

Лекция №6. Управление процессами

Процесс

Процесс – это адресное пространство и единая нить управления. (Устаревшее определение)

Более точно понятие процесса включает в себя:

- Программу, которая исполняется
- Ее динамическое состояние (регистровый контекст, состояние памяти и т.д.)
- Доступные ресурсы (как индивидуальные для процесса, такие как дескрипторы файлов, так и разделяемые с другими)

В ОС структура Процесс (Process control block) — одна из ключевых структур данных. Она содержит всю информации о процессе, необходимую разным подсистемам ОС. Эта информация включает:

- PID (ID процесса)
- PPID (ID процесса-родителя)
- путь и аргументы, с которым запущен процесс
- программный счетчик
- указатель на стек
- и др.

Ниже приведена небольшая часть этой структуры в ОС Linux:

```
#include<sched.h>
struct task_struct {
    /* Состояние:
     * -1 - заблокированный,
     *  0 - готовность,
     * >0 - остановленный */
    volatile long state;
    void *stack;
    unsigned long flags;
    int prio, static_prio, normal_prio;
    struct list_head run_list;
    const struct sched_class *sched_class;
    ...
    /* task state */
}
```

```
    struct linux_binfmt *binfmt;
    long exit_state;
    int exit_code, exit_signal;
    int pdeath_signal;
    pid_t pid;
    pid_t tgid;
    struct task_struct *real_parent;
    struct task_struct *parent;
    struct list_head children;
    struct list_head sibling;
    struct task_struct *group_leader;
    struct timespec start_time;
    struct timespec real_start_time;
    ...
/* process credentials */
    uid_t uid,euid,suid,fsuid;
    gid_t gid,egid,sgid,fsgid;
    struct group_info *group_info;
    kernel_cap_t cap_effective,
        cap_inheritable, cap_permitted;
    unsigned keep_capabilities:1;
    struct user_struct *user;
    ...
/* open file information */
    struct files_struct *files;
/* namespace */
    struct nsproxy *nsproxy;
/* signal handlers */
    struct signal_struct *signal;
    struct sighand_struct *sighand;
    ...
};
```

Нить управления

Нить управления (thread) — это одна логическая цепочка выполнения команд. В одном процессе может быть как одна нить управления, так и несколько (в системах с поддержкой многопоточности — multithreading).

ОС предоставляет интерфейс для создания нитей управления и в этом случае берет на себя их планирование наравне с планированием процессов. В стандарте POSIX описан подобный интерфейс, который реализован в библиотеке **PTHREADS**. Нити, предоставляемые ОС, называются **родными** (native). Однако любой процесс может организовать управление нитями внутри

себя независимо от ОС (фактически, в рамках одной родной нити ОС). Такой подход называют **зелеными** или **легковесными** нитями.

Волокно (fiber) — легковесная нить, которая работает в системе кооперативной многозадачности (см. ниже).

Преимущества родных нитей:

- не требуют дополнительных усилий по реализации
- используют стандартные механизмы планирования ОС
- блокировка и реакция на сигналы ОС происходит в рамках нити, а не всего процесса

Преимущества зеленых нитей:

- потенциально меньшие накладные расходы на создание и поддержку
- не требуют переключения контекста при системных вызовах, что дает потенциально большое быстродействие
- гибкость: процесс может реализовать любую стратегию планирования таких нитей

Виды процессов

Процессы могут запускаться для разных целей:

- выполнения каких-то одноразовых действий (например, скрипты)
- выполнения задач под управлением пользователя (интерактивные процессы, такие как редактор)
- непрерывной работы в фоновом режиме (сервисы или демоны, такие как сервис терминала или почтовый сервер)

Процесс-демон — это процесс, который запускается для долгосрочной работы в фоновом режиме, отключается от запустившего его терминала (его стандартные потоки ввода-вывода закрываются либо перенаправляются в лог-файл) и меняет свои полномочия на минимально необходимые.

Управление таким процессом, обычно, осуществляется с помощью механизма сигналов ОС.

Жизненный цикл процесса



Рис. 6.1. Жизненный цикл процесса

Порождение процесса

Все процессы ОС, за исключением первого процесса, который запускается после загрузки ядра, имеют родителя. Создание нового процесса требует инициализации структуры PCB и запуска (постановки на планирование) нити управления процессом. Основным требованием к этим операциям является скорость выполнения. Инициализация структуры PCB с нуля является затратной операцией, кроме того порожденному процессу, как правило, требуется доступ к некоторым ресурсам (таким как потоки ввода-вывода) родительского процесса. Поэтому обычно структура нового процесса создается методом **клонирования** структуры родителя. Альтернативой является загрузка предварительно инициализированной структуры из файла и ее модификация.

Модель **fork/exec** — это модель двухступенчатого порождения процесса в Unix-системах. На первой ступени с помощью системного вызова `fork` создается идентичная копия текущего процесса (для обеспечения быстродействия, как правило, через механизм копирования-при-записи - *copy-on-write*, COW). На втором этапе с помощью операции `exec` в память созданного процесса загружается новая программа. В этой модели процесс-родитель имеет возможность дождаться завершения дочернего процесса с помощью системных вызовов семейства `wait`. Разбивка этой операции на два этапа дает возможность легко порождать идентичные копии процесса (например, для масштабирования приложения - такой способ применяется в сетевых серверах), а также гибко управлять ресурсами,

доступными дочернему процессу.

Завершение процесса

По завершению процесс возвращает целочисленный код возврата (exit code) — результат выполнения функции `main`. В Unix-системах код возврата, равный 0, сигнализирует об успехе, все остальные говорят об ошибке (разработчик приложения волен произвольно сопоставлять ошибки возвращаемым значениям).

Процесс может завершиться следующим образом:

- нормально: вызвав системный вызов `exit` или выполнив `return` из функции `main` (что приводит к вызову `exit` в функции `libc`, которая запустила `main`)
- ошибочно: если выполнение процесса вызывает критическую ошибку (Segmentation Fault, General Protection Exception, Division by zero или другие аппаратные исключения)
- принудительно: если процесс завершается ОС, например, при нехватки памяти, а также, если он не обрабатывает какой-либо из посланных ему сигналов (в том числе, сигнал `KILL`, который невозможно обработать, из-за чего посылка этого сигнала всегда приводит к завершению процесса)

Используя функции семейства `wait`, один процесс может ожидать завершения другого. Это часто используется в родительских процессах, которым нужно получить информацию о завершении своих потомков, чтобы продолжить работу. Вызовы `wait` являются блокирующими — функция не завершится, пока не завершится процесс, которого она ждёт.

Если потомок завершается, но родительский процесс не вызывает `wait`, потомок становится т.н. процессом **зомби**. Это завершившиеся процессы, информация о завершении которых никем не запрошена. Впрочем, после завершения родительского процесса все его потомки переходят к процессу с PID 1, т.е. `init`. Он самостоятельно очищает информацию, оставшуюся после зомби.

Пример программы, порождающей новый процесс и ожидающей его завершения:

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
int main() {
    // Клонировать текущий процесс
    pid_t childpid = fork();
    /* Переменная childpid будет существовать
     * и в оригинальном процессе, и в его клоне,
     * но в дочернем процессе она будет равна 0 */
    if (!childpid) {
        // это дочерний процесс
        char* command[3] = {"/bin/echo", "Hello, world!",
        NULL};
        execvp(command[0], command);
        /* Если не произошло никаких ошибок, execvp() не
        завершается
        * и программа никогда не достигнет этого участка
        кода */
        exit(EXIT_FAILURE);
    } else if (childpid == -1) {
        // fork() возвращает -1 в случае ошибки
        fprintf(stderr, "Can't fork, exiting...\n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    } else {
        // Это родительский процесс
        exit(EXIT_SUCCESS);
    }
    return 0;
}
```

Работа процесса

В мультипроцессных системах все процессы исполняются на процессоре не все время своей работы, а только его часть. Соответственно, можно выделить:

- общее время нахождения процесса в системе: от момента его запуска до завершения
- (чистое) время исполнения процесса
- время ожидания

В состоянии ожидания процесс может перейти либо при поступлении прерывания от процессора, либо после вызова самим процессом блокирующей операции, либо после добровольной передачи процессом управления ОС (вызов планировщика `schedule` при вытесняющей многозадачности либо же операция `yield` при кооперативной многозадачности).

При переходе процесса в состояние ожидания происходит **переключение**

контекста и запуск на процессоре кода ядра ОС (кода обработки прерываний или кода планировщика). Переключение контекста подразумевает сохранение в памяти содержания связанных с исполняемым процессом регистров и загрузка в регистры значений для следующего процесса.

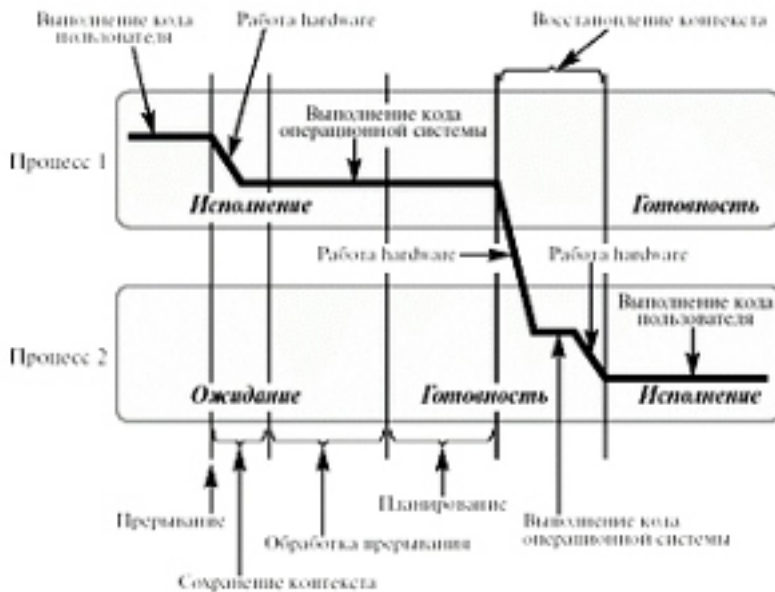


Рис. 6.2. Переключение контекста

В системах с вытесняющей многозадачностью прерывание CLOCK INTERRUPT вызывает планировщик ОС, который переводит процесс в состояние ожидания, если отведенное ему на исполнение время истекло.

Завершение блокирующих операций знаменуется прерыванием, при обработке которого ОС переводит заблокированный процесс в состояние готовности к работе.

Планирование процессов

Многозадачность — это свойство операционной системы или среды программирования обеспечивать возможность параллельной (или псевдопараллельной) обработки нескольких процессов.

Виды многозадачности:

- вытесняющая
- невытесняющая
- кооперативная (подвид невытесняющей)

Вытесняющая многозадачность подразумевает наличие в ОС специальной

программы-планировщика процессов, который принимает решение о том, какой процесс должен выполняться и сколько времени отвести ему на выполнение. После завершения отведенного времени процесс принудительно прерывается и управление передается другому процессу.

При невытесняющей многозадачности процессы работают поочередно, причем переключение происходит по завершению всего процесса или логического блока в его рамках. Кооперативная многозадачность — это вариант невытесняющей многозадачности, в которой только сам процесс может сигнализировать ОС о готовности передать управление.

Алгоритмы планирования процессов

Планирование процессов применяется в системах с вытесняющей многозадачностью.

Требования к алгоритмам планирования:

- справедливость
- эффективность (в смысле утилизации ресурсов)
- стабильность
- масштабируемость
- минимизация времени: выполнения, ожидания, отклика

Алгоритмы планирования для выбора следующего процесса на исполнение, как правило, используют **приоритет** процесса. Приоритет может определяться статически (один раз для процесса) или же динамически (пересчитываться на каждом шаге планирования).

Алгоритм Первый пришел — первый обслужен (FCFS)



Рис. 6.3. Алгоритм FCFS

Это простой алгоритм с наименьшими накладными расходами. Это алгоритм со статическим приоритетом, в качестве которого выступает время прихода процесса. Это наименее стабильный алгоритм, который не может гарантировать приемлемое время отклика в интерактивных системах, поэтому он применяется только в системах batch-обработки.

Алгоритм Карусель (Round Robin)

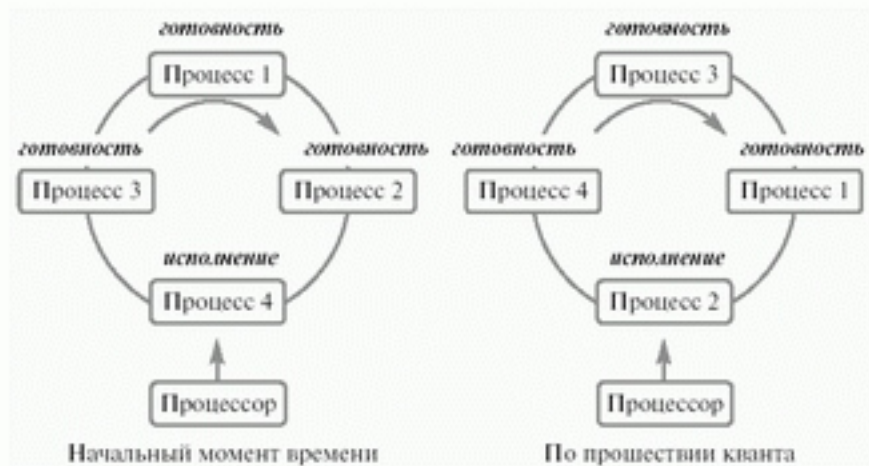


Рис. 6.4. Алгоритм Карусель

Этот алгоритм предполагает попеременное выполнение всех процессов в течение одинакового кванта времени, после завершения которого независимо от состояния процесса он прерывается и управление переходит к следующему процессу. Этот алгоритм является наиболее стабильным и простым. Он вообще не использует приоритет процесса.

Алгоритм справедливого планирования

В основе этого алгоритма лежит принцип: из всех кандидатов на выполнение должен выбираться тот, у которого отношение чистого времени фактической работы к общему времени нахождения в системе наименьший. Иными словами, этот алгоритм использует динамический приоритет, который вычисляется по формуле $p = t / T$ (где t - чистое время исполнения, T - время прошедшее от запуска процесса; чем меньше значение p , тем приоритет выше).

Алгоритм Многоуровневая очередь с обратной СВЯЗЬЮ

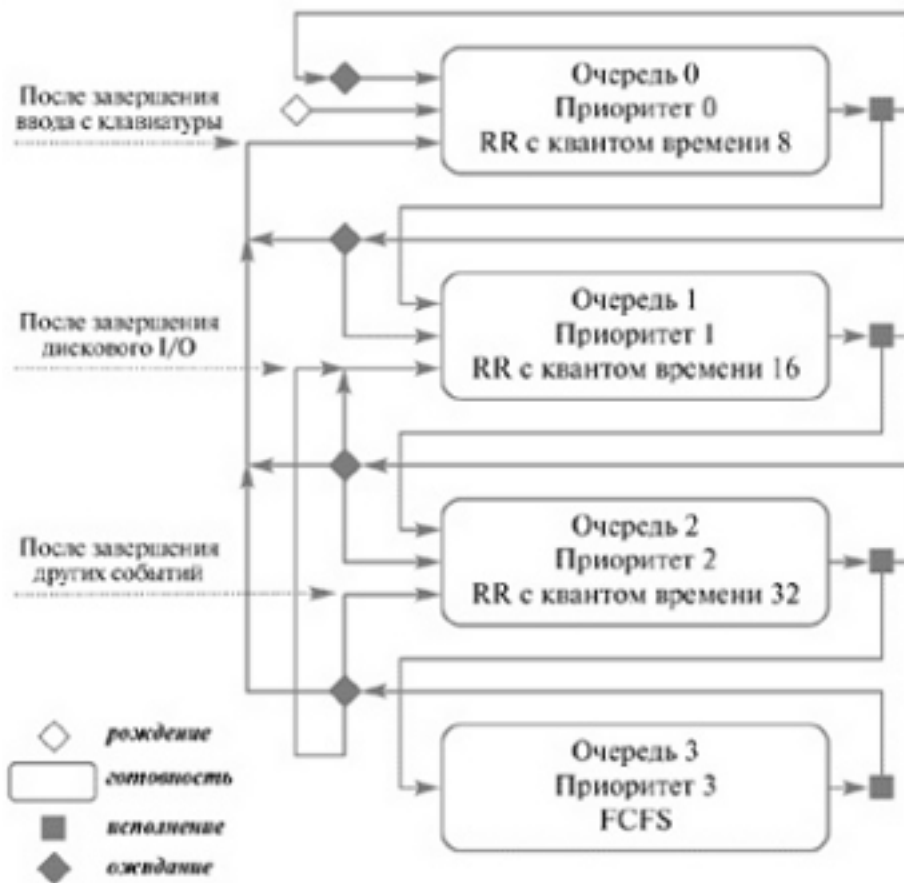


Рис. 6.5. Алгоритм Многоуровневая очередь с обратной связью

В качестве примера более сложного адаптивного алгоритма могут служить многоуровневые очереди с обратной связью, которые принимают решение о приоритете процесса на основе времени, которое необходимо ему для завершения работы или текущего логического блока.

Реальные алгоритмы

Алгоритмы, применяемые в реальных системах, делятся на алгоритмы для интерактивных систем и алгоритмы для систем реального времени. Алгоритмы для систем реального времени всегда имеют ограничения на время завершения отдельных операций, поэтому им для планирования необходима дополнительная информация, которой, как правило, нет в интерактивных системах — например, время до завершения процесса.

В основе реальных алгоритмов лежат базовые алгоритмы, перечисленные выше, но также они используют некоторые дополнительные параметры такие

как:

- эпохи (временные интервалы, в конце которых накопленная для планирования информация сбрасывается)
- группировку процессов по классам (мягкого реального времени, процессы ядра, интерактивные, фоновые и т.д.) для обеспечения лучшего времени отклика системы

Кроме того, в таких системах учитываются технологии Симметричный мультипроцессинг (Symmetrical Multiprocessing, SMP) и Одновременная многопоточность (Symulteneous Multithreading, SMT), при которых несколько ядер процессора или несколько логических потоков исполнения в процессоре работают с общей памятью.

Межпроцессное взаимодействие (IPC)

Цели взаимодействия:

- модульность (путь Unix: маленькие кусочки, слабо связанные между собой, которые делают что-то одно и делают это очень хорошо)
- масштабирование
- совместное использование данных
- разделение привилегий
- удобство

Типы взаимодействия:

- через разделяемую память
- обмен сообщениями
 - сигнальный
 - канальный
 - широковещательный

Взаимодействие через разделяемую память

Самый быстрый и простой способ взаимодействия, при котором процессы записывают и считывают данные из общей области памяти. Он не требует никаких накладных расходов, но подразумевает наличие договоренности о формате записываемых данных. Проблемы этого подхода:

- необходимость блокирующей синхронизации для обеспечения неконфликтного доступа к общей памяти
- увеличение логической связности между отдельными процессами
- не возможность масштабироваться за рамками памяти одного компьютера

Обмен сообщениями

Передача сообщений обладает прямо противоположными свойствами и считается более предпочтительным способом организации взаимодействия в общем случае. Сообщения могут передаваться как индивидуально, так и в рамках выделенной сессии обмена сообщениями.

Сигнальный способ взаимодействия

Сигнальный способ — это вариант взаимодействия через передачу сообщений, который предполагает возможность отправки только заранее предопределённых сигналов, которые не имеют никакой нагрузки в виде данных. Таким образом сигналы могут передавать информацию только о предварительно заданном наборе событий. Такая система является простой, но не способна обслуживать все варианты взаимодействия. Поэтому она часто применяется для обслуживания критических сценариев работы.

Системный вызов `kill` позволяет посылать сигналы процессам Unix. Среди них есть зарезервированные сигналы, такие как:

- `TERM` - запрос на завершение процесса
- `HUP` - запрос на перезапуск процесса
- `ABRT` - запрос на отмену текущей операции (генерируется ОС при нажатии `Ctrl-C`)
- `PIPE` - сигнал о закрытии конвейера другим процессом
- `KILL` - сигнал о принудительном завершении процесса
- и др.

Процес в Unix обязан обработать пришедший ему сигнал, иначе ОС принудительно завершает его работу.

Канальный способ взаимодействия

Канальный способ — это вариант взаимодействия через передачу сообщений, при котором между процессами устанавливается канал соединения, в рамках которого передаются сообщения. Этот канал может быть как односторонним (сообщения идут только от одного процесса к другому), так и двусторонним.

Pipe (конвейер, анонимный канал) — односторонний канал, который позволяет процессам передавать данные в виде потока байт. Это самый простой способ взаимодействия в Unix, имеющий специальный синтаксис в командных оболочках (`proc1 | proc2`, что означает, что данные из процесса `proc1` передаются в `proc2`). Анонимный канал создается системным вызовом `pipe`, который принимает на вход массив из двух чисел и записывает в них два дескриптора (один из них открыт на запись, а другой — на чтение).

Особенности анонимных каналов:

- данные передаются построчно
- не задан формат сообщений, т.е. процессы сами должны "договариваться" о нем
- ошибка в канале приводит к посылке сигнала PIPE к процессу, который пытался выполнить чтение или запись в него

Именованный канал (named pipe) создается с помощью системного вызова `mknfifo`. Фактически, он является правильным заменителем для обмена данными через временные файлы, поскольку тот обладает следующими недостатками:

- использование медленного диска вместо более быстрой памяти
- расход места на диске (в то время как при обмене данными через FIFO после считывания они стираются); более того, место на диске может закончиться
- у процесса может не быть прав создать файл или же файл может быть испорчен/удален другим процессом

Модель Акторов

Модель акторов Хьюита — это теоретическая модель, исследующая взаимодействие независимых программных агентов.

Актор — это независимый легковесный процесс, который взаимодействует с другими процессами только через передачу сообщений. В этой модели процессы не используют разделяемую память.

Эта модель лежит в основе языка программирования Erlang, а также библиотека для организации распределенной работы Java-приложений Akka.

Литература

- [POSIX: командная оболочка и системные вызовы](#)
- [Advanced Linux Programming: Processes](#)
- [Daemons, Signals, and Killing Processes](#)
- [Taxonomy of UNIX IPC Methods](#)
- [Understanding the Linux Kernel - 10. Process Scheduling](#)
- [The Linux Process Scheduler](#)
- [Linux Kernel 2.4 Internals - 2. Process and Interrupt Management](#)
- [ULE: A Modern Scheduler For FreeBSD](#)
- [How Linux 3.6 nearly broke PostgreSQL](#)
- [How Erlang does scheduling](#)
- [Daemons, Signals, and Killing Processes](#)