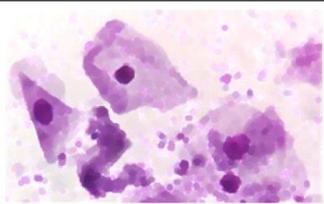
выделение небольших ярких областей	<code>TopHatTransform[image, CrossMatrix[30]]</code>
	

Изучение изображения мазка крови: разделение клеток крови и кокков:

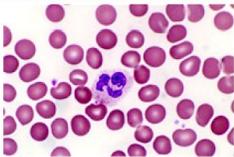
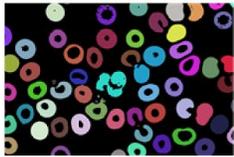
мазок крови с кокками	очистка мазка от кокков <code>Closing[image, DiskMatrix[20]]</code>	получение очищенного бинарного изображения <code>DeleteSmallComponents</code>	выделение альфа канала <code>SetAlphaChannel</code>
			

<code>BottomHatTransform</code>	<code>MinDetect</code>	<code>MorphologicalComponents</code>	<code>MorphologicalPerimeter</code>
			

Разделение компонентов гинекологического мазка:

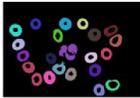
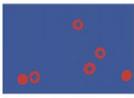
	<code>BottomHatTransform[image, DiskMatrix[2]]</code>	<code>ImageAdd[image, %]</code>
		

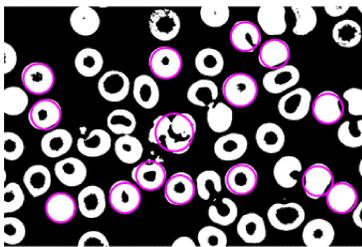
Для выбора компонентов изображения с конкретными желаемыми характеристиками используют оператор **MorphologicalComponents**. Выбор может быть выполнен по расположению компонентов, их формам, свойствам интенсивности. Оператор используется для фильтрации нежелательных частей изображения, включая маленький или большой размер, касания границ, специфические формы компонентов.

	компоненты изображения <code>MorphologicalComponents</code>	удаление граничных объектов <code>DeleteBorderComponents</code>
мазок крови с нейтрофилом (©UssurBator)		
		

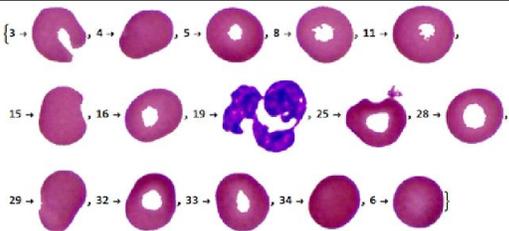
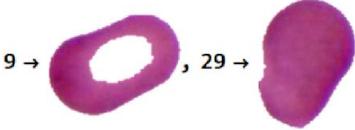
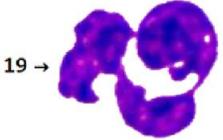
С помощью оператора **SelectComponents** находят на изображении представляющие интерес объекты и свойства.

С помощью оператора **HighlightImage** на изображении можно выделить представляющие интерес компоненты. На правом рисунке выделены клетки больших размеров, не связанные с границей, найденные через вычисление центроидов и радиусов эквивалентных дисков.

компоненты,соприкасающиеся с границей	компоненты, размером больше 5000, не соприкасающиеся с границей, с отверстиями внутри	выбор шести самых круглых объектов
<code>!AdjacentBorderCount>0&</code>	<code>!Count>5000&&!AdjacentBorderCount==0&&!Holes>0&</code>	<code>SelectComponents [image,FilledCircularity,-6]</code>
		



С помощью оператора **ComponentMeasurements** вычисляют свойства объектов:

маски всех компонентов с определённой площадью	маски компонентов эллиптической формы	маска нейтрофила
<code>7000<!Area&</code>	<code>!Elongation > 0.3 &</code>	<code>10000<!Area&</code>
		

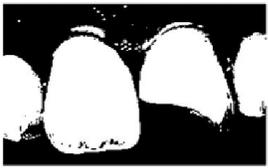
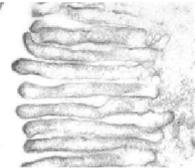
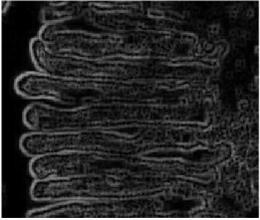
Вычисление некоторых свойств изображения нейтрофила:

	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Count</th> <th>Area</th> <th>EquivalentDiskRadius</th> <th>AuthalicRadius</th> <th>Elongation</th> <th>Circularity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>12350</td> <td>12386.9</td> <td>62.6987</td> <td>144.384</td> <td>0.180043</td> <td>0.434249</td> </tr> </tbody> </table>		Count	Area	EquivalentDiskRadius	AuthalicRadius	Elongation	Circularity	1	12350	12386.9	62.6987	144.384	0.180043	0.434249
	Count	Area	EquivalentDiskRadius	AuthalicRadius	Elongation	Circularity									
1	12350	12386.9	62.6987	144.384	0.180043	0.434249									

Выделение сегмента изображения с помощью заданного алгоритма **SelectComponents[DeleteSmallComponents[MorphologicalComponents[image,...]]]** через установление представляющего интерес размера объекта:

изображение	SelectComponents[... , 25<#width <30&]
	

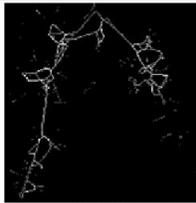
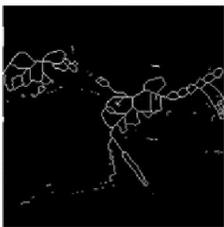
Определение границ объектов:

	электроннограмма щёточной каймки проксимального отдела нефрона
MorphologicalTransform	image - Erosion[image, 4]
	
	

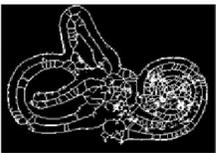
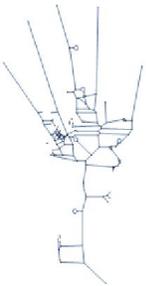
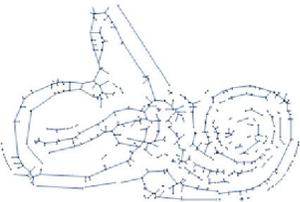
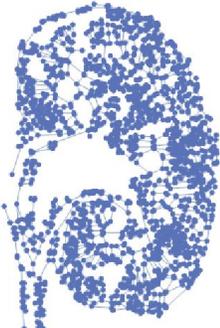
Математические свойства объектов изображения:

радиус самой толстой ветки	число ооцитов	число Эйлера в изображении препарата ооцитов	количество видимых гонад в колоколе крессоты	подсчёт птиц	определение формы птиц
Max[ImageData[DistanceTransform[]]]	Max[MorphologicalComponents[]]	MorphologicaTEulerNumber[]	Max[MorphologicalComponents[]]	Max[MorphologicaComponents[DeleteSmallComponents[RemoveBackground[]]]]	ComponentMeasurements[... , Shape]
					
3	23	16	5	12	{1 -> [img], 2 -> [img], 3 -> [img], 4 -> [img], 5 -> [img], 6 -> [img], 7 -> [img], 8 -> [img], 9 -> [img], 10 -> [img], 11 -> [img], 12 -> [img]}

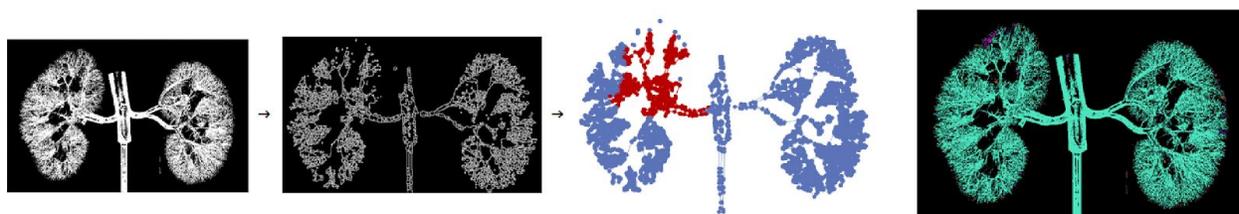
Нахождение скелетона изображения и его опорных точек:

скелетон на рентгене кошки	обрезанный скелетон	нахождение точек ветвления корня
Thinning	Pruning[Thinning[]]	MorphologicalBranchPoints
		
		

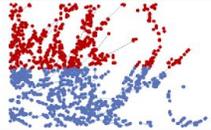
Построение графа изображения с помощью оператора **MorphologicalGraph**:

рентген руки	лабиринт	канальцевая система почки
		
		

Отображение связанных областей канальцевой системы почек с помощью цвета:



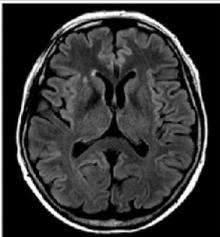
Анализ взаимосвязей в микоризе:

	MorphologicalGraph[Binarize[ImageSubtract[img, ColorNegate@fillingTransform[ColorNegate[img],...]]]]	HighlightGraph[MorphologicalGraph[Binarize[ColorSeparate[img][[3],...]],&]]
		

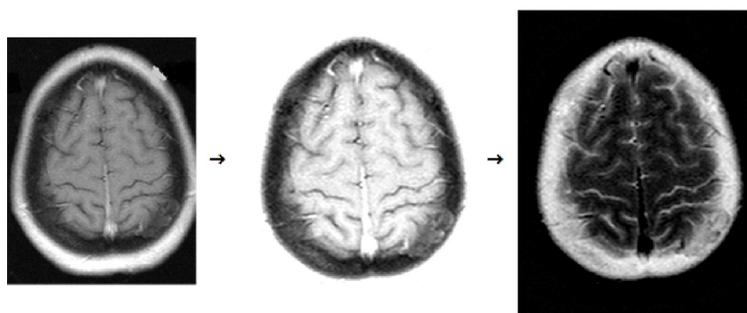
Другие примеры обработки изображений:

рентген здоровых лёгких	пневмония	выделение кардиостимулятора	выделение периметра при переломе лучевой и локтевой костей собаки	изоляция контраста
				
				

Обработка изображения МРТ головного мозга:

нахождение областей с определенной яркостью	0.1	0.25	0.5
			

Представление изображения в разных цветовых схемах:



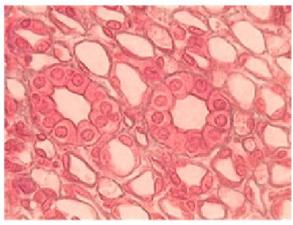
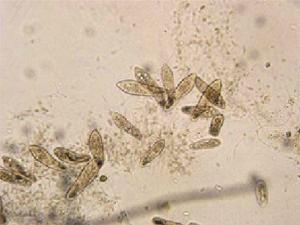
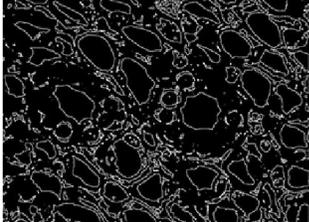
Обработка изображения культуры дрожжей:

подсчёт клеток дрожжей соответствующего размера		$0.9 \rightarrow 17$ $0.7 \rightarrow 189$ $0.4 \rightarrow 26$
---	--	---

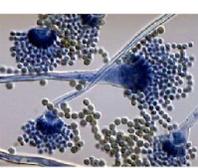
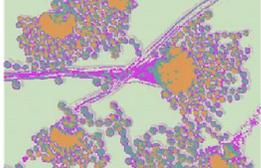
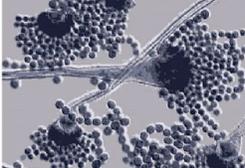
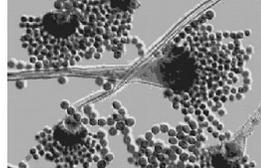
Стержневая корневая система:

	выделение корешков	обрезка кончиков	подсчёт количества корешков	выделение точек ветвления
			76	

Выделение морфологического периметра объектов изображения:

гистологический срез	микроскопический препарат с инфузорией туфелькой	
		
		

Обработка изображения микроскопического препарата с грибом рода *Aspergillus*:

	нахождение общности объектов при помощи цвета	замена каждого сегмента на усредненный цвет компонента	использование усредненной интенсивности компонента
			

Выделение интересующей области для последующего её анализа в 3D реконструкции коленного сустава (из *ExampleData*):



СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Файл 1: ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Характеристики цифрового изображения

Типы изображений

Цветовая модель

Получение изображения

Характеристики изображения

Многоканальное изображение как массив пиксельных данных

Интерфейс ImageAssistant

Системы координат

Index Coordinates

Image Coordinates

Преобразование систем координат

[PixelValue](#) [PixelValuePositions](#) [ReplacePixelValue](#)

Основные манипуляции с изображением

Изменение размеров изображения путем обрезки или заполнения

Обрезка заданной области изображения [ImageTake](#)

Удаление граничных пикселей из изображения [ImageCrop](#)

Извлечение областей из изображения [ImageTrim](#)

Расширение изображения на границах [ImagePad](#)

Изменение положения и размеров изображения через пересчет

Изменение размерности изображения [ImageResize](#)

Уменьшение изображения [Thumbnail](#)

Реверс изображения [ImageReflect](#)

Поворот изображения вокруг центра [ImageRotate](#)

Арифметические операции с изображениями

Сложение изображений [ImageAdd](#)

Вычитание изображений [ImageSubtract](#)

Умножение изображений [ImageMultiply](#)

Глава 1. Файл 2: ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Точечные операции

Гистограммы изображений

Подсчёт количества значений пикселей [ImageLevels](#)

Нахождение глобального порогового значения интенсивности [FindThreshold](#)

Замена значений яркости, связанная с пороговым значением [Threshold](#)

Построение гистограммы значений пикселей [ImageHistogram](#)

Изменение контраста

Осветление [Lighter](#)

Затемнение [Darker](#)

Получение негативов [ColorNegate](#)
Настройка изображения через контрастные растяжки и степенные преобразования [ImageAdjus](#)
Настройка изображения через точечное преобразование [ImageApply](#)

Операции с цветом

Преобразование цвета [ColorConvert](#)
Квантование цвета [ColorQuantize](#)

Преобразование многоканальных изображений в бинарные

Бинаризация [Binarize](#)
Морфологическая бинаризация [MorphologicalBinarize](#)
Локальная адаптивная бинаризация [LocalAdaptiveBinarize](#)
Бинарная сегментация [RegionBinarize](#)
Двухуровневая сегментация [ChanVeseBinarize](#)

Операции на областях изображения

Линейные и нелинейные операторы

Конволюция изображения с заданным структурирующим элементом [ImageConvolve](#)
Фильтрация через применение функции к окрестности пикселя [ImageFilter](#)

Глава 2. Файл 3: МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Математическая морфология

Основные понятия

Структурирующий элемент
[BoxMatrix\[r\]](#)
[DiskMatrix\[r\]](#)
[IdentityMatrix\[n\]](#)
[DiamondMatrix\[r\]](#)
[CrossMatrix\[r\]](#)

Операции математической морфологии

Основные операции

Морфологическое расширение [Dilation](#)
Морфологическая эрозия [Erosion](#)
Морфологическое размыкание [Opening](#)
Морфологическое замыкание [Closing](#)

Морфологические преобразования

Трансформация “удача-промах” [HitMissTransform](#)
Морфологическая трансформация “дно шляпы” [BottomHatTransform](#)
Морфологическая трансформация “верх шляпы” [TopHatTransform](#)
Нахождение минимумов в областях изображения [MinDetect](#)
Нахождение максимумов в областях изображения [MaxDetect](#)
Заполняющая трансформация [FillingTransform](#)
Морфологическая трансформация [MorphologicalTransform](#)

<i>Дистанционная трансформация</i>	DistanceTransform
<i>Инверсионная дистанционная трансформация</i>	InverseDistanceTransform
<i>Скелетон-трансформация</i>	SkeletonTransform
Морфологическая реконструкция	
<i>Геодезическая дилатация</i>	GeodesicDilation
<i>Геодезическая эрозия</i>	GeodesicErosion
<i>Геодезическое замыкание</i>	GeodesicClosing
<i>Геодезическое размыкание</i>	GeodesicOpening
Морфологический анализ	
<i>Морфологическое утончение</i>	Thinning
<i>Морфологическое усечение</i>	Pruning
<i>Морфологический граф</i>	MorphologicalGraph
<i>Выделение точек ветвления скелетона</i>	MorphologicalBranchPoints
<i>Вычисление морфологического числа Эйлера</i>	MorphologicalEulerNumber
<i>Вычисление морфологического периметра</i>	MorphologicalPerimeter
Сегментационный анализ	
<i>Морфологические компоненты</i>	MorphologicalComponents
<i>Сегментирование изображения по цветовому сходству объектов</i>	ImageForestingComponents
<i>Кластеризация компонентов</i>	ClusteringComponents
<i>Сегментация изображения с помощью трансформации водораздела</i>	WatershedComponents
<i>Сегментация изображения с помощью концепции клеточного аппарата</i>	GrowCutComponents
<i>Удаление фона</i>	RemoveBackground
Анализ компонентов	
<i>Определение свойств компонентов</i>	ComponentMeasurements
<i>Выбор компонентов с заданными характеристиками</i>	SelectComponents
<i>Удаление маленьких компонентов</i>	DeleteSmallComponents
<i>Обработка объектов, связанных с границей изображения</i>	DeleteBorderComponents
<i>Колоризация компонентов</i>	Colorize
<i>Выделение представляющего интерес объекта изображения</i>	HighlightImage

Глава 3. Файл 3: ОБЩИЕ ОПЦИИ

<i>Указание конфигурации окрестности</i>	CornerNeighbors
<i>Указание на способ определения расстояния между точками</i>	DistanceFunction
<i>Указание на используемый метод вычисления</i>	Method
<i>Указание на способ заполнения при расширении за пределы исходных данных</i>	Padding
Стандартная спецификация последовательностей в аргументе	
Список возможных цветовых градиентов	