

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕО В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

С.А. Вабищевич, канд. физ.-мат. наук, доц.,

И.М. Ольховская, Н.В. Вабищевич

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь*

Рассмотрены особенности создания алгоритма обработки видеопотока с использованием компьютерного зрения при изучении изменения линейной скорости роста кристаллов из раствора соли. Результаты могут быть использованы при проведении физических экспериментов, связанных с использованием микроскопа для автоматизации определения характеристик объекта с помощью камеры.

Ключевые слова: цифровая обработка изображения, Python, OpenCV, кристалл, раствор соли, кадр, видеопоток, шум, контур, линейная скорость роста.

В последнее время с развитием цифровых технологий для проведения опытов в лабораториях все чаще стали применять компьютерное зрение. Сейчас оно занимает одно из ведущих мест как мощный инструмент для приема, хранения, обработки и передачи информации, а также управления и контроля различными процессами работы экспериментальных установок [1]. Распознавание и обработка изображений эффективно используется для таких устройств как солнечные элементы, системы программного обеспечения для камер видеонаблюдения, системы дополненной реальности, системы организации информации (топографическое моделирование, анализ медицинских изображений).

В промышленности компьютерного зрения применяется при контроле извлечения кристаллов. Для хорошего качества слитков кремния все соответствующие параметры в процессе роста, включая скорость вращения, температуру тигля и скорость вытягивания, должны быть идеально сбалансированы. Кристаллы можно получить различными способами, например охлаждением жидкости. При охлаждении в жидкой фазе возникает множество центров кристаллизации, вокруг которых происходит образование твердой фазы. Возникает множество мелких кристаллов, которые при соединении друг с другом образуют поликристаллическое тело. Поликристаллы изотропны, т. е. их свойства одинаковы по всем направлениям [2]. Диски из поликристаллического алмаза в основном используются для высокоточной резки жидкокристаллического стекла в электронной промышленности. Поликристаллы состоят из множества монокристаллов, которые образуются при медленной скорости кристаллизации. Примерами ограниченных природных монокристаллов могут служить монокристаллы кварца, каменной соли, исландского шпата, алмаза, топаза. Большое промышленное значение имеют монокристаллы полупроводниковых и диэлектрических материалов, выращиваемые в специальных условиях [2].

Цель работы состояла в определении особенностей подготовки и проведения эксперимента по выращиванию кристаллов из раствора соли, и в применении классических алгоритмов компьютерного зрения для определения геометрических характеристик растущих кристаллов.

Пусть скорость роста кристалла определяется как количество вещества $\frac{dm}{dt}$, осажденного на грани в единицу времени, а линейная скорость $v_{лин}$ – это скорость, измеренная по перпендикуляру к грани, с которой грань передвигается параллельно самой себе в окружающем ее растворе, то скорости можно связать следующим соотношением:

$$\frac{dm}{dt} = Fv_{лин}, \quad (1)$$

где F – площадь грани.

Встройка частиц в грани происходит неравномерно, поэтому для процесса встройки справедливо уравнение:

$$\frac{dm}{dt} = Fv_{лин} = \alpha F(C^{hkl} - C_0), \quad (2)$$

где C_0 – концентрация насыщения раствора;

C^{hkl} – концентрация раствора у растущей грани hkl , числа h, k, l – индексы плоскости;

α – коэффициент, неодинаковый для различных граней.

Перейдя к положению правой и левой граней по шкале окуляра микроскопа и приняв во внимание, что величина вычисленной из квадратов отклонений различных отклонений скоростей от среднего, равно 0,014, мы получим выражения для линейной скорости:

$$v_{лин} = 0,014(n_i - n_{i-1}) / t \text{ мм/с}, \quad (3)$$

где $n_i - n_{i-1}$ – разность между делениями шкалы в предыдущем и последующем отсчетах [3]. Контроль линейной скорости роста кристалла позволяет осуществлять мониторинг изменения массы и объема материала.

Для обработки изображений был выбран язык программирования Python 3.10. В качестве модуля компьютерного зрения была выбрана библиотека Python-OpenCV. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – это открытая библиотека для работы с алгоритмами компьютерного зрения, машинным обучением и обработкой изображений.

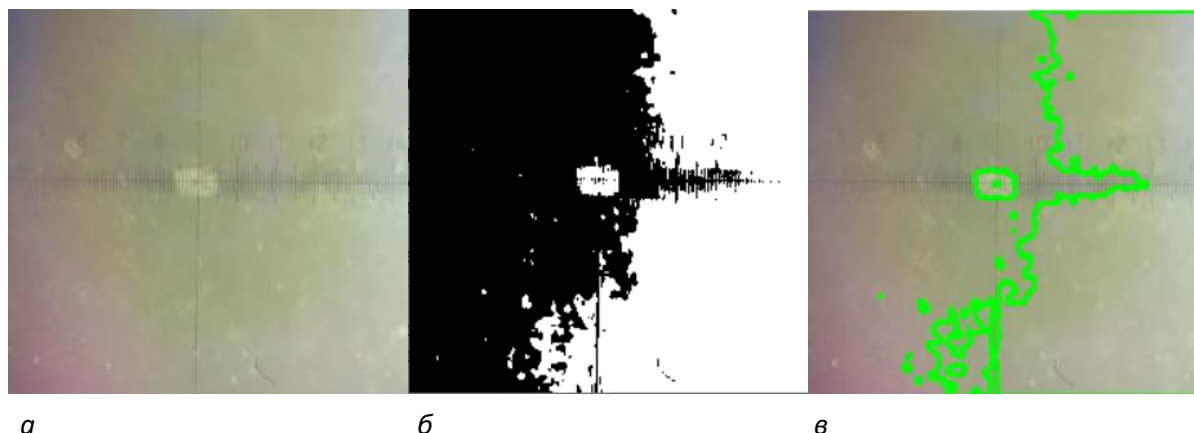
Алгоритм обработки первого кадра [4] видео отличается от обработки последующего, так как еще нет данных для сравнения (рис. 1 и 2):

1) изображение переводим в другое оттеночное пространство цветов: серое, для этого применяем функцию `cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)` [5];

2) функция `cv2.medianBlur()` [5] сглаживает изображение и убирает шумы, не затрагивая края объектов. Функция медианного сглаживания принимает два параметра: изображение и размер сетки сглаживания;

3) для нахождения контуров объектов на изображении применяется функция `cv2.findContours()` [5];

4) находим центр координатной плоскости окуляра микроскопа и запоминаем его значение, так как относительно найденной точки будет отслеживаться рост кристалла.



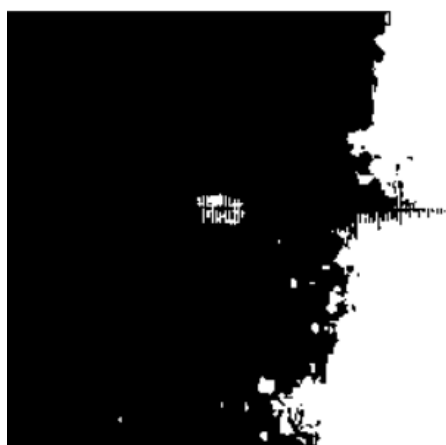
***а* – первый кадр без обработки; *б* – кадр с удалением шумов и сглаживанием;
в – изображение после обработки и выделения контуров**

Рисунок 1. – Этапы обработки первого кадра

Кадр освещен неравномерно, вследствие чего фон на одной половине кадра «становится» черным, а с другой – белым, поэтому будем осуществлять поиск кристаллов по замкнутым областям. Первый кадр, переведенный в серое цветовое пространство, становится «фоном» для дальнейшей обработки.

Обработка следующих кадров видео будет немного отличаться от алгоритма, описанного ранее, это сделано для оптимизации работы алгоритма и уменьшения использования ресурсов памяти.

Так как кристалл увеличивается по площади с течением времени («растет»), то можно сказать, что его грани «двигаются» во всех направлениях. В данном случае будем рассматривать движение крайних граней кристалла справа и слева. На протяжении всего видео неоднородность фона сохраняется, чтобы частично устранить эту проблему, мы будем вычитать следующий кадр из «фона», оставляя только «измененные» пиксели изображения. Это выполняет функция `cv2.absdiff()` [5].

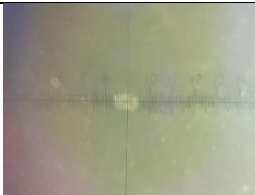
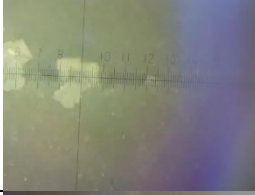
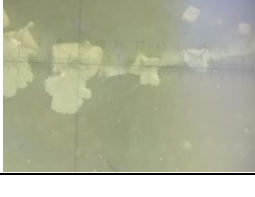


**Рисунок 2. – Вычитание второго кадра
из фона**

После обработки всего видео можно получить данные об изменении размеров кристалла, площади и определить тенденцию изменения линейной скорости роста кристаллов.

Результаты обработки приведены в таблице 1: $r^л$ – длина кристалла по оси Ох слева относительно центра координат окуляра, $u^л_{мин}$ – скорость роста кристалла влево, $r^{пр}$ – длина кристалла по оси Ох справа относительно центра координат окуляра, $u^{пр}_{мин}$ – скорость роста кристалла вправо.

Таблица. – Изменение значений линейной скорости роста кристалла

t , мин	$r^л$, дел	$u^л_{мин}$, мм/с	$r^{пр}$, дел	$u^{пр}_{мин}$, мм/с	изображение
0	6	—	5	—	
2	8	$2,3 \cdot 10^{-4}$	7	$2,3 \cdot 10^{-4}$	
4	9	$1,2 \cdot 10^{-4}$	8	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
6	11	$2,3 \cdot 10^{-4}$	9	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
8	12	$1,2 \cdot 10^{-4}$	11	$1,2 \cdot 10^{-4}$	
10	13	$1,2 \cdot 10^{-4}$	12	$1,2 \cdot 10^{-4}$	

После обработки видео можно выделить следующие особенности проведения эксперимента: во-первых, до начала съемки следует тщательно подобрать освещение, чтобы минимизировать зашумленность светом. Во-вторых, для того, чтобы рост кристалла был более выражен на соседних кадрах, нужно учесть зависимость испарения

с поверхности от разности температуры между окружающей средой и раствором: чем выше разность температуры, тем быстрее растет кристалл. В-третьих, при обработке видео наличием неоднородности освещения, следует динамически изменять «фон» для вычитания. В данной работе использовалась функция `cv2.addWeighted()`, которая выполняет временное перекрестное растворение между двумя кадрами.

Заключение. При выращивании кристаллов в промышленных условиях ведется контроль качества каждого образца. Для различного вида продукции требуются кристаллы с определенным набором физических характеристик. Компьютерное зрение может стать дополнением в технологических процессах выращивания.

Анализируя возможность использования компьютера в качестве измерительного комплекса для проведения лабораторных работ и физических экспериментов, можно сделать вывод о том, что этот инструмент позволяет исследователям обрабатывать огромные объемы информации, автоматизировать процессы и выявлять скрытые закономерности. Компьютерное зрение способствует развитию многих научных областей, открывая уникальные возможности для исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапочкин, М. Б. Применение компьютера в физической лаборатории / М.Б. Шапочкин, Ю.Б. Панкрашкин Физическое образование в вузах. – 2003. – Т. 9. – № 1.
2. Прохоров, А.М. Поликристалл / Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
3. Дубский, Г.А. Методика определения линейной скорости роста кристалла при кристаллизации алюминия в магнитном поле / Г.А. Дубский, Л.Г. Егорова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2017. – Т.5. – № 2. – С. 19–24.
4. Ольховская, И. М. Создание алгоритма для определения размеров и плотности дефектов с использованием технологии компьютерного зрения / И. М. Ольховская, С. А. Вабищевич / Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк. – 2022. – № 45. – С. 58–60.
5. Arzamasov, K.M. The use of computer vision for the mammography preventive research / K.M. Arzamasov [et al.] // Profilakticheskaya Meditsina. 2023; – 26(6): 117–123. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/prof-med202326061117>.