

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

КРАСИЛЬНИКЪЯНЦ Е.В., БУРКОВ А.П., кандидаты техн. наук,
ИВАНКОВ В.А., БУЛДУКЯН Г.А., ЕЛЬНИКОВСКИЙ В.В., инженеры, ВАРКОВ А.А., асп.

Рассматриваются вопросы построения систем управления движением различного назначения на основе встраиваемых вычислительных устройств – контроллеров движения.

Ключевые слова: системы управления движением, контроллер движения, генераторы траекторий.

TECHNOLOGICAL OBJECTS TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

KRASILNIKYANTS E.V., Ph.D., BURKOV A.P., Ph.D., IVANKOV A.V., engineer, BULDUKYAN G.A., engineer,
ELNIKOVSKIJ V.V., engineer, VARKOV A.A., postgraduate

This paper is devoted to the problems of designing traffic control systems of different functions on the base of mountable computing units (movement controllers).

Key words: traffic control system, movement controller, path generators.

Системы, используемые для управления движением, можно выделить в отдельный класс систем управления, предъявляющих достаточно высокие требования к их исполнению. Сюда следует отнести работу в режиме «реального времени», высокое быстродействие и точность производимых вычислений, широкий спектр функциональных возможностей, специфичные требования к набору измерительных и исполнительных устройств, составу системного и прикладного программного обеспечения.

Для создания относительно несложных систем управления движением (СУД) используются комплектные электроприводы, управляемые с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК), возможности которых в ряде случаев позволяют решить поставленные задачи. Однако для построения СУД манипуляционных роботов, металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ), ряда поточных линий их ресурсов оказывается недостаточно. Последнее связано с тем, что ПЛК традиционно создавались для систем управления автоматизированными технологическими процессами (АСУТП), где основными задачами являются диспетчерское наблюдение, сбор и обработка данных. Процессы в этих задачах медленные, режимы некритические, а там, где не исключено возникновение локальной критической ситуации, применяются высоконадежные узкоспециализированные устройства. Программные и аппаратные средства ПЛК не имеют ориентированных на задачи управления движением решений (малое время квантования, большая вычислительная точность, высокоскоростная обработка датчиков), что создает трудности их использования в СУД, а иногда и принципиально ограничивает применение. Современные ПЛК все еще продолжают оставаться вычислительными устройствами с собственной

компонентной базой и архитектурой, нестандартным системным и прикладным программным обеспечением (ПО), нестандартными или малораспространенными коммуникационными устройствами и протоколами (т.н. промышленные сети). Кроме того, пользователь, использующий ПЛК одного производителя, не может перейти к другому без переделки практически всей своей работы, что является дополнительным сдерживающим фактором.

Другое развиваемое в настоящее время направление – использование PC-совместимых компьютеров (PC-base) в системах управления движением [1] – также не лишено ряда недостатков. Несмотря на высокую вычислительную мощность процессоров, реализовать ее в полной степени для СУД не удастся вследствие следующих причин:

- жесткие требования по стабильности времени квантования, высокоскоростному интерфейсу, быстрому отклику на прерывание, типичные для СУД, несущественны для PC-base процессоров. С другой стороны, для СУД нет необходимости в обеспечении совместной работы программ различных производителей, механизма трансляции логических адресов в физические, в наличии большого объема памяти и т.п.;

- частота системной шины существенно ниже тактовой частоты процессора, а кэширование приводит к непредсказуемому изменению времени обработки;

- программы логического и цифрового управления состоят из фрагментов, имеющих небольшой объем (от десятков до сотен машинных команд). Использование операционных систем (ОС) для управления подобными задачами приводит к значительному увеличению затрат времени на переключение контекста, а вывод таких задач за рамки операционных систем весьма существенно тормозит работу самой ОС. Особые требования предъяв-

ляются к анализу и обработке исключительных ситуаций в СУД, так как последние используются в ответственных и потенциально опасных машинах.

Кроме того, от компьютера требуется высокая скорость реакции на быстропротекающие процессы управления приводами, обработки сигналов от устройств электроавтоматики, действий оператора и т.п. Именно поэтому не удается использовать многозадачную систему Windows, так как она не является системой реального времени с фиксированным временем обработки прерываний.

В настоящее время рядом фирм приняты попытки создания встраиваемых вычислительных устройств, предназначенных для решения широкого класса задач управления движением – контроллеров движения (КД) [2].

Характерной особенностью КД можно считать то, что производитель предлагает целый комплекс изделий, включающий, кроме собственно вычислительного устройства, силовые модули для двигателей различного типа, развитый набор периферийных устройств, средства интерфейса с ведущим компьютером (хостом) и силовыми модулями, а также специализированное программное обеспечение для разработки СУД. Конкретная разработка СУД производится системными интеграторами. К устройствам подобного рода можно отнести изделия фирм ACS Motion Control (SPiiPlus) [3], Galil (Accelera DMC) [4], Performance Motion (Navigator) [5], Delta Tau (PMAC) [6, 7] и некоторые другие. КД может использоваться для создания СУД совместно с персональным компьютером или автономно.

Стандартный набор функций управления движением, поставляемый с КД, включает в себя управление положением «точка – точка», толчковый режим «jog», режим «PVT» (положение – скорость – время), слежение за положением, позиционирование, линейную, круговую и сплайновую интерполяции. Некоторые производители включают в этот набор поддержку алгоритмов прямой и инверсной кинематики. Программное обеспечение позволяет задавать помимо величин перемещения профили скоростей и ускорений. Все КД обеспечивают помимо функций управления движением функции логического управления, типичные для ПЛК.

В контроллерах предусматриваются возможности управления коллекторными и бесколлекторными двигателями постоянного и переменного тока, линейными и шаговыми двигателями. Для организации обратных связей по положению могут быть использованы квадратурные и синусоидальные энкодеры, резольверы и датчики Холла. В качестве регуляторов положения, как правило, применяются ПИД-регуляторы с упреждающими связями по скорости и положению, настраиваемые пользователем. Для сложных объектов управления

имеется возможность использования регуляторов высокого порядка – например, полиномиальных. В ряде случаев возможно применение регуляторов, создаваемых пользователем контроллера, что, однако, допускается при достаточно высокой квалификации пользователя. Для управления электроавтоматикой СУД контроллеры имеют широкий набор дискретных входов и выходов.

Конструктивное исполнение КД возможно в виде платы расширения шины PCI, на которой установлен процессор с устройствами памяти и интерфейса или в виде отдельного блока, причем в последнем случае связь с ведущим компьютером производится по высокоскоростному каналу USB или Ethernet.

Появление контроллеров движения было обусловлено, с одной стороны, возникновением новых, более совершенных микропроцессоров, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), силовых модулей и, с другой – усложнением задач управления многодвигательными электроприводами, повышением требований к точности, быстродействию и надежности приводных устройств.

Важной особенностью КД является аппаратная реализация функций, требующих высокого быстродействия, таких как формирование широтно-модулированных импульсов управления силовыми ключами, интерполяция сигналов измерительных преобразователей положения, фиксация начала отсчета положения. В этих целях используются ПЛИС. Как правило, на ПЛИС реализуется и многоканальная система ввода-вывода дискретных сигналов связи с многочисленными модулями расширения. Такое решение позволяет значительно снизить вычислительную нагрузку процессора и освободить его от необходимости решения большого числа быстродействующих задач.

Обычно КД имеет около 200 линий ввода-вывода, обеспечивающих взаимодействие с группой приводных устройств. Общее количество управляемых электроприводов зависит от сложности решаемых задач и, как правило, секционирован с кратностью, равной 4.

Основная вычислительная мощность КД определяется используемым процессором. По различным данным, в КД применяются процессоры цифровой обработки сигналов (DSP) или RISC-процессоры с тактовой частотой 120–240 МГц.

Типичным примером использования однопроцессорных КД является семейство PMAC фирмы Delta Tau [6, 7], снабженное DSP процессорами 563xx фирмы Motorola с тактовой частотой 80–240 МГц. Контроллеры могут иметь память команд и данных от 128Kx24 до 512Kx24-разрядных слов. Для постоянного хранения программ и данных используется внешняя энергонезависимая Flash-память объемом от 1МБ.

Примером использования распределенной микропроцессорной архитектуры является устройство SPiiPlus [3], в котором один процессор движения управляет группой RISC-сервопроцессоров с тактовой частотой 120МГц, каждый из которых контролирует два электропривода. Каждый сопроцессор имеет доступ к 2Кб памяти программ, 352x24-разрядным словам оперативной и 96x24 двухпортовой памяти.

Программные модули в КД могут быть разделены на три основных типа: программы логического управления (PLC); программы управления движением (PMC) и очереди, включающие кольцевые буферы данных с программами соответствующей обработки. Наивысшим приоритетом обладают PMC, запускаемые через равные промежутки времени по прерыванию таймера, а также некоторые из PLC программ, требующие фиксированного временного масштаба, и программы прямого цифрового управления. Свободную часть временного интервала занимают остальные PLC программы, очереди и ряд сервисных функций. Результаты вычислений значений регуляторов и широтно-импульсных сигналов объединяются в единый «сервоцикл», наличие которого в системе может быть необязательным в случае, если КД используется без силовых модулей или с отдельными силовыми преобразователями. Период расчета «сервоцикла» в большинстве случаев находится в пределах 50–120 мкс.

Каждому двигателю в СУД назначается ось, характеризующая геометрические параметры механизма. Возможно использование линейных и круговых осей. Ось имеет масштабные коэффициенты и начало отсчета.

При необходимости согласованного управления группой электродвигателей оси могут быть объединены в координатные системы (КС). Общее число КС и осей определяется быстродействием используемого процессора. Любой из КС могут быть присвоены стандартные имена: XYZ, ABC, UWV. КС могут быть определены как линейные и ортогональные. В этом случае PMC программы могут использовать линейную и круговую интерполяцию в плоскостях, перпендикулярных направляющим ортам I, J, K.

Основой PMC программ являются генераторы траекторий (ГТ). При вызове PMC программ генераторы траекторий формируют задания для положений одной или нескольких осей. При каждом вызове PMC расчет производится для всех КС, определенных в системе.

Генераторы траекторий могут иметь различные источники данных:

- значения приращений на каждом такте квантования, вычисляемые на основе начального, промежуточных и конечного положений, вида и характера кривой разгона, наличия или отсутствия интерполяции, допустимых значений скоростей и ускорений;

- значения положений других ГТ или измерителей, установленных на других осях, возможно, не имеющих собственных двигателей – при работе в следящем режиме;

- значения приращений, считываемые из особого буфера, заполняемого программой-планировщиком.

Для механизмов циклического действия возможно циклическое выполнение PMC программ, загруженных в специальный буфер. При использовании КД для управления станками с ЧПУ программы движения считываются из кольцевого буфера, пополняемого с хост-компьютера или локальной сети. Каждая КС имеет собственный кольцевой буфер.

PMC и PLC программы могут формировать значения логических переменных – события. События означают достижение заданных значений внешними или внутренними переменными. События используются для управления работой системы и синхронизации различных КС.

Кольцевые буферы PMC и PLC программ заполняются кодами исполняемых команд, которые формируются интерпретатором текста (компилирующим интерпретатором), в режиме загрузки программ.

КД могут поставляться с обычными средствами разработки, типа VB, C/C++, и с проблемно-ориентированными языками программирования собственной разработки фирм-производителей. Компиляция управляющих программ может происходить либо на хост-компьютере с последующей загрузкой во Flash-память, либо на самом КД. Кроме того, для отладки СУД предлагаются программные средства, позволяющие вести настройку и диагностику системы, диалоговый обмен, сбор данных и их визуализацию, мониторинг текущих процессов, автоматизировать процесс настройки приводов.

Недостатком использования КД для построения СУД можно считать необходимость применения нестандартизированных программных средств. Различие аппаратных платформ и высокая стоимость средств разработки препятствуют широкому распространению КД. Однако появление новых систем на кристалле (SoC) на основе платформы ARM позволяет рассчитывать на преодоление этих недостатков. Наличие большого числа независимых производителей (до нескольких десятков), бесплатное программное обеспечение, широкий ценовой и функциональный диапазон, совместимость программного обеспечения снизу вверх позволяют надеяться на то, что платформа ARM станет стандартом «де факто» для встраиваемых систем.

В качестве примера использования предложенного подхода можно привести создание цифровой СУД стеклоформирующего агрегата [8] (рис. 1). Основное требование – син-

хронно-синфазное движение 4-х рабочих органов с возможностью регулирования взаимного фазового положения. Учитывая трехсменный режим работы агрегата, сложные условия эксплуатации, а соответственно, требования высокой надежности, был реализован вариант системы управления на базе автономного контроллера движения (рис. 2). Причем по мере реализации системы ее возможности возрастали. К ним можно отнести возможность работы СУД с механизмами, имеющими различные, в том числе и дробные, коэффициенты редукции, фазирование механизмов в процессе разгона агрегата, вариативность типов датчиков положения, управление сложным, изменяющимся в зависимости от производимого изделия, циклом работы комплекта пневмомеханизмов, динамический контроль аварийных режимов и т.п. Важным результатом явилось то, что возрастающие требования заказчика, благодаря заложенным принципам, удавалось относительно быстро и легко реализовывать. Конкурентные разработки, реализованные на ПЛК-контроллерах, не смогли выполнить весь комплекс поставленных требований и были вынуждены уступить этот сектор рынка.



Рис. 1. Стеклоформирующий агрегат

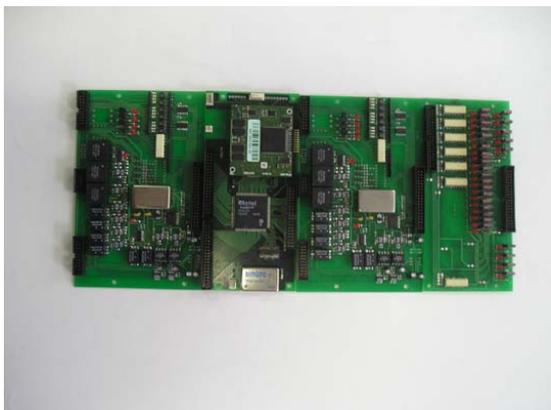


Рис. 2. Контроллер движения

Следующим применением предложенной концепции явилось создание систем управления электрооборудованием «Интеграл» для металлорежущих станков с ЧПУ [9]. Традиционно системы управления для станков

с ЧПУ включают в свой состав стойку ЧПУ, комплект электроприводов и набор электроавтоматики, изготовленные, как правило, разными производителями. Использование таких, отдельных, неинтегрированных, систем порождает ряд сложностей при их разработке и обслуживании, создает большое число межблочных соединений, приводит к увеличению цены без повышения качественных показателей.

Основной принцип построения системы управления «Интеграл» заключается в том, что задачи расчета траектории движения, контроллера управления электроприводами и контроллера электроавтоматики интегрированы на единой платформе, основу которой составляет специализированный КД. Система управления в этом случае становится более компактной и надежной вследствие уменьшения аппаратной части и сокращения числа реальных связей между устройствами, которые теперь реализуются на программном уровне. Кроме того, объединение этих устройств на одной базе создает условия для разработки новых алгоритмов как управления оборудованием станка, так и технологических процессов обработки.

В КД реализован эффективный алгоритм цифрового управления стандартными асинхронными двигателями, что позволяет использовать их в приводах подачи и главного движения. Вариант исполнения силовых блоков с прямым ШИМ-управлением от КД обеспечивает максимально простое, качественное и надежное управление приводами. В систему инсталлирована программа, позволяющая производить автоматическую настройку приводов и отображать в графическом режиме значения токов, момента нагрузки, ошибку слежения и т.п. Кроме того, в такой системе программист может использовать значения переменных привода (момент нагрузки на шпинделе, ошибку рассогласования по положению и т.д.) в технологической программе.

Система «Интеграл» относится к классу систем с открытой архитектурой PCNC. На компьютере реализованы терминальные задачи и функции интерпретатора управляющих программ. Открытая архитектура на аппаратном уровне дает возможность использовать такие преимущества ПК, как большой ресурс памяти, наращиваемая вычислительная мощность, стандартные интерфейсы, а на программном уровне – интегрировать в состав системы развитое системное, инструментальное и пользовательское программное обеспечение, работающее под операционной системой Windows. Для организации интерфейса между системой ЧПУ и оператором на компьютере устанавливается специальная программная среда IntNC (рис. 3).

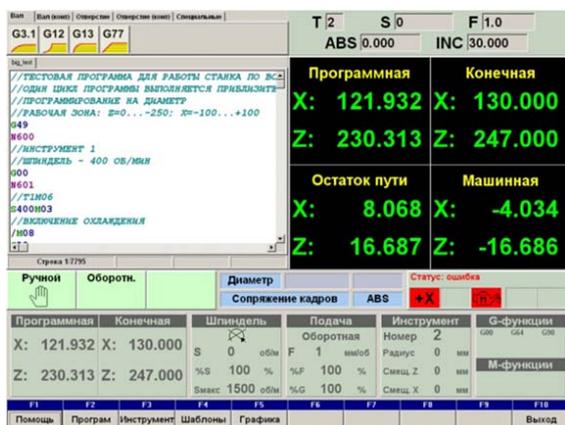


Рис. 3. Терминальное окно управления IntNC

В качестве интегральной оценки точности разработанной системы и корректного сравнения с существующими системами ЧПУ была выбрана ошибка воспроизведения кругового движения. В результате на токарно-винторезном станке 16А20Ф3 при круговом движении на рабочей подаче $F = 6$ м/мин максимальное отклонение от траектории составило 28 мкм (рис. 4). Достигнутое повышение качества получаемой поверхности позволяет отказаться от финишной обработки деталей и тем самым не только сократить время изготовления (т.е. повысить производительность), но и уменьшить количество станков, задействованных в технологическом цикле. Таким образом, «Интеграл» – это комплексная промышленная цифровая система управления металлорежущего станка, в результате использования которой достигаются высокая производительность, надежность и обеспечиваются современные технические возможности.

Красильникъянц Евгений Валерьевич,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 кандидат технических наук, начальник учебно-исследовательского центра электронных систем ЭИМС,
 телефон (4932) 26-97-03.

Бурков Александр Павлович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 кандидат технических наук, ведущий инженер учебно-исследовательского центра электронных систем ЭИМС,
 телефон (4932) 26-97-03,
 e-mail: terehov@eims.ispu.ru

Иванков Вадим Алексеевич,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 инженер класса ПЭВМ №1 кафедры электроники и микропроцессорных систем,
 телефон (4932) 26-97-03,
 e-mail: terehov@eims.ispu.ru

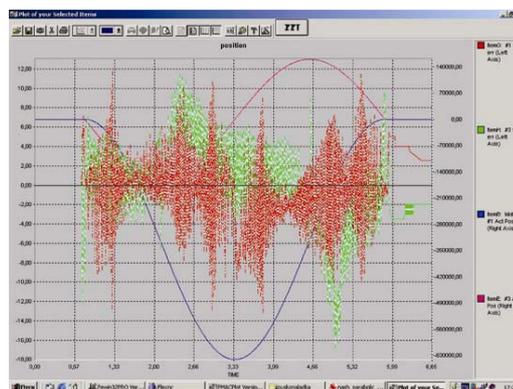


Рис. 4. Ошибка воспроизведения кругового движения

Заключение

Реализация систем управления движением на базе предложенных принципов построения с использованием специализированных контроллеров движения с открытой аппаратной и программной архитектурой позволяет разработчикам и системным интеграторам быстро и с минимальными затратами создавать высокоэффективные СУД сложными электро-механическими объектами.

Список литературы

1. www.powerautomation.com
2. Бурков А.П., Красильникъянц Е.В. Принципы построения контроллеров движения: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП 2007». – СПб., 2007.
3. <http://www.acsmotioncontrol.com>
4. <http://www.galilmc.com>
5. <http://www.pmdcorp.com>
6. Turbo PMAC. User manual. Delta Tau Data Systems, Inc. documentation, 2004.
7. Turbo PMAC. Software Reference manual. Delta Tau Data Systems, Inc. documentation, 2000.
8. Красильникъянц Е.В. Новые системы управления для стеклоформирующих машин // Стеклоформ. – 2003. – № 5. – С. 10.
9. Красильникъянц Е.В., Иванков В.А. Принципы рационального построения системы управления металлорежущего станка: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития энерготехнологии». Т. 2. – Иваново, 2005. – С. 5.

Булдукян Георгий Арутюнович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер класса ПЭВМ №1 кафедры электроники и микропроцессорных систем,
телефон (4932) 26-97-03,
e-mail: terehov@eims.ispu.ru

Ельниковский Василий Владиславович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер лаборатории микросхемотехники и микроЭВМ кафедры электроники и микропроцессорных систем,
телефон (4932) 26-97-03,
e-mail: terehov@eims.ispu.ru

Варков Артем Александрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры электроники и микропроцессорных систем,
телефон (4932) 26-97-03,
e-mail: terehov@eims.ispu.ru