

Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой

The principle of constructing a distributed NC system with open modular architecture

Изложен принцип построения распределенной системы числового программного управления (ЧПУ) с открытой модульной архитектурой. Рассмотрена кросс-платформенная реализация ядра и инвариантность компоновки распределенной системы управления. Раскрыты практические аспекты управления электроавтоматикой в режиме «master-slave» и построения удаленных терминалов системы ЧПУ на базе web-браузера.

The principle of constructing a distributed numerical control system with open modular architecture is described. A cross-platform kernel implementation and invariance of arranging a distributed control system are considered. The practical aspects of controlling PLC systems in master-slave mode and developing a remote CNC terminals based on the Web browser are illustrated.

Ключевые слова: система ЧПУ, модульность, открытость, кросс-платформенность, ядро реального времени, web-терминал, PROFIBUS, PROFINET, SERCOS, CAN, UCSNet.

Key words: CNC systems, open modular architecture, multiplatform systems, real time kernel, web-terminal, HMI, PROFIBUS, PROFINET, SERCOS, CAN, UCSNet.

Введение

Необходимость сокращения зависимости российской промышленности от импортной продукции, декларативная открытость систем управления на рынке и ограниченные поставки на отечественный рынок систем ЧПУ класса «Hi-End» заставляют искать альтернативные решения. Компании ориентированы на массовый рынок невысокого ценового диапазона и далеко не всегда обладают ресурсными и кадровыми возможностями, необходимыми для серьезных исследовательских работ, что и объясняет отсутствие на рынке отечественных систем ЧПУ класса «Hi-End».

Формирование обоснованной архитектуры системы управления является основополагающим звеном технологического перевооружения, поскольку система управления определяет фундамент последующих технологий, использующих системы управления.

Кросс-платформенная реализация ядра

Платформонезависимое (кросс-платформенное) ядро подразумевает портируемость программного обеспечения системы ЧПУ на разные платформы. Это может быть, например, персональный компьютер промышленного исполнения с операционной системой реального времени Linux или Windows с расширением RTX или одноплатный компьютер с процессором ARM и операционной системой Windows CE. Кросс-платформенность достигается путем вынесения платформозависимого кода в отдельные библиотеки и создания для него функций оберток, используемых в платформонезависимом коде.

Архитектура компьютерной системы числового программного управления технологическим оборудованием (рис. 1) включает терминальную часть, работающую в машинном времени (как правило, ОС Windows с платфор-

мой .Net), и ядро, функционирующее в реальном времени (Linux RT).

Файл управляющей программы на языке ISO-7bit или на языке высокого уровня [1] интерпретируется, а результат записывается в буфер подготовленных команд, что позволяет осуществлять просмотр кадров программы и оптимизировать траекторию движения исполнительных органов [2]. Интерполятор реализует классические типы интерполяции (линейную, круговую, винтовую) и сплайновые (Akima, кубическую и NURBS сплайны) [3].

В результате интерполяции подготовленных данных формируются управляющие команды для приводов и электроавтоматики [4]. Информация о ходе выполнения управляющей программы, текущем состоянии приводов и электроавтоматики передается в сервер данных для отображения на интерфейсе пользователя. Специальный механизм, заложенный в сервере данных, позволяет оптимизировать трафик обмениваемой информации [5].

Открытость архитектуры системы управления сосредоточена в уровнях абстракции, обеспечивающих независимость ядра системы управления от конкретной реализации разделяемого уровня:

- абстракция на уровне интерпретатора позволяет использовать любой язык описания обработки детали для передачи данных в интерполятор;
- абстракция на уровне канала связи реализуется посредством потоковой передачи данных и обеспечивает подключение к ядру через сервер данных нескольких терминальных клиентов, в том числе и удаленных терминалов, подключенных через интернет;

- абстракция на уровне приводов и электроавтоматики обеспечивает независимость ядра системы управления от интерфейсов связи с контроллером приводов и электроавтоматики. Кроме того, она позволяет использовать один и тот же интерфейс (например, CANopen, Profibus-DP, SERCOS-III или EtherCAT) для контроллера электроавтоматики и контроллеров приводов.

Вне зависимости от происхождения программно-аппаратных средств (покупные изделия или продукт оригинального производства), возникает вопрос их интеграции в систему управления, при этом определяющими факторами становятся:

- открытость архитектуры системы управления [6] и используемых технологий;
- наличие стандартизированных интерфейсов взаимодействия с драйверами встраиваемых устройств.

Практически все системы ЧПУ выпускаются с панелями управления, но каждый производитель использует свое решение. Проблема заключается в отсутствии единых подходов и стандартов реализации [7].

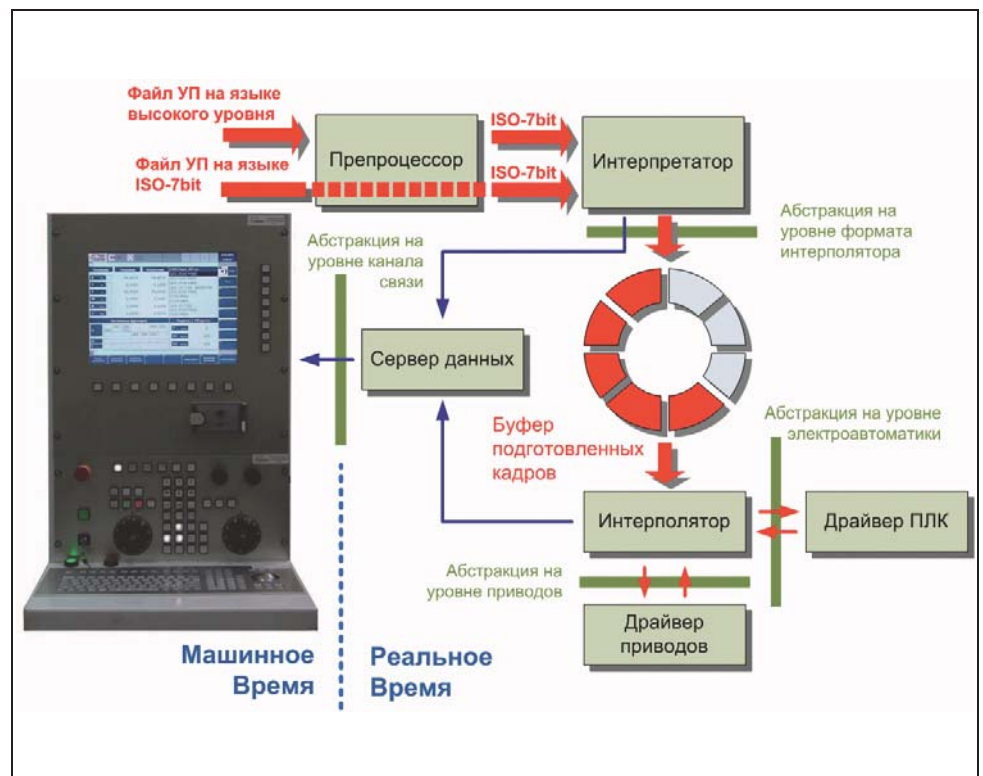


Рис. 1. Архитектурная модель системы ЧПУ

Инвариантность компоновки

Специфика современного управляемого технологического процесса требует распределенного функционирования вычислительных компонентов, т.е. включения их в общую информационно-вычислительную среду через промышленные сети [8]. Решение заключается в применении принципов открытости и модульности архитектуры, что позволяет компоновать системы ЧПУ под конкретные технологические задачи [9].

Заложенное в систему свойство инвариантности позволяет реализовывать комплектацию системы ЧПУ для управления контроллерами приводов по промышленным сетям на базе интерфейсов SERCOS (Serial Real-time Communication System), Step/Dir, CanBus или USCNet (протокол разработан в МГТУ «Станкин»), а для управления контроллерами электроавтоматики - по протоколам RS-232 и RS-485 (рис. 2). Реализованные в системе управления протоколы и подключенное оборудование обозначены сплошными линиями. Протоколы, реализация которых находится в процессе разработки, отображены штриховой линией.

Реализованный удаленный терминал на базе одноплатного компьютера, подключенного по

TCP/IP, позволяет оператору следить за процессом обработки, используя упрощенный интерфейс оператора.

Управление цикловой электроавтоматикой в режиме «Master-Slave»

Применение абстрактного уровня в решении логической задачи в программно-математическом ядре системы ЧПУ позволяет реализовать процессы управления электроавтоматикой (смена инструмента, подача охлаждающей жидкости, принудительная уборка стружки и т.д.) независимо от типа подключаемого оборудования. Модель подключенного к системе ПЛК конфигурирует (меняет) лишь нижний уровень программного обеспечения ядра ЧПУ, отвечающий непосредственно за формирование команд контроллеру электроавтоматики.

Организация распределенного управления электроавтоматикой востребована для крупногабаритных станков или автоматических линий, где исполнительные органы разнесены в пространстве, а управление реализуется на основе автономных контроллеров электроавтоматики,

работающих в режиме master-slave (ведущий - ведомый) (рис. 3). Структура распределенной системы организована на базе сети Ethernet и работает по протоколу TCP/IP. Каждый автономный элемент системы управления, работающий в сети, имеет свой уникальный IP-адрес.

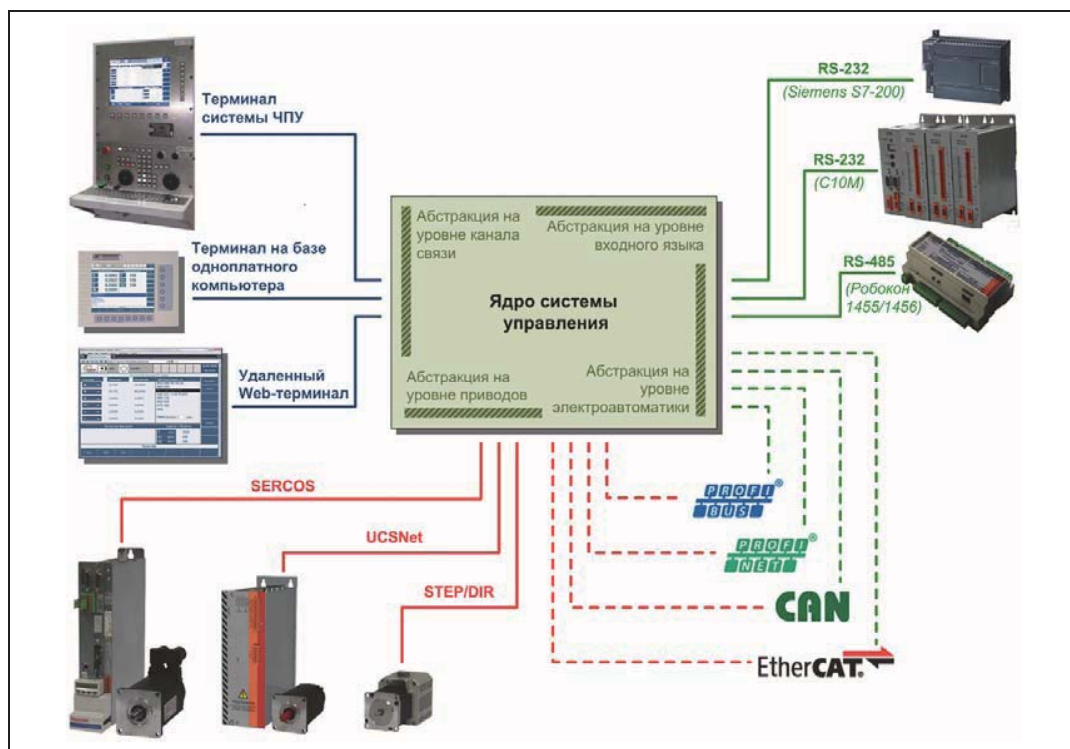
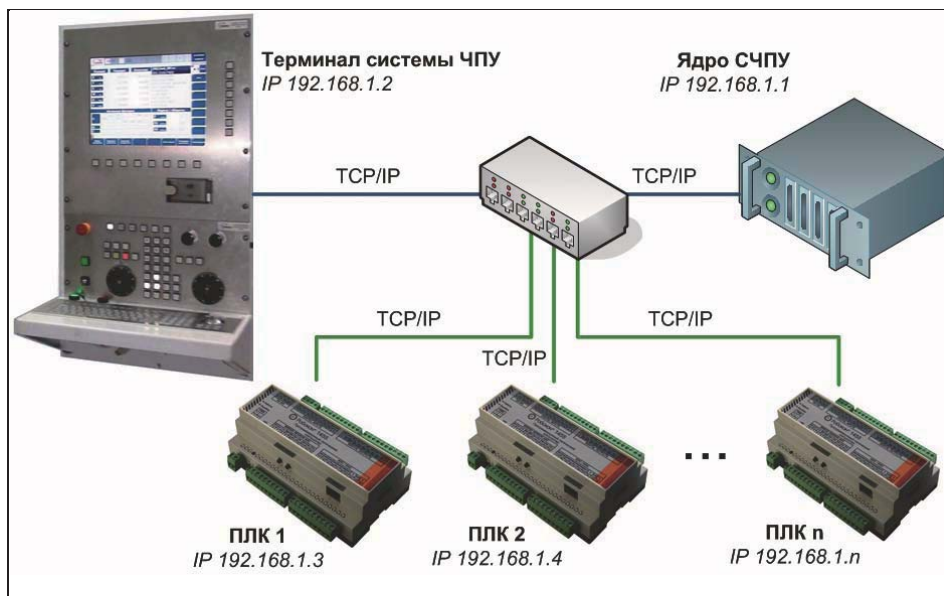


Рис. 2. Инвариантность компоновки многофункциональной системы ЧПУ

Рис. 3. Организация распределенного управления в СЧПУ AxiOma Ctrl

Один из узлов назначается «master-устройством», и он отвечает за согласованную работу всех элементов распределенной системы управления. При управлении станком «master-узлом» выступает ядро системы ЧПУ, которое передает управление «slave-устройствам», исходя из логики работы управляющей программы электроавтоматики.



Решение, которое создано на базе разрабатываемого МГТУ «Станкин» совместно с партнерами ПЛК «Робокон» 1456, использует протокол Modbus TCP. Это протокол транспортного уровня, который встраивается в стандартный стек сетевых протоколов и имеет специфицированный формат передаваемой в сети Modbus TCP/IP телеграммы (рис. 4).

Режим управления «master-slave», который демонстрировался на выставке «Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности МЕТАЛЛООБРАБОТКА–2010», используется для синхронизации работы фрезерного обрабатывающего центра MC-400 (ПТОО АВТОВАЗ), оснащенного с системой ЧПУ «АксиОМА Контроль» (МГТУ «Станкин»), с промышленным роботом ТУР-150 150 (ПТОО АВТОВАЗ и МГТУ «Станкин») через цикловую электроавтоматику.

Удаленное управление на базе web-терминала

Функции удаленного управления системой ЧПУ становятся доступны пользователям локальной или глобальной сети посредством web-браузера, в том числе и с мобильных устройств (рис. 5).

Взаимодействие web-сервера и ядра ЧПУ осуществляется на базе существующего механизма коммуникации между терминальной частью и ядром системы управления с использованием протокола TCP/IP.

HTTP протокол обеспечивает доступ удаленных пользователей системы к web-серверам системы ЧПУ. Механизм взаимодействия реализован с использованием СУБД MySQL. С помощью специальных таблиц, отслеживаемых на web-сервере и php-скриптами со стороны

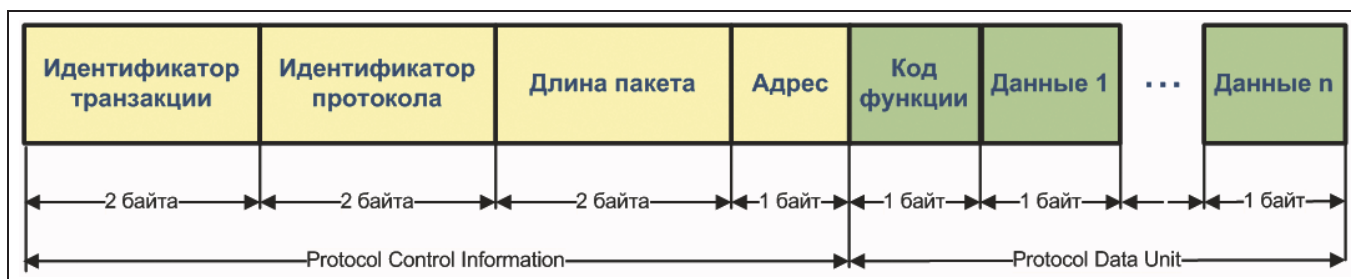


Рис. 4. Структура телеграммы Modbus TCP/IP

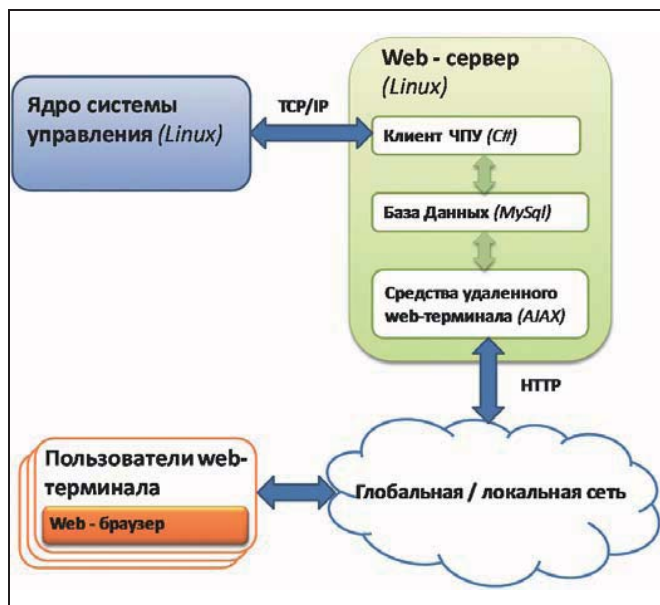


Рис. 5. Обобщенная архитектура удаленного web-терминала системы ЧПУ

удаленных пользователей, происходит обмен системными данными и управляющими командами. Таблицы содержат текстовые поля и флаги, которые совместно редактируются или считываются участниками интерфейса.

Web-сервер предоставляет страницы web-браузеру однократно, т.е. отсутствует регулярное обновление динамически изменяющихся данных. Применение AJAX-технологии позволило в асинхронном режиме изменять данные на web-странице пользователя без ее перезагрузки. Недостаток этого решения заключается в том, что сегодня не все мобильные платформы ее поддерживают.

Пользовательский интерфейс удаленного web-терминала (рис. 6) функционально ограничен в сравнении с штатным пультом оператора и реализует только ключевые режимы управления.



Рис. 6. Пользовательский интерфейс удаленного web-терминала

Заключение

Идея сохранения инвестиций, вложенных в разработку систем управления, наилучшим образом воплощается за счет кросс-платформенной реализации ядра. Портруемость программного обеспечения системы ЧПУ требует независимой реализации алгоритмов управления от аппаратной платформы и операционной системы посредством использования функций оберток. Инвариантность компоновки на базе модульных решений позволяет компоновать систему ЧПУ под конкретные технологические задачи в рамках выбранного ценового диапазона. Открытость архитектуры обеспечивает работу системы ЧПУ с вновь появляющимися протоколами управления следящих приводов и контроллеров электроавтоматики. Распределенное управление технологическим оборудованием реализуется посредством использования в системе ЧПУ стандартных сетевых протоколов, посредством управления цикловой электроавтоматикой в режиме «master-slave» и применения удаленных терминалов на базе web-браузера.

Работа выполнена на кафедре «Компьютерные системы управления» по Госконтракту № П858 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2013 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мартинов Г.М., Обухов А.И., Пушков Р.Л.** Принцип построения универсального интерпретато-

ра языка программирования высокого уровня для систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №6. С. 42-50.

2. **Мартинов Г.М.** Алгоритм опережающего просмотра Look-ahead в современных системах ЧПУ и параметры его настройки // Стружка. 2007. №3. С. 52-54.

3. **Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л.** Проблемы использования сплайновой интерполяции в системах ЧПУ при обработке скульптурных поверхностей // Автоматизация в промышленности. 2006. №11. С. 3-9.

4. **Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.** Архитектура цифровых следящих приводов подач технологических машин // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №10. С. 24-30.

5. **Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.** Концепция числового программного управления мехатронными системами: построение межмодульной коммуникационной среды // Мехатроника, автоматизация, управление. 2000. №6. С. 2-7.

6. **Мартинов Г. М., Мартинова Л. И.** Современные тенденции в области числового программного управления станочными комплексами // СТИН. 2010. №7. С. 7-10.

7. **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.

8. **Григорьев С.Н., Мартинов Г.М.** Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5. С. 4-8.

9. **Мартинов Г. М.** Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №1. С. 74-79.

Мартинов Георгий Мартинович – д-р техн. наук профессор, заведующий кафедрой.

☎ (499) 972-94-40

Козак Николай Владимирович – канд. техн. наук доцент.

☎ (499) 972-94-40

✉ kozak@ncsystems.ru

Нежметдинов Рамиль Амирович – канд. техн. наук доцент.

✉ neramil@ncsystems.ru

Пушков Роман Львович – преподаватель.

✉ pushkov@ncsystems.ru

Martinov George Martinov – chairman, professor of chair, doctor of technical sciences, professor.

☎ (499) 972-94-40

Kozak Nikolay Vladimirovich – associate professor of chair, dh. d.

☎ (499) 972-94-40

✉ kozak@ncsystems.ru

Nezhmetdinov Ramil Amirovich - associate professor of chair, ph. d.

✉ neramil@ncsystems.ru

Pushkov Roman Lvovich – senior lecture of chair.

✉ pushkov@ncsystems.ru

УДК 519.7

Ю.М.Соломенцев, С.Е.Чекменев, Е.Б.Фролов, В.В.Крюков

Y.M. Solomentsev, S.E. Chekmenev, E.B. Frolov, V.V. Krukov

О проблемах автоматизации этапов жизненного цикла изделия

Automatization problems of the steps of the life cycle of the product

Рассматриваются основные научные направления кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы», реализующие автоматизацию отдельных этапов жизненного цикла изготовления изделия. Дается оценка тенденций развития отечественного станкостроения и прогнозируется участие в этом процессе средств автоматизации технологического проектирования, оперативно-календарного планирования.

The authors focus their attention on the basic areas of the scientific research carried on at the department “Information Technology and Computing Systems”. First priority is given to the problems of Continuous Acquisition and Life cycle Support (CALS). Modern trends in the development of the domestic industrial manufacturing are analyzed and the growing role of the IT technologies in production tooling and short-term planning is envisaged.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, технологическая подготовка производства, система автоматизированного проектирования технологических процессов, исполнительная производственная система оперативно-календарного планирования.

Key words: CALS-technology – Continuous Acquisition and Life cycle Support, Production tooling, System of the automated designing of technological processes, Manufacturing execution systems, Production short-term planning.

Технологическая подготовка производства

На этом этапе требуется спроектировать комплект технологической документации на основе информации по конструкции изготавливаемого изделия и требований по его качеству. За время существования кафедры в этом направлении велось несколько разработок, одной из которых является программно-методический комплекс

«ТЕМП». В 1980 г. была создана версия для ЕС ЭВМ, затем в 1985-87 гг. версия для IBM PC в среде MS DOS. Эта версия непрерывно развивалась за счет накопления данных и знаний. В системе был создан «Предметный макроязык» (SML), позволяющий хранить в библиотеках процедур и таблиц принятия решений системы знания из области автоматизации технологиче-