

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Группа изобретений относится к измерительной технике, в частности к способам и устройствам контроля формы труднодоступных деталей и объектов, и может быть использовано в энергетике, транспорте, машиностроении, медицине и в других областях для измерения геометрических параметров объектов.

Из уровня техники известны следующие решения.

Известен высокоскоростной трёхмерный способ оптического измерения геометрического размера изготавливаемых деталей (см. патент US 8896844, опубл. 25.11.2014), включающий в себя последовательную подачу деталей так, чтобы движение деталей на пути к точке видеорегистрации, на которой каждая деталь имеет заданное положение и ориентацию для оптического измерения каждой детали, имеющей внешнюю концевую поверхность и внутреннюю концевую поверхность на первом торце детали, при этом корпус каждой детали имеет карман для удержания детали, располагающийся между концевыми поверхностями, проектирование линии излучения, имеющей заданную ориентацию на концевые поверхности, чтобы получить изображения отраженного света от границ детали в виде линий, прямого отражения от концевых поверхностей детали, обнаружение отраженных линий излучения на одну или более плоскостей изображения, чтобы получить электрические сигналы, и обработку электрических сигналов для получения геометрического размера.

Недостатком описанного решения является необходимость поддержания постоянного расстояния и заданного положения между излучателем, изучаемым объектом и устройством фиксации, что недостижимо при осуществлении доступа во внутренние полости технологических объектов по сложной пространственной траектории, а так же невозможность указанного

изобретения контроля объектов другой формы (в изобретении контролируют гильзы и используют смесь белого света для контроля торцов и лазера для контроля цилиндрической части гильзы).

Известен способ для автоматического обнаружения известного параметра измеряемого объекта на исследуемом объекте с использованием системы видеоконтроля, выбранный в качестве прототипа (см. патент US 9412189, опубл. 09.08.2016), включающий в себя отображение на дисплее исследуемого объекта, обнаружение известного параметра измеряемого объекта на исследуемом объекте с использованием центрального процессора, отображение на дисплее набора доступных типов измерений, содержащий тип измерения, связанный с обнаруженным известным параметром измеряемого объекта с использованием центрального процессора, получение выбора типа измерения, связанного с обнаруженным известным параметром измеряемого объекта, автоматическое позиционирование множества маркеров измерения на изображении на дисплее с использованием центрального процессора, причём позиции множества маркеров измерения основаны на выбранном типе измерения, связанного с обнаруженным известным параметром измеряемого объекта, и отображение на дисплее величины параметра измеряемого объекта, рассчитанного центральным процессором с использованием позиций множества маркеров измерений. Недостатком указанного изобретения является необходимость последовательного проецирования на объект трех изображений различной конфигурации, что осложняет обработку и снижает производительность контроля и не позволяет проводить контроль вращающихся или движущихся элементов (вращающихся со скоростью более 2 об/мин).

Техническая проблема, решаемая предлагаемым изобретением, заключается в повышении эффективности и производительности контроля формы труднодоступных деталей, а также в осуществлении возможности

контроля вращающихся и движущихся объектов и измерения геометрических параметров формы объекта, в частности несплошностей.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении точности, достоверности и производительности выполнения измерений, относящихся к определению формы и дефектов деталей, установленных в полостях, а также формы внутренних полостей изделий и поверхностных несплошностей. Кроме этого, изобретение может быть использовано и для контроля внешней формы изделий, в том числе, вращающихся изделий или изделий, совершающих периодические перемещения.

Технический результат, достигаемый при реализации способа достигается за счет того, что в способе определения формы изделия осуществляют подсветку белым светом посредством источника белого света, установленного в системе контроля, с обеспечением навигации по траектории доставки исполнительный части системы контроля и доставку к труднодоступной детали оборудования исполнительный части системы контроля, снабженной миниатюрной стереокамерой, при этом производят передачу излучения белого света по оптоволокну белого света, на выходе из оптоволокну белого света располагают первую линзу для формирования заданной индикатрисы освещенности объекта контроля, после завершения доставки исполнительный части системы контроля осуществляют выключение или приглушение белого света и формирование лазерного излучения, передаваемого по оптоволокну лазерного светового потока, при этом на выходе из волокна лазерного светового потока располагают вторую линзу с обеспечением сходимости лазерного потока, обеспечивающей заданную ширину пучка лазерного светового потока, с использованием дифракционного оптического элемента, расположенного на расстоянии от второй линзы, формируют на труднодоступной поверхности детали изображение с мелкими лазерными пятнами интенсивности с обеспечением

получения стереоскопического изображения труднодоступной поверхности детали с использованием миниатюрной оптической стереоскопической камеры при проецировании на труднодоступную поверхность детали лазерного изображения с мелкими пятнами интенсивности, полученное стереоскопическое изображение передают в обрабатывающий микроконтроллерный блок, с использованием средств обработки данных микроконтроллерного блока производят восстановление трехмерной труднодоступной поверхности, при этом используют лазерные пятна интенсивности на паре плоских изображений, для автоматической идентификации одинаковых точек пространства объектов на стереоизображениях с заданной степенью достоверности.

В частном случае реализации способа обеспечивают доставку к детали оборудования, расположенной внутри оборудования.

В частном случае реализации способа получают стереоизображения с различных ракурсов, и обеспечивают трехмерное восстановление труднодоступной поверхности для различных ракурсов и дополнительное трехмерное восстановление труднодоступной поверхности детали путем совмещения трехмерных моделей, соответствующих парам плоских изображений, полученных с различных ракурсов.

В частном случае реализации способа для выявления несплошностей труднодоступной поверхности детали производят сравнение трехмерной модели, полученной по результатам восстановления с эталонной моделью и, для выявленных несплошностей определяют геометрические параметры несплошности, в частности - площади, длины и ширины и глубины.

В частном случае реализации способа производят сравнение трехмерной модели, полученной по результатам моделирования с эталонной моделью и при наличии расхождений определяют износ или потерю толщины детали, соответствующие значению расхождений.

В частном случае реализации способа для перемещающейся детали измеряют период вращения или скорость перемещения детали относительно исполнительской части системы контроля и осуществляют импульсную подсветку изделия лазерным излучением с установленными периодом следования и длительностью импульсов лазерного излучения с обеспечением избегания смазывания на изображении стереопар.

В частном случае реализации способа обеспечивают артикуляцию исполнительской части системы контроля с использованием механической передачи перемещения органов управления к исполнительской части системы контроля, при этом механическая передача обеспечивается тросами, выполненными с возможностью передачи углового перемещения исполнительской части системы контроля в двух взаимноортогональных направлениях.

Заявленный технический результат также достигается за счет конструкции устройства для контроля формы труднодоступных деталей, содержащего измерительную головку, прикрепленную к гибкому средству доставки, линии питания и передачи данных, а также оптоволокну белого света и оптоволокну лазерного светового потока, при этом, на входе оптоволокну белого света размещен управляемый источник белого света, на входе оптоволокну лазерного потока размещен управляемый источник лазерного излучения, на выходе оптоволокну белого света, расположена первая линза, размещенная в измерительной головке, выполненная с возможностью формирования заданной индикатрисы освещенности объекта контроля, на выходе оптоволокну лазерного излучения расположена вторая линза, размещенная в измерительной головке, выполненная с возможностью обеспечения сходимости лазерного потока, обеспечивающей заданную ширину пучка лазерного светового потока, а также расположенный на расстоянии от второй линзы дифракционный оптический элемент выполненный с возможностью формирования на труднодоступной

поверхности детали изображение с мелкими лазерными пятнами интенсивности, в измерительной головке также размещена миниатюрная оптическая стереоскопическая камера с обеспечением получения стереоскопического изображения труднодоступной поверхности детали с использованием при проецировании на труднодоступную поверхность детали лазерного изображения с мелкими пятнами интенсивности, и обрабатывающий микроконтроллерный блок, выполненный с возможностью восстановления трехмерной труднодоступной поверхности по изображению со стереокамеры с использованием лазерных пятен интенсивности на паре плоских изображений для автоматической идентификации одинаковых точек пространства объектов на стереоизображениях с заданной степенью достоверности.

В частном случае реализации изобретения через полость внутри гибкого средства доставки проходят тросы, предназначенные для перемещения подвижной части измерительной головки в двух взаимноортогональных направлениях относительно гибкого средства доставки.

В частном случае реализации изобретения устройство содержит блок управления тросами, выполненный с возможностью обеспечения артикуляции измерительной головки при механической передаче к измерительной головке перемещения органов управления блока управления тросами.

Далее решение поясняется ссылками на фигуру, на которой приведена схема устройства для контроля формы труднодоступных деталей.

Устройство содержит измерительную головку, прикрепленную к гибкому средству доставки, через полость внутри которого проходят тросы 7, предназначенные для перемещения подвижной части измерительной головки в двух взаимноортогональных направлениях относительно гибкого средства доставки, линии питания 13 и передачи видео-данных 14.

Оптическое волокно для передачи белого света 12 и линзы для белого света, а также блок освещения 2 белого света составляют канал освещения белого света. Оптическое волокно для передачи лазера 11, дифракционный оптический элемент (ДОЭ) 9, линза для лазерной подсветки 10 и лазерный осветитель 3, работающий в импульсном или непрерывном режиме составляют канал структурированной лазерной подсветки. Тросы артикуляции 7 и пульт управления 5 артикуляцией составляют систему артикуляции.

Освещаемый лазерным излучением дифракционный элемент создает на поверхности объекта изображение множества мелких лазерных пятен, что упрощает обработку полученных изображений и позволяет проводить идентификацию одних и тех же точек пространства объектов на изображениях стерео или трехканальной камеры без участия человека.

Блок освещения состоит из источника белого света и полупроводникового лазера. Световые потоки лазера и лампы белого света направляются в отдельные оптические волокна. На входе оптоволокну белого света 12 размещен управляемый источник белого света 2, на входе оптоволокну лазерного потока 11 размещен управляемый источник лазерного излучения 3. На выходе оптоволокну белого света 12 расположена первая линза 8, размещенная в измерительной головке для придания световому потоку необходимую направленность.

Линза 8 выполнена с возможностью формирования заданной индикатрисы освещенности объекта контроля. На выходе оптоволокну лазерного излучения расположена вторая линза 10, размещенная в измерительной головке, выполненная с возможностью обеспечения необходимой сходимости лазерного потока, обеспечивающей заданную ширину пучка лазерного светового потока, а также расположенный на обеспечивающем требуемую ширину пучка расстоянии от второй линзы 10 дифракционный оптический элемент (ДОЭ) 9, выполненный с возможностью

формирования на труднодоступной поверхности детали изображение с мелкими лазерными пятнами интенсивности.

В измерительной головке также размещена миниатюрная оптическая стереоскопическая камера 1 с обеспечением получения стереоскопического изображения труднодоступной поверхности детали с использованием при проецировании на труднодоступную поверхность детали лазерного изображения с мелкими пятнами интенсивности. Стереокамера состоит из двух видеокамер, расположенных на определенном расстоянии друг от друга, которые могут иметь два отдельных объектива, две отдельные видеоматрицы, блок получения и передачи сигналов (может быть общий или отдельный для каждой камеры), проводов для передачи полученного сигнала видеоизображения по гибкому средству доставки. Также камеры могут иметь один объектив, и одну видеоматрицу, с искусственным разделением двух оптических потоков с помощью оптической системы, например – бипризмы.

Два оптических канала стереокамеры могут быть сдвинуты в пространстве по направлению к друг другу, таким образом, что оптические оси указанных каналов имеют между собой острый угол, с целью приближения стереоскопической области к измерительной головке устройства.

Вместо стереокамеры может использоваться камера с двумя или более оптическими каналами.

Также вместо камеры могут использоваться два оптических световода с объективами, изображение с который передается на две камеры, расположенные снаружи рабочего тела устройства, с целью применения быстродействующих камер, которые не могут быть установлена в измерительную головку устройства из-за габаритных размеров.

Устройство также может содержать дополнительное волокно для передачи лазерного излучения и дополнительный источник лазерного излучения, отличающийся по длине волны от первого, при этом лазерное

излучение передается по волокну, имеющему на выходе линзу и дифракционный оптический элемент, создающий на поверхности объекта пятна интенсивности с шагом, таким что среднее расстояние между пятнами больше, чем от первого источника лазерного излучения, что позволяет в каждой отдельной области поверхности объекта получить уникальное изображение и проводить идентификацию одних и тех же точек пространства объектов на изображениях стерео или трехканальной камеры с большей достоверностью без участия человека.

В частном случае поле зрения камеры и потоков света направлены не параллельно оси измерительной головки, а под углом, в наиболее часто используемом случае, имеющим величину 90 градусов, для изменения направления белого света и лазерного излучения используются оптические призмы или зеркала, для изменения направления визирования стерео или трехканальной камеры применяется поворот оптической оси камер или оптическая призма, либо зеркало.

В частном случае реализации изобретения дифракционный элемент создает на поверхности объекта матрицу из квадратов определенной размерности, при этом каждый квадрат имеет уникальный набор лазерных пятен, не повторяющийся в других квадратах, что упрощает обработку полученных изображений и позволяет проводить идентификацию одних и тех же точек пространства объектов на изображениях стерео или трехканальной камеры с большей достоверностью без участия человека.

Устройство в частном случае реализации включает несколько измерительных головок, находящихся между собой на определенном расстоянии, что используется для оперативного получения изображения протяженного объекта.

Устройство контроля также включает обрабатывающий микроконтроллерный блок 6, выполненный с возможностью восстановления трехмерной труднодоступной поверхности по изображению со стереокамеры

с использованием лазерных пятен интенсивности на паре плоских изображений для автоматической идентификации одинаковых точек пространства объектов на стереоизображениях с заданной степенью достоверности.

Для осуществления способа контроля поверхности детали оборудования, расположенной внутри оборудования, производят доставку внутрь контролируемого оборудования эндоскопа с миниатюрной камерой с возможностью управления рабочей частью системы посредством механической артикуляции. Для навигации системы по траектории используется освещение белого света, которое передается по оптическому волокну. На выходе из волокна белого света располагается линза для формирования заданной индикатрисы освещенности объекта контроля. Артикуляция устройства осуществляется путем поворота ручки (механической системы артикуляции) 4 на пульте управления артикуляцией 5, при этом вращение вызывает перемещение тросов, таким образом, рабочая часть системы может изгибаться в двух взаимортогональных направлениях (или одном направлении, или может отсутствовать). Затем осуществляют выключение или приглушение белого света для формирования требуемого для выполнения измерений излучения с использованием лазера. На выходе из волокна лазерного светового потока располагается линза для придания потоку необходимую сходимость, на обеспечивающим требуемую ширину пучка расстоянии от линзы расположен дифракционный оптический элемент для формирования на поверхности объекта контроля изображения с мелкими пятнами интенсивности.

Алгоритм восстановления трехмерной модели по стерео снимкам заключается в том, что предварительно камеру калибруют и получают информацию о ее параметрах. Затем получают два стереокадра, сформированные калиброванной камерой. После чего восстанавливают

трехмерную наблюдаемую сцену оперируя стереоизображениями и параметрами камеры.

Таким образом, поверхность внутреннего пространства оборудования, включающая поверхность детали и ее несплошности осматривается миниатюрной оптической камерой, формирующей стереоизображение, при этом на деталь проецируется лазерное изображение с мелкими пятнами интенсивности. Изображение, сформированное камерой, передается в компьютер или обрабатывающий блок. Используя цифровое изображение поверхности детали и спроецированное на нее лазерное изображение с пятнами интенсивности, компьютерная программа проводит восстановление трехмерной поверхности по стереоизображению, причем лазерные пятна интенсивности на изображениях правой и левой стереопар используются для автоматической идентификации одинаковых точек, при этом не требуется вмешательство оператора.

В случае наблюдения поверхностей деталей стереокамерой с разных ракурсов программа также выполняет дополнительное совмещение трехмерных моделей, соответствующих парам плоских изображений, полученных с различных ракурсов трехмерной сцены для получения общей картины.

По восстановленной поверхности производят измерения параметров формы объектов или сравнивают с параметрами эталонной модели с последующим расчетом отклонений, при этом, в случае выявления несплошности, проводится измерение геометрических параметров несплошности, в частности - площади, длины и ширины, глубины, так же могут быть измерены параметры геометрической формы деталей для установления износа и потери толщины.

В случае исследования перемещающейся детали измеряют период перемещения детали относительно исполнительной части системы контроля и

осуществляют импульсную подсветку изделия лазерным излучением с установленными периодом следования и длительностью импульсов лазерного излучения посредством регулятора времени импульса и частоты следования импульсов лазера с целью избегания смазывания на изображении стереопар.

Для проведения измерений параметров несплошности деталей может быть использована компьютерная программа обработки и анализа изображений, которая позволяет:

- получить изображение с оптической системы камеры и записать его на жесткий диск компьютера;
- провести восстановление трехмерной поверхности объекта по имеющемуся цифровому стереоизображению объекта по спроецированным на ее поверхность лазерным пятнам интенсивности;
- в случае наблюдения поверхностей деталей стереокамерой с разных ракурсов программа выполняет совмещение восстановленных поверхностей трехмерной сцены для получения общей картины;
- автоматически выделить дефектные области на поверхности детали или зоны интереса;
- рассчитать геометрические параметры – в частности длину, ширину, глубину дефектов или объекта.

Результаты выводятся в виде таблицы и сохраняются на жесткий диск.

Внедрение способа контроля формы и измерения параметров несплошностей труднодоступных деталей оборудования, в частности лопаток турбин или компрессоров, дает возможность выйти на новый уровень ведения эксплуатации оборудования, позволяющий сократить время контроля, уменьшить количество поломок и простоев по причине повреждения труднодоступных деталей оборудования в процессе эксплуатации, проводить

контроль при вращающемся роторе, что дает резкий выигрыш в производительности контроля.