



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ _____ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА _____ «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ _____ «09.03.04 Программная инженерия»

Отчет по лабораторной работе №1 часть 2

НАЗВАНИЕ _____ Функции обработчика прерываний в системах разделения времени

ДИСЦИПЛИНА _____ Операционные системы

Студент ИУ7-54Б
(Группа)

(Подпись, дата) Я. Р. Цховребова
(И. О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата) Н. Ю. Рязанова
(И. О. Фамилия)

2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Функции обработчика прерываний от таймера	5
1.1 UNIX	5
1.2 Windows	6
2 Пересчёт динамических приоритетов	7
2.1 UNIX	7
2.2 Windows	10
Выводы	16

Введение

Таймер – это аппаратное устройство, которое генерирует периодические прерывания с фиксированным интервалом времени. В классических UNIX–системах этот интервал составляет 10 мс и называется тиком.

Тик – это время между двумя последовательными прерываниями таймера.

Главный тик – это временной отрезок, равный N –тикам таймера, где N – системозависимая величина, определяемая операционной системой.

Квант – это временной отрезок, выделяемый процессу планировщиком для выполнения, то есть в течение которого процесс может использовать процессор.

1 Функции обработчика прерываний от таймера

Обработчик прерываний таймера запускается в ответ на возникновение аппаратного прерывания таймера, являющегося вторым по приоритету событием в системе (после прерывания по сбою питания). Следовательно, обработчик должен запускаться как можно быстрее, а его время работы желательно сводить к минимуму, чтобы не снижать отзывчивость системы.

1.1 UNIX

По тикку

- инкремент счетчика тиков аппаратного таймера;
- обновление таймеров системы (например, переменная `lbolt` – хранит количество тиков, отсчитанных с момента загрузки системы);
- инкремент счетчика использования процессора текущим процессом (поле `p_cpu` структуры `proc`);
- декремент счетчика времени до отправления на выполнение отложенного вызова (при достижении счетчиком нуля происходит выставление флага для обработчика отложенного вызова);
- декремент кванта.

По главному тикку

- регистрация отложенных вызовов функций, относящиеся к работе планировщика;
- обновление сигналов тревоги и контроль их обработки;
- возобновление и управление системными процессами, такими как **swapper** (производит проверку количества свободной памяти и на основе полученного значения принимает решение о дальнейших действиях) и **pagedaemon** (выгружает страницы, которые были давно использованы, на диск);
- декремент счетчика времени до отправления одного из сигналов:

- **SIGALARM** – посылается процессу по истечении времени, заданного предварительно функцией `alarm()`;
- **SIGPROF** – посылается процессу по истечении времени, которое задано в таймере профилирования (общее время выполнения процесса);
- **SIGVTALRM** – посылается процессу по истечении времени, заданного в «виртуальном» таймере (время выполнения процесса в режиме задачи);

По кванту

- отправка сигнала **SIGXCPU** процессу по истечении выделенного ему кванта (при получении данного сигнала процесс прерывает свое выполнение, либо диспетчер выделяет ему еще один квант).

1.2 Windows

По тикку

- инкремент счетчика системного времени;
- декремент счетчиков отложенных задач;
- декремент кванта текущего потока на величину, равную количеству тактов процессора, произошедших за тик (если количество затраченных потоком тактов процессора достигает квантовой цели, запускается обработка истечения кванта);
- поставновка объекта в очередь DPC (очередь диспетчера настройки баланса, который активизируется каждую секунду для возможной инициации событий, связанных с планированием и управлением памятью): обработчик ловушки профилирования регистрирует адрес команды, выполнявшейся на момент прерывания.

По главному тикку

- инициализация диспетчера настройки баланса (освобождение объекта «событие», на котором он ожидает).

По кванту

- инициализация диспетчеризации потоков (постановки соответствующего объекта в очередь DPC).

2 Пересчёт динамических приоритетов

В операционных системах семейства UNIX и Windows пересчитываться могут только приоритеты **пользовательских** процессов.

2.1 UNIX

Современные ОС семейства UNIX и UNIX-подобные ОС являются многопоточными. В них единицей диспетчеризацией являются потоки.

В Linux потоки – "легковесные процессы". Очередь готовых к выполнению процессов формируется согласно приоритетам процессов и принципу вытесняющего циклического планирования: процессы с одинаковыми приоритетами выполняются в течении кванта времени циклически друг за другом. Если процесс, имеющий более высокий приоритет, поступает в очередь готовых к выполнению, планировщик вытесняет текущий процесс и предоставляет ресурс более приоритетному.

Приоритеты процессов

Приоритет процесса в UNIX задаётся числом в диапазоне от 0 до 127 (чем меньше значение, тем выше приоритет). Приоритеты 0 – 49 зарезервированы ядром операционной системы, прикладные процессы могут обладать приоритетом в диапазоне от 50 до 127. Приоритеты ядра являются фиксированными величинами. Приоритеты прикладных задач могут изменяться во времени в зависимости от следующих двух факторов:

- фактор любезности процесса – целое число в диапазоне от 0 до 39 (чем меньше значение фактора любезности, тем выше приоритет процесса; значение 20 по умолчанию); может быть изменён суперпользователем системным вызовом `nice`;

- степень загрузки процессора в момент последнего обслуживания процесса.

Структура `proc` содержит следующие поля:

- `p_pri` – текущий приоритет планирования;
- `p_usrpri` – приоритет режима задачи;
- `p_cpu` – результат последнего измерения использования процессора;
- `p_nice` – показатель любезности, устанавливаемый пользователем.

Планировщик использует поле `p_pri` для принятия решения о том, какой процесс отправить на выполнение. Значения полей `p_pri` и `p_usrpri` одинаковы, когда процесс находится в режиме задачи. Когда процесс просыпается после блокировки в системном вызове, его приоритет временно повышается. Планировщик использует `p_usrpri` для хранения приоритета, который будет назначен процессу при переходе из режима ядра в режим задачи, а `p_pri` – для хранения временного приоритета для выполнения в режиме ядра.

Ядро связывает приоритет сна (0 – 49) с событием или ожидаемым ресурсом, из-за которого процесс может быть заблокирован. Когда заблокированный процесс просыпается, ядро устанавливает `p_pri`, равное приоритету сна события или ресурса, на котором он был заблокирован, следовательно, такой процесс будет назначен на выполнение раньше, чем другие процессы в режиме задачи.

В таблице 2.1 приведены значения приоритетов сна для систем 4.3BSD UNIX и SCO UNIX.

Такой подход позволяет системным вызовам быстрее завершать свою работу. По завершении процессом системного вызова его приоритет сбрасывается в значение текущего приоритета в режиме задачи. Если при этом приоритет окажется ниже, чем приоритет другого запущенного процесса, ядро произведет переключение контекста.

Приоритет в режиме задачи зависит от фактора любезности и последней измеренной величины использования процессора. Системы разделения времени стараются выделить процессорное время таким образом, чтобы все

Таблица 2.1 – Системные приоритеты сна

Событие	Приоритет 4.3BSD UNIX	Приоритет SCO UNIX
Ожидание загрузки в память страницы	0	95
Ожидание индексного дескриптора	10	88
Ожидание ввода-вывода	20	81
Ожидание буфера	30	80
Ожидание терминального ввода	30	75
Ожидание терминального вывода	30	74
Ожидание завершения выполнения	30	73
Ожидание события	40	66

процессы системы получили его в равных количествах, что требует слежения за использованием процессора.

Поле `p_cpu` содержит величину последнего измерения использования процессора процессом. При создании процесса это поле инициализируется нулем. На каждом тике обработчик таймера увеличивает `p_cpu` на единицу для текущего процесса, вплоть до максимального значения – 127. Каждую секунду ядро вызывает процедуру `schedcpu`, которая уменьшает значение `p_cpu` каждого процесса исходя из фактора «полураспада».

В 4.3BSD для расчета применяется формула:

$$d = \frac{2 \cdot la}{2 \cdot la + 1},$$

где `la` – `load_average` – это среднее количество процессов в состоянии готовности за последнюю секунду.

Кроме того, процедура `schedcpu` также пересчитывает приоритеты режима задачи всех процессов по формуле

$$p_{usrpri} = PUSER + \frac{p_{cpu}}{4} + 2 \cdot p_{nice},$$

где `PUSER` – базовый приоритет в режиме задачи, равный 50.

Если процесс до вытеснения другим процессом использовал большое количество процессорного времени, его `p_cpu` будет увеличен, что приведет к увеличению значения `p_usrpri` и к понижению приоритета.

Чем дольше процесс простаивает в очереди на выполнение, тем меньше его `p_cpu`. Это позволяет предотвратить зависания низкоприоритетных

процессов. Если процесс большую часть времени выполнения тратит на ожидание ввода–вывода, то он остается с высоким приоритетом.

Системы разделения времени пытаются выделить процессорное время таким образом, чтобы конкурирующие процессы получили его примерно в равных количествах. Фактор «полураспада» обеспечивает экспоненциально взвешанное среднее значение использования процессора в течение функционирования процесса. Формула, применяемая в SVR3 имеет недостаток: вычисляя простое экспоненциальное среднее, она способствует росту приоритетов при увеличении загрузки системы.

2.2 Windows

В системе Windows при создании процесса ему назначается приоритет, который является базовым для потоков процесса и его потомков.

В Windows реализовано вытесняющее планирование на основе уровней приоритета, при которой выполняется готовый поток с наивысшим приоритетом.

Если поток с более высоким приоритетом готов к выполнению, текущий поток вытесняется планировщиком, даже если квант текущего потока не истёк.

В Windows за планирование отвечает совокупность процедур ядра, называемая диспетчером ядра. Диспетчеризация может быть вызвана, если:

- поток готов к выполнению;
- истёк квант текущего потока;
- поток завершается или переходит в состояние ожидания;
- изменился приоритет потока;
- изменилась привязка потока к процессору.

Приоритеты процессов

В системе предусмотрено 32 уровня приоритетов: уровни реального времени (16–31), динамические уровни (1–15) и системный уровень (0).

Процесс по умолчанию наследует свой базовый приоритет у того процесса, который его создал. Затем назначается относительный приоритет потоков в рамках процессов. Уровни приоритета потоков назначаются Windows API и ядром операционной системы.

Windows API сортирует процессы по классам приоритета, которые были назначены при их создании:

- реального времени (real-time (4));
- высокий (high (3));
- выше обычного (above normal (6));
- обычный (normal (2));
- ниже обычного (below normal (5));
- простой (idle (1)).

Приоритеты потоков

Затем назначается относительный приоритет потоков в рамках процессов:

- критичный по времени (time critical (15));
- наивысший (highest (2));
- выше обычного (above normal (1));
- обычный (normal (0));
- ниже обычного (below normal (-1));
- низший (lowest (-2));
- простой (idle (-15))

Относительный приоритет – это приращение к базовому приоритету процесса.

С точки зрения планировщика Windows важно только значение приоритета. Процесс обладает только базовым приоритетом, тогда как поток имеет базовый, который наследуется от приоритета процесса, и текущий приоритет. Процесс по умолчанию наследует свой базовый приоритет у того процесса, который его создал.

Операционная система может на короткие интервалы времени повышать приоритеты потоков из динамического диапазона, но никогда не регулирует приоритеты потоков в диапазоне реального времени. Приложения пользователя обычно запускаются с базовым приоритетом *normal*. Некоторые системные процессы имеют приоритет выше 8, что гарантирует, что потоки в этих процессах будут запускаться с более высоким приоритетом.

Соответствие между приоритетами Windows API и ядра системы приведено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Соответствие между приоритетами Windows API и ядра Windows

	real-time	high	above normal	normal	below normal	idle
time critical	31	15	15	15	15	15
highest	26	15	12	10	8	6
above normal	25	14	11	9	7	5
normal	24	13	10	8	6	4
below normal	23	12	9	7	5	3
lowest	22	11	8	6	4	2
idle	16	1	1	1	1	1

Система динамически повышает приоритет текущего потока в следующих случаях:

- по завершении операции ввода-вывода;
- по окончании ожидания на событии или семафоре исполнительной системы;
- по окончании ожидания потоками активного процесса;
- при пробуждении GUI-потоков из-за операции с окнами;

— если поток, готовый к выполнению, задерживается из-за нехватки процессорного времени.

Динамическое повышение приоритета применяется только к потокам из динамического диапазона (1–15). Приоритет потока не может оказаться выше 15.

Повышение приоритета по завершении операции ввода-вывода

По окончании определенных операций ввода-вывода Windows временно повышает приоритет потоков и потоки, ожидающие завершения этих операций, имеют больше шансов возобновить выполнение и обработать полученные от устройств ввода-вывода данные.

Драйвер устройства ввода-вывода через функцию `IoCompleteRequest` указывает на необходимость динамического повышения приоритета после выполнения соответствующего запроса.

В таблице 2.3 приведены приращения приоритетов.

Таблица 2.3 – Рекомендованные приращения приоритета

Устройство	Приращение
Диск, CD-ROM, параллельный порт, видео	1
Сеть, почтовый ящик, именованный канал, последовательный порт	2
Клавиатура, мышь	6
Звуковая плата	8

Приоритет потока повышается относительно базового приоритета. На рисунке 2.1 показано, что после повышения приоритета поток в течение одного кванта выполняется с повышенным приоритетом, а затем приоритет снижается на один уровень с каждым последующим квантом. Цикл продолжается до тех пор, пока приоритет не снизится до базового.

Повышение приоритета по окончании ожидания на событии или семафоре

Если ожидание потока на событии системы или семафоре успешно завершается из-за вызовов `SetEvent`, `PulseEvent` или `ReleaseSemaphore`, его приоритет

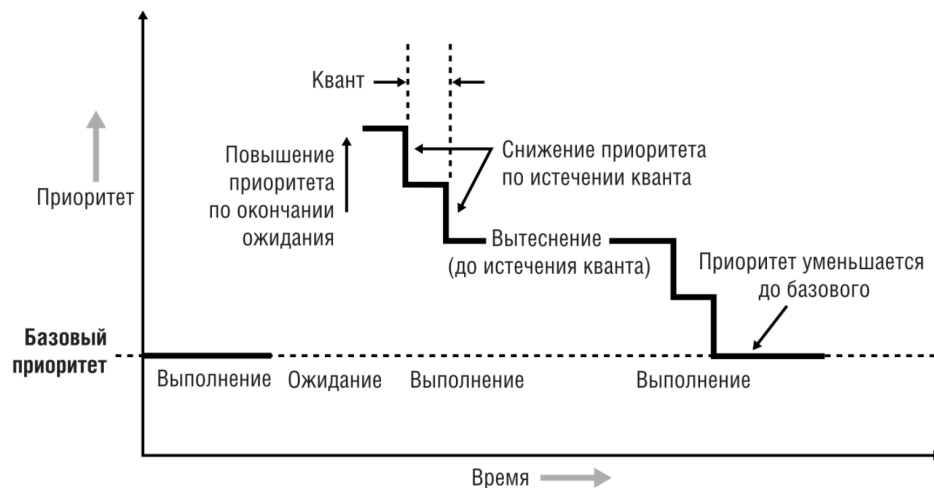


Рисунок 2.1 – Динамическое изменение приоритета

повышается на 1. Такая регулировка позволяет равномернее распределить процессорное время – потокам, блокируемым на событиях, процессорное время требуется реже, чем остальным. В данном случае действуют те же правила динамического повышения приоритета.

К потокам, пробуждающимся в результате установки события вызовом функций `NtSetEventBoostPriority` и `KeSetEventBoostPriority`, повышение приоритета применяется особым образом.

Повышение приоритета по окончании ожидания потоками активного процесса

Если поток в активном процессе завершает ожидание на объекте ядра, функция ядра `KiUnwaitThread` повышает его текущий приоритет на величину значения `PssPrioritySeparation` – это индекс в таблице квантов, с помощью которой выбираются величины квантов для потоков активных процессов. Какой процесс является в данный момент активным, определяет подсистема управления окнами.

Приоритет повышается для создания преимуществ интерактивным приложениям по окончании ожидания, в результате чего повышаются шансы на возобновление потока приложения. Важной особенностью данного вида динамического повышения приоритета является то, что он поддерживается всеми системами Windows и не может быть отключен даже функцией `SetThreadPriorityBoost`.

Повышение приоритета при пробуждении GUI- потоков

Приоритет потоков окон пользовательского интерфейса повышается на 2 после их пробуждения из-за активности подсистемы управления окнами. Приоритет повышается по той же причине, что и в предыдущем случае, – для увеличения отзывчивости интерактивных приложений.

Повышение приоритета при нехватке процессорного времени

Раз в секунду диспетчер настройки баланса – системный поток, предназначенный для выполнения функций управления памятью – сканирует очереди готовых потоков и ищет потоки, которые находятся в состоянии готовности в течение примерно 4 секунд. Диспетчер настройки баланса повышает приоритет таких потоков до 15. Причем в Windows 2000 и Windows XP квант потока удваивается относительно кванта процесса, а в Windows Server 2003 квант устанавливается равным 4 единицам. По истечении кванта приоритет потока снижается до исходного уровня. Если потоку все еще не хватило процессорного времени, то после снижения приоритета он возвращается в очередь готовых процессов. Через 4 секунды он может снова получить повышение приоритета.

Чтобы свести к минимуму расход процессорного времени, диспетчер настройки баланса сканирует только 16 готовых потоков за раз, а повышает приоритет не более чем у 10 потоков за раз. Диспетчер настройки баланса не решает всех проблем с приоритетами потоков, однако позволяет потокам, которым не хватает процессорного времени, получить его.

Выводы

Функции обработчика прерывания от системного таймера для операционных систем семейства UNIX и для семейства Windows схожи, так как они являются системами разделения времени.

Схожие задачи обработчика прерывания от системного таймера:

- инициализируют отложенные действия, относящиеся к работе планировщика, такие как пересчёт приоритетов;
- выполняют декремент счётчиков времени: часов, таймеров, будильников реального времени, счётчиков времени отложенных действий;
- выполняют декремент кванта: текущего процесса в UNIX, текущего потока в Windows.

Пересчет динамических приоритетов осуществляется только для пользовательских процессов, чтобы избежать бесконечного откладывания. Обе операционные системы (UNIX и Windows) – это системы разделения времени с динамическими приоритетами и вытеснением.

В UNIX приоритет пользовательского процесса (процесса в режиме задач) может динамически пересчитываться, в зависимости от трех факторов. Приоритеты ядра – фиксированные величины.

В Windows при создании процесса ему назначается базовый приоритет, относительно базового приоритета процесса потоку назначается относительный приоритет, таким образом, у потока нет своего приоритета. Приоритет потока пользовательского процесса может быть динамически пересчитан.