



ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА: ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

МАКСИМ СОРОКА
maxim.soroka@vitec.ru

Рост вычислительной мощности процессоров, развитие программных средств обработки изображений, а также повышение разрешающей способности и чувствительности цифровых камер способствуют широкому распространению систем машинного зрения для промышленного и исследовательского применения, и часто от них требуется не только визуальный контроль наличия тех или иных объектов, но и измерения их размеров. Тому, как может помочь в решении этой задачи телецентрическая оптика, посвящена эта статья.

В ряде случаев объект контроля систем машинного зрения имеет достаточно сложную объемную форму, которая в силу известных оптических законов, дифракции и интерференции, может вносить искажения в получаемое изображение. В значительной степени минимизировать такие искажения можно с использованием телецентрической оптики и правильно подобранного освещения. Попробуем разобраться в том, что такое телецентрическая оптика и где она находит применение, на примере линейки телецен-

трических объективов и осветителей итальянской компании Opto Engineering.

ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВЫ

Существует два основных источника искажения изображений объемных объектов: краевые эффекты преломления на исследуемом предмете и искажения и преломления в оптической системе. В обоих случаях происходит «размытие» границ и искажение формы объекта в силу разнонаправленности лучей света.

И если дефекты, возникающие в объективе и обычно называемые дисторсией, можно уменьшить за счет более тщательной обработки линз и компенсировать математическим аппаратом, то краевые эффекты на объекте можно свести к минимуму только за счет организации параллельного хода лучей света в зоне контроля. Именно для этого используется телецентрическая оптика, обеспечивающая параллельность светового пучка оптической оси. Оптическая схема представлена на рис. 1.

Помимо минимизации оптических искажений, применение телецентрической оптики дает следующие преимущества:

- отсутствие перспективных искажений;
- увеличение глубины резкости;
- минимизация «посторонней» засветки.

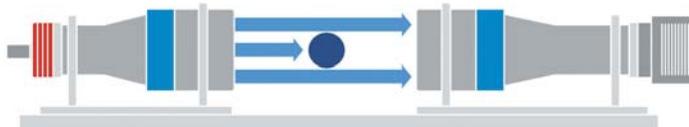


РИС. 1. ►
Параллельный ход лучей
света в зоне контроля

Отсутствие перспективных искажений хорошо иллюстрирует изображение отстоящих на разном расстоянии от объектива предметов одинакового размера (например, болты на рис. 2) или протяженных предметов (деталь слева от болтов на рис. 2). В верхней части рисунка расположены изображения, полученные через обычный объектив, в нижней — через телецентрический. Вкупе с увеличенной глубиной резкости отсутствие перспективы позволяет игнорировать небольшие ошибки позиционирования по оси камеры (смещение деталей по ширине конвейера). И поскольку в телецентрический объектив попадают только строго направленные лучи света, влияние сторонней засветки (лампы дневного света, окна и пр.) очень ограничено.

**КОНСТРУКЦИЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТОЧНОСТИ**

В отличие от обычных объективов, телецентрические редко оснащаются диафрагмой и обычно не имеют возможности фокусировки, поскольку фокусирующие и перемещающиеся линзы вносят дополнительные искажения, которые трудно учесть. Поэтому взаимное расположение телецентрической оптики и объекта контроля заранее четко определено. Наиболее точные измерения получаются в центре зоны телецентричности.

По тем же причинам повышена повторяемость измерений и ограничено использование регулируемой диафрагмы. Глубина резкости и разрешение объектива зависят от размера диафрагмы (дифракционный предел), а форма регулируемого отверстия (лепестки) обычно далека от круглой, что также служит дополнительным источником искажений. Поэтому телецентрическая оптика обычно имеет фиксированное значение диафрагмы.

В силу используемых физических принципов, т. е. параллельности лучей размер входной линзы для телецентрической оптики всегда больше наблюдаемого объекта. Так, например, у популярного объектива, предназначенного для камер с матрицей размерности 2/3», OptoEngineering TC 23 036, для зоны контроля 34,7 мм × 29 мм диаметр корпуса составляет Ø61 мм при длине почти 165 мм. Для контроля более крупных объектов размеры входной



РИС. 2. ◀ Изображения отстоящих на разном расстоянии от объектива предметов одинакового размера и протяженного предмета, полученные с помощью обычного (сверху) и телецентрического (внизу) объектива

линзы могут составлять десятки сантиметров и даже несколько метров. Очевидно, что изготовление такой оптики требует соблюдения очень высоких стандартов качества производства.

**КОЛЛИМИРОВАННАЯ
ПОДСВЕТКА**

Максимального эффекта можно достичь при использовании телецентрической оптики как для получения изображения на камере, так и для организации параллельного, коллимированного пучка света. Пример телецентрической пары для контроля геометрии объектов OptoEngineering TC Bench представлен на рис. 3.

Дополнительным преимуществом готовой сборки является отсутствие необходимости в обеспечении соосно-

сти источника света и объектива, а также опциональный удобный комплект для калибровки оптической пары.

**СЕРИЯ КОМПАКТНОЙ
ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ
ОПТИКИ И ПОДСВЕТКИ
CORE**

Прорывом в минимизации размеров объектива стала компактная серия телецентрических объективов OptoEngineering CORE. За счет специальных решений итальянской компании удалось более чем вдвое уменьшить размер своих объективов. Достаточно большие размеры традиционной телецентрической оптики не позволяли разместить ее на руке робота. Но на прошедшей в мае текущего года выставке



РИС. 3. ▼ Телецентрическая пара OptoEngineering TC Bench



РИС. 4. ▶
График зависимости
оптического разрешения
для видимого
«зеленого»
и ультрафиолетового
спектрального диапазона

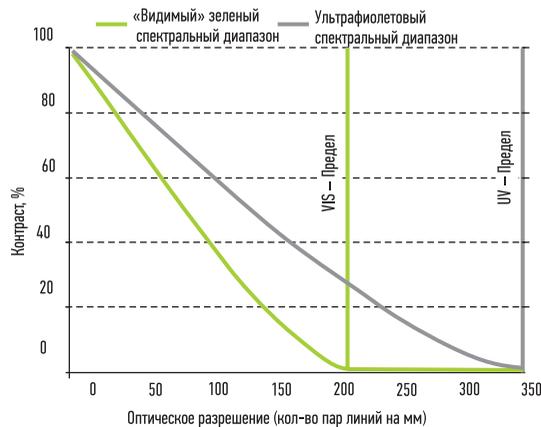


РИС. 5. ▼
Объектив
OptoEngineering TCUV



РИС. 6. ▼
Применение
телецентрической оптики
в производстве



Control в Штутгарте на стенде Opto Engineering впервые была показана роботизированная система, оснащенная системой визуального контроля измерительного класса на базе компактного набора оптики CORE.

ДЛИНА ВОЛНЫ

Для исключения хроматических искажений в системах измерительного класса обычно используются монохромные источники света: красный, зеленый или синий. При этом разрешающая способность оптической системы непосредственным образом зависит от длины волны используемого источника. Чем она меньше, тем выше точность системы. Так при прочих равных источник «зеленого» диапазона обеспечит лучшее разрешение и, как следствие, точность, чем аналогичный «красный». Максимальное разрешение получается при использовании спектра, близкого к ультрафиолету. Разрешение оптики обычно представлено в количестве пар линий на миллиметр, различаемых на изображении при определенном значении контраста. График зависимости оптического разрешения для видимого «зеленого» и ультрафиолетового спектрального диапазона представлен на рис. 4. На нем показано, что теоретический предел (контраст 0%) для видимого диапазона (зеленый 587 нм) составляет 200 пар линий, в то время как для УФ (365 нм) — более 300 пар линий на мм.

Серия телецентрических объективов OptoEngineering TCUV (рис. 5) оптимизирована для работы в ультрафиолетовом диапазоне (365 нм) и обеспечивает лучшее разрешение, чем оптика для видимого диапазона, что дает возможность использовать

камеры с небольшим размером пикселей до 1,7 мкм для получения изображения мельчайших деталей.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИИ

В ходе промышленного производства объект контроля часто находится в движении, и это вносит свою погрешность в точность измерений. При движении объекта даже с относительно небольшой скоростью 0,2 м в секунду при съемке с экспозицией в 0,01 с «смазанность» изображения в направлении движения составит 2 мм. Для получения более контрастного изображения необходимо минимизировать время экспозиции, при этом, желательно, обеспечить достаточность освещения. К счастью, прогресс в области ЖК источников света открывает для этого широкие возможности. К примеру, они воплощены в серии ЖК (LED) осветителей OptoEngineering.

Источники коллимированного света LTCL (на базе телецентрических объективов) имеют возможность задать продолжительность импульса в широком диапазоне (от 5мкс), что позволяет обеспечить световой поток не только нужного направления, но и нужного размера и мощности.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Телецентрическая оптика незаменима в задачах измерения геометрии или контроля формы, особенно когда идет речь об объемных объектах, исследование которых с использованием обычной оптики затруднены (например, болтов, гаек, резиновых уплотнителей и прокладок, пластиковых крышек и емкостей, электронных компонентов, различных деталей автомобильных и других двигателей, трансмиссий, отверстий, шпилек размером от долей миллиметров до десятков сантиметров). Кроме того, большая глубина резкости и отсутствие перспективных искажений позволяют повысить достоверность контроля печатных плат и электроники (рис. 6), т. е. когда контролируемая поверхность имеет рельеф. ●

*Представитель компании
Opto Engineering в России
ООО «Витек-Автоматика»
www.vitec.ru
info@vitec.ru
(812) 575-45-91, 457-02-17*