

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ

Е.В. Красильникьянц, А.А. Варков, В.В. Тютиков (НТЦ "ИНЭЛСИ")

Описаны принципы разработки современной системы управления манипуляционным роботом. Изложены подходы к построению архитектуры программных и аппаратных средств. Представлена разработанная система управления IntNCR.

Ключевые слова: система управления, манипуляционный робот, контроллер движения.

В настоящее время в промышленности наиболее высокий уровень автоматизации достигнут в массовом производстве. Развитие же серийного и мелкосерийного производств сталкивается с противоречием между относительно высоким уровнем автоматизации основных ТП и достаточно низким в области подготовительных операций. Использование промышленных роботов или создаваемых на их основе роботизированных технологических комплексов (РТК), обладающих гибкостью в управлении, универсальностью и автономностью использования, позволяет наиболее эффективно устранить возникшую проблему и решить задачу комплексной автоматизации участков, цехов и заводов.

Управление манипуляционными роботами (МР) имеет ряд отличий от управления другими промышленными объектами. Прежде всего, это связано с большим числом раздельно управляемых механических осей. В производстве наиболее распространены МР, имеющие в своем составе шесть и более осей. Следует отметить, что в связи с особенностями конструкции и расположения элементов МР, между осями существуют кинематические и динамические связи, которые необходимо учитывать, чтобы добиться требуемого качества процессов управления. Нелинейность кинематической схемы, свойственная боль-

шинству роботов, накладывает существенные ограничения на величину скоростей и ускорений в разных точках рабочего пространства. Кроме того, существуют рабочие зоны, в которых возникают ограничения ориентации рабочего инструмента.

Для эффективного управления оси объединяются в координатные системы. Тип координатной системы определяется кинематическими соотношениями между отдельными осями [1]. Это может быть декартова, цилиндрическая, сферическая или вращательная система координат. Большинство используемых в настоящее время МР относятся к типу устройств с вращательной системой координат [2]. Использование подобной системы координат в большинстве задач сопряжено с необходимостью преобразования координат и перемещений между различными координатными системами. Для удобства управления МР чаще всего в качестве рабочей используется декартова система координат.

Указанные отличия определяют специфику построения системы управления (СУ) манипуляционного робота. Однако общие принципы построения, тем не менее, аналогичны используемым при разработке систем управления движением (СУД) другими сложными технологическими объектами [3]. Применение подобных подходов позволяет эффективно совмещать в составе РТК или гибкой производственной системы различные виды технологического оборудования, например, металлообрабатывающий станок и манипуляционный робот.

Рассмотрим предлагаемую архитектуру построения аппаратных и программных компонентов современной системы управления МР.

В составе аппаратной части СУ (рис. 1) выделим следующие компоненты: блок управления; терминальное устройство пользовательского интерфейса; силовые модули; периферийное оборудование.

Блок управления (БУ) является основным компонентом, отвечающим за выполнение поставленных перед СУ задач. В его функции входит проведение расчетов, необходимых для осуществления перемещений, наблюдение за состоянием системы в целом, ее отдельных компонентов и периферийного оборудования, выполнение пользовательских и системных

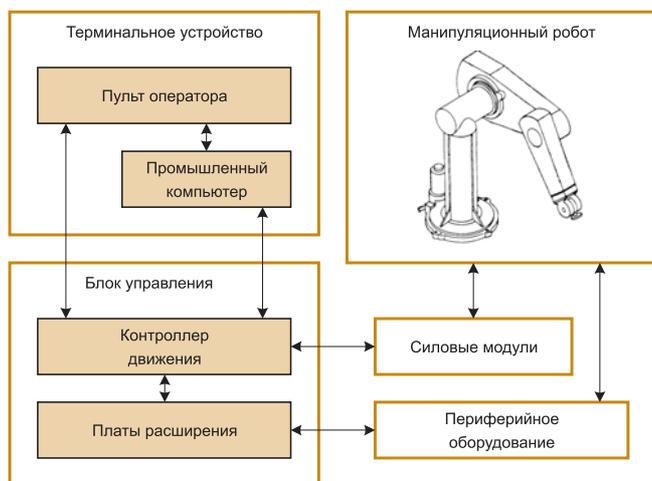


Рис. 1. Аппаратные компоненты СУ манипуляционным роботом

программ. БУ включает средства, осуществляющие взаимодействие между отдельными компонентами СУ.

В [3] показано, что при разработке систем управления движением наиболее эффективным является использование в составе БУ специализированного встраиваемого вычислительного устройства – контроллера движения (КД). Реализация конкретной СУД осуществляется путем выбора типа КД с определенным набором функциональных возможностей, периферийных устройств, силовых модулей, электродвигателей и средств автоматики. К устройствам подобного рода можно отнести изделия фирм ACS Motion Control (SPiiPlus), Galil (Accelerator DMC), Performance Motion (Navigator), Delta Tau (PMAC), ИНЭЛСИ (Синхродин) и др.

Использование КД позволяет выделить задачи, связанные с непосредственным управлением движением, и реализовать их на устройстве, обладающем высоким уровнем возможностей для их решения.

Основные требования, предъявляемые к КД:

- обеспечение взаимодействия с внешним периферийным оборудованием, используемым в составе РТК;
- возможность подготовки и исполнения пользовательских управляющих программ;
- реализация алгоритмов управления различными типами двигателей, используемых в МР;
- возможность создания собственных алгоритмов управления, включая управление с учетом кинематических и динамических связей;
- наличие системы приоритетов выполняемых задач для эффективного распределения времени;
- расширение возможностей КД с использованием дополнительных внешних плат.

Для организации работы в составе РТК требуется передача информации о системных и физических характеристиках СУ и МР, таких как состояние различных флагов поведения МР (ошибки, служебные параметры), данные о текущих значениях физических величин, используемых при расчетах (координаты, скорости, ускорения, моменты). Следует отметить, что поскольку РТК является сложным и потенциально опасным объектом, выбор для организации взаимодействия между отдельными компонентами системы стандартных средств и протоколов типа EtherNet и USB не обеспечивает требуемой степени надежности передачи данных, позволяющей использовать их для передачи критической информации, такой как сообщения об ошибках и реакции на них. В связи с этим целесообразно использование промышленных интерфейсов: EtherCAT, ModBus, PROFINET, Ethernet/IP и соответствующих информационных протоколов: CANopen, Modbus, Profibus, DeviceNet. Важным преимуществом использования КД является возможность обслуживания большого числа осей (до 32), работающих в разных координатных системах. Это позволяет, используя предлагаемые принципы, строить единый управ-

*Когда в мире всю работу
за человека будут выполнять роботы,
они потребуют, чтобы человек, по крайней
мере, не думал ил.м. под руку.*

Б. Кригер

ляющий комплекс всего РТК, включающий, например, системы управления манипуляционного робота, одного или двух металлорежущих станков и транспортного конвейера. Таким образом, использование КД, соответствующего указанным требованиям, позволяет разработать СУ с перспективой дальнейшего развития и расширения возможностей.

Реализация пользовательского интерфейса на базе КД потребует разработки дополнительных аппаратных и программных средств. Такое решение усложнит структуру РТК и повысит требования к КД. Чтобы избежать этого, следует использовать отдельное терминальное устройство (ТУ) пользовательского интерфейса, например, промышленный компьютер (ПК), соединенный с КД через высокоскоростной промышленный интерфейс и обеспечивающий возможность пользования развитыми инструментальными средствами. Это позволяет интегрировать в систему управления такие современные технологии, как удаленный доступ, техническое зрение, дистанционную диагностику и т.п. Двухпроцессорная архитектура СУ позволяет наиболее эффективно разделить выполнение задач управления в "жестком" РВ и обработки терминальных задач, визуализации оперативной информации, снимая тем самым ограничения на скорость их выполнения. При этом надежность такой системы остается на высоком уровне, поскольку работоспособность КД не зависит от сбоев в работе ПК.

Основной задачей ТУ является обеспечение взаимодействия оператора с СУ. Для этого оно должно обладать средствами ввода/вывода информации. Пульт оператора реализует функцию обмена информацией с СУ и предоставляет возможности по управлению такими функциями, как включение/выключение, запуск и выполнение пользовательских программ, выбор и настройка режимов работы МР, сигнализация о его состоянии. Помимо системных задач пульт оператора должен обеспечивать взаимодействие оператора с ПО ТУ. В частности, он должен обладать средствами для ввода управляющих программ, переключения режимов работы ПО и взаимодействия с компонентами ПО. Для решения этих двух задач в составе пульта требуется наличие как функциональной клавиатуры, предназначенной для взаимодействия с СУ, так и обычной алфавитно-цифровой клавиатуры для работы с ПО ТУ. Для вывода информации и предоставления возможности взаимодействия с ПО терминальное устройство должно быть оснащено экраном для вывода текстовой и графической информации. Современные РТК оснащаются как стационарными, так и переносными пультами

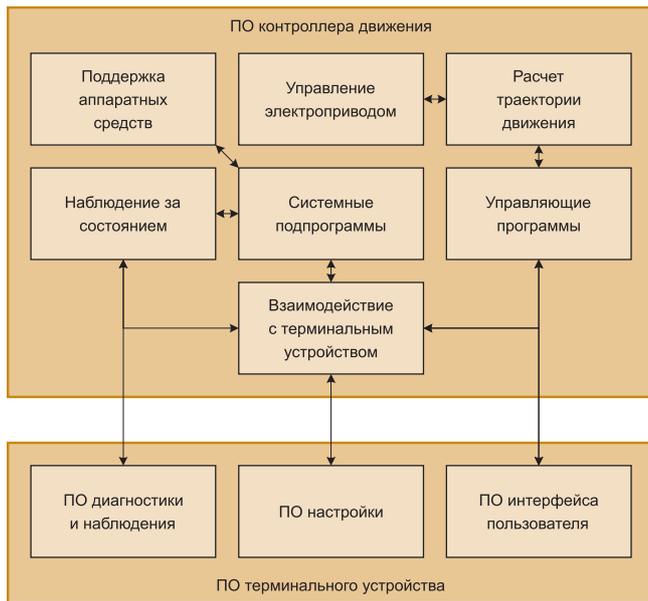


Рис. 2. Программные компоненты СУ МР

управления. Использование последних позволяет оператору управлять и программировать МР, находясь в непосредственной близости от рабочей зоны.

Для решения указанных задач ПК, используемый в качестве ТУ, должен быть оснащен современной ОС, обеспечивающей возможность взаимодействия с оборудованием и выполнения системного и пользовательского ПО СУ. Так как системные задачи управления решаются на КД, в составе ПК не требуется наличие специализированной ОС, позволяющей выполнять задачи в режиме РВ. Поэтому может быть использована любая современная ОС, такая как Windows или какой-либо из дистрибутивов Linux.

Важным элементом современной СУ МР, во многом определяющим ее основные качественные показатели, является электропривод. Система управления электроприводом современного МР должна иметь цифровую реализацию. Без выполнения этого условия невозможно обеспечить высокие показатели динамики и точности движения. Эффективным средством решения задачи управления электроприводом является его функциональное и физическое разделение на две составляющие: силовой модуль (СМ) и программно реализованный в КД алгоритм управления. Для высокоскоростной передачи управляющих сигналов необходимо использовать быстродействующий цифровой интерфейс, разработать и программно реализовать алгоритмы управления различными типами двигателей. Такое решение позволит применять СУ совместно с разными типами манипуляторов без необходимости замены силовых компонентов, так как они могут быть программно перенастроены для конкретной задачи.

При выполнении ряда технологических операций перед СУ МР могут возникать дополнительные задачи, связанные с необходимостью управления периферийными устройствами.

К таким устройствам могут относиться различные датчики, измерители и средства осязания, используемые при создании расширенных системных и управляющих программ. В число таких задач входят обработка поверхностей с заданным усилием рабочего органа или его позиционирование согласно показаниям системы технического зрения [4].

Для согласования работы периферийных устройств и СУ возможен ряд решений. Во-первых, они могут быть подключены и обрабатываться непосредственно в БУ. Такой подход наиболее оправдан при использовании дополнительных датчиков и прочих устройств, которые не требуют значительных ресурсов для обработки или являются критичными с точки зрения синхронизации с работой БУ. Второй подход заключается в разделении алгоритмов взаимодействия с устройствами между БУ и ТУ. В данном случае ресурсоемкие операции, не требующие непосредственного взаимодействия с КД, могут быть выделены в отдельные компоненты, исполняемые на ПК. Обмен данными между ними и КД в данном случае происходит на уровне результатов обработки полученной информации. При таком подходе периферийное оборудование может быть подключено к ПК.

На основании выбранной аппаратной архитектуры можно перейти к определению архитектуры программных средств (рис. 2).

В составе программной архитектуры СУ следует выделить два основных уровня ПО: контроллера движения и терминального устройства.

ПО контроллера движения предназначено для решения основных системных задач и задач управления движением МР. Оно должно обеспечивать выполнение следующих функций: поддержка аппаратных средств; управление электроприводом; расчет траектории движения; наблюдение за состоянием системы; взаимодействие с терминальным устройством; выполнение системных подпрограмм; выполнение управляющих программ пользователя.

Под поддержкой аппаратных средств понимается набор подпрограмм, обеспечивающих взаимодействие с электрооборудованием СУ и периферийными устройствами. Данные подпрограммы предназначены для реализации таких задач, как опрос датчиков, организация работы интерфейсов передачи данных, опроса состояния МР и других компонентов СУ. Кроме того, на данном уровне ПО выполняется задача синхронизации расчетных процессов, реализуемых на КД согласно разработанной таблице приоритетов.

Управление электроприводом включает опрос каналов обратной связи, алгоритмы координатных преобразований, расчет параметров регуляторов, формирование управляющих сигналов, коммутацию силовых ключей. Поскольку разрабатываемая СУ ориентирована на работу с манипуляционными роботами разных производителей, то актуальной является возможность управления различными типами двигателей и датчиков об-

ратной связи. К основным типам двигателей, используемых в настоящее время в МР, следует отнести: шаговые, постоянного тока, вентильные. В перспективе возможно использование асинхронных двигателей как наиболее дешевых и надежных. Алгоритмы управления указанными типами двигателя должны быть реализованы непосредственно в КД. Это позволит получать информацию о переменных состоянии двигателей и электромеханической системы в целом. К основным опрашиваемым параметрам относятся токи, моменты и координаты двигателей. Они могут быть использованы для создания сложных алгоритмов управления МР и наблюдения за его текущим состоянием.

Для решения большинства задач управления современная СУ электроприводом должна включать ПИД-регулятор. При этом требуется использование модифицированного регулятора, позволяющего не только задавать координаты перемещения, но и ввести компенсацию задающего воздействия, позволяющую учитывать и управлять физическими характеристиками движения, такими как скорость, ускорение и создаваемый момент. Такие задачи возникают при необходимости перемещения по заданной траектории. Для решения более сложных задач КД должен допускать создание регуляторов, позволяющих учесть особенности работы МР, которые не могут быть учтены в ПИД-регуляторе. Прежде всего, это относится к упругим системам, а также к системам, обладающим нелинейностями перемещений. Для управления ими требуется более сложные типы регуляторов, например, модальные регуляторы [5].

В связи с тем, что на работу МР значительное влияние оказывают существующие в нем кинематические и динамические связи, для обеспечения требуемых характеристик может потребоваться создание адаптивной системы управления. Для ее реализации КД должен предоставлять средства для получения в масштабе РВ информации о переменных состоянии МР, определяющих его поведение.

В состав средств расчета траектории движения должны входить такие компоненты, как модуль исполнения кадра управляющей программы, планировщик траектории (ПТ), программы расчета прямой и обратной кинематики, подпрограммы расчета динамических характеристик МР.

Модуль исполнения кадра управляющей программы осуществляет выполнение представленного в виде набора команд КД текущего кадра управляющей программы и синхронизацию состояния системных и пользовательских переменных, а также различных флагов, определяющих состояние СУ. Обработанные команды движения передаются для дальнейшего выполнения в планировщик траектории.

Основной задачей планировщика траектории является преобразование заданных в управляющей программе движений в последовательность управляющих сигналов. Он должен включать набор алгоритмов, обеспечивающий расчет основных видов траек-

торий, используемых в работе МР: линейных, круговых, сплайновых. В связи с необходимостью преобразования между различными видами координатных систем, для их реализации требуются соответствующие интерполяторы, взаимодействующие с программами расчета кинематики МР.

Использование программ расчета кинематики необходимо для перевода заданных движений из координатной системы, применяемой в управляющей программе, в координатную систему, используемую в манипуляторе, и обратно. При этом кинематические характеристики определяются конфигурацией МР. Решение задач прямой и обратной кинематики в многозвенных манипуляторах требует проведения ряда пространственных преобразований, основанных на матричных вычислениях. Большинство используемых МР обладают шестью и более осями, что определяет высокий порядок матричных уравнений и требует от КД значительных вычислительных ресурсов. Актуальной является задача оптимизации расчетных алгоритмов с целью снижения объема и времени вычислений [6].

В связи с тем, что в зависимости от пространственной конфигурации МР в текущий момент времени изменяются его динамические характеристики, для организации управления движением необходим учет этих изменений. Оценка их влияния на поведение МР с целью повышения качества управления и обеспечения точностных характеристик перемещений требует решения уравнений динамики манипуляционного робота. Существует ряд методов их решения [1, 7]. Исходя из вычислительных возможностей КД следует выбрать тот подход, который обеспечивает минимальные затраты вычислительных и временных ресурсов.

Для обеспечения возможности использования СУ с различными видами и моделями МР, отличающихся своими кинематическими и динамическими характеристиками, необходимо предоставить механизм расчета, изменения и настройки конфигурационных параметров.

Средства наблюдения предназначены для осуществления обмена информацией о состоянии отдельных компонентов СУ, а также для защиты от возможных сбоев в работе аппаратного и программного обеспечения. К ним относятся сторожевые таймеры, внешние датчики и измерители физических величин, позволяющие определить возникновение различных проблемных ситуаций, а также программные счетчики и параметры, необходимые для первичной оценки поведения МР и выполнения задач движения.

Средства взаимодействия с терминальным устройством предназначены для обмена данными и управляющей информацией с пользователем посредством терминального устройства. К ним относятся различные буферы для передачи информации, средства интерфейса с переменными состояниями системы. Взаимодействие осуществляется по существующим



Рис. 3. Распределение задач ПО КД по уровням приоритетов

щим в составе СУ средствам передачи данными между БУ и ТУ.

Для выполнения системных подпрограмм высокого уровня, необходимых для обеспечения работы СУ, существует уровень ПО, выполняемый на КД в фоновом режиме и осуществляющий обновление различных данных, наблюдение за характеристиками СУ, а также синхронизацию процессов в пользовательских программах. Критические задачи, требующие немедленной реакции, такие как обработка ошибок, могут выполняться с более высоким уровнем приоритета.

Управляющие программы (УП) пользователя, передаваемые в БУ из ТУ, существуют в виде макрокоманд, которые должны быть преобразованы в систему команд КД для их выполнения при достижении соответствующего кадра. Набор макрокоманд определяется средствами ПО ТУ, в первую очередь, языком описания УП.

В связи с тем, что для работы СУ МР необходимо обеспечивать выполнение различных задач в режиме РВ возникает вопрос о распределении между ними временного ресурса. На рис. 3 показано распределение выполняемых процессов по уровням приоритетов и примерное соотношение частот их обновления в рамках одного приоритета. Основные задачи, связанные с взаимодействием с оборудованием СУ и коммутацией управляемых двигателей, относятся к наиболее высокому приоритету. Такое решение позволяет поддерживать СУ в рабочем состоянии независимо от времени, которое будут занимать задачи более низких уровней.

Задачи второго уровня отвечают за формирование траектории движения и обновление состояния СУ через системные программы. Предоставление им данного приоритета позволяет гарантировать, что они будут выполняться с определенной частотой.

Задачи фоновой режима выполняются в свободное от выполнения других задач время. Это позволяет избе-

жать блокировки выполнения важных задач в случае возникновения сбоев в работе системных программ и обмене данными с терминальным устройством.

ПО ТУ должно включать средства, предоставляющие персоналу возможность управления и наблюдения за СУ МР. В рамках этого ПО можно выделить несколько уровней в зависимости от набора предоставляемых функций: ПО интерфейса пользователя; ПО настройки компонентов СУ; диагностическое ПО.

ПО интерфейса пользователя предназначено для организации взаимодействия оператора с компонентами СУ МР. Его основными задачами являются: создание управляющих программ; настройка технологических параметров; визуализация режимов и параметров работы; оперативный контроль состояния МР.

Для создания управляющих программ требуется наличие текстового редактора, позволяющего оператору вводить, анализировать и отлаживать УП, написанную на специально разработанном языке программирования.

Язык программирования, используемый при разработке УП, должен обеспечивать выполнение следующих задач:

- задание перемещений по требуемой траектории с выбранными параметрами (скорость, ускорение);
- преобразование координат точек траектории перемещения между различными видами координатных систем;
- взаимодействие с аппаратным обеспечением БУ и периферийных устройств;
- организация сложных управляющих программ с элементами алгоритмического программирования;
- взаимодействие с библиотекой подпрограмм.

Управляющая программа, составленная на описанном языке, должна передаваться в БУ, где она преобразуется в его внутреннее представление, как указано ранее. Набор средств языка определяет набор макрокоманд, анализируемых КД при вводе программы для ее перевода в набор команд КД. Учитывая особенности управления МР, приведенные ранее, на язык описания УП накладывается ряд требований, связанных с использованием в составе программы различных координатных систем и управлением движением как отдельных осей, так и манипулятора в целом. Подход к их выполнению зависит от конкретной реализации языка.

Так как в настоящее время не существует единого стандарта языка программирования МР, в отличие от широко используемого на металлообрабатывающих станках стандарта G-Code различные производители используют свои наборы команд и средств организации программы.

Язык программирования должен предоставлять возможности для написания УП, включающие набор средств описания движения, разработки подпрограмм, а также алгоритмического программирования. Набор используемых операторов целесообразно определить, ориентируясь на особенности построения языков про-

граммирования, используемых в РТК ведущих производителей. Средства языка должны позволять использовать его для написания сложных высокоуровневых программ. Представление координат в виде структур, описывающих положение МР как в декартовой системе координат, так и в системе координат манипулятора, позволит решить вопрос с управлением МР, работающего в нескольких координатных системах.

Следующим компонентом ПО пользовательского интерфейса являются средства, предназначенные для настройки технологических параметров. Доступ к параметрам, определяющим характеристики и поведение СУ МР, разделен на четыре уровня: оператор, наладчик, интегратор, разработчик. В зависимости от уровня доступа могут быть изменены или просмотрены определенные категории параметров, что позволяет исключить несанкционированные действия персонала.

Средства визуализации работы СУ МР должны включать режимы отображения информации о состоянии СУ и выполняемой УП в виде текстовой и графической информации. Текстовый формат используется для отображения положения рабочего органа МР в выбранной системе координат, физических величин, определяющих поведение МР, выполняемого кадра УП, состояния основных режимов работы СУ. Графический формат предназначен для отображения хода выполнения УП в виде траектории движения рабочего органа или пространственного представления выполняемой операции.

Средства оперативного контроля за состоянием МР должны включать индикаторы и информационные окна, позволяющие оценить текущее состояние и работоспособность МР и принять меры по предупреждению неисправностей и сбоев в его работе.

ПО настройки компонентов СУ предназначено для настройки и изменения внутренних программных компонентов СУ. Основными задачами данных программных средств является изменение внутреннего ПО БУ и настройка внутренних параметров ТУ и БУ. В связи с тем, что данные действия затрагивают основные процессы в СУ, они должны производиться только специально подготовленными наладчиками или разработчиками СУ.

Диагностическое ПО предназначено для наблюдения и оценки работоспособности как СУ МР в целом, так и отдельных ее компонентов. Оно должно включать средства наблюдения и настройки системных параметров, слежения за состоянием БУ в РВ, сбора информации о внутренних переменных и работоспособности БУ.

На основании изложенных в статье подходов к разработке СУ МР была создана система управления манипуляционным роботом IntNCR (рис. 4).



Рис. 4. Система управления IntNCR манипуляционным роботом PUMA-560

Аппаратно-программные средства блока управления (рис. 5) реализуют возможность одновременного управления 16 осями с организацией их работы в шести координатных системах. Это позволяет строить единую систему управления для производственных модулей типа "станок + манипулятор". В приводах осей используются силовые преобразователи с цифровым управлением IntDRIVE производства НТЦ "ИНЭЛСИ".

В IntNCR реализованы основные виды интерполяции, используемые при формировании сложных траекторий, а также равномерный и неравномерный кубические сплайны. Предоставляются возможности смещения и поворота координатных систем, написания управляющих программ в декартовых и полярных координатах. Динамические характеристики разгона/торможения осей могут быть заданы по линейному, трапециoidalному или S-образному законам. Для оптимизации сложных движений используется режим Lookahead, позволяющий корректировать задающее воздействие со скоростью выполнения до 2 тыс. кадров/с. Язык программирования IntLANG, предлагаемый для разработки УП, позволяет реализовывать технологические задачи любого уровня сложности. Набор средств программирования, соответствующий языкам программирования высокого уровня, обеспечивает гибкость при написании УП и возможность создания пользовательских библиотек часто используемых подпрограмм.



Рис. 5. Блок управления IntNCR

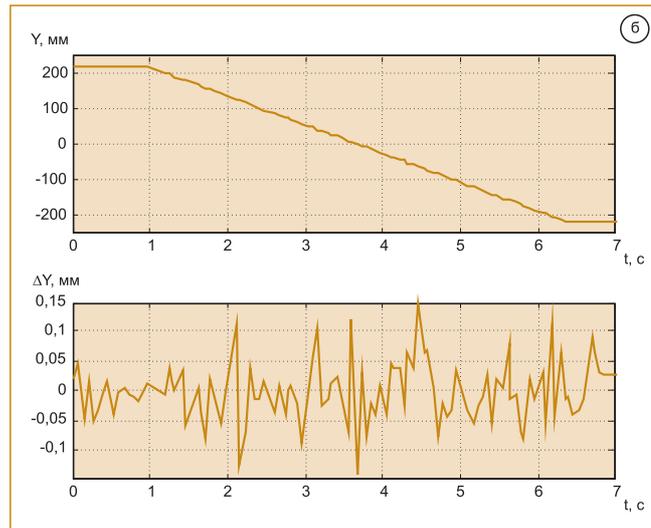
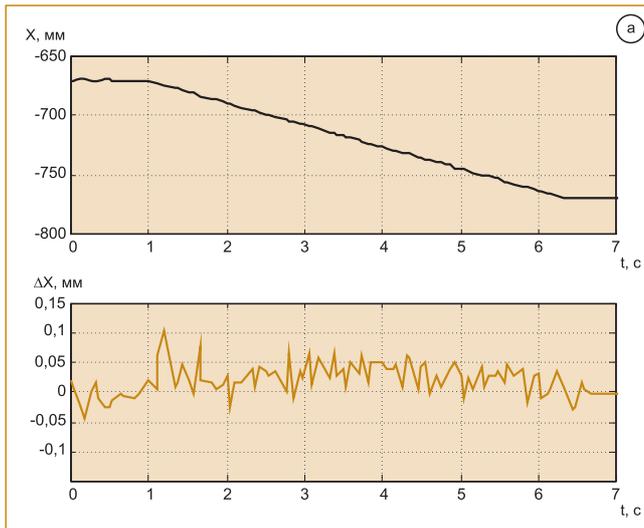


Рис. 6. Перемещение по линейной траектории
а) по оси X, б) по оси Y

Программное обеспечение ТУ включает компоненты, предназначенные для настройки, наблюдения и программирования МР. В его состав входят компоненты, позволяющие вести разработку УП, настраивать технологические параметры и системное ПО.

На (рис. 6) показаны графики изменения координаты и ошибки позиционирования при перемещении манипулятора по линейной траектории. Анализ приведенных результатов показывает, что ошибка позиционирования не превышает 0,1 мм и соответствует технологическим возможностям манипулятора PUMA-560.

Разработанная система IntNCR с манипуляционным роботом PUMA-560 была представлена на выставке "Металлообработка" (Москва) в 2010 г.

Предложенные принципы построения архитектуры аппаратных и программных средств могут быть положены в основу разработки СУ МР, соответствующей требованиям, предъявляемым современной промышленностью.

Применение двухпроцессорной архитектуры позволяет эффективно разделить терминальные задачи и задачи управления РВ между ПК и КД соответственно. Использование в составе СУ быстродействующих цифровых способов обработки и передачи данных обеспечивает условия получения необходимой точности и скорости перемещений, синхронизации процессов как в самой СУ, так и в РТК в целом.

Модульный принцип и открытая архитектура построения программных средств гарантирует переносимость и адаптацию управляющих алгоритмов для их использования в конкретной задаче без значительных изменений в структуре программ. Применение языка программирования высокого уровня дает возмож-

ность разрабатывать сложные УП и создавать библиотеки подпрограмм для повторного использования.

Конфигурируемая архитектура СУ позволяет применять ее для управления различными моделями МР, используемых для решения широкого круга технологических задач.

Применение при разработке СУ МР IntNCR изложенных выше подходов показало, что такая система управления обеспечивает показатели качества на уровне существующих в настоящее время зарубежных решений.

Список литературы

1. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир. 1989.
2. ElMaraghy Hoda. Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. Springer. 2009.
3. Красильникьянц Е.В., Бурков А.П., Иванков В.А. Применение контроллеров движения для систем управления электромеханическими объектами // Мехатроника, Автоматизация, Управление. Вып. 2. 2008.
4. Бурков А.П., Комин В.Г., Красильникьянц Е.В. Промышленная система технического зрения на базе интеллектуальной цифровой камеры IntCAM 285-1// Вестник ИГЭУ. Вып. 4. 2007.
5. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Системы координирующего управления взаимосвязанными электроприводами. Иваново. 2000.
6. Tararykin S.V., Krasilnikyants E.V., Artem Varkov. Electromechanical model of manipulator robot // In proc. 8th International Symposium "Topical problems in the Field of Electrical and Power Engineering". P?rnu. 2010.
7. Armstrong B., Khatib O., Burdick J. The Explicit Dynamic Model and Inertial Parameters of the PUMA 560 Arm // Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1986.

Красильникьянц Евгений Валерьевич — канд. техн. наук, директор,

Варков Артем Александрович — инженер-программист,

Тютиков Владимир Валентинович — доктор техн. наук, проф. НТЦ "ИНЭЛСИ".

Контактный телефон (4932) 26-97-03.

E-mail: krev@ispu.ru Http://www.inelsy.com