



Исполнительное ядро реального времени PLAZA для малых и средних встроенных систем

В.А.Ванюлин, М.М.Жохова, И.И.Шагурин (МИФИ)

Рассматривается исполнительное ядро реального времени PLAZA, которое может быть легко портировано на различные аппаратные платформы, используемые во встроенных системах. Приводятся его структура и основные характеристики. Приводятся результаты испытаний контроллерных модулей RDAM08-GP, на базе 8-разрядного микроконтроллера семейства 68HC08 компании Freescale Semiconductor, при их работе под управлением ядра PLAZA.

Во многих встроенных системах требуется одновременно выполнять несколько задач и обеспечивать быструю реакцию на происходящие события. Обычно эти функции реализуются с помощью ОС РВ [1, 2]. В настоящее время пользователям предлагается большой выбор коммерческих ОС РВ, которые отличаются своими технико-экономическими характеристиками: VxWorks, OS-9, OSE, QNX и др. [3,4]. Большинство этих ОС ориентировано на применение в сложных системах, реализуемых на базе высокопроизводительных 32-разрядных микропроцессоров и микроконтроллеров. Они имеют высокую стоимость (десятки тысяч долл. США), для их функционирования требуются значительные ресурсы системы, их портирование на различные аппаратные платформы связано с большими трудозатратами. В то же время современные 8- и 16-разрядные микроконтроллеры могут решать достаточно сложные задачи управления объектами в режиме РВ. Для встроенных систем на базе этих микроконтроллеров требуются относительно простые и недорогие исполнительные ядра ОС РВ, позволяющие решать поставленные задачи с минимальными требованиями к ресурсам системы и малыми трудозатратами на портирование ядра. Этим требованиям удовлетворяет разработанное в МИФИ исполнительное ядро РВ PLAZA, ориентированное на применение во встраиваемых системах управления малой и средней сложности, которые обычно реализуются на базе 8- или 16-разрядных микроконтроллеров, имеющих ограниченные ресурсы памяти (десятки и сотни Кбайт) и относительно невысокое быстродействие (тактовая частота порядка десятков МГц). Оно будет сравниваться с некоммерческой ОСРВ RTEMS[5], которая также ориентирована на использование во встроенных системах с ограниченными аппаратными ресурсами.

Структура и функционирование исполнительного ядра PLAZA

Ядро PLAZA относится к классу встраиваемых ОС РВ и обладает такими характеристиками, как многозадачность, модульная архитектура, высокая производительность, минимальные требования к аппаратным ресурсам; число реализуемых задач ограничивается только размером доступной памяти; несколько алгоритмов диспетчеризации: кооперативный, кру-

говой и приоритетный с вытеснением, с фиксированными приоритетами; большое разнообразие реализуемых механизмов взаимодействия и синхронизации задач (семафоры, таймеры, сообщения, сигналы); предусмотрен механизм реализации взаимодействия между задачами (обмен данными, прикладные задачи, обработка прерываний и т.д.).

В ядре реализуется два алгоритма диспетчеризации. Если управление получает задача, отличная от текущей, то производится переключение контекста активной задачи. Переключение контекста производится в случае, если текущая задача блокируется и передает управление или, если в системе существует задача, выполнение которой по ряду причин является более предпочтительным. Каждая задача имеет определенный приоритет от 0 (наивысший) до 7 (наименьший), начальное значение которого присваивается при ее создании и в дальнейшем может быть изменено. Ядро выбирает задачу, готовую к выполнению и имеющую наивысший приоритет. Для очереди задач с одинаковым приоритетом используется круговой алгоритм диспетчеризации – ядро выделяет каждой задаче одинаковое число квантов времени. Если возникает готовая к исполнению задача с более высоким приоритетом, то она немедленно получает управление, прерывая выполнение последовательности менее приоритетных задач.

Ядро PLAZA содержит набор менеджеров (рисунок):

- *семафоров*, который поддерживает стандартные двоичные и счетные семафоры, обеспечивающие синхронизацию и эксклюзивный доступ к ресурсам;
- *событий*, предназначенный для синхронизации выполнения задач. События передаются посредством

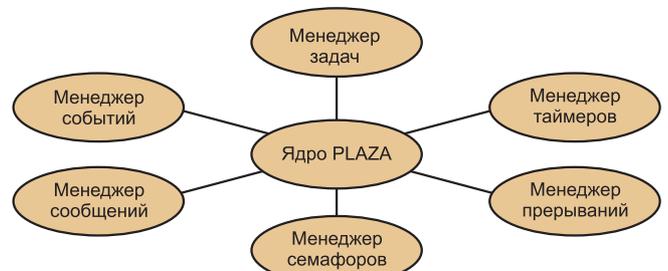


Рис. 1. Структура ядра PLAZA

каналов, которые представляют собой циклические буферы заданного размера с двумя семафорами;

- *сообщений*, предназначенный для обмена сообщениями между задачами. Сообщение – это буфер переменной длины, используемый для обмена данными. Сообщения передаются в виде очереди типа FIFO. Обработка сообщений обеспечивается очередью указателей. Сообщения могут быть использованы для синхронизации задач. Задача может ожидать прихода определенного сообщения или проверять наличие сообщения в очереди;

- *задач*, который обеспечивает полный набор функций для создания, удаления и управления задачами. При создании задачи создается дескриптор и рабочая область (пространство для локальных параметров, переменных и стека). При переключении задач в рабочей области сохраняется контекст задачи. При возвращении управления задаче ее контекст восстанавливается. Задача может находиться в одном из трех состояний: выполнение; готовность к выполнению (управление может быть передано задаче); остановка (задача заблокирована). При распределении процессорного времени и изменении контекста задачи используются такие параметры, как вытесняемость и квантование времени. Параметр "вытесняемость" определяет порядок передачи управления между задачами. Если этот параметр равен -1, то реализуется кооперативная многозадачность. Если этот параметр равен или больше нуля, то реализуется вытесняющая многозадачность. Параметр "квантование времени" определяет, как происходит распределение процессорного времени между задачами с одинаковым приоритетом;

- *прерываний*, который позволяет быстро реагировать на прерывания, обеспечивая возможность вытеснения задачи сразу после выхода из процедуры обработки прерывания. При выполнении определенных директив может возникнуть необходимость отключения обработки прерываний, чтобы обеспечить непрерывное выполнение критических сегментов программы. Для этого используется параметр "перепланировка", который запрещает или разрешает переключение контекста задач;

- *таймеров*, обеспечивающий создание и удаление таймеров, доступ к таймерам, запуск подпрограмм по событию/сигналу от таймера.

Для портирования на требуемую аппаратную платформу необходимо реализовать три платформозависимые функции с использованием средств языка ассемблер:

- PlazaCopyStackFrame – при создании задачи выделяет рабочую область памяти для локальных параметров, переменных и стека, указатель на эту область помещается в дескриптор (определение области памяти для регистров, флагов и указателя команд должно выполняться на языке ассемблера);

- PlazaRescheduleInside – при обслуживании запросов прерывания сохраняет и восстанавливает со-

держимое всех регистров, при переключении контекста сохраняет указатель стека текущей задачи в ее дескрипторе и восстанавливает указатель стека из дескриптора следующей активной задачи;

- PlazaReschedule – реализует немедленную передачу управления от одной задачи к другой, сохраняя контекст задачи (содержимое всех регистров и указателя стека) в рабочей области, при возвращении управления задаче восстанавливает ее контекст.

Результаты тестирования

Тестирование ядра Plaza производилось с помощью универсального контроллерного модуля RDAM08-GP, реализованного на базе 8-разрядного микроконтроллера MC68HC08GP32 и предназначенного для использования во встроенных системах управления [6].

Технические характеристики модуля RDAM08-GP

Тактовая частота, МГц	8
Флеш-память, Кб	32
Статического ОЗУ, байт	512
Преобразователь	8-разрядный аналого-цифровой
Частота выборки, кГц	до 60
Таймеры	временных меток и сторожевой
Таймер/счетчик	16-разрядный
Временное разрешение, нс	125
Число цифровых линий ввода/вывода	14
Число аналоговых входов	6
для подключения внешних устройств	последовательный RS-232
Интерфейс	76800
Скорость обмена, бит/с	12-кнопочная
Клавиатура	двухстрочный жидкокристаллический
Дисплей	Пьезодинамик, цифровой термометр

Модуль должен обслуживать достаточно большое число периферийных и внешних устройств, поэтому для управления его работой целесообразно использовать многозадачную ОС, позволяющую обеспечить режим PB.

Основные параметры, полученные в результате тестирования, представлены в табл. 1. Для сравнения в этой таблице приведены аналогичные результаты, полученные для исполнительного ядра PB RTEMS[7]. Ядро RTEMS свободно распространяется в исходных кодах, что позволяет существенно снизить стоимость разработки ПО для проектируемых систем.

Оценки времени на выполнение различных процедур приведены в табл. 1 в тактах, так как тестирование производилось на различных аппаратных платформах: PLAZA – на 8-разрядных микроконтроллерах семейства Motorola 68HC08 (тактовая частота 8 МГц), RTEMS – на 32-разрядных микропроцессорах семейства Motorola 68xxx (тактовая частота 25 МГц). Отметим, что даже при использовании микроконтроллеров с относительно низкой тактовой частотой ядро PLAZA обеспечивает малые времена переключения контекста задачи и отклика на запросы прерывания: 56 мкс и 11 мкс соответственно. Таким образом, для большинства современных аппаратных платформ, работающих на частоте несколько МГц и выше, данное ядро может выполнять функции ОС "жесткого" PB.

Сравнительные характеристики ядер PLAZA и RTEMS приведены в табл.2. Отметим, что минималь-

Таблица 1. Временные параметры реализуемых процедур

Параметры	PLAZA		RTEMS
	такты	мкс	такты
Время отклика на запрос прерывания	105	13	520
Время переключения контекста	447	56	700
Создание/удаление активной задачи	2292/356	286/44	2960/3400
Удаление заблокированной задачи	167	21	2860
Изменение приоритета задачи: возврат к вызывающей задаче	644	81	1280
Изменение приоритета задачи: приоритетное перепланирование	1061	133	2120
Передача управления одной задачи другой: возврат к вызывающей задаче/ приоритетное перепланирование	226/442	28/55	320/1120
Создание таймера	184	23	560
Удаление неактивного таймера	84	11	860
Удаление активного таймера	155	19	940
Создание семафора	64	8	1200
Получение доступного семафора	98	12	760
Получение недоступного семафора: вызывающая задача блокируется	2184	273	2180
Освобождение семафора, готовая задача: возвращение к вызывающей задаче/ приоритетное перепланирование	59/629	8/74	1320/1740
Создание очереди сообщений	764	96	4000
Посылка очереди сообщений, готовая задача: возвращение к вызывающей задаче/ приоритетное перепланирование	703/983	88/123	2020/2460
Прием очереди сообщений доступен	344	43	1580
Прием очереди сообщений недоступен: блокирование вызывающей задачи	791	99	2280
Посылка события, готовая задача: возвращение к вызывающей задаче/ приоритетное перепланирование	958/1405	120/176	1200/1680
Прием события доступен	418	52	560
Прием события недоступен – блокирование вызывающей задачи	703	88	1680

но необходимый для работы системы объем ядра составляет для PLAZA всего 5 Кбайт. Таким образом, данное ядро может быть эффективно использовано на аппаратных платформах с малым объемом памяти.

Заключение

Модульная структура ядра PLAZA позволяет в широких пределах варьировать его объем и возможности в зависимости от конкретной области применения. Ядро PLAZA ориентировано на использование в системах на 8- и 16-разрядных аппаратных платформах, имеющих ограниченные ресурсы, поэтому его отличительными чертами являются компактность и простота портирования. Данное ядро может быть использовано и для 32-разрядных платформ, если создаваемая система не требует дополнительных программных компонентов (стек TCP/IP, файловая система, SNMP-агент, стеки различных интерфейсных протоколов и др.). При этом простота портирования ядра PLAZA позволяет осуществить запуск системы с минимальными трудозатратами.

Шагурин Игорь Иванович – д-р техн. наук, проф., Ванюлин Вячеслав Александрович – канд. техн. наук, инженер, Жохова Мария Михайловна – аспирантка кафедры "Микроэлектроника" МИФИ.
 Контактные телефоны: (095) 324-01-84, 323-93-57. E-mail: Shagurin@d406.micro.mephi.ru

Таблица 2. Сравнительные характеристики исполнительных ядер PLAZA и RTEMS

ОСРВ	RTEMS	PLAZA
Процессоры, на которых возможно использование исполнительного ядра	68k, CPU32+, ColdFire, SH,i386, i960, MIPS, PowerPC, SPARC, AMD A29K, Hewlett-Packard PA-RISC	Любые аппаратные платформы
Базовая ОС разработчика	Linux, Unix	Любые ОС, обеспечивающие трансляцию исходного кода на языках Си и ассемблер
Объем ПЗУ ядра, Кб	15	5
Алгоритм диспетчеризации	Вытесняющая многозадачность, круговая диспетчеризация, динамический, квантование времени	Вытесняющая многозадачность, фиксированные приоритеты, круговая диспетчеризация, квантование времени
Число уровней приоритета	256	8
Многозадачность	Да	
Средства разработки-отладки	Кросс-средства	
Форма поставки	Исходный код	

Сравнение характеристик ядер РВ PLAZA и RTEMS показывает, что PLAZA предъявляет более мягкие требования к ресурсам системы. Основное отличие PLAZA от RTEMS заключается в том, что в RTEMS привязка к аппаратной платформе производится с помощью специальной библиотеки подпрограмм BSP и специализированных подпрограмм для различных архитектур, а в ядре PLAZA пользователю необходимо написать три функции на языке ассемблер. Эта особенность ядра PLAZA обеспечивает быстрое портирование на любую аппаратную платформу, которая может не поддерживаться библиотекой BSP.

Областями возможного применения ядра PLAZA являются встроенные системы с ограниченными ресурсами: портативные приборы и устройства, мобильные системы (в т. ч. телекоммуникационное оборудование), АСУТП на базе ПЛК.

Список литературы

1. Горбунов Н.Б. Встраиваемая ОС как основа успеха // Автоматизация в промышленности. №3. 2004.
2. Демьянов А.В. От встраиваемой ОС к встраиваемой "Платформе" // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. №7
3. Жданов А.А. Современный взгляд на ОС РВ // Мир компьютерной автоматизации. 1999. №1.
4. Жданов А., Латыев А. Миллион терзаний. Выбор ОС при построении системы РВ // PC Week/RE. 2001. №1.
5. Шагурин И.И., Ванюлин В.А., Смирнов В.А. Исполнительное ядро РВ RTEMS и особенности его применения // Мир компьютерной автоматизации. 2001. №4.
6. Шагурин И.И., Мокрецов М.О., Лат М.М. Одноплатные контроллерные модули сбора и обработки данных для распределенных систем управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. №1.
7. RTEMS Motorola MC68XXX Applications Supplement, edition 1 for RTEMS 4.5.0-beta3. On-Line Applications Research Corporation (OAR). May 2000.