

Метод автоматической обработки гибких изделий сложной пространственной формы на основе информации, получаемой от систем технического зрения и их CAD - моделей

В.Ф. Филаретов, Д.А. Юхимец, А.В. Зуев,

А.С. Губанков (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН)

Предложен метод точной обработки гибких изделий (ГИ) произвольной геометрической формы с помощью промышленных роботов, оснащенных системами технического зрения. В этом методе используется: простая и быстрая фиксация обрабатываемого гибкого изделия в универсальной оснастке с возможной деформацией его геометрической формы; сканирование закрепленного изделия с помощью системы технического зрения; совмещение эталонной CAD-модели изделия с его моделью, полученной после сканирования; автоматическое формирование траекторий движения рабочего инструмента робота в процессе обработки изделия. Для реализации предложенного метода разработан алгоритм совмещения двух указанных моделей и переноса траектории реза с эталонной CAD-модели на деформированное изделие. Выполненное математическое моделирование и предварительные экспериментальные исследования показали, что алгоритм, реализующий созданный метод, обеспечивает качественную обработку многих деформируемых изделий¹.

Ключевые слова: промышленный робот, система технического зрения, CAD-модель, совмещение моделей, формирование траекторий реза, деформируемое изделие.

Введение

В настоящее время в мире все больше внимания уделяется вопросам создания и внедрения современных мехатронных и робототехнических систем в промышленности, значительно повышающих производительность труда и качество выпускаемой продукции. При этом одним из перспективных направлений является автоматизация технологических процессов механической обработки гибких пластиковых (композитных) изделий (зачистка, шлифовка, полировка, обрезка технологических припусков и др.), имеющих сложную пространственную форму. Для обработки гибких изделий (ГИ) уже сейчас широко используются различные автоматизированные комплексы [1]. Однако многие известные подходы к построению комплексов для механической обработки ГИ ориентированы на использование дорогих пятикоординатных станков с ЧПУ, дорогостоящей крупногабаритной оснастки, предназначенной для жесткой фиксации конкретных ГИ в процессе их обработки, а также специальных систем базирования, использующих сложные контрольно-измерительные приборы. Проведенные исследования показали, что эта технология является очень дорогостоящей (малоэффективной) и трудно реализуемой, поскольку с помощью универсальных фиксирующих устройств жестко и точно в строгом соответствии с CAD-моделью удается закрепить только небольшой набор простых ГИ. Более того, при силовой лезвийной обработке возможна дополнительная деформация отдельных участков ГИ, приводящая к браку. Особенно это актуально при обработке крупногабаритных композитных ГИ в условиях мелкосерийного производства.

Таким образом, необходимо существенно поменять технологию обработки ГИ, полностью исключив использование дорогостоящей оснастки и пятикоординатных жестко программируемых станков из тех-

нологического процесса. Для этого целесообразно использовать оцувствленные многостепенные манипуляторы (ММ) и универсальные (простые) устройства позиционирования-фиксации. Такой подход позволит не только существенно автоматизировать обработку композитных ГИ, значительно повышая производительность труда, но также обеспечить гибкость производства и ускорить переход на обработку новых тонкостенных пространственных ГИ. Последние в результате фиксации могут менять форму, что является недопустимым для традиционного роботизированного производства [2]. Это объясняется тем, что управляющие программы традиционных обрабатывающих ММ заранее формируются на основе CAD-моделей обрабатываемых ГИ, заносятся в память управляющей ЭВМ и затем отрабатываются нужное число раз, целиком определяя программное перемещение рабочих инструментов (РИ). Любое изменение параметров движения ММ, а также положения и размеров обрабатываемого композитного ГИ, например, в процессе силового воздействия РИ или рабочей среды требует дополнительных перепрограммирования, перенастройки и процедур отладки.

Отмеченные недостатки технологического процесса требуют разработки принципиально новых информационно-управляющих систем (ИУС) для оцувствленных ММ, которые позволят в реальном времени формировать и корректировать управляющую программу перемещения РИ непосредственно в процессе механической обработки ГИ при их возможной непрерывной деформации.

Исследования показали, что для обеспечения автоматического формирования и коррекции траекторий движения РИ при обработке ГИ целесообразно использовать стереоскопические системы технического зрения (СТЗ), которые могут дать информацию о текущем расположении всех частей ГИ в виде об-

¹ Работа частично поддержана грантами РФФИ (16-07-00300, 16-37-60025-мол_а_дк), а также грантом Президента РФ МК-8536.2016.8.

лаков точек. Далее рассмотрен новый подход к автоматизации процессов обработки ГИ со сложной пространственной формой, который построен на основе двух основных принципов:

1) простое и быстрое закрепление любых ГИ в универсальной оснастке с возможной деформацией их геометрической формы при закреплении;

2) автоматическое формирование и коррекция управляющей программы в процессе работы ММ на основе информации, получаемой от СТЗ.

Анализ подходов к автоматической обработке ГИ с помощью оцувствленных ММ показывает, что возможны два варианта изменения их геометрической формы после закрепления, которые существенно влияют на выбор стратегии последующей обработки и на принятие ключевых технических решений.

Первый вариант предполагает жесткое закрепление ГИ в универсальной оснастке, которые не деформируются в процессе обработки, но после закрепления не соответствуют своим САД-моделям. В этом случае требуется формирование в РВ моделей деформированных ГИ, их совмещение с САД-моделями и последующее получение на основе этого совмещения новых управляющих программ для оцувствленных ММ, обеспечивающих точное выполнение заданных технологических операций. Создавать модели деформируемых ГИ предполагается с помощью стереоскопических СТЗ [3].

Второй вариант предполагает нежесткое закрепление обрабатываемых ГИ, а также их возможные деформации в процессе обработки. В этом случае при автоматическом формировании траекторий движения РИ ММ на основе информации о текущем состоянии обрабатываемых участков ГИ должны быть учтены все возникающие в них деформации. Получить искомую информацию о возможных деформациях конкретных участков траекторий обработки можно при непрерывном отслеживании этих участков с помощью СТЗ, закрепленных вблизи РИ ММ.

Рассмотрим особенности указанных вариантов, а также технические решения, использованные при создании современных оцувствленных робототехнических комплексов по обработке ГИ.

Разработка метода совмещения моделей гибких изделий, зафиксированных с деформацией, с их эталонными САД-моделями

В настоящее время известно несколько подходов к совмещению компьютерных моделей различных объектов. Один из наиболее качественных — алгоритм ИСР [4]. Как показали результаты моделирования, этот алгоритм обладает высокой эффективностью и точностью работы. Однако он плохо применим, когда ГИ подвержены деформации в процессе их закрепления. Это объясняется следующим образом. В процессе работы алгоритма ИСР по совмещению двух облаков точек минимизируется величина среднеквадратичного отклонения E между парами ближайших точек этих облаков [4]:

$$E(a, D, M) = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} l_i, \quad (1)$$

где $l_i = \|d_i - m_j\|^2$ — квадрат расстояния между парами ближайших точек их облаков M и D ; M — облако точек m_j , описывающее сканированную модель ГИ, $j = (1, N_m)$; D — облако точек d_i , описывающее эталонную САД-модель ГИ, $i = (1, N_d)$; N_d, N_m — число точек в облаках D и M соответственно, которое может быть различным (для определенности число пар ближайших точек будет равно N_d , поскольку передвигаемым является облако D); a — параметр функции трансформации облака точек. При деформации областей в одном из облаков расстояния между парами ближайших точек в этих областях увеличатся. Этот эффект приведет к увеличению функционала (1) и алгоритм рассчитывает такие параметры функции преобразования, которые уменьшат большие расстояния за счет некоторого увеличения остальных, что неминуемо приводит к некорректному совмещению указанных облаков.

Для устранения указанной проблемы при совмещении двух облаков точек нужно учитывать только отклонения между парами точек, соответствующими недеформированному участку. В этом случае в (1) вместо N_d следует использовать $N_{dn} = \text{round}(N_d(1 - \eta))$ — число точек, соответствующих недеформированному участку модели; где η — доля пар ближайших точек с наибольшими расстояниями между ними (они находятся на деформированном участке), которые не учитываются при работе алгоритма ИСР. Особенности определения N_{dn} будут пояснены ниже.

Рассмотрим итеративный алгоритм, который состоит из следующих шагов.

1) Вначале для уменьшения числа возможных последующих итераций максимально сближаются геометрические центры облаков M и D . Для этого формируется новое облако \hat{D} , координаты всех точек которого находятся по формуле:

$$\hat{d}_i = d_i + t_{GC}, \quad i = (1, N_d),$$

$$t_{GC} = \frac{1}{N_m} \sum_{j=1}^{N_m} m_j - \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} d_i, \quad j = (1, N_m).$$

2) Предварительное совмещение облаков точек M и \hat{D} с помощью стандартного алгоритма ИСР.

3) Если предварительное совмещение облаков точек M и \hat{D} было выполнено с большими отклонениями, то есть выполняется неравенство $E > E_{don}$, где E_{don} — допустимая величина среднеквадратического отклонения, то в (1) N_d заменяется на N_{dn} и совмещение этих облаков с помощью алгоритма ИСР повторяется.

4) Если после повторного совмещения результирующее среднеквадратичное отклонение будет больше допустимого, то необходимо повторить шаг 3, увеличив долю отбрасываемых пар точек на величину Δ :

$$\eta(k+1) = \eta(k) + \Delta,$$

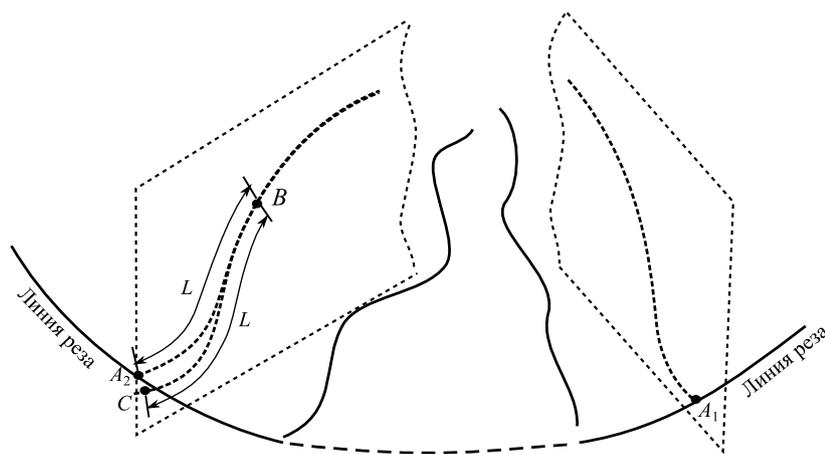


Рис. 1. Иллюстрация алгоритма переноса точек линии реза с CAD-модели на деформированный участок модели закрепленного ГИ

где $k = 0, 1, 2, \dots$ — номер итерации использования алгоритма совмещения облаков точек.

После совмещения облаков точек, описывающих зафиксированное в оснастке ГИ и его CAD-модель, необходимо провести расчет координат точек движения РИ с учетом деформаций, появившихся в ГИ после фиксации. Для участков без деформаций искомая линия реза полностью определяется линией реза, заданной на CAD-модели, с помощью функции преобразования, полученной при совмещении сканированной модели ГИ с его CAD-моделью. Но для деформированных участков ГИ потребуются дополнительные действия. При этом возникает задача разработки алгоритма переноса точек, точно задающих линию реза на CAD-модели на деформированных участках модели ГИ.

В процессе разработки этого алгоритма будем полагать, что ГИ, закрепленные в универсальной оснастке, имеют только отдельные деформированные участки, которые не будут смещаться на значительные расстояния. Кроме того, будем предполагать, что материал ГИ не растягивается, поэтому при их деформации не изменяются расстояния между точками, входящими в конкретное облако точек, описывающее трехмерную модель обрабатываемого ГИ.

С учетом принятых допущений предложен следующий алгоритм переноса точек линии реза с CAD-модели на деформированные участки ГИ (рис. 1).

После совмещения облаков точек, описывающих CAD-модель и модель деформированного ГИ через точки линии реза, находящиеся на CAD-модели (точка A_1) и на модели деформированного ГИ (точка A_2) проводятся сечения плоскостями, перпендикулярными этой линии. В результате получают два набора точек, описывающих профиль CAD-модели и модели деформированного ГИ, которые имеют как совпадающие (недеформированные), так и отличающиеся (деформированные) участки (рис. 1). Если точка A_2 линии реза, определяемая на CAD-модели точкой A_1 , находится на недеформированном участке модели

закрепленного ГИ, то перенос точки A_1 в точку A_2 осуществляется с помощью преобразования, полученного при совмещении облаков точек, а если — на деформированном, то на модели закрепленного ГИ необходимо найти точку B , которая не была подвержена деформации, и отложить вдоль сечения деформированной модели расстояние L , равное расстоянию от точки B до точки A_2 . Эта процедура определит расположение искомой точки C линии реза на модели деформированного ГИ.

Обработка гибких изделий без их жесткой фиксации при наличии непрерывной деформации

При лезвийной обработке нежестких ГИ после их фиксации возможна деформация отдельных участков ГИ под действием РИ. Очевидно, что обработка таких ГИ на основе данных, получаемых только от их CAD-моделей неизбежно приведет к ошибкам в движении РИ и тем самым к браку при обработке.

Выделим две составляющие возникающей деформации обрабатываемого участка: вдоль и поперек линии реза, вызванные продольными и поперечными перемещениями РИ (фрезы). Предварительный анализ композитных ГИ показал, что их деформация, вызванная продольным перемещением инструмента при использовании торцевых или дисковых фрез, будет незначительной. Основной вклад в деформацию обрабатываемых участков ГИ, скорее всего, будет вносить поперечное воздействие, поэтому основное внимание уделено исследованию именно поперечной деформации.

Возможным подходом к решению задачи силовой обработки деформируемых участков ГИ является автоматическое формирование траекторий движения РИ на основе информации о текущем состоянии обрабатываемых участков ГИ, то есть о текущем пространственном расположении промаркированных траекторий реза. Получить искомую информацию можно при их непрерывном отслеживании стереоскопической СТЗ, закрепленной вблизи РИ ММ [5]. При этом необходимо использовать эффективные процедуры распознавания и определения пространственных координат промаркированных траекторий реза.

При реализации рассматриваемого подхода предполагается, что в памяти ИУС ММ хранятся программные значения координат точек, образующих траектории реза закрепленных ГИ. Эти координаты формируются заранее в системе координат, связанной с основанием ММ, и могут быть получены из эталонных CAD-моделей ГИ или с помощью методов распознавания промаркированных траекторий реза. На основе этой информации ИУС ММ формирует базу векторов программных значений обобщенных

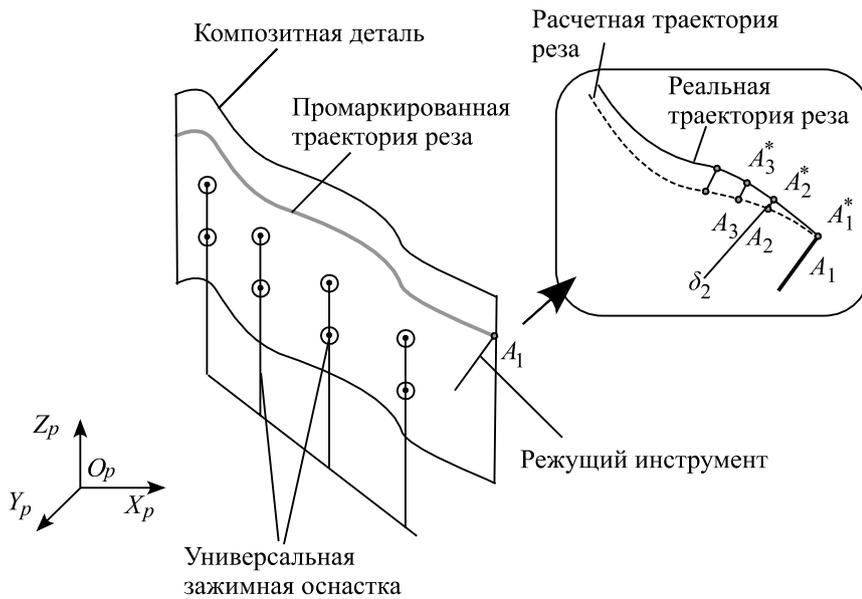


Рис. 2. Деформация обрабатываемых ГИ под действием РИ

координат ММ, используемых для обработки обозначенных траектории реза. Кроме координат точек, образующих траектории реза, в память ИУС заносятся также допустимые значения поперечных деформаций δ_i^d ($i = 1, \dots, N$, где N — число задаваемых точек траекторий реза) текущих участков ГИ в i -ых точках траектории. Эти допустимые значения в общем случае могут быть различными для каждого из обрабатываемых участков и должны быть определены в ходе экспериментальных исследований для каждого конкретного ГИ. На основе полученных заранее и текущих данных ИУС ММ может формировать программные скорости движения РИ по конкретным траекториям реза, например, как показано в работах [6, 7].

Процесс резки ГИ (рис. 2) начинается с подвода к его поверхности РИ в некоторой начальной точке траектории реза (точка A_1 на рис. 2) согласно его САД-модели (или к точке траектории реза, предварительно сформированной на основе СТЗ). При этом в процессе врезания фрезы может начаться деформация не жестко закрепленного участка ГИ, и при дальнейшем движении РИ к заранее сформированной на основе САД-модели точке траектории A_2 произойдет сход фрезы с траектории реза, что потребует остановки процесса реза и начала новой процедуры установки РИ на эту траекторию.



Рис. 3. Внешний вид исходной и деформированной частей модели

Для обработки возникающей деформации необходимо вносить соответствующие коррективы в первоначально заданную траекторию реза, используя стереоскопическую СТЗ, расположенную рядом с режущим инструментом. Эта СТЗ, определяя текущее положение инструмента относительно траектории реза, должна способствовать вычислению в РВ реальной пространственной координаты следующей точки траектории реза на деформируемом участке ГИ (точка A_2^* на рис. 2). Для обработки появляющейся деформации ИУС в следящем режиме должна ликвидировать возникающее рассогласование между хранящимися в памяти управляющей ЭВМ координатами точек траектории реза и координатами реальных точек траектории, непрерывно получаемыми с помощью СТЗ. При этом необходимо также непрерывно учитывать величину текущей деформации ГИ в новой реальной точке ее обработки по сравнению с предварительно заданной. Если возникающая деформация δ_i в направлении соответствующего перемещения РИ превышает допустимую δ_i^d на рассматриваемом участке ГИ, то необходимо уменьшать величину (скорость) этого перемещения в указанном направлении до тех пор, пока не начнет выполняться условие $\delta_i < \delta_i^d$.

Таким образом, предлагаемый метод к формированию траекторий движения РИ с использованием СТЗ при деформации отдельных участков ГИ после фиксации позволяет осуществлять их автоматическую обработку.

Исследования метода автоматической обработки гибких изделий

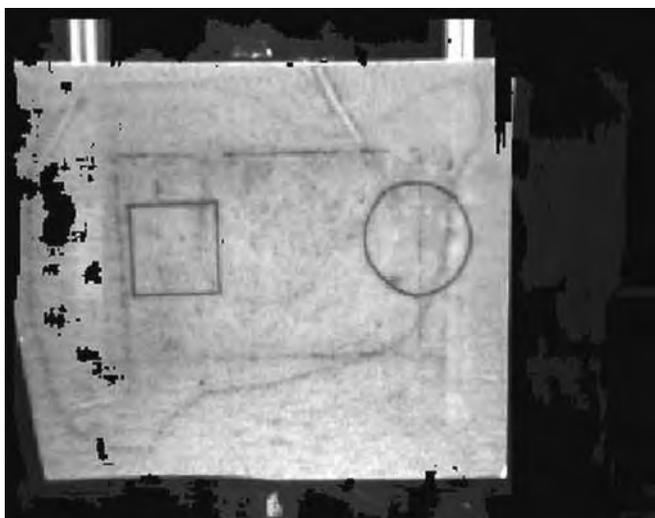
Для проверки предложенного метода и разработанных на его основе алгоритмов были проведены исследования на модельном примере, в процессе которых проверялась точность совмещения эталонной САД-модели с отсканированной моделью этого ГИ, имеющего деформации, а также точность переноса линии реза с САД-модели на деформированные участки.

Модель ГИ, часть которого была деформирована, получена из исходной САД-модели с помощью ее преобразования в редакторе 3DMax. При этом в процессе изменения САД-модели расстояния между точками ее поверхности сохранялись. Внешний вид исходной и деформированной частей модели показан на рис. 3.

Левый край зафиксированного ГИ, показанного на этом рисунке, по сравнению с эталонной САД — моделью отведен внутрь. Этот вид деформации выбран как наиболее вероятный при закреплении ГИ данного вида. Линия реза, заданная на САД — моде-



а)



б)

Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки

ли, также была деформирована. В процессе моделирования оценивалась точность переноса точек линии реза с CAD-модели на модель деформированного ГИ. При этом рассматриваемые модели были преобразованы в облака, содержащие 191835 и 176093 точек соответственно.

В результате с помощью алгоритма совмещения удается совместить указанные облака с точностью в 0,033 мм. В процессе выполнения совмещения было выполнено суммарно 335 итераций алгоритма ИСР, при этом первое совмещение происходит за 200 итераций. То есть использование разработанного адап-

тивного алгоритма не приводит к существенному росту времени вычислений, но при этом точность совмещения увеличивается почти в 70 раз. Точки линии реза переносятся с эталонной CAD-модели на модель ГИ с деформацией с точностью 0,2 мм.

Для подтверждения правильности выбранной стратегии и подходов к обработке ГИ была исследована точность определения с помощью СТЗ координат точек, образующих промаркированную траекторию реза, а также точность отслеживания РИ полученной траектории.

При проведении экспериментальных исследований использовался ММ DENSO VS-6556G B/RC 7M и стереоскопическая телекамера Bumblebee[®]2 1024x768, неподвижно закрепленная вблизи схвата этого ММ (рис. 4а). Для обработки стереоизображений и формирования траекторий движения РИ требуется ПК с пиковой производительностью ≥ 1 ГГц, оперативной памятью ≥ 1 Гб, дисковым пространством ≥ 1 Гб.

Перед началом проведения эксперимента в рабочей зоне ММ произвольным образом на некотором расстоянии от его схвата с СТЗ устанавливался образец плоского ГИ с предварительно промаркированными контурами в виде квадрата со сторонами $l=65$ мм и окружности радиусом $r=35$ мм (см. рис. 4 б). Предварительная калибровка стереоскопической СТЗ осуществлялась с помощью пакета Camera Calibration системы MATLAB.

В процессе проведения эксперимента осуществлялось последовательное распознавание промаркированных траекторий, определение их пространственного положения и ориентации в системе координат СТЗ. Эксперименты показали, что ошибки определения длин сторон квадрата и радиуса окружности не превышали значений 0,3 мм и 0,42 мм соответственно.

С учетом преобразования с помощью управляющей ЭВМ координат точек, образующих распознанные траектории реза, из системы координат СТЗ в систему координат, связанную с основанием ММ, в эксперименте была произведена имитация автоматической обработки с помощью РИ (имитатора лазерной режущей головки) плоских изделий по выявленным контурам. Ошибка отработки РИ ММ обеих выявленных с помощью СТЗ траекторий не превышала 0,07 мм.

В целом проведенные экспериментальные исследования полностью подтвердили правильность предложенного метода и разработанных на его основе алгоритмов, а также работоспособность технических решений, обеспечивших высокую точность обработки ГИ с помощью очувствленных ММ.

Заключение

Проведенный анализ и предварительные экспериментальные исследования подтвердили возможность высокоточной автоматической обработки с помощью ММ, оснащенных СТЗ, ГИ без использования до-

рогостоящей индивидуальной оснастки для их жесткой фиксации перед обработкой. Для эффективной реализации предложенных методов необходимо использовать быстродействующие алгоритмы точного распознавания и определения пространственных координат точек, образующих на обрабатываемых ГИ промаркированные траектории реза. Это особенно актуально, если ГИ имеют сложную пространственную конфигурацию, а промаркированные траектории не совсем четко выделяются на фоне обрабатываемой поверхности.

Предложенные решения могут быть внедрены на машино- и приборостроительных предприятиях Приморского края и России. В частности, описанный выше метод и разрабатываемая на его основе технология предполагается к внедрению в ОАО ААК «ПРОГРЕСС» (г. Арсеньев) для автоматической обрезки тонкостенных крупногабаритных элементов обшивки вертолетов. В 2016 г. завершился проект с ОАО «Дальприбор» (г. Владивосток), в котором на основе предлагаемого метода с помощью СТЗ определяется положение и ориентация произвольно расположенных в рабочей зоне ММ деталей. Более того, указанный метод может быть использован для определения положения и величин различных дефектов (трещин, кавитационных и коррозионных повреждений) на деталях судов с целью автоматического формирования траекторий движения РИ ММ для

последующего устранения этих дефектов с помощью аддитивных технологий. В настоящее время такой проект выполняется в лазерном центре ИАПУ ДВО РАН совместно с ОАО «Центр судоремонта Дальзавод» (г. Владивосток).

Список литературы

1. *Altintas Y.* Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. 1st ed. Cambridge University Press, NY, USA, 2000.
2. *Craig J.J.* Introduction to robotics: mechanics and control. Prentice Hall, 2003.
3. *Marshall G., Stutz G.* Handbook of Optical and Laser Scanning, Second Edition (Optical Science and Engineering). CRC Press, 2011.
4. *Munoz E., Buenaposada J., Baumela L.* Efficient model-based 3D tracking of deformable objects. Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05). 2005. P. 1-6.
5. *Wu H., Lou L., Chen C.C., Hirche S.* Cloud-Based Networked Visual Servo Control. IEEE Transactions on Industrial Electronics. V. 60, №2, 2013. P. 554 -566.
6. *Филаретов В.Ф., Губанков А.С.* Система формирования предельно высокой скорости движения рабочего органа многостепенного манипулятора по произвольной траектории // Информационно-измерительные и управляющие системы. Т. 11. №4. 2013. С. 19-25.
7. *Филаретов В.Ф., Зуев А.В.* Особенности создания комбинированных позиционно-силовых систем управления манипуляторами // Известия РАН. Теория и системы управления. №1. 2009. С. 154-162.

Филаретов Владимир Федорович – д-р техн. наук, заслуженный деятель науки, заведующий лабораторией робототехнических систем, профессор,

Юхимец Дмитрий Александрович – д-р техн. наук, старший научный сотрудник,

Зуев Александр Валерьевич – канд. техн. наук, младший научный сотрудник,

Губанков Антон Сергеевич – канд. техн. наук, младший научный сотрудник Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН.

Контактный телефон (423)2310439.

E-mail: filaret@dvo.ru, undim@dvo.ru, zuev@dvo.ru, gubankov@dvo.ru

Новое ведущее устройство IO-Link обеспечивает интеллектуальную диагностику в неблагоприятных условиях

Показания датчиков, полученные с помощью ведущего устройства ArmorBlock IO-Link, повышают обоснованность принятых решений.

Теперь у производителей и промышленных операторов есть доступ к детальной диагностике датчиков в сложных условиях с помощью ведущего устройства Allen-Bradley ArmorBlock IO-Link класса IP67 от Rockwell Automation. Устройство дополняет IO-Link номенклатуру компании функциями временных меток событий и процессов для станочных приложений.

Новое ведущее устройство IO-Link хранит до 40 временных меток событий датчиков для каждого канала. Эта история событий будет полезна пользователям для отслеживания изменений и упрощения диагностики неисправностей. Временные метки всех показаний датчиков можно передавать на контроллер после изменения состояния. Диагностические возможности устройства позволяют ускорить устранение неисправностей более чем на 90%, улучшить профилактическое техническое обслуживание и оптимизировать общую производительность системы.

Ведущее устройство ArmorBlock IO-Link с датчиками IO-Link позволяет конечным пользователям соз-



дать интеллектуальное производство без капитального ремонта. Пользователи могут внедрить технологию в целях контроля температуры и индикации предельно допустимых значений или параметров приближения в критических процессах. Кроме того, они смогут локализовать проблемные области, нуждающиеся в более детальной диагностике для устранения неисправностей.

Помимо ведущего устройства ArmorBlock IO-Link в защищенном исполнении, предназначенного для использования в неблагоприятных условиях, компания Rockwell Automation выпускает также устройство в шкафом исполнении для более простых условий. Для установки на станок нужно протянуть от шкафа только один кабель, что сокращает объем и длину проложенных кабелей, а также число мест вероятных отказов.

Ведущее устройство ArmorBlock IO-Link допускает подключение до восьми датчиков IO-Link. Ведущее устройство и датчики делят один IP-адрес, что помогает конечным пользователям снизить затраты средств и времени на ввод оборудования в эксплуатацию.

<http://www.rockwellautomation.com>