

Рис. 5. Интерполяционное множество с учетом оптимальной эквидистанты

порядка позволит уменьшить линейную ошибку интерполяции на окраине рабочего стола, но при этом увеличение порядка локального множества ограничено свойствами механизма и приведет к его насыщению (увеличение порядка локального множества не влечет за собой уменьшение линейной ошибки). На примере ДМ видно, что насыщение локального множества достигается на пятом

порядке (см. рис. 3), дальнейшее увеличение размерности не приводит к уменьшению линейной ошибки, в то время как вычислительные затраты растут. Данные исследования лежат в основе системы управления ДМ с адаптивным изменением порядка интерполяционного локального множества.

Список литературы

1. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 480 с.
2. Подураев Ю. В. Актуальные проблемы мехатроники // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 4. С. 50–53.
3. NielsJoubert Numerical Methods for Inverse Kinematics / NielsJoubert — UC Berkeley cs184, 2008. 8 p.
4. Шевелева Г. И., Волков А. Э., Медведев В. И. Программный комплекс для подготовки производства спирально-конических зубчатых передач // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 6–14.
5. Козочкин М. П., Кочинев Н. А., Сабиров Ф. С. Диагностика и мониторинг сложных технологических процессов с помощью измерения виброакустических сигналов // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 30–34.
6. Зеленский А. А. Повышение точности формирования траектории перемещения рабочего инструмента для систем управления неортогональными объектами // Тр. XX междунар. конф. молодых ученых и студентов "Будущее машиностроение России", 2010. 83 с.
7. Патент № 2367544 Рос. Федерация. МПК В23В39/20. Станок / Зеленский А. А., Валюкевич Ю. А., Кузнецов С. А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "ЮРГУЭС". — № 2008107661/02, заявл. 27.02.2008; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 9. 3 с.
8. Григорьев С. Н., Мартинов Г. М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4–8.
9. Черноуцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления: учеб. пособ. СПб., 2004. 256 с.

УДК 621.924.93:62-52

Г. М. Мартинов, д-р техн. наук, проф.,

Р. А. Нежметдинов, канд. техн. наук, доц.,

neramil@ncsystems.ru,

С. В. Рыбников, зав. лаб.,

А. У. Кулиев, аспирант,

Московский государственный

технологический университет "СТАНКИН"

Организация распределенного управления станком гидроабразивной резки с ЧПУ*

Предложена архитектура распределенной системы управления станком гидроабразивной резки. Проиллюстрирован практический подход к решению задачи управления электроавтоматикой станка в режиме "master-slave". Предложен способ визуализации состояния управляемого объекта в терминале оператора.

Ключевые слова: система ЧПУ, открытая модульная архитектура, электроавтоматика станка, станочная панель, программируемый логический контроллер, терминал оператора

Введение

Гидроабразивная резка — универсальная технология обработки, позволяющая получать детали и изделия различной конфигурации из металлов, сплавов, бетона, гранита, стекла и других материалов с высокой точностью и производительностью. В настоящее время является не только альтернативой механической, лазерной и другим видам обработки, но и единственным возможным в ряде случаев способом воздействия на заготовку без ее нагрева.

В качестве систем ЧПУ для установок гидроабразивной резки применяют либо адаптированный вариант систем управления ведущих зарубежных производителей, либо специально разработку самого станкостроителя с ограниченным набором изолированных функций специально под гидроабразивную обработку. В таблице приведена сравнительная характеристика используемых систем ЧПУ.

* Работа выполнена по Госконтрактам № П858 и № П1368 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.

Характеристика систем ЧПУ для станков гидроабразивной резки

Разработчик	Siemens 840 D	Fagor 8040 CNC	Независимая разработка	AxiOMA Ctrl
Производитель оборудования	СТ (Турция)	DARDI (Китай)	SAME (Китай)	НИАТ (Россия)
Операционная система	Windows	Windows XP	Windows XP	Windows/Linux
Число управляемых осей	3	До 4	3	3
Интерфейс связи с приводами	Profibus	DeviceNet, SERCOS	CAN, Profibus, SERCOS	UCSNet, CANbus, SERCOS
Панель оператора	Дисплей, клавиатура, программные клавиши	Дисплей, клавиатура, программные клавиши	Дисплей, программные клавиши	Дисплей, клавиатура, программные клавиши
Пульт управления	Есть	Есть	По требованию станкостроителя	Нет

Как правило, они функционируют в операционных средах семейства Windows NT. Число управляемых осей варьируется от трех до четырех в зависимости от кинематической структуры станка. Поддержка нескольких коммуникационных протоколов предоставляет станкостроителям возможность выбора дополнительного технологического оборудования (контроллеров приводов, программируемых логических контроллеров (ПЛК), терминаль-

ных компьютеров) [1]. Однако фирмы-разработчики систем управления придерживаются политики комплектной поставки специального оборудования вместе с системой управления [2, 3].

Распределение управления в рамках ЧПУ обусловлено наличием специфического оборудования — станции высокого давления (СВД) и бункера подачи абразивного порошка. При этом функции контроля над технологическим оборудованием переносятся на локальную систему управления, построенную на базе программируемых контроллеров. Такой подход резко снижает требования, предъявляемые к вычислительной мощности аппаратного обеспечения системы ЧПУ.

Компоновка системы ЧПУ для управления пятикоординатным станком гидроабразивной резки

Пятикоординатная установка гидроабразивной резки (рис. 1), оснащается системой ЧПУ "AxiOMA Ctrl" (МГТУ "Станкин").

В состав комплектной системы ЧПУ (рис. 2) входят ядро системы управления, терминал оператора, контроллеры электроавтоматики станка и системы управления автономной станции высокого давления, контроллеры приводов подачи (для шести осей, с учетом портальной кинематики) и станочная панель управления.

Платформа системы ЧПУ включает в себя стандартную и специализированную аппаратуру, а также операционную систему реального времени [4]. Кроссплатформенная реализация ядра позволяет абстрагировать от особенностей конкретной платформы алгоритмы управления и их программную реализацию [5, 6].

Терминал оператора с рядом функциональных (F-keys) и столбцом машинных (M-keys) клавиш, расположенных снизу и справа от дисплея соответственно, служит для выбора режима управления, ввода/редактирования управляющих программ (УП), быстрого вызова команд электро-

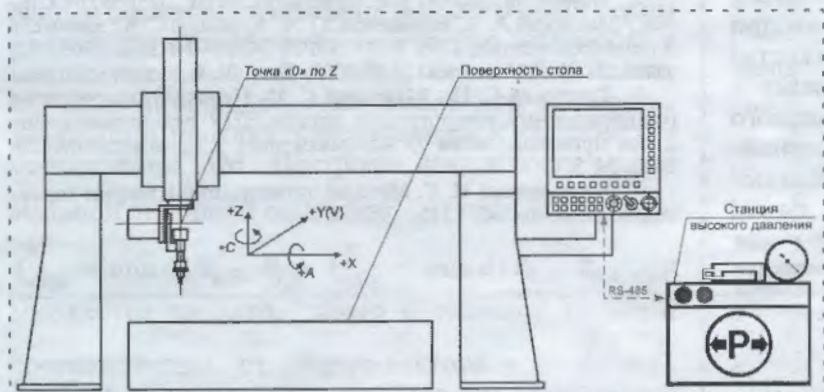


Рис. 1. Эскиз установки гидроабразивной резки



Рис. 2. Архитектура системы числового управления



Рис. 3. Панель управления УГСП

автоматики станка и отображения текущего состояния системы.

Автономное управление станцией высокого давления при наладке осуществляется посредством установленного на ней пульта. В штатном режиме управление происходит с помощью станочной панели на терминале системы ЧПУ [7]. Станочная панель позволяет управлять положением защитного ограждения, отсекателем струи, подачей питания СВД и гидростанции (рис. 3). Управляющие сигналы через ядро системы ЧПУ передаются в контроллер привода и ПЛК или в систему управления СВД для отработки заложенных алгоритмов.

Логическая задача управления

Логическая задача ЧПУ решается посредством распределенной системы управления, представляющей собой совокупность программируемых контроллеров, непосредственно управляющих технологическим процессом. Сбор и обмен данными в сети между вычислительными устройствами осуществляется на базе коммуникационного протокола ModBus с применением на физическом уровне стандарта последовательной линии связи RS-485. Применение стандартного протокола гарантирует стабильную работу в производственных условиях.

Организация взаимодействия автономных программируемых контроллеров для управления электроавтоматикой станка построена на принципе "Master — Slave" ("ведущий — ведомый") с образованием многоуровневой сети (рис. 4) [8].

На верхнем уровне располагается система ЧПУ, управляющая всем технологическим процессом. На втором уровне расположен "ведущий" ПЛК, отвечающий за согласованность работы совокупности элементов распределенной системы. На третьем уровне располагаются "ведомые" ПЛК, реализующие управление питанием приводов подач, СВД, контроль безопасности и т. д. [9].

Применение распределенного управления позволяет автономно вести разработку программного обеспечения для каждого отдельного программируемого контроллера

с последующей интеграцией в систему и вводом оборудования в эксплуатацию (рис. 5).

Непосредственная коммуникация осуществляется только между смежными уровнями (а именно, 1—2, 2—3 и 3—4). Механизм взаимодействия базируется на использовании разделяемой памяти (применяется внутренняя память подчиненных контроллеров), доступной для чтения и записи данных как "Master"-, так и "Slave"-устройствам.

М-функции в кадре управляющей программы на языке ISO-7bit (в автоматическом режиме) или команды от оператора, поступающие с органов управления (в ручном режиме), обрабатываются системой ЧПУ и передаются в "ведущий" ПЛК [10]. В зависимости от конкретной реализации "Master"-контроллер:

1) самостоятельно выполняет поступающие команды по заложенным в его управляющей программе алгоритмам. При этом "Slave"-устройства фактически выступают в роли пассивных модулей ввода/вывода, выполняя лишь арифметические и/или логические операции над данными в целях предварительной фильтрации (например, для передачи только определенного диапазона значений);

2) только распределяет поступающие команды между "ведомыми". Непосредственной обработкой и последующим выполнением команд занимаются

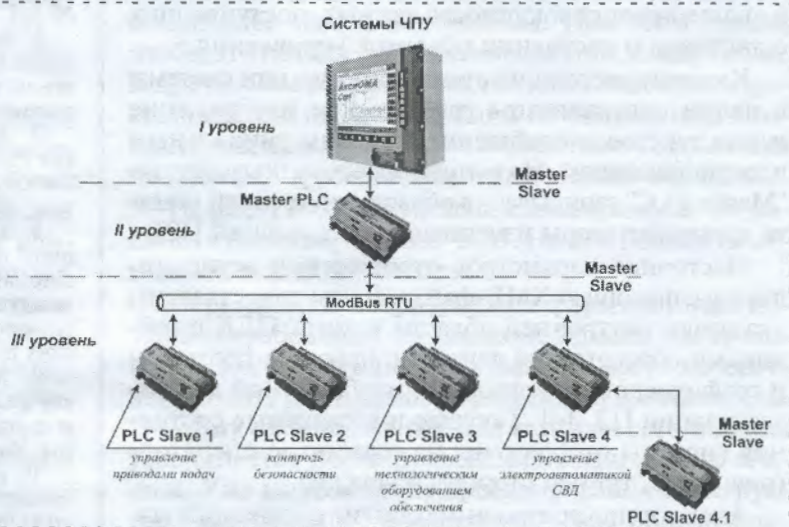


Рис. 4. Организация управления в режиме "Master—Slave"

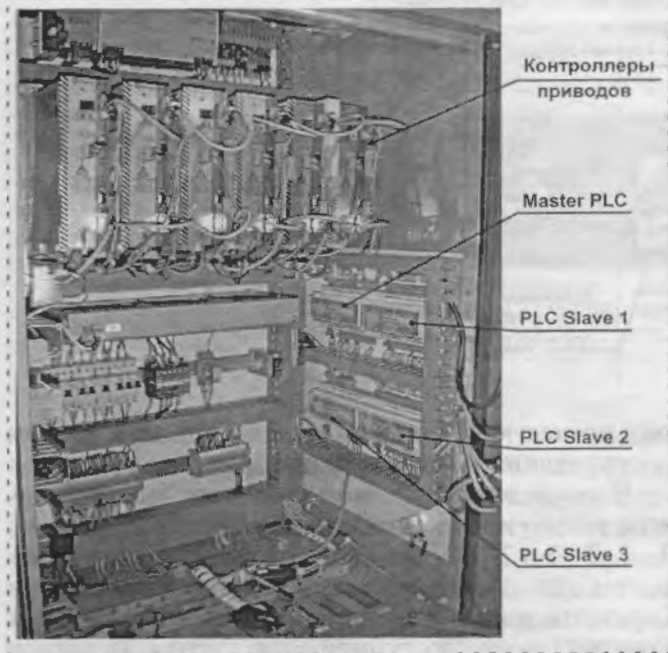


Рис. 5. Шкаф электроавтоматики УГСП

устройства третьего уровня. При обмене данными между ними, а также с системой числового управления станка "Master"-контроллер также выступает и в роли коммутатора;

3) реализует обе вышеописанные задачи, что позволяет сократить количество применяемого оборудования за счет рационального использования функциональных возможностей контроллеров.

Способ отображения состояния электроавтоматики

Команды, поступающие с органов управления (с M-клавиш терминала оператора или панели управления), обрабатываются в ядре системы ЧПУ и передаются в программируемый контроллер [11]. Контроллер электроавтоматики согласно запрограммированным алгоритмам циклически передает управляющие воздействия на исполнительные механизмы и анализирует совокупность данных, поступающих с датчиков о состоянии объектов управления.

Каждому состоянию отдельного узла или системы в целом сопоставлены графическое изображение и/или текстовое сообщение со своим уникальным идентификатором. На основе обработанных данных "Master PLC" записывает в область внутренней памяти идентификаторы изменившихся состояний [12].

Настройка параметров отображения осуществляется с помощью XML-файла. В нем сопоставлены указатели внутренней области памяти ПЛК с таблицами соответствия данных с набором текстовой и графической информации, необходимой для визуализации [13, 14]. Текущее и возможные состояния системы отображены на терминале оператора (рис. 6, см. третью сторону обложки).

Аналогично построен механизм индикации машинных клавиш на панели управления: статус управ-

ляемых от станочной панели объектов записывается в биты памяти программируемого контроллера станка; система ЧПУ считывает данные и передает инструкции контроллеру станочной панели, отвечающему за подсветку.

Заключение

В работе рассмотрена архитектура системы ЧПУ "АxiOMA Ctrl" для установки гидроструйной резки и предложен вариант реализации управления электроавтоматикой станочного оборудования по принципу "Master — Slave". Ввод в ее состав "ведущего" ПЛК предъявляет повышенные требования к надежности его функционирования. Однако наличие "Master"-контроллера позволяет передать ему функции диспетчеризации, тем самым освобождая программное обеспечение ядра системы ЧПУ от реализации специализированного функционала. Данное решение предоставляет возможность быстрой адаптации системы числового управления к станкам различных групп, т. е. повышает ее унифицированность [15].

Список литературы

1. Григорьев С. Н. Научно-технические проблемы построения современных технологических систем с числовым программным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 19—26.
2. Григорьев С. Н., Мартинов Г. М. Концепция построения базовой системы числового программного управления мехатронными объектами // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011. № 2. С. 21—27.
3. Мартинов Г. М., Пушков Р. Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 11. С. 19—24.
4. Григорьев С. Н., Андреев А. Г., Мартинов Г. М. Перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем числового программного управления высокотехнологичного оборудования // Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 3—8.
5. Григорьев С. Н., Мартинов Г. М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производителями // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4—8.
6. Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л. Перспективные технологии разработки математического обеспечения систем управления: использование регулярных выражений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 2. С. 40—46.
7. Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Пушков Р. Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. № 4 (12). С. 116—122.
8. Нежметдинов Р. А., Кулиев А. У., Червонова Н. Ю. Принципы построения распределенных систем управления электроавтоматикой на базе взаимодействия автономных ПЛК // Тр. междунар. науч.-практ. конф. "Передовые информационные технологии, средства автоматизации и их внедрение на российских предприятиях" АИТА 2011. С. 725—728.
9. Мартынова Л. И., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Пушков Р. Л. Реализация открытости управления электроавтоматикой станков в системе ЧПУ класса PCNC // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 2. С. 11—16.
10. Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М. Системы числового программного управления. Учеб. пособие. М.: Логос, 2005.
11. Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Любимов А. Б. Специфика построения панелей управления систем

ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 7. С. 34–40.

12. Eliseeva Yu. V. Comparative index for solutions of symplectic difference systems // Differential Equations. 2009. Т. 45. № 3. С. 445–459.

13. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Козак Н. В., Пущков Р. Л. Прикладные решения в области управления электроавтоматикой станков с ЧПУ класса PCNC // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 4. С. 48–53.

14. Козочкин М. П., Кочиев Н. А., Сабиров Ф. С. Диагностика и мониторинг сложных технологических процессов с помощью измерения виброакустических сигналов // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 30–34.

15. Григорьев С. Н. Принципы создания многофункциональной системы числового программного управления технологическим оборудованием на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 5. С. 1–11.

УДК 681.323-181.4.001.63

О. Д. Егоров, канд. техн. наук, доц.,
Московский государственный
технологический университет "СТАНКИН"

Проектирование интегрированных мехатронных модулей

Представлен подход к проектированию мехатронных модулей на основе разработанной их классификации и критериев синергетической интеграции.

Ключевые слова: проектирование, мехатронный модуль, классификация, интеграция

Общие положения

Проектирование — логический мыслительный процесс, в котором соединены интуиция, творчество, искусство, умение целенаправленно творчески работать, увязывая достижения науки, накопленный опыт, прогнозирование перспектив, возможности производства. Это длительный, трудоемкий, требующий больших материальных затрат процесс, который может быть осуществлен на высоком техническом уровне, если конструктор овладеет методикой проектирования, накопит большой и специфичный для данной отрасли опыт конструирования; это комплекс работ, направленный на изыскание, исследование, расчет и разработку конструкторской документации объекта проектирования [1].

Целью проектирования является создание объекта, необходимого людям.

Необходимость в проектировании возникает после описания некоторой совокупности потребительских свойств, которыми должен обладать объект проектирования. Эти свойства являются входом процесса проектирования, выходом является конструкторская документация, по которой можно изготовить объект, удовлетворяющий этим свойствам.

Проектирование современных модулей и машин нового поколения основано на переносе функциональной нагрузки от механических устройств к интеллектуальным (электронным, компьютерным и информационным) компонентам. Такой подход в проектировании называют мехатронным. Он диктует новые требования к элементам различной физической природы, входящим в состав мехатрон-

ных модулей (ММ) и машин, что, в свою очередь, ведет к развитию новых технологий и конструкторских решений.

Добиться качественно новых характеристик ММ позволяет концепция "встроенного проектирования", которая предполагает синергетическую интеграцию различных элементов в едином корпусе на основе современных научно-технических знаний в области конструирования, технологий изготовления и управления машинами. При этом необходимо не просто объединить отдельные части в систему с помощью типовых соединений, а сделать конструктивные связи в ММ неразрывными и взаимопроницаемыми, а также обеспечить преобразование информации о программе движения выходного звена модуля в целенаправленное его движение.

Интеграция элементов различной физической природы в ММ позволяет перейти на более высокий качественный уровень достижения им основных технических показателей — скорости и точности движения выходного звена, а также обеспечить компактность конструкции и способность ее к быстрой реконфигурации. В то же время разнородность отдельных элементов требует повышенной согласованности их создания. Поэтому современные концепции проектирования ММ основаны на разделении процесса проектирования на параллельные потоки, каждый из которых соответствует синтезу какой-либо одной подсистемы. При этом важно, чтобы эти потоки были взаимосвязаны между собой. В противном случае на заключительном этапе проектирования ММ, состоящий из полученных компонентов, может оказаться неработоспособным или не отвечать требованиям технического задания.

На рис. 1 изображена блок-схема процесса "встроенного проектирования" ММ. На ней показаны основные этапы его синтеза.

Первый этап подразумевает формирование исходных требований заказчиком. Однако эти требования могут быть неполными или могут не соответствовать реальным возможностям изготовителя. Поэтому окончательный вид технического задания утверждается после проведения технического анализа. Уже на этом этапе проектирования конструктор, как правило, представляет себе общую концепцию будущего изделия, так как из содержания