

Выбор фокусной серии в видеопотоке

Д. С. Ярош¹
Я. А. Кириленко²
А. В. Корнилова³

¹Программная инженерия, группа 17.Б11-мм, математико-механический факультет,
СПбГУ

²ст. преп. кафедры системного программирования, научный руководитель

³ведущий программист ООО «КиберТех Лабс», консультант

18 мая 2020 г.

- В современных оптических микроскопах при фиксированном фокусном расстоянии лишь малая часть объекта находится в фокусе
- Фокус-стекинг — технология цифровой обработки изображений для объединения фокусных зон с нескольких изображений



Использование смартфона для цифровой обработки изображений

Факт

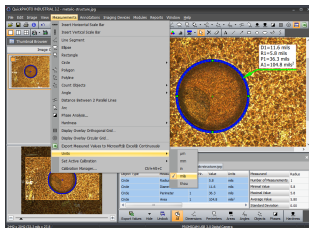
Arunan Skandarajah et. al^a экспериментально показали, что камера современного смартфона имеет достаточное разрешение для сохранения всей информации при захвате кадров с микроскопа.

^aQuantitative Imaging with a Mobile Phone Microscope, Arunan Skandarajah et. al, PLOS ONE, Public Library of Science, 2014

Применимость на практике:

- микроскопы в школах
- домашнее использование
- уменьшение стоимости лабораторий

- Нет возможности обрабатывать видео, снятые на смартфон, из-за их длительности (1 мин., 1800 кадров)
- Существующие решения в данной области предполагают наличие ПК и специализированного ПО, настроенного профессионалом в данной области



Разработать решение в рамках кроссплатформенной библиотеки для смартфона, которое будет включать в себя алгоритм фокус-стекинга и автоматизированный отбор кадров для данного алгоритма



- 1 Сделать обзор существующих алгоритмов фокус-стекинга
- 2 Сделать обзор существующих алгоритмов выбора фокусной серии
- 3 Сравнить устойчивость существующих алгоритмов фокус-стекинга на большом стеке в случае видео, снятого на камеру смартфона
- 4 Выработать метрики для оценки качества фокусной серии и провести сравнение алгоритмов
- 5 Выбрать из существующих или разработать свои алгоритмы фокус-стекинга и выбора фокусной серии, оптимальные для использования на смартфоне
- 6 Реализовать выбранные методы фокус-стекинга и выбора фокусной серии в кроссплатформенной мобильной библиотеке

- Аппаратные решения
 - Профессиональные микроскопы (> 1000 \$)
- Программные решения
 - Adobe Photoshop
 - ImageJ
 - Zerine Stacker
 - Helicon Focus
- Любительские реализации - 5 проектов на GitHub

Существующие алгоритмы:

- Основанный на пикселях¹
- Основанный на соседях пикселя²
- Основанный на вещественных вейвлет-преобразованиях³
- Основанный на комплексных вейвлет-преобразованиях⁴

¹FocusALL: Focal Stacking of Microscopic Images Using Modified Harris Corner Response Measure, M. S. Sigdel et al., IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 2016

²Ibid.

³Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform, H. Li et al., Graphical Models and Image Processing, 1995

⁴Complex wavelets for extended depth-of-field: A new method for the fusion of multichannel microscopy images, Forster-Heinlein et al., Microscopy research and technique, 2004

Существующий подход

Использовать операторы фокусной меры и выбирать максимум из результатов их применения на всех кадрах, снятых микроскопом, — самое сфокусированное положение

Эффективные в микроскопии операторы фокусной меры:

- нормализованная дисперсия
- градиент Бреннера
- модифицированный оператор Лапласа
- энергия оператора Лапласа
- Vollath F4
- оператор Тененграда

Для тестирования алгоритмов необходим датасет, записанный с использованием смартфона. Найти готовый не удалось, поэтому был записан свой датасет с использованием смартфона Nexus 6P.

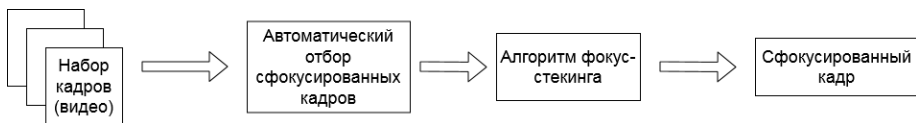
Свойства полученного датасета

- Содержит видеозаписи для 30 образцов
- 15 образцов нельзя рассмотреть не меняя фокусного расстояния - все детали образца не находятся одновременно в фокусе ни на одном из кадров видеозаписи
- Для каждого образца были сделаны 4 видеозаписи, отличающиеся скоростью движения предметного столика во время исследования образца

Прототип системы автоматического отбора сфокусированных кадров

Используемые технологии:

- Python
- OpenCV
- SciPy
- NumPy
- Matplotlib



Архитектура прототипа

Устойчивость алгоритмов фокус-стекинга

Устойчивость в фокус-стекинге - способность алгоритма сохранять качество итогового изображения при увеличении размера фокусной серии. На длинных видео (1 мин., 1800 кадров) слишком велико время работы почти всех известных алгоритмов фокус-стекинга при низком качестве итогового изображения

Стенд:

- Процессор - Intel Core i7-6700k
- ОС - Windows 7
- ОЗУ - 16 ГБ

Алгоритм	Основанный на пикселях	Основанный на соседях пикселя	Вещественные вейвлеты	Комплексные вейвлеты
Время общее, мин	$0,2 \pm 0.003$	$37,8 \pm 0.003$	36 ± 0.003	$56,2 \pm 0.003$
Среднее время на кадр, мс	6 ± 0.1	1259 ± 0.1	1200 ± 0.1	1874 ± 0.1
Количество запусков, шт	100	100	100	100

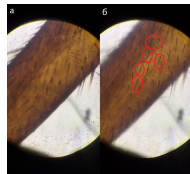
Метрика для сравнения алгоритмов отбора сфокусированных кадров

Разработанная метрика использует:

- общее количество кадров в отобранном стеке
- количество повторяющихся кадров среди них
- количество кадров, не содержащих информации об образце
- наличие каждой детали образца хотя бы на одном изображении в итоговом стеке

Для оценивания алгоритма данной метрикой необходимо подсчитать количество образцов, на которых все параметры метрики находятся в допустимых диапазонах.

Название видео	arteria			
	super_slow	slow	medium	fast
Длинное	+	-	-	-
Многоуровневое	-	-	-	-
Отобраны все части	+	+	+	+
Коп-во дубликатов	0	0	0	0
Коп-во заблуренных	0	0	1	0
Размер финального стека	2	2	2	1



Сравнение фокусных операторов

В ходе тестирования на датасете лучше всего себя продемонстрировал оператор Тененграда.

Выявленная проблема

В случае наличия на изображении крупного объекта, находящегося в расфокусированном состоянии, и нескольких мелких объектов, которые находятся в фокусе, любой из протестированных операторов фокусной пропускал такое изображение, тем самым теряя часть информации об образце.

Оператор фокусной меры	Laplacian Variance	Tenengrad operator	Vollath F4	Modified Laplacian
Оценка по метрике	6	15	8	10

Алгоритм отбора сфокусированных изображений

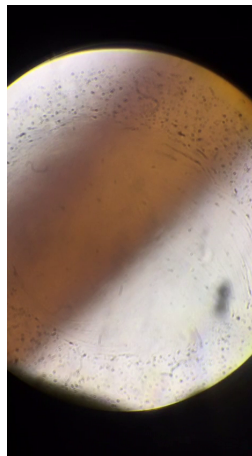
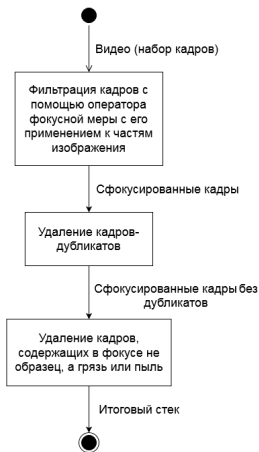


Схема работы алгоритма

Грязь в фокусе

Оптимальные параметры алгоритма

- Алгоритм фокус-стекинга - алгоритм с использованием комплексных вейвлетов Добеши
- Оператор фокусной меры - оператор Тененграда
- Количество сегментов, на которые делится изображение - 64 (8x8)
- Значение порога при построении маски изображения для удаления секторов, не содержащих полезной информации - 20
- Пороговое значение попиксельной разности кадров в фильтрации дубликатов - 2
- Относительная высота пиков в фильтрации изображений, не содержащих в фокусе исследуемый образец - 0.8, относительной высотой вершины - 0.5 (все значения нормализуются перед поиском пика)

Алгоритм был внедрен в мобильную библиотеку, разрабатываемую в рамках дипломной работы Владимира Кутуева и апробирован на разработанном им мобильном приложении.

Используемые технологии в мобильной библиотеке:

- C++
- OpenCV
- Djinni

- Сделан обзор существующих алгоритмов фокус-стекинга
- Сделан обзор существующих алгоритмов выбора фокусной серии
- Показана низкая устойчивость существующих алгоритмов фокус-стекинга на большом стеке в случае видео, снятого на камеру смартфона
- Разработаны метрики для оценки качества фокусной серии
- Проведено сравнение существующих алгоритмов выбора фокусной серии
- Разработан алгоритм выбора фокусной серии, оптимальный для решаемой задачи
- Метод фокус-стекинга, основанный на комплексных вейвлет-преобразованиях и алгоритм выбора фокусной серии реализованы в кроссплатформенной мобильной библиотеке