

## Автофокусировка изображения: что на самом деле определяет точность фокусировки

По причине своей сложности, тема точности автофокусировки в оптических измерениях является одной из самых неправильно трактуемых. В этой статье мы рассмотрим принцип работы автофокусировки изображения и факторы определения точности.

### Основы оптики

Для оптического измерения крайне важен хороший фокус. Поскольку измеряется изображение объекта, а не сам объект, то для получения хороших результатов необходим хороший фокус.

Во-первых, давайте рассмотрим, как работает оптическая фокусировка.

Чтобы иметь представление о фокусе, рассмотрим сначала всем известную оптическую систему — человеческий глаз.

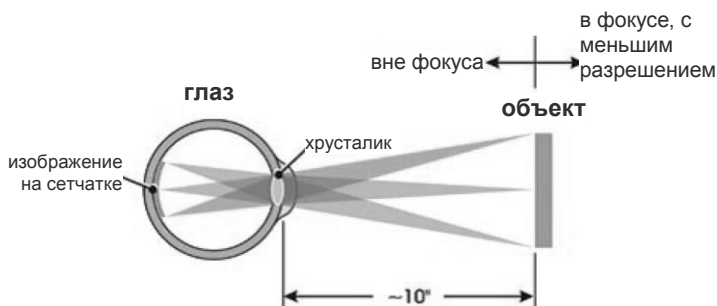


Рисунок 1: Оптическая система человеческого глаза

Глаз — это универсальная оптическая система, которая позволяет удерживать объекты в хорошем фокусе на больших расстояниях. Дорожный знак может находиться в хорошем фокусе на расстоянии 100 метров и более. Газета находится в фокусе, если мы держим ее достаточно близко, но не слишком — обычно на расстоянии около 25 см от глаз. В обоих случаях резкость изображения зависит от того, на каком удалении от хрусталика находится объект. Для хорошего фокуса объект должен находиться в определенном диапазоне. Этот диапазон является нашей оптической «глубиной резкости».

Единственное, чего не может сделать глаз, это — измерить размеры. Когда дело доходит до измерения, «хорошая фокусировка» — это расстояние, на котором оптика дает изображение с точными размерами. Это расстояние называется сопряженным объектом или чаще — фокусным расстоянием. Как и у глаза, фокусное расстояние оптических измерительных систем, на самом деле, является диапазоном, так как изображение будет находиться в хорошем фокусе не только в одном положении. Этот диапазон называется глубиной резко

изображаемого пространства (ГРИП), и чтобы обеспечить точную фокусировку, обычно он преднамеренно сделан небольшим.

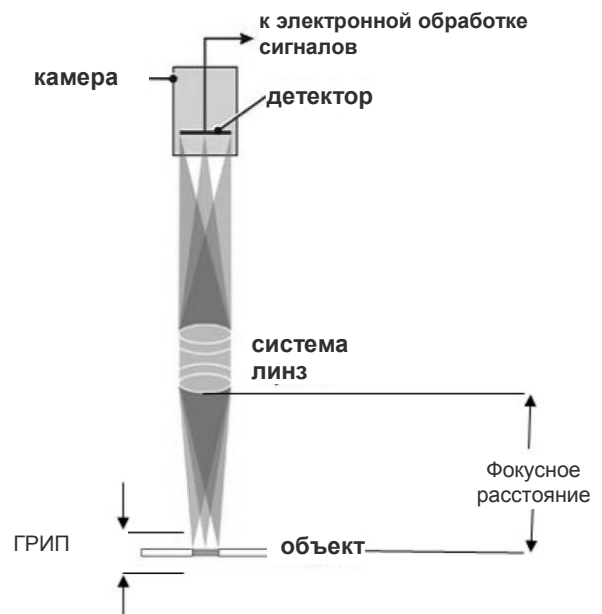


Рисунок 2: Оптическая измерительная система

Глубина резкости определяется числовой апертурой оптической системы, которая представлена световыми конусами на рисунках 1 и 2. Некоторые оптические системы, например, такие как человеческий глаз, устроены таким образом, что они имеют большую ГРИП, что позволяет многим объектам находиться в фокусе одновременно. Для этого требуется небольшая числовая апертура. Для достижения большей ГРИП с минимальной необходимостью фокусировки, измерительные системы Snap и разработаны с низким значением ЧА. Другие оптические устройства, такие как камеры, рассмотренные в примере выше, для создания относительно небольшой ГРИП используют высокое значение ЧА, так что в фокусе находится лишь интересующий элемент.



Конфокальные микроскопы являются примером систем со сверхвысокой ЧА.

В оптических измерительных системах ГРИП подбирается под конкретные измерительные применения в которых будет использоваться система. Для удобства измерения ГРИП, рабочее расстояние и кратность увеличения соответствуют размерам объекта и его деталей.

Увеличение и ГРИП не взаимосвязаны, однако, как правило, чем больше увеличение, тем меньше ГРИП, поэтому фокусировку рекомендуется производить с использованием самого высокого доступного увеличения в системе.

Многие зум-объективы, в том числе объективы измерительных систем OGP, могут использоваться со сменными линзами. Подбором этих линз можно повлиять на ГРИП. Для систем OGP, в зависимости от оптической настройки, диапазон ГРИП при максимальном увеличении составляет примерно от 50 мкм до 100 мкм.

### Как работает автофокусировка?

Чтобы понять, как работает автофокусировка, давайте рассмотрим, как бы вы вручную сфокусировали микроскоп или видеосистему. При ручной фокусировке для получения хорошего, четкого изображения на экране мы интуитивно регулируем уровень освещенности и фокус. Наши глаза и мозг обрабатывают изображение и интуитивно оценивают тот момент, когда края изображения становятся наиболее резкими.

При ручной регулировке фокуса обычно мы начинаем с расфокусированного состояния и постепенно перемещаем изображение в фокус, а для проверки всего диапазона, даже выходим за пределы лучшего фокуса и возвращаемся назад. Если в процессе наблюдения за объектом мы позволим коллеге взглянуть в микроскоп, вполне возможно, что он сначала расфокусирует изображение, а затем повторно сфокусирует его в соответствии с представлением о лучшем фокусе. Одно можно сказать наверняка - два человека редко одинаково настраивают фокус.

Автофокусировка работает точно по тем же принципам, которые мы интуитивно используем при ручной фокусировке. Фокусировка начинается с отката назад для расфокусировки изображения, далее следует серия коротких шагов в сторону предполагаемого положения с наилучшим фокусом;

на каждом шаге выполняется снимок, на основании которого, определяется положение с наиболее резким контрастом изображения. На каждом шаге фокусировки постоянно измеряется резкость, путем проверки контрастности по краям изображения.

Подобно тому, как наши глаза и мозг ищут наилучший фокус, камера и компьютер обрабатывают края изображения, чтобы найти положение с наилучшим контрастом. Разница лишь в том, что компьютер каждый раз однозначно определяет положение автофокусировки, независимо от того, кто управляет прибором.

### Насколько точна автофокусировка?

Погрешность автофокусировки зависит от нескольких факторов, но основным фактором является ГРИП. Поскольку положение с наилучшим контрастом изображения находится в пределах ГРИП, мы можем сказать, что погрешность фокусировки составляет некоторую долю ГРИП. Традиционно погрешность автофокусировки составляет от 1/20 до 1/40 от наблюдаемого значения ГРИП. Если ГРИП составляет 50 мкм, то 1/20 этого диапазона будет 2,5 мкм.

Существует множество факторов, которые могут повлиять на погрешность автофокусировки. Для начала давайте рассмотрим, как обозначается погрешность фокуса:

Погрешность по оси Z обозначается как:  
 $E_z: (X + nL/1000)$

Например:  $E_z: (2.5+4L/1000)$  мкм.

Первое слагаемое - 2,5 в данном примере - это константа. Это число является показателем базовой погрешности и повторяемости измерения фокуса.

Второе слагаемое -  $4L/1000$  прибавляет произведение длины измерения, умноженной на 4 и деленной на 1000 к первому слагаемому для определения общей точности измерения между точкой А и точкой В. Учитывая короткий диапазон большинства измерений по оси Z, второе слагаемое, зависящее от длины, не так значимо для измерений, по сравнению с измерениями по осям X, Y. Если бы мы измеряли высоту 125 мм, то погрешность по оси Z составляла бы  $[2,5+ (4 * 125/1000)]$  - или 3,0 микрона.



Характеристики линейной погрешности зависят не только от эффективности автофокусировки.  $E_z$ : Параметры перемещения по оси Z учитывают все степени свободы, включая фокус и другие нормальные отклонения.

Проверка погрешности измерений по оси Z требует эталона, который хорошо работает с автофокусировкой и дискретно охватывает весь диапазон перемещения фокуса. Для видеоизмерительных систем OGP используется ступенчатый калибр, имеющий серию шести или восьми ступеней с поверхностями высокой контрастности, расположенными на расстоянии приблизительно в 1 дюйм друг от друга. Для определения погрешности фокуса на каждой ступени программное обеспечение калибровки автоматически выполняет процедуру автофокусировки. С помощью такого эталона можно протестировать весь диапазон измерения по оси Z за один прием.

### Какие элементы управления автофокусировкой есть у пользователя?

Для оптимизации эффективности фокуса программное обеспечение измерения изображения предлагает пользователю несколько элементов управления. Эти настройки помогут добиться максимальной эффективности автофокусировки.

**Увеличение** является первым и наиболее важным элементом управления. Как правило, рекомендуется устанавливать фокус при максимально доступном увеличении, даже если последующие измерения производятся при меньшем увеличении. Системы с зум-объективом, как правило, парфокальны. Это значит, что когда изображение находится в фокусе при максимальном увеличении, оно будет хорошо сфокусировано при всех меньших увеличениях, поэтому фокусировка при максимальном увеличении гарантирует, что последующие измерения будут в фокусе, даже если они сделаны при меньшем увеличении.

**Тип фокуса** - еще один пользовательский параметр, который влияет на качество фокуса. Измерительное программное обеспечение предлагает выбор между инструментами фокуса на кромке и фокуса на поверхности. Фокус на кромках чаще всего используется с нижней подсветкой на внешних краях или на внутренних краях сквозных элементов. Поверхностный фокус для фокусировки на поверхности объекта используется с верхней подсветкой. Поверхностный фокус с верхней

подсветкой, как правило, более точен, поскольку в изображении присутствует гораздо больше деталей и данных для работы программного обеспечения, определяющего оптимальную резкость.

**Область фокусировки** или размер инструмента - важная переменная, которую можно установить для каждого шага фокусировки. Для точных измерений область фокусировки должна быть как можно большей, при этом не выходя за пределы интересующего элемента..

Многие из оптических систем, предлагаемых OGP, имеют возможность использования фокусирующей сетки, проецируемой на поверхность объекта для усиления ее контрастности. сетка удобна в случае полированной (зеркальной) поверхности объекта, слишком тусклой, с небольшим контрастом.

**Шаг фокуса** - это еще один параметр, который можно оптимизировать для точной настройки эффективности фокусировки. Размер шага фокуса устанавливается на заводе-изготовителе для синхронизации с частотой кадров камеры. Каждый шаг фокуса должен быть синхронизирован с одним кадром или «снимком» камеры. Обычно заводские настройки размера шага фокуса не требуют изменений, хотя при больших увеличениях иногда полезно выполнить небольшую корректировку размера шага. Современное метрологическое программное обеспечение обычно позволяет установить размер шага в качестве параметра автофокусировки, в то время как другое программное обеспечение использует общий размер шага для каждого уровня увеличения. Этот параметр следует использовать с осторожностью, так как при неправильной настройке можно снизить эффективность фокусировки.

**Расстояние отхода фокуса** - еще один параметр, который иногда используется для точной настройки повторяемости фокуса. Большее расстояние возврата фокуса можно использовать при значительной неоднородности поверхности объекта. Это позволяет убедиться в том, что процесс автофокусировки начинается с расфокусированного состояния и проходит через положение с наилучшим фокусом. Опять же, некоторые современные метрологические программы позволяют устанавливать расстояние отхода фокуса в качестве переменного параметра на каждом шаге фокусировки, в то время как в других случаях возврат является общей уставкой системы для каждого доступного увеличения или объектива.

Наиболее важная переменная в эффективности



фокусировки, которую может контролировать пользователь, это **источник света и яркость**. По сравнению с фокусом на кромках с нижней подсветкой, фокусировка на поверхности с использованием верхней подсветки дает гораздо больше информации о кромках изображения, которая будет использоваться для фокусировки. Помимо этого, для измерений по оси Z фокусировка на поверхности с использованием верхней подсветки, как правило, более повторяемая и точная. Верхняя подсветка может использоваться для фокусировки на определенных областях, которые могут иметь наклон относительно поверхности объекта. Нижняя подсветка лучше всего подходит для фокусировки на внешнем или нижнем крае объекта. Независимо от используемого источника света, ключевым моментом является правильная установка интенсивности света. Недостаточная подсветка может привести к прерыванию шага фокуса из-за недостатка данных. Слишком высокая интенсивность подсветки может снизить контраст изображения и сделать автофокусировку менее воспроизводимой. Установка уровня подсветки для обеспечения максимальной контрастности аналогична при измерении в осях X,Y.

**Более подробная информация приведена на сайте: [www.qvii.com](http://www.qvii.com) или на сайте одного из подразделений QVI.**

Copyright © 2013, Quality Vision International, Inc.