

Операционные системы реального времени

Подразделяют ОСРВ на два класса — **системы «жесткого» и «мягкого» реального времени**. Системы «жесткого» РВ имеют минимальные объем и время отклика, но обладают ограниченными сервисными средствами. Типичным примером ОСРВ этого класса служит VxWorks. Системы «мягкого» РВ требуют большего объема памяти, имеют более длительное время отклика, но удовлетворяют широкому спектру требований пользователя по режиму обслуживания задач, уровню предоставляемого сервиса. Примером такой ОСРВ может служить OS-9/9000. Однако для современных ОСРВ данная классификация является весьма условной.

Также ОСРВ можно разделить на **системы специализированные и универсальные**. Специализированной ОСРВ называется система, где конкретные временные требования априори определены. Универсальная СРВ должна уметь выполнять произвольные временные задачи без применения специальной техники. Разработка таких систем является сложной задачей, хотя обычно требования, предъявляемые к таким системам, мягче, чем требования для специализированных систем.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени OS-9

OS-9 компании Microware относится к классу UNIX-подобных операционных систем реального времени. Благодаря модульному объектно-ориентированному дизайну OS-9 является чрезвычайно гибко конфигурируемой высокопроизводительной системой реального времени.

Все функциональные компоненты OS-9, включая ядро, иерархические файловые менеджеры, систему ввода/вывода и средства разработки, реализованы в виде независимых модулей. Модульность системы означает, что она может быть масштабирована для удовлетворения нужд как маленьких встроенных систем, так и больших сетевых приложений.

Спектр применений OS-9 широк – промышленная автоматизация, инструментальные и измерительные системы, системы военного и космического назначения. В последние годы она применяется в таких современных системах, как мобильные телекоммуникационные устройства, встраиваемые терминалы доступа в Интернет, интерактивные цифровые телевизионные приставки.

Операционные системы реального времени

Ядро OS-9 содержит более 90 системных вызовов, которые дают возможность управлять динамическим режимом диспетчеризации, распределением памяти, межпроцессорной коммуникацией и т.д. – вплоть до управления встраиваемым в ядро ОС режимом экономичного потребления питания.

Характеристики производительности ядра: 5,6 мкс – время задержки прерывания), 14 мкс – время переключения контекста процесса (для процессора MC68040, 30MHz).

Ядро OS-9 является масштабируемым, полностью вытесняемым, поддерживает функционирование до 65535 процессов, предоставляет 65535 уровней приоритета и обеспечивает работу до 255 пользователей.

Поддержка микропроцессоров серии Motorola, Intel 80386/486, Pentium, PowerPC.

Операционные системы реального времени

Основным принципом построения OS-9 является максимальная открытость структур и функций. Реентерабельность достигается за счет сосредоточения постоянных частей кода в модулях памяти. Перемещаемость подразумевает создание компиляторами кода, не содержащего абсолютных адресов. Любая программа может быть загружена и исполнена с любого абсолютного адреса, и эта возможность делает тривиальной задачу размещения ОС (вместе с приложениями) в ПЗУ.

В результате любые системные (за исключением самого ядра и модуля данных) и прикладные модули могут добавляться или удаляться из системы в процессе ее функционирования без какой-либо повторной компиляции или компоновки.

Спектр применений OS-9 широк – промышленная автоматизация, инструментальные и измерительные системы, системы военного и космического назначения. В последние годы она применяется в таких современных системах, как мобильные телекоммуникационные устройства, встраиваемые терминалы доступа в Интернет, интерактивные цифровые телевизионные приставки.

Операционные системы реального времени

Все модули OS-9 могут быть размещены в ПЗУ. Кроме того, они все позиционно независимые. В результате любые системные и прикладные модули могут добавляться или удаляться из системы в процессе ее функционирования без какой-либо повторной компиляции или компоновки.

OS-9 имеет самый широкий набор файловых менеджеров по сравнению с другими ОСРВ. Базовые файловые менеджеры OS-9 предназначены для организации обмена информацией между процессами и обеспечивают приложениям OS-9 доступ к различным устройствам.

Сетевые файловые менеджеры обеспечивают доступ к самым разным сетевым устройствам по протоколам TCP/IP, X.25 и др. В автономной встроенной системе приложения и стеки протокола могут быть как резидентными в устройстве, так и загружаться в устройство через сеть.

ISDN-менеджер рассчитан на глобальные телекоммуникационные приложения: видеоконференции, высокоскоростная факс-связь и мосты между локальными и глобальными сетями. ISDN-менеджер позволяет системе OS-9 осуществлять доступ к базовому каналу ISDN-сети (Basic Rate Channel).

Операционные системы реального времени

Для поддержки таких сложных приложений, как телекоммуникации, мультимедиа и системы выдачи видеоданных по запросу, фирма Microware разработала ряд дополнительных файловых менеджеров.

Пользовательский интерфейс мультимедиа-приложения MAUI содержит расширенный набор протоколов API для соответствия требованиям высокопроизводительных мультимедиа-протоколов либо протоколов пользователя. С данным интерфейсом могут общаться такие являющиеся промышленным стандартом пакеты, как Apple QuickDraw и QuickTime, Macromedia Director, Oracle Media Objects и Sybase Gain.

Файловый менеджер для приложений мультимедиа MPFM, соответствующий спецификациям MPEG, рассчитан на использование в различных приложениях мультимедиа, включающих интерактивное телевидение, образование, обучение и выдачу видеoinформации по запросу.

Операционные системы реального времени

OS-9 предоставляет широкий набор средств разработки: локализованные (резидентные), удаленные (внешние), использующих принципиально отличные операционные среды. Локализованные системы разработки функционируют в той же вычислительной среде, что и разрабатываемое приложение. Их достоинством является простота (следовательно, невысокая стоимость), быстрый переход от разработки к исполнению и наоборот, дополнительные возможности управления исполнением.

Удаленные (внешние) системы разработки – это и традиционные кросс-системы (такие, как PC-Bridge, работающая под управлением DOS, UniBridge, исполняющаяся в многопользовательской UNIX-среде) и профессиональные графические среды разработки (такие как, FasTrak).

Как правило, разработка программ ведется в полнофункциональных конфигурациях. После того, как будет отлажен код программы реального времени, отсоединяются модули разработки и ввода-вывода, и полученный код готов к исполнению под управлением ядра в целевой системе.

Операционные системы реального времени

Характеристики использования OS-9:

- Поддержка HOST-систем (IBM PC (MS Windows 3.xx, 95, NT), IBM RS6000/AIX, Sun4/SunOS/Solaris, HP9000 S/700, SGI IRIS/IRIX)
- Широкая поддержка сторонних разработчиков программного обеспечения
- Широкая поддержка разработчиков аппаратных средств промышленной автоматизации
- Программные продукты для «вертикальных» рынков (мобильная беспроводная коммуникация, устройства с минимальным потреблением энергии, мультимедиа)
- Специальные программные средства и лицензионная политика для OEM.
- Более 5 млн. установленных копий
- Более 800 OEM-партнеров

Операционные системы реального времени

ОС реального времени VxWorks

ОСРВ VxWorks компании Wind River Systems является встраиваемой ОС реального времени для систем жесткого реального времени. Значительная часть используемого в Интернет сетевого оборудования, коммутаторы, маршрутизаторы, серверы удаленного доступа и устройства широкополосного доступа работают под управлением VxWorks.

VxWorks построена по технологии микроядра, т.е. на нижнем непрерываемом уровне ядра выполняются только базовые функции планирования задач и управления коммуникацией/синхронизацией между задачами. Все остальные функции ОС более высокого уровня — управление памятью, вводом/выводом, сетевые средства, и т.д. — базируются на простых функциях нижнего уровня. Такая иерархическая организация позволяет обеспечить быстродействие и детерминированность ядра, а также легко строить необходимую конфигурацию ОС.

Микроядро с минимальным набором модулей занимает 20-40 Кбайт памяти. Для встроенных систем, имеющих жесткие ограничения на объем памяти, разработано редуцированное ядро Wind Stream, которое требует для работы всего 8 Кбайт ПЗУ и 2 Кбайт ОЗУ.

Операционные системы реального времени

Разработка ведется на инструментальном компьютере (host) в среде Tornado для последующего исполнения на целевой машине (target) под управлением VxWorks.

Инструментальная среда Tornado имеет открытую архитектуру, что позволяет другим фирмам-производителям инструментальных средств разработки ПО реального времени интегрировать свои программные продукты с Tornado. Пользователь также может подключать к Tornado свои собственные специализированные средства разработки, а также расширять возможности инструментальных средств фирмы Wind River Systems.

В стандартную конфигурацию Tornado входят ядро VxWorks и системные библиотеки, GNU C/C++ Toolkit, дистанционный отладчик уровня исходного языка CrossWind, оболочка WindSh, конфигуратор BSP WindConfig и др. Существует также множество интегрированных с Tornado программных продуктов других фирм.

Операционные системы реального времени

VxWorks поддерживает целевые архитектуры (targets):

Motorola 680x0 и CPU32, Intel 386/486/Pentium/.., Intel 960, SPARC, Mips R3000/4000, ARM, Motorola 88110, HP PA-RISC, Hitachi SH7600, PowerPC, DEC Alpha, Siemens C16x.

Инструментальные платформы, поддерживаемые для Tornado (hosts):

Sun SPARCstation (SunOS и Solaris), HP 9000/400,700 (HP-UX), IBM RS6000 (AIX), Silicon Graphics (IRIX), DEC Alpha (OSF/1), PC (Windows 95 и NT).

Поддерживаемые интерфейсы host-target:

Ethernet, RS-232, внутрисхемный эмулятор ICE (In-Circuit Emulator), кросс-шина (backplane), ROM-эмулятор, BDM-интерфейс (Background Debug Mode).

Операционные системы реального времени

ОС реального времени Wind River Linux

Wind River Linux компании Wind River Systems Inc. — коммерческий дистрибутив ОС Linux, предназначенный для разработки встраиваемых приложений. Это полнофункциональный и комплект, позволяющий разработчикам устройств достигать большей результативности с меньшими затратами, исключая из Linux-проектов множество ресурсоемких рутинных задач.

В состав дистрибутива входят более 500 готовых программных пакетов, включая расширения жесткого реального времени и пакеты сетевых протоколов, а также интегрированная среда разработки Wind River Workbench.

Операционные системы реального времени

Wind River Workbench — интегрированная среда разработки встраиваемого ПО для ОС VxWorks и Wind River Linux. Она содержит в себе инструментарий для полного цикла разработки ПО встраиваемых систем, от инициализации оборудования до управления конечным устройством, включая средства отладки, анализа кода, виртуализации, диагностики и тестирования.

В состав Wind River Workbench входят инструменты мониторинга, анализа и отладки для каждой фазы разработки проекта. Поддержка в Wind River Workbench различных ОС, процессорных архитектур и языков программирования предоставляет разработчикам большую гибкость.

Функциональность Wind River Workbench может быть расширена подключением к ней инструментария модульного и интеграционного тестирования IPL Cantata++. Wind River Workbench также поддерживает аппаратные модули внутрисхемной отладки Wind River ICE и Wind River Probe, позволяя разработчикам выявлять и решать проблемы на самых ранних стадиях разработки устройств.

Операционные системы реального времени

Wind River Linux имеет монолитное ядро с загружаемыми модулями, реализует многопоточность. Полностью соответствует стандарту POSIX.

Исходный текст доступен целиком.

Поддерживаемые процессоры: x86, ARM, MIPS, PowerPC, SPARC.

Многопроцессорность (SMP/AMP), многоядерные процессоры, виртуализация.

Типовые применения: сети/телекоммуникации, мобильные устройства, потребительская электроника, промышленные приложения.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени OSEK/VDX

Проект OSEK/VDX (Offene Systeme und deren Schnittstellen für die Elektronik in Kraftfahrzeugen/Vehicle Distributed eXecutive) предназначался для разработки стандарта открытой архитектуры ОС и стандарта API для систем автомобильной промышленности. Его разработку финансировали BMW, Bosch, DaimlerChrysler, Siemens, Opel и Volkswagen.

ОС OSEK прежде всего ориентирована на использование в автомобильных приложениях и поддерживает в настоящее время множество типов встраиваемых микроконтроллеров: HC08, HC12, 683XX, MCore, Motorola PowerPC.

ОС OSEK оперирует такими объектами, как задачи, события, ресурсы. Кроме того, обеспечиваются такие возможности, как управление ошибками и средства для пользовательских функций отслеживания изменений в состоянии системы.

Операционные системы реального времени

Задача в ОС OSEK может быть

- базовой или расширенной,
- вытесняемой или невытесняемой.

Главное различие между базовой и расширенной задачами заключается в том, может ли задача впасть в состояние ожидания (в котором она ждет появления события). Только расширенная задача может ожидать события. Вытесняемая задача может быть вытеснена задачей более высокого приоритета или прервана прерыванием. Невытесняемая задача может быть вытеснена только с помощью прерывания (когда прерывания не запрещены).

Операционные системы реального времени

ОС OSEK определяет два уровня программ управления прерываниями, которые различаются возможностями вызова системных сервисов. Прерывания уровня 1 выполняются независимо от ОС быстро. Уровень 2 обеспечивает выполнение функций приложений, которые содержат вызовы ОС. События в ОС OSEK используются для синхронизации различных задач. События являются собственностью задач. Любая задача, в том числе и базовая, может установить событие, и только собственник события может ожидать или снять его.

Управление ресурсами обеспечивает доступ к разделяемым ресурсам, таким как память, аппаратура и т.п. Планировщик также считается специальным ресурсом, который может быть захвачен задачами.

Операционные системы реального времени

Аварийные сигналы и счетчики в OSEK используются для синхронизации активации задач с повторяющимися событиями. Аварийный сигнал статически присваивается счетчику, задаче и воздействию. Воздействие может либо активировать задачу, либо установить событие. Счетчики оперируют тактами и могут представлять время, количество принятых импульсов и т.п. Каждая реализация обеспечивает один временной счетчик, который используется для планирования периодических событий.

В OSEK существует два типа аварийных сигналов: циклические и одинарные. Циклические аварийные сигналы применяются для диспетчеризации задачи, которая должна запускаться периодически. Счетчик аварийного сигнала может быть установлен в относительное или абсолютное значение.

Операционные системы реального времени

ОС OSEK обеспечивает минимальные средства для управления ошибками времени выполнения. Во время выполнения большинство системных сервисов не возвращает коды ошибок. Однако имеется возможность дополнительного управления ошибками во время разработки благодаря расширенной функциональности возврата управления.

В ОС OSEK есть два типа ошибок – ошибки приложения и фатальные ошибки. При ошибке приложения, когда приложение пытается выполнить несанкционированную операцию, целостность данных все еще сохраняется. Фатальные ошибки возникают, если ОС обнаруживает нарушение целостности внутренних данных. При выявлении таких ошибок вызывается сервис завершения работы ОС.

Фирма Metrowerks, независимая дочерняя компания фирмы Motorola, включила в состав своих отладочных средств CodeWarrior операционную систему OSEK фирмы Motorola. ОС OSEK соответствует стандартам программной модели Automotive Open System Architecture (AutoSar).

Операционные системы реального времени

ОС реального времени LynxOS

LynxOS — операционная система жесткого реального времени, поддерживающая многопроцессные и многопоточные приложения, которая предназначена для специализированной и телекоммуникационной аппаратуры. Эта ОС является полностью детерминированной и обладает POSIX-, UNIX- и Linux-совместимостью. Области применения ОС LynxOS являются также сложные системы безопасности.

Разработана компанией LynuxWorks, Inc. Важным аспектом бизнес-политики компании LynuxWorks является возможность приобретения системным интегратором исходных текстов операционной системы LynxOS-178.

Полностью поддерживается стандарт POSIX.1003.1a, а также подразделы POSIX.1003.1b и POSIX.1003.1c. LynxOS сертифицирована на согласованность с POSIX 1003.1-1996 в 1996 году для платформ Intel и PowerPC.

Операционные системы реального времени

Программы, написанные и откомпилированные в ОС Linux, могут запускаться и работать в среде LynxOS без каких-либо изменений в исходных текстах и без перекомпилирования. Это свойство LynxOS является уникальным для систем реального времени и очень удобным для пользователей (например, в случае отсутствия исходных текстов). LynxOS обеспечивает совместимость с Linux на уровне ABI (Application Binary Interface), уровне форматов объектных файлов, вызовов API, динамически подключаемых библиотек, компоновки и загрузки на этапе выполнения.

Поддерживается множество аппаратных архитектур (x86, PowerPC, MIPS) для оборудования различных фирм-производителей. LynxOS 5.0 может работать в режиме SMP на платах с несколькими процессорными ядрами или процессорами.

Сетевые средства: IPv4 и IPv6, IPSec/IKE/VPN, QoS, протоколы TCP, UDP, ICMP, IGMP, ARP, RARP, DHCP, NAT, RPC, NTPv3, RIP, RIPv2, DVMRP, BGP4, OSPF, OSPFv2, SNMP v1, v2 и v3.

Операционные системы реального времени

Последняя выпущенная версия этого бренда ОС LynxOS-178 2.0 характеризуется производителем как коммерческая операционная система, обеспечивающая высокий уровень надежности и оперативности, необходимый для встраиваемых приложений с особыми требованиями к безопасности.

В LynxOS-178 2.0 реализована поддержка интерфейса APEX (Application/Executive – интерфейс приложения/управляющей программы) спецификации ARINC-653. Это означает, что данная операционная система отвечает самым строгим требованиям к безопасности и надежности электронных систем для военной и гражданской авиации. Система LynxOS-178 2.0 полностью соответствует положениям уровня А спецификации DO-178B.

Также ОСРВ LynxOS-178 2.0 соответствует требованиям стандартов POSIX и DO-178B, что означает гарантию переносимости прикладного кода встраиваемых систем, многократного использования созданных программ, а также соответствие самым строгим нормативам операционных систем с повышенными требованиями к безопасности.

Операционные системы реального времени

Ключевое свойство LynxOS-178 – это поддержка нескольких полностью изолированных по времени, памяти и ресурсам разделов в соответствии с требованиями ARINC-653 (рис. 1). Это особенно важно при реализации концепции ИМА (интегрированная модульная авионика). Операционная система LynxOS-178 (версия 2.0) поддерживает:

- до 16 разделов (виртуальных машин), включая корневой раздел;
- до 64 процессов в каждом разделе;
- до 51 потока (нити) внутри каждого процесса;
- диспетчеризацию реального времени потоков внутри раздела;
- POSIX-функции межпроцессного взаимодействия внутри раздела.

Каждый раздел полностью изолирован, поэтому распространение сбоев между ними исключено. Это разделение относится к процессорному времени, адресному пространству и ресурсам. С помощью LynxOS-178 фиксированные разделы обслуживаются как виртуальные машины LynxOS.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени Windows CE

Windows CE (также известна как WinCE) — это вариант операционной системы Microsoft Windows для встраиваемых компьютеров, смартфонов и встраиваемых систем. Сегодня Windows CE (Compact Edition/Compact Embedded) не является «урезанной» версией Windows для настольных ПК, она основана на совершенно другом ядре и является операционной системой реального времени с набором приложений, основанных на Microsoft Win32 API.

Примерно с 2000 года ОС Windows CE развивалась самостоятельно, и современные версии ОС Windows CE сильно отличаются от современных версий настольных ОС семейства Windows NT, но при этом сохраняется программная совместимость с приложениями, основанными на Microsoft Win32 API.

Операционные системы реального времени

Windows CE является модульной с небольшим ядром и необязательными модулями, которые выполняются как независимые процессы. Планирование в Windows CE осуществляется на основе приоритетов. Поддерживается защита ядра и процессов друг от друга. Кроме того, возможен режим работы, когда отсутствует защита между процессами и ядром.

Это компонентная многозадачная многопоточная многоплатформенная операционная система с поддержкой реального времени. Разработчикам доступны около 600 компонентов, при использовании которых они могут создавать собственные образы операционной системы, которые включают только необходимую данному конкретному устройству функциональность.

Операционные системы реального времени

Windows CE предоставляет разработчикам приложений набор API, основанный на стандартном Win32 API и дополненный специализированным API для встраиваемых устройств. Поскольку CE поддерживает только часть Win32 API и имеет определённую специфику, связанную со встраиваемой природой операционной системы, приложения, написанные для настольных версий операционной системы Windows, могут потребовать дополнительной адаптации и модификации для запуска их на встраиваемых устройствах; и в любом случае, для запуска программ на устройстве потребуется их перекомпиляция.

Но так же, как и настольные версии Windows, Windows CE использует стандартный формат исполняемого файла — Portable Executable (PE). Это позволяет разработчикам использовать большинство стандартных утилит, работающих с форматом PE, например, Dependency Walker (проверка зависимостей) или DumpBin.

Операционные системы реального времени

Часто названия Windows CE, Windows Mobile, Pocket PC используют как взаимозаменяемые. Это не совсем правильно. Windows CE — это модульная операционная система, которая служит основой для устройств нескольких классов.

Windows Mobile лучше всего представлять себе как набор платформ, основанных на Windows CE. В настоящее время в этот набор входят платформы: Pocket PC, SmartPhone и Portable Media Center. Каждая платформа использует свой набор компонентов Windows CE, плюс свой набор сопутствующих особенностей и приложений.

Любой разработчик может купить инструментарий (Platform Builder), который содержит все эти компоненты и программы, позволяющие построить собственную платформу. При этом такие приложения, как Word Mobile/Pocket Word, не являются частью этого инструментария. Согласно программе лицензирования Shared source исходный код может быть предоставлен сторонним разработчикам программного обеспечения.

Операционные системы реального времени

На базе Windows CE основано множество платформ, включая Handheld PC, Palm-size PC, Pocket PC, Pocket PC 2002, Pocket PC 2003, Pocket PC 2003 SE, Smartphone 2002, Smartphone 2003, Windows Mobile, Meizu OS, а также множество промышленных устройств и встроенных систем.

Windows CE оптимизирована для устройств, имеющих минимальный объём памяти: ядро Windows CE может работать на 32 КБ памяти. С графическим интерфейсом (GWES) для работы Windows CE понадобится от 5 МБ. Устройства часто не имеют дисковой памяти и могут быть сконструированы как «закрытые» устройства, без возможности расширения пользователем (например, ОС может быть «защита» в ПЗУ).

Хотя Windows CE имеет модульную структуру, которая позволяет создавать минимальные конфигурации для небольших систем, она все-таки остается сложной и требует относительно большого пространства на диске, поэтому она не является хорошим выбором для глубоко встраиваемых систем.

Операционные системы реального времени

RTX (Real Time Extension)

Microsoft Windows «в чистом виде» нельзя отнести к операционным системам реального времени. Одним из возможных решений является использование совместно с Microsoft Windows подсистемы реального времени, исполняющейся на том же процессоре (если процессор один) или на выделенном процессоре(-ах) (если их несколько). Этот подход использован фирмой VenturCom в продукте RTX (Real Time Extension). Сущность подхода заключается в использовании модифицированного HAL (Hardware Abstraction Level). Изменять ядро Microsoft не разрешает, а исходный код HAL предоставляет своим партнерам, одним из которых является VenturCom. После установки RTX стандартная Microsoft Windows Workstation или Server превращается в операционную систему реального времени с жестким детерминизмом (hard real-time). Сама Windows об этом, правда, не подозревает. Ни ядро, ни исполняющая подсистема ОС не изменяются. Подсистема реального времени видна из Microsoft Windows, как еще один драйвер устройства.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени RTEMS

RTEMS (англ. Real-Time Executive for Multiprocessor Systems) — свободная операционная система реального времени с открытым исходным кодом, разработанная для встраиваемых систем.

Изначально буква "М" означала Missile (ракетный), потом Military (военный). В настоящее время в версиях RTEMS, реализованных на языке C, буква "М" подразумевает Multiprocessor, в версиях на языке Ada буква "М" подразумевает Military. Разработчик системы компания OAR (On-Line Applications Research Corporation, США). Система была создана по заказу министерства обороны США для использования в системах управления ракетными комплексами.

На данную ОСРВ отсутствуют какие-либо экспортные ограничения, она свободно распространяется в исходных кодах через Интернет (www.OARcorp.com). RTEMS находится под защитой модифицированной версии публичной лицензии GNU. Компания OAR обеспечивает поддержку, обучение специалистов и разработку программного обеспечения по заказам. Производится также бесплатная рассылка информационных материалов по запросу.

Операционные системы реального времени

Согласно классификации ОСРВ RTEMS следует отнести к монолитным ядрам реального времени. ОСРВ RTEMS обеспечивает высокоэффективную среду исполнения для «глубоко встраиваемых» систем (Deeply Embedded Segment), в которых не предполагается частая перенастройка или смена алгоритмов функционирования.

Это могут быть портативные приложения для портативных устройств (например, сотовые телефоны) или приложения, чувствительные к стоимости (например, автомобильная автоматика), в которых используются аппаратные средства с ограниченными ресурсами (микроконтроллеры). RTEMS отличается модульностью, высокой масштабируемостью и предсказуемостью.

Операционные системы реального времени

ОС RTEMS написана на языке высокого уровня, поэтому ее перенос на различные процессорные платформы производится с минимальными трудозатратами.

Поддерживаются процессоры: ARM, Blackfin, Freescale ColdFire, цифровые сигнальные процессоры Texas Instruments серий C3x/C4x, Hitachi H8/300, i386, Pentium, Motorola 68000, MIPS, Nios II, PowerPC, SuperH, SPARC, OpenRisc.

Также поддерживаются мультипроцессорные конфигурации.

Ядро RTEMS автоматически учитывает различия в архитектуре используемых процессоров, выполняя в случае необходимости перестановку байтов и другие процедуры. Это позволяет осуществлять переход на другое семейство процессоров без значительных изменений системы.

Операционные системы реального времени

Характерные особенности ядра RTEMS:

- поддержка однородных и неоднородных мультипроцессорных систем;
- управляемое событиями распределение машинного времени в соответствии с приоритетами (динамический алгоритм диспетчеризация);
- наличие менеджера задач, который обеспечивает гибкую конфигурацию параметров переключения контекстов, позволяя монотонно изменять минимальный размер выделенного задаче кванта времени (optional rate monotonic scheduling);
- надежное управление прерываниями (responsive interrupt management), гарантирующее своевременное обнаружение запросов и вызов программ обработки;
- большое разнообразие реализуемых механизмов взаимодействия и синхронизации задач;
- динамическое выделение памяти;
- широкие возможности настройки параметров системы.

Операционные системы реального времени

В качестве достоинств RTEMS необходимо отметить следующие.

Это операционная система жесткого реального времени, надежность которой подтверждается опытом длительного использования в аппаратуре специального назначения (ракетных системах и других ответственных сферах применения).

Данная ОСРВ является бесплатной и поставляется в исходных кодах.

ОСРВ RTEMS позволяет легко применять разработанные приложения на разных платформах.

RTEMS это мультипроцессорная ОС, на базе которой можно создавать разветвленные системы контроля и управления, устойчивые к различного рода воздействиям.

Модульная структура ядра RTEMS позволяет в широких пределах варьировать размер и возможности этой ОСРВ в зависимости от конкретной области применения.

Операционные системы реального времени

Поддержка стандартного стека сетевых протоколов TCP/IP обеспечивает возможность широкого применения RTEMS в сетевых приложениях.

Соответствие международным стандартам, поддержка стандартных методов синхронизации между задачами, наличие пользовательского API и свободно распространяемых средств разработки и отладки, реализованных на базе проекта GNU, позволяют пользователю создавать на базе RTEMS эффективные системы управления с минимальными затратами.

Малое время загрузки/реанимации приложения в случае аварии/отключения питания (менее 1с) обеспечивает быстрое восстановление работоспособности систем, использующих RTEMS.

Операционные системы реального времени

Следует также отметить ряд недостатков, ограничивающих возможности применения RTEMS. RTEMS не поддерживает динамическую загрузку приложений и модулей, поэтому сферой её применения являются встроенные системы, в которых не предполагается частая модификация программного обеспечения.

ОСРВ RTEMS обеспечивает достаточно слабую поддержку файловых систем, что ограничивает область ее возможного применения в сфере систем централизованного сбора и хранения данных стандартными высокоуровневыми средствами. На настоящий момент RTEMS поддерживает только файловые системы IMFS и TFTP, что явно недостаточно.

В RTEMS фактически отсутствуют резиденты средства отладки. Имеются только стандартные функции `rtems_panic` и `printf`, которые позволяют выводить отладочную информацию на терминал в процессе работы системы. Следует, однако, отметить, что наличие мощных средств кросс-разработки делает этот недостаток не очень существенным.

Операционные системы реального времени

Наиболее перспективными областями применения RTEMS являются:

- промышленные контроллеры;
- телекоммуникационное оборудование;
- контрольно-измерительная аппаратура;
- разветвленные системы контроля и управления.

Базовой средой разработчика при работе с RTEMS является ОС Linux (Unix). Возможна настройка рабочего места для использования Windows 9x, Windows NT, Windows 2000 при работе в среде Cygwin.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени FreeRTOS

FreeRTOS — это многозадачная, мультиплатформенная, бесплатная операционная система жесткого реального времени с открытым исходным кодом. Разработана компанией Real Time Engineers Ltd. специально для встраиваемых систем.

FreeRTOS 6.1.0 официально поддерживает 23 архитектуры и 57 платформ (в подавляющем большинстве — микроконтроллеры).

Существуют так называемые официально поддерживаемые аппаратные платформы — официальные порты и неофициальные, которые поставляются «как есть» и не поддерживаются напрямую. Кроме того, для одного и того же порта могут поддерживаться несколько средств разработки. Поставляется с отлаженными примерами проектов для каждого порта и для каждой среды разработки.

Операционные системы реального времени

Большая часть кода FreeRTOS написана на языке Си, ассемблерные вставки минимального объема применяются лишь там, где невозможно применить Си из-за специфики конкретной аппаратной платформы.

Система FreeRTOS является относительно небольшим приложением. Минимальный вариант монолитного ядра системы FreeRTOS состоит всего лишь из трех файлов исходного кода (.c) и горстка файлов заголовков, общий размер которых составляет менее 9000 строк кода, включая комментарии. Размер типичного образа системы в исполняемом коде меньше 10 КБ.

Дизайн системы FreeRTOS позволяет ее легко настраивать в широких пределах. Система FreeRTOS может собрана как для одного процессора, для выполнения только основных функций и поддержки только нескольких задач, либо она может быть собрана для работы на многоядерном железе с TCP/IP, файловой системой и USB.

Операционные системы реального времени

Основные характеристики FreeRTOS:

Планировщик FreeRTOS поддерживает три типа многозадачности:

- вытесняющую;
- кооперативную;
- гибридную.

Возможность отслеживать факт переполнения стека.

Нет программных ограничений на количество одновременно выполняемых задач.

Нет программных ограничений на количество приоритетов задач.

Нет ограничений в использовании приоритетов: нескольким задачам может быть назначен одинаковый приоритет.

Операционные системы реального времени

FreeRTOS полностью бесплатна, модифицированная лицензия GPL позволяет использовать FreeRTOS в проектах без раскрытия исходных кодов.

Документация в виде отдельного документа платная, но на официальном сайте доступно исчерпывающее техническое описание на английском языке.

Проект «SafeRTOS» — доработанный, документированный, протестированный и прошедший сертификацию на соответствие стандарту безопасности IEC 61508 вариант FreeRTOS. Это коммерческий продукт, отличается от свободной версии помимо лицензии и предоставляемых гарантий лишь некоторыми деталями.

Операционные системы реального времени

ОС реального времени QNX

Операционная система QNX является разработкой канадской компании QNX Software System Ltd. по заказу Минобороны США. Впервые система появилась на рынке в 1981 году. Среди пользователей QNX значатся такие компании, как Du Pont, Eastman Kodak, General Mills, General Motors, Motorola, Техасо.

Операционная система QNX представляет собой гибрид 16/32-битовой операционной системы, которую пользователь может конфигурировать по своему усмотрению. Время, необходимое для полной инсталляции системы, включая сетевые средства, составляет всего 10-15 минут, после чего можно начинать работу. Нетребовательность системы к ресурсам проявляется уже в том, что система с необходимой и достаточной средой разработки в виде компилятора Watcom C/C++ (основной компилятор для QNX) умещается в 10 Мбайт.

Операционные системы реального времени

QNX является ОСРВ на основе микроядра (размером около 10 Кбайт). В качестве основного средства взаимодействия между процессами система использует передачу сообщений. Благодаря этому в 32-битовой среде возможно взаимодействие процессов с 32 и 16-битовым кодом.

Причем сообщения передаются между любыми процессами, не зависимо от того, находятся ли процессы на одном компьютере или на разных узлах сети. Пользователь, работая на одном из узлов сети, может иметь доступ к любым ресурсам остальных узлов, включая порты, файловую систему и задачи.

Расширенная поддержка сетей TCP/IP (IPv4/6, SNMP, коммутация и маршрутизация, фильтрация IP, виртуальные сети, безопасные беспроводные сети).

Система построена по технологии FLEET: Fault-tolerance(отказоустойчивая), Load-balancing (регулирующая нагрузку), Efficient (эффективная), Extensible (расширяемая), Transparent (прозрачная).

Операционные системы реального времени

Операционная система QNX объединяет всю сеть персональных компьютеров в единый набор ресурсов с абсолютной прозрачностью доступа к ним. Узлы могут добавляться и исключаться из сети, не влияя на целостность системы.

Сетевая обработка данных в QNX является настолько гибкой, что вы можете объединить в одну сеть любой разнородный набор Intel совместимых компьютеров соединенных через Arcnet, Ethernet, Token Ring или через последовательный порт, к которому также может быть подключен модем. Причем возможно участие компьютера одновременно в нескольких сетях, и если одна из них окажется перегруженной или выйдет из строя, то QNX автоматически будет использовать другие доступные сети без потери информации.

Операционные системы реального времени

QNX имеет архитектуру, которая абсолютно отличается от архитектуры UNIX, но эта операционная система реализует программный интерфейс POSIX.

POSIX 1003.1 — **базовый стандарт** определяет программный интерфейс для систем управления процессами, ввода/вывода данных в устройствах и файловых системах, а также общего межзадачного взаимодействия.

Расширения реального времени (Realtime Extensions) — этот стандарт определяет набор дополнительных расширений реального времени к базовому стандарту 1003.1.

Управление потоками (Threads) — это еще одно расширение среды стандартов POSIX.

Дополнительные расширения реального времени (Additional Realtime Extensions) — этот стандарт определяет такие функции, как подключение обработчиков прерываний.

Профили прикладных окружений (Application Environment Profiles) — этот стандарт определяет несколько профилей среды POSIX (Realtime AEP, Embedded Systems AEP и др.), соответствующих разным наборам встраиваемых функций.

Операционные системы реального времени

Файловая система QNX полностью соответствует стандарту POSIX. Программист, поработавший в UNIX, не заметит никаких отличий в работе. Хотя внутри файловая система значительно отличается от таковой в UNIX. Эти отличия в основном сказываются на ее живучести, то есть на целостности данных, хранимых на диске, и на производительности.

QNX обеспечивает работу с различными типами файловых систем: POSIX, Embedded (FLASH, ROM, SRAM), CD-ROM (с поддержкой стандарта ISO 9660 и его расширения Rock Ridge), DOS (доступ ко всем носителям информации в формате DOS), NFS (доступ к различным типам удаленных файловых систем), SMB (прозрачный доступ к Windows 95 или NT-серверам).

Операционные системы реального времени

Для QNX разработано множество баз данных (db_Vista, Watcom SQL, Faircom C-tree, OnCmd и др.), которые по производительности часто превосходят аналоги под управлением других операционных систем.

Вряд ли какая-нибудь операционная система сможет посоревноваться с QNX по количеству различных графических интерфейсов. В ограниченной в ресурсах встраиваемой системе QNX может использовать Photon — компактный (256К) оконный пакет, поддерживающий стандарт Motif. Photon — это принципиально новая оконная графическая система, которая по своему подходу к реализации графического интерфейса коренным образом отличается от всех существовавших ранее систем.

Операционные системы реального времени

Поддерживаемые QNX процессоры: x86/IA, ARM, Xscale, SH-4, MIPS, PowerPC.

Поддерживаются многопроцессорность (SMP/AMP/BMP), многоядерные процессоры, распределённые вычисления, виртуализация.

- Асимметричная многопроцессорность (AMP): каждая ОС или экземпляр одной ОС работает на отдельном процессоре.
- Симметричная многопроцессорность (SMP): один экземпляр ОС управляет всеми процессорами одновременно и приложения могут работать на любом из них.
- С привязкой к заданным процессорам (BMP): один экземпляр ОС управляет всеми процессорами, но каждое приложение привязано к определенному процессору.

Операционные системы реального времени

Применения QNX: ответственные системы, промышленные и военные приложения, транспорт, сети/ телекоммуникации.

Поддерживаемые языки: C/C++, Java (IBM WebSphere Studio Device Developer), UML (IBM Rational Rhapsody), Python, Ruby, Fortran.

Инструментарий разработчика: штатная интегрированная кросс-среда на базе Eclipse (Windows). Компилятор GNU C/C++ или Intel C++ Compiler, библиотеки GNU и Dinkum, встраиваемый C++. Символьный кросс-отладчик.

Встроенная система управления версиями. Средства верификации и диагностики: анализатор покрытия кода, профайлер, монитор целевых систем, анализатор ОЗУ, системный профайлер.

Визуальный построитель встраиваемых конфигураций.

Операционные системы реального времени

Разработчики могут легко изменять конфигурацию QNX в диапазоне от минимальной конфигурации микроядра с несколькими небольшими модулями до полнофункциональной сетевой системы, предназначенной для обслуживания сотен пользователей.

ОС QNX идеально подходит для встраиваемых приложений реального времени.

Она может быть масштабирована до самых компактных конфигураций и способна работать в многозадачном режиме, управлять потоками, осуществлять планирование процессов по приоритетам (priority-driven preemptive scheduling) и выполнять быстрое переключение контекстов (fast context-switching).

Операционные системы реального времени

Разработка приложения QNX может легко выполняться на настольной системе на основе резидентной модели разработки.

Даже при использовании кросс-платформенной модели разработки программный интерфейс (API) остается принципиально тем же самым. Какая бы платформа (QNX Neutrino, Solaris, Windows и т. д.) или целевой процессор (x86, ARM, MIPS, PowerPC и др.) ни применялись, программисту не нужно беспокоиться, например, о проблемах следования байтов (endian), выравнивания (alignment) или ввода/вывода данных.

Уникальные возможности эффективности, модульности и простоты достигаются в ОС QNX благодаря двум фундаментальным принципам:

- микроядерная архитектура;
- межзадачное взаимодействие на основе обмена сообщениями.

Операционные системы реального времени

Типы лицензий QNX6

- **Коммерческая** лицензия предполагает покупку ОСРВ QNX6 у дистрибьютора. Это необходимо делать в случае коммерческой разработки устройств или ПО на базе QNX.
- **Академическая** лицензия предоставляется вузам для обучения студентов и работы преподавателей.
- **Пробная лицензия** (на 30 дней) позволяет ознакомиться с полнофункциональной версией QNX и средой разработки, чтобы оценить целесообразность приобретения ОСРВ.
- **Некоммерческая** лицензия позволяет работать с QNX и вести некоммерческую разработку.

Исходный текст доступен полностью.