

Основы операционных систем

Лекции

Савва Чубий, БПИ233

2024–2025

2024-09-02

Обзор. Введение	4
Структура вычислительной системы	4
Определение операционной системы. Основные точки зрения	4
Эволюция вычислительных систем	4
1-ый период (1945 – 1955)	4
2-ой период (1955 – начало 60-ых)	5
3-период (начало 60-ых – 1980)	5

2024-09-09

4-ый период (1980 – 2005)	6
5-ый период (2005 – ??)	6
Основные функции ОС	6
Архитектурные особенности построения ОС	7
Внутреннее строение ОС	7
Понятие процесса. Операции над процессами	8
Процесс	8
Состояние процесса	8

2024-09-16

Process Control Block и контекст процесса	8
Одноразовые операции	9
Создание процесса	9
Завершение процесса	9
Запуск процесса	10
Приостановка процесса	10
Блокирование процесса	10
Разблокирование процесса	10
Пример цепочки операций	10
Кооперация процессов	10
Категории средств взаимодействия	10
Как устанавливается связь	10
Информационная валентность процессов и средств связи	11

2024-09-23

Особенности канальных средств связи	11
Буферизация	11
Модель передачи данных	11
Примеры средств связи	11
Pipe	11
FIFO (именованный pipe)	12
Надежность средств связи	12
Как завершить связь?	12
Нити исполнения (threads)	12
Алгоритмы синхронизации	14
Условие Бернштейна	14
Как чинить?	14
 2024-09-30	
Конкретные алгоритмы (программные)	15
Запрет прерываний	15
Переменная-замок	15
Строгое чередование	15
Флаги готовности	16
Алгоритм Петерсона	16
Bakery algorithm (алгоритм булочной)	16
Заключение	16
Аппаратная поддержка	17
Команда Test-And-Set	17
Команда Swap	17
Механизмы синхронизации	17
Семафор Дейкстры	18
Проблема Producer–Consumer	18
Решения с тремя семафорами	18
Мониторы Хора (Hoare)	19
Условные переменные	19
Producer–Consumer	19
 2024-10-07	
Очереди сообщений	20
Задача Producer–Consumer	20
Эквивалентность механизмов	20
Мониторы Хора через семафоры Дейкстры	20
Очереди сообщений через Семафоры Дейкстры	21
Семафоры Дейкстры через Мониторы Хора	21
Семафоры Дейкстры через Очереди сообщений	21
Пример решения задачи	22
Через семафоры	22
Через очереди сообщений	22
Через мониторы	22
Планирование процессов	23
Уровни планирования	23
Цели планирования	23
Желаемые свойства алгоритмов	24

Параметры планирования	24
Когда нужно делать краткосрочное планирование?	24
Конкретные алгоритмы	25
FCFS (First Come – First Served) (невытесняющий)	25

2024-09-02

Обзор. Введение

Карпов Владимир Ефимович

carpson@mail.ru

Оценка:

$$O_{\text{теор}} \frac{O_{\text{кр}} + O_{\text{экз}}}{2}$$
$$O_{\text{итог}} \frac{2 * O_{\text{практ}} * O_{\text{теор}}}{O_{\text{практ}} + O_{\text{теор}}}$$

0 за $O_{\text{теор}}$ или $O_{\text{практ}}$ обнулит $O_{\text{итог}}$

Структура вычислительной системы

- Пользователь (человек или устройство)
- Программное обеспечение
 - Прикладные программы
 - Системные программы
 - Прочие системные программы
 - Операционная система
- Техническое обеспечение

Границы между прикладным и системными программами условны

Определение операционной системы. Основные точки зрения

- Распорядитель ресурсов
- Защитник (разграничитель) пользователей и программ
- Виртуальная машина (создание абстракций для работы с файлами, памятью и тд)
- «Кот в мешке»
- Постоянно функционирующее ядро (программа, которая поддерживает работу других программ)
- ...

Эволюция вычислительных систем

Факторы отбора эволюции выч. систем:

- Удобство пользования
- Стоимость
- Производительность

Развитие hard- и software нужно рассматривать совокупно

Периоды развития:

1-ый период (1945 – 1955)

- Ламповые машины
 - Огромные
 - Часто перегорали

- Нет разделения персонала
- Ввод программы коммутацией или перфокартами
- Одновременное выполнение только одной операции (те только либо программирование, либо расчеты, либо счет перфокарты и тд)
- Появление прообразов первых компиляторов
- Нет операционных систем

Фон Нейман имеет минимальное отношение к принципам Фон Неймана

ENIAC работал в 10-ой ссч

2-ой период (1955 – начало 60-ых)

- Полупроводниковые компьютеры
- Разделение персонала
- Бурное развитие алгоритмических языков
- Ввод задания колодой перфокарт
- Вывод результатов на печать
- Пакеты заданий и системы пакетной обработки (прообраз операционных систем)

Начало использования ЭВМ в коммерческих и исследовательских целях

3-период (начало 60-ых – 1980)

- Микросхемы, машины на интегральных схемах
 - Машины меньше
 - Сигнал идет быстрее, можно повысить тактовую частоту
 - Считыватели и принтеры становятся bottleneck
- Использование спулинга (отдельные процессоры для ввода, вывода и счета)
- Планирование заданий (из-за создания магнитных дисков)
- Мультипрограммные пакетные системы
- Системы разделения времени (time-sharing)

Изменения из-за мультипрограммирования:

Software	Hardware
<ul style="list-style-type: none"> • Планирование заданий • Управление памятью • Сохранение контекста • Планирование использования процессора • Системные вызовы • Средства коммуникации между программами • Средства синхронизации 	<ul style="list-style-type: none"> • Защита памяти • Сохранение контекста • Механизм прерываний • Привилегированные команды (в тч команды ввода/ вывода)

2024-09-09

Опр. Квант времени — время, пока программа работает подряд (без передачи управления другим программам)

Раньше клавиатура и дисплей стали независимы, потом превратились в терминалы, которые выводили данные во время выполнения программы

Появилась возможность **отладки**

Появляются **файловые системы** (много пользователей могут работать на одном устройстве хранения данных)

Программа обычно считается частями: всё программу хранить в оперативной памяти не обязательно

Появляется концепция **виртуальной памяти**: абстракция, иллюзия большой оперативной памяти

Появилась идея **обратной совместимости, полной совместимости, линеек устройств** (от слабых компьютеров до мэйнфреймов)

Популярные линейки:

- IBM
- PDP

Обратная совместимость имеет преимущества, но и заставляет «тащить» за собой недостатки

В опр момент IBM решили, что баги в системе править не будут, так как возникают новые баги

4-ый период (1980 – 2005)

- 1980 год — развитие больших интегральных схем: весь процессор мог быть на одном кристалле
- Первые персональные ЭВМ
- Дружественное программное обеспечение: программы пишутся для удобства пользователей
- Резкая деградация ОС: пропадает мультипроцессорность, защита памяти и т.д.
- Из-за роста мощности (в 90-е) деградация ОС прекращается
- Переосмысление роли сетей: из обороны в пользовательские
- Сетевые и распределенные ОС

Сетевая ОС — пользователь явно использует возможности сети

Распределенная ОС — пользователь неявно использует возможности сети, используется абстракция

Период широкого использования ЭВМ в быту, в образовании, на производстве

5-ый период (2005 – ??)

- Появление многоядерных процессоров
- Мобильные компьютеры
- Высокопроизводительные вычислительные системы
- Облачные технологии
- Виртуализация выполнения программ: выполнение программы на любом из компьютеров распределительной сети

Период глобальной компьютеризации

—— Основные функции ОС ——

- Планирование заданий и использование процессора
- Обеспечение программ средствами коммуникации и синхронизации (межпроцессорные коммуникации)
- Управление памятью
- Управление файловой системой
- Управление вводом-выводом

- Обеспечение безопасности

Дальше в курсе будем изучать, как эти функции выполняются по отдельности и совместно

Архитектурные особенности построения ОС

Внутреннее строение ОС

- Монолитное ядро:
 - Каждая процедура может вызывать каждую
 - Все процедуры работают в привилегированном режиме
 - Ядро совпадает со всей операционной системой (вся ОС всегда сидит в оперативной памяти)
 - Точки входа в ядро — системные вызовы

+	-
- Быстродействие	- Нужно много памяти - Невозможность модификации без полной перекompиляции

- Многоуровневая (Layered) система:
 - Процедура уровня K может вызывать только процедуры уровня $K - 1$
 - [Почти] все уровни работают в привилегированном режиме
 - Ядро [почти] совпадает со всей операционной системой
 - Точка входа — верхний уровень

+	-
- Легкая отладка (при удачном проектировании)	- Медленно - Нужно много памяти - Невозможность модификации без полной перекompиляции

- Микроядерная (microkernel) архитектура:
 - Функции микроядра:
 - взаимодействие между программами
 - планирование использования процессора
 - ...
 - Микроядро — лишь малая часть ОС
 - Остальное — отдельные программы-"менеджеры", раб в пользовательском режиме
 - Всё общение через микроядро

+	-
- Только ядро — «особенное» - Легче отлаживать и заменять компоненты	- Ядро перезагружено — bottleneck - Всё очень-очень медленно работает

- Виртуальные машины
 - У каждого пользователя своя копия hardware
 - Пример:
 - Реальное hardware
 - Реальная ОС
 - Виртуальное hardware - Linux - Пользователь 1
 - Виртуальное hardware - Windows 11 - Пользователь 1
 - Виртуальное hardware - MS-DOS - Пользователь 1

+	-
- Удобно	- Медленно из-за многоуровневости

- Экзоядерная (новая микроядерная) архитектура:
 - Функции экзоядра:
 - взаимодействие между программами
 - выделение и высвобождение физических ресурсов
 - контроль прав доступа
 - Весь остальной функционал выкидывается в библиотеки

Подходы **не** используются в чистом виде

Понятие процесса. Операции над процессами

Процесс

Термины «программа» и «задание» были придуманы для статических объектов

Для динамических объектов будем использовать «процесс»

Процесс характеризует совокупность:

- набора исполняющихся команд
- ассоциированных с ним ресурсов
- текущего момента его выполнения (контекст)

Процесс \neq программа, которая выполняется тк:

- одна программа может использовать несколько процессов
- один процесс может использовать несколько программ
- процесс может исполнять код, которого не было в программе

Состояние процесса

Процесс сам состояния не меняет, его переводит ОС, совершая «операцию»

2024-09-16

Набор (пар) операций:

- однократные:
 - создание – завершение
- многократные:
 - запуск – приостановка
 - блокирование – разблокирование
 - изменение приоритета процесса

PROCESS CONTROL BLOCK и контекст процесса

Process Control Block — структура (или набор структур) с информацией о процессе; хранит:

- Регистровый контекст:
 - Программный счетчик
 - Содержимое регистров
- Системный контекст:
 - Состояние процесса
 - Данные для планирования использования процессора и управления памятью
 - Учетная информация

PCB хранится в адресном пространстве ОС

Код и данные в адресном пространстве — пользовательский контекст

Контекст процесса — совокупность всех трех контекстов

Одноразовые операции

Медленные тк:

- Выполняют много действий
- Выделяют/ освобождают ресурсы
- Меняют число процессов

Первые несколько процессов создаются «хитро»

Всякий новый процесс рождается от другого процесса → процессы образуют генеологическое дерево (или лес)

Создание процесса

1. Присваивание PID
2. Создание PCB с состоянием «рождение»
3. Выделение ресурсов.

Подходы:

1. из ресурсов родителя
 2. из ресурсов ОС (более частый вариант)
4. Занесение кода в адресное пространство и установка программного счетчика.

Подходы:

1. Клонирование родителя (в UNIX)
Есть системный вызов, который создает клона
Есть системный вызов, который полностью заменяет пользовательский контекст
 2. Из файла (в Windows)
5. Окончательное заполнение PCB
 6. Изменение состояния на «готовность»

Завершение процесса

Состояние «закончил исполнение» нужно, чтобы возможно было узнать причину завершения

1. Изменение состояния на «закончил исполнение»
2. Освобождение ресурсов
3. Очистка элементов PCB
4. Сохранение в PCB информации о причинах завершения

Процесс выкидывается из системы, когда родитель

- умирает
- интересуется причинами завершения

Если родитель умер раньше ребенка, PID=1 усыновляет ребенка

Zombie-процесс — процесс в состоянии «закончил исполнение»

Запуск процесса

- Изменение состояние на «исполнение»
- Обеспечение наличия в оперативной памяти необходимой информации
- Восстановление значения регистров
- Передача управления по адресу программного счетчика

Приостановка процесса

- Автоматическое сохранение программного счетчика и части регистров (работа hardware)
- Передача управления по специальному адресу (работа hardware)
- Сохранение динамической части
- Обработка прерывания
- Перевод процесса в состояние «Готовность»

Блокирование процесса

- Сохранение контекста процесса в РСВ
- Обработка системного вызова
- Перевод процесса в состояние «ожидание»

Разблокирование процесса

- Уточнение, какое событие произошло
- Проверка наличия процесса, ожидавшего события
- Перевод ожидающего процесса в состояние «готовность»
- Обработка произошедшего события

Пример цепочки операций

———— Кооперация процессов ————

Кооперативные (взаимодействующие) процессы — процессы, которые влияют на поведения друг друга путем обмена информацией

Основные причины кооперации:

- Повышение скорости решения задач (для многоядерной системы)
- Совместное использование данных
- Модульная конструкция какой-то системы
- Для удобства работы пользователя

Взаимодействие между процессами происходит через ОС

———— Категории средств взаимодействия ————

- Сигнальные: передача бита
- Канальные: логический канал
- Разделяемая память: общее адресное пространство

———— Как устанавливается связь ————

- Нужна ли инициация?
 - Обычно нужна для канальной и разделяемой памяти и не нужна для сигнальной
- Способы адресации:
 - Прямая
 - Симметричная: и отправитель, и получатель указывают ID друг друга

- Асимметричная: только отправитель указывает ID получателя
- Косвенная: есть вспомогательный объект для передачи

—— Информационная валентность процессов и средств связи ——

- Сколько процессов может одновременно ассоциировать с конкретным видом связи? — «It depends».
- Сколько идентичных средств связи может быть задействовано между двумя процессами? — «It depends».
- Направленность связи:
 - Симплексная связь: односторонняя
 - Полудуплексная связь: как в рации
 - Дуплексная связь: двусторонняя

2024-09-23

—— Особенности канальных средств связи ——

· Буферизация ·

Обладает ли канал внутренней памятью

Случаи:

- Буфера нет
Процесс-передатчик блокируется, пока процесс-получатель не считывает данные
- Буфер неограниченной емкости (физически не реализуем)
Процесс-передатчик никогда не ждет
- Буфер конечной емкости
Самый частый случай

· Модель передачи данных ·

- Потокковая модель
 - Операции приема/ передачи не интересуются содержанием данных и их происхождением
 - Данные не структурируются
 - Нет разделителей между записываемыми блоками
 - Можно считывать любое количество байт
- Модель сообщений
 - На данные накладывается некоторая структура
 - Отдельные сообщения явно разделены
 - Иногда сообщение хранит дополнительные данные, например, имя процесса-отправителя
 - Считывать можно только сообщение целиком

—— Примеры средств связи ——

· PIPE ·

- Потокковая модель
- Косвенная адресация

- Читать и писать может любое число процессов
- Однонаправленный

Через pipe могут общаться только процессы-родственники, так как вход и выход в pipe не видны остальной ОС.

· FIFO (именованный PIPE) ·

Вход и выход именуются

Теперь общаться могут любые процессы, а не только родственники

—— Надежность средств связи ——

Система считается надежной:

- Нет потери информации
- Нет повреждения информации
- Нет нарушения порядка
- Не появляется лишняя информация

—— Как завершить связь? ——

Специальное действие для завершения нужно, если было нужно специальное средство для завершения

Если один из процессов больше не будет использовать средство связи, то система оповещает другой

———— Нити исполнения (threads) ————

Ввести массив A
Ожидания ввода A
Ввести массив B
Ожидания ввода B
Ввести массив C
Ожидания ввода C
 $A = A + B$
 $C = A + C$
Вывести массив C
Ожидание вывода C

Процессор много простаивает — хочется распараллелить: нужен второй процесс:

Процесс 1

Создание процесса 2

Процесс 2

Переключение контекста

Доступ к общей памяти

Ожидание ввода A и B

Переключение контекста

Доступ к общей памяти

TODO

Нужны дополнительные действия:

- Порождать процесс 2
- Получить разделяемую память

- Нужны переключения контекста

На одноядерной системе это неэффективно из-за доп расходов

Аналогия с железной дорогой:

- Поезд — процессор с регистрами и данными в стеке
- Стрелки — условные переходы
- Склады — данные вне трека/ операции ввода-вывода

Если два поезда могут ехать одновременно, то получается мультипроцессорная система

Thread — каждый из поездов

В процессе могут быть несколько thread-ов:

- Общие:
 - Системный контекст (всего процесса)
 - Код
 - Данные вне стека
- Разные:
 - Регистровый контекст
 - Стек
 - Системный контекст thread-a

Для создания нового thread-a используется системный вызов

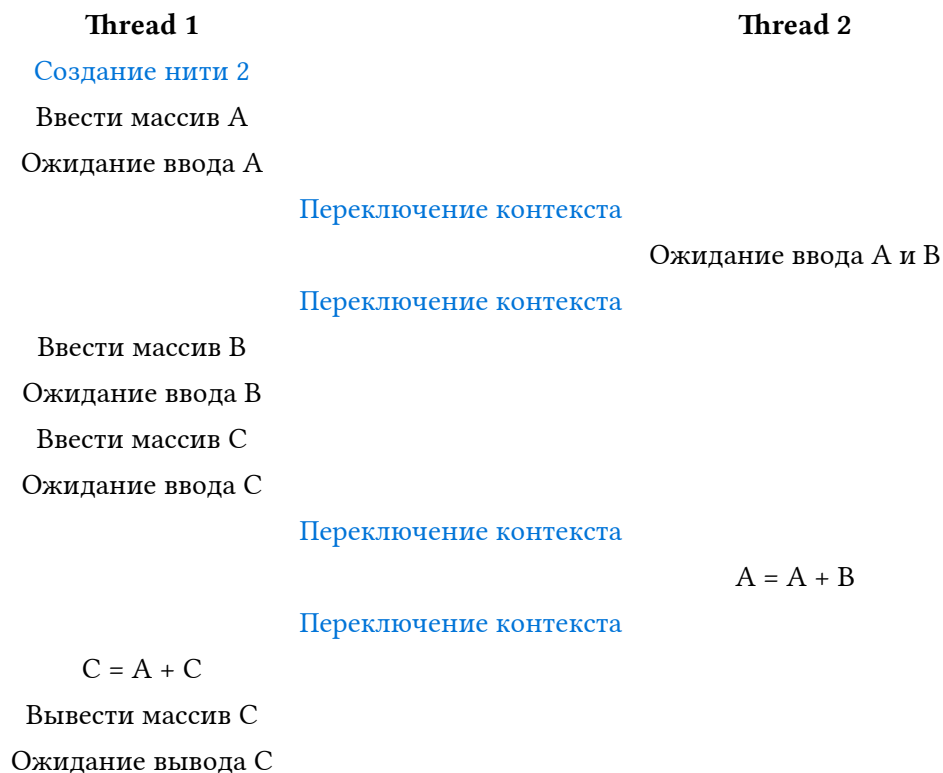
Между thread-ами есть отношение родитель-ребенок

У thread-ов тоже есть состояния, как и у процессов

Master thread (главная нить) — нить создаваемая при создании процесса

Thread-ы хороши, так как создавать их «дешевле», чем новые процессы

Thread-ы могут создавать либо на уровне библиотек, либо на уровне ядра



Алгоритмы синхронизации

Активность — последовательное выполнение ряда действий, направленных на достижение определенной цели

Операции внутри активности считаем атомарными (неделимыми): между операциями «отвлекаться» можно, во время операции — нельзя

Активность P из операций a b c

Активность Q из операций d e f

Последовательное выполнения PQ: a b c d e f

Псевдопараллельное выполнение (режим разделения времени): порядок операций от каждой активности фиксирован, но они могут чередоваться — интерливинг. Например, a d e b c f

Если активности зависимы, то могут быть проблемы

Недетерминированный набор — при одинаковых начальных результатах возможны разные результаты

Детерминированный набор — при одинаковых начальных данных результат всегда один

Условие Бернштейна

Достаточные условия детерминированности набор

Входные данные активности (W): объединение множеств входных данных всех активностей

Выходные данные активности (R): объединение множеств выходных данных всех активностей

Условия (для двух активностей P и Q):

- $W(P) \cap W(Q) = \emptyset$
- $W(P) \cap R(Q) = \emptyset$
- $R(P) \cap W(Q) = \emptyset$

Как чинить?

Нужно запретить «плохие» чередования

В недетерминированных наборах всегда встречается **race condition** (состояние гонки).

Mutual exclusion (взаимоисключение): если процесс захватил ресурс, то больше никто другой его не использует. Используется, когда не важно, кто первый захватил ресурс

Критические секции — участки, которые приводят к появлению race condition

Нужно сделать, чтобы критические секции выполнялись, как атомарные операции. Для этого нужно ввести «пролог» и «эпилог» для критических секций

```
while (some condition) {  
    entry section  
    critical section  
    exit section  
    remainder section  
}
```

Требования к алгоритмам синхронизации (от Дейкстры?):

- Алгоритм должен быть на уровне software
- Нет предположений об относительных скоростях выполнения и числе ядер

- Выполняется условие взаимного исключения (mutual exclusion) для критических участков
- Выполняется условие прогресса (progress):
Только процессы, готовые войти в критическую секцию, принимают решение, кто первый
Решение не должно приниматься за конечное время
- Выполняется условие ограниченного ожидания (bound waiting):
Каждый процесс «не пускают» не более заранее выбранного числа раз

2024-09-30

—— Конкретные алгоритмы (программные) ——

· Запрет прерываний ·

Существует команда процесса (Clear Interrupt), которая заставляет его игнорировать почти все прерывания, кроме критических.

У процесса не могу отобрать процессор ни при каких условиях.

Существует парная команда, которая обрабатывает все запомненные и новые прерывания.

```
while (some condition) {  
    запретить все прерывания  
    critical section  
    разрешить все прерывания  
    remainder section  
}
```

Если в программе есть бесконечный цикл, то вся система насмерть зависнет.

Команды доступны только ядру. Прием используется только внутри кода ОС.

· Переменная-замок ·

Общая переменная-замок для всех процессов в наборе

```
shared int lock = 0;  
while (some condition) {  
    while (lock == 1);  
    lock = 1;  
    critical section  
    lock = 0;  
    remainder section  
}
```

Если между `while (lock == 1);` и `lock = 1;` перейдет передача управления, то будет беда: оба процесса войдут в критическую секцию.

· Строгое чередование ·

Введем порядок, в котором процессы будут проходить свои критические секции.

```
// для двух процессов  
// i-ый процесс  
shared int turn = 0;  
while (some condition) {  
    while (turn != i);  
    critical section  
}
```

```

    turn = (i + 1) % 2;
    remainder section
}

```

Если у процессов скорость выполнения сильно разная, то один из процессов может очень долго ждать входа в критическую секцию.

Флаги готовности

```

shared int ready[proc_num] = {0};

while (some condition) {
    ready[i] = 1;
    while (ready[1 - i]);
    critical section
    ready[0] = 0;
    remainder section
}

```

Если оба процесса скажут, что они готовы, то беда: оба зависнут в цикле.

Алгоритм Петерсона

Совмещение идей очередности и готовности.

```

// для 0-ого процесса
shared int ready[2] = {0};
shared int turn;
while (some condition) {
    ready[0] = 1;
    turn = 1;
    while (ready[1] && turn == 1);
    critical section;
    ready[0] = 0;
    remainder section;
}

```

Все пять требований выполняются.

Для n процессов алгоритм сложнее, но существует.

BAKERY ALGORITHM (алгоритм булочной)

«Алгоритм регистратуры в поликлинике»

Основные идеи:

1. Процессы можно сравнивать по именам (id-шникам)
2. Перед входом в критическую секцию процессы получают «талон» с номером. Может случиться, что номера талонов совпали.
3. В критическую секцию входит тот, у кого меньше пара (номер талона, id-шник).

Заключение

Всё работало хорошо до 2005 года, пока не появились многоядерные системы

Раньше использовалась строгая модель консистентности памяти: из ячейки всегда считывается то значение, которое последнее было туда записано.

Модель плоха с точки зрения hardware: кэши разных ядер и оперативу долго синхронизировать.

Модель ослабили: синхронизацию производить только после накопления некоторого числа изменений.

Алгоритмы синхронизации стали нерабочими: теперь после каждого изменения shared переменной нужно атомарно синхронизировать кэши.

—— Аппаратная поддержка ——

· Команда TEST-AND-SET ·

```
int Test-And-Set(int* a) {
    int tmp = *a;
    *a = 1;
    return tmp;
}
// Но выполняется процессором атомарно
shared int lock = 0;
while(some condition) {
    while (Test-And-Set(&lock));
    critical section
    lock = 0;
    remainder section
}
```

Нарушается условие ограниченного ожидания, но это легко чиниться.

· Команда SWAP ·

```
void Swap(int* a, int* b) {
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}
shared int lock = 0;
int key = 0;
while (some condition) {
    key = 1;
    do Swap(&lock, &key);
    while (key);
    critical section
    lock = 0;
    remainder section
}
```

Тоже нарушается условие ограниченного ожидания, но это легко чиниться.

—— Механизмы синхронизации ——

Механизмы внутри ОС

Недостатки программных алгоритмов:

1. Ослабленная модель консистентности памяти
2. Перевод цикла активного ожидания (busy wait) в цикл активного ожидания¹: «Кручение» в while-замке жрет процессорное время
3. Классические алгоритмы плохо работают в случае введения приоритетов процессов:

Проблема, если низко приоритетный процесс вошел в критическую секцию, а у него отобрали управление:

1. высоко приоритетный не может войти в критическую секцию, так как там низко приоритетный
2. низко приоритетный не может выйти из критической секции, так как у него отняли управление

—— Семафор Дейкстры ——

S — семафор — целая неотрицательная разделяемая переменная

При создании инициализируется любым неотрицательным значением

Допустимые **атомарные** операции:

1. P(S):

```
while (S == 0) block process  
S -= 1
```

2. V(S):

```
S += 1
```

«Задача об обедающих философах»

—— Проблема PRODUCER–CONSUMER ——

Два процесса (в более сложной постановке процессов может быть больше):

1. Один производит информацию
2. Один — потребляет

Обмениваются информацией через буфер конечного размера:

1. Если в буфере нет места, то Producer блокируется
2. Если в буфере пусто, то Consumer блокируется

Критическая секция — работа с буфером

Решения с тремя семафорами

Семафоры:

1. Взаимоисключение работы буферов (mut_ex)
2. Блокировка Producer (full)
3. Блокировка Consumer (empty)

```
Semaphore mut_ex = 1;  
Semaphore full = 0;  
Semaphore empty = N;
```

Producer:	Consumer:
while (1) {	while (1) {
produce_item();	P(full)
P(empty);	P(mut_ex)
P(mut_ex);	get_item();
put_item();	V(mut_ex);
V(mut_ex);	V(empty);
V(full);	consume_item();
}	}

¹это не всегда эффективно из-за накладных расходов

Вдруг совершили ошибку: в Consumer перепутали местами строки P(full) и P(mut_ex). Всё ломается: заходим в состояние вечного ожидания. Эту ошибку сложно отследить, так как она возникает только при определенных условиях.

—— Мониторы Хора (Hoare) ——

В ЯП встраиваются определенные конструкции — мониторы Хора.

```
Monitor monitor_name {
    Описание внутренних переменных;
    void m1(...) {...}
    void m2(...) {...}
    ...
    void mn(...) {...}
    Блок инициализации переменных;
}
```

Со внутренними переменными можно работать только используя методы монитора.

Только один метод монитора может быть вызван (это достигается ОС и компилятором языка).

· Условные переменные ·

Condition C;

Всегда лежат внутри монитора.

Операции:

1. C.wait: Всегда блокирует данный процесс
2. C.signal: Разблокирует один процесс, который раньше выполнил .wait, если он есть. Процесс мгновенно вылетает из монитора.

· PRODUCER-CONSUMER ·

```
Monitor PC {
    Condition full, empty;
    int count;

    void put() {
        if (count == N) full.wait;
        put_item();
        ++count;
        if (count == 1) empty.signal; // Если ждал consumer, то разбудили его
    }

    void get() {
        if (count == 0) empty.wait;
        get_item();
        --count;
        if (count == N - 1) full.signal; // Если ждал producer, то разбудили его
    }

    { count = 0; }
}
```

```
Producer:      Consumer:
while (1) {    while (1) {
    produce_item();    PC.get();
```

```

    PC.put();          consume_item();
}                      }

```

В этом методе хорошо то, что сложно наладить. Плохо, что нужен ЯП с соответствующей конструкцией.

2024-10-07

Очереди сообщений

Примитивы обмена информацией

1. `send(address, message)`: отправить сообщение `message` в очередь `address`

Блокируется при попытке записи в полный буфер

2. `receive(address, message)`: получить сообщение `message` из очереди `address`

Блокируется при чтении из пустого буфера. Получение сообщений в порядке FIFO

Работают атомарно

Обеспечивают взаимное исключение при работе с буфером

Задача PRODUCER-CONSUMER

```

Producer:          Consumer:
while (1) {         while (1) {
    produce_item();   receive(address, item);
    send(address, item); consume_item();
}                   }

```

Эквивалентность механизмов

Все механизмы синхронизации эквивалентны: имея один механизм можно написать все другие

Мониторы Хора через семафоры Дейкстры

`Semaphore mut_ex = 1;` // Для организации взаимного исключения

```

// При входе в монитор
void mon_enter(void) {
    P(mut_ex);
}

```

```

// Для выхода по return (в конце метода)
void mon_exit(void) {
    V(mut_ex);
}

```

// Для каждой условной переменной

```

Semaphore c_i = 0;
shared int f_i = 0;

```

// Для операции wait на условной переменной i

```

void wait(i) {
    f_i += 1;
    V(mut_ex);
    P(c_i);
    f_i -= 1;
}

```

```

}

// Для операции signal
void signal_exit(i) {
    if (f_i) {
        V(c_i);
    } else {
        V(mut_ex);
    }
}

```

Очереди сообщений через Семафоры Дейкстры

```

// Для очереди сообщений A
Semaphore Amut_ex = 1;
Semaphore Afull = 0;
Semaphore Aempty = N; // N - системный размер буфера

void send (A, msg) {
    P(Aempty);
    P(Amut_ex);
    put_item(A, msg);
    V(Amut_ex);
    V(Afull);
}

void receive(A, msg) {
    P(Afull);
    P(Amut_ex);
    get_item(A, msg);
    V(Amut_ex);
    V(Aempty);
}

```

Семафоры Дейкстры через Мониторы Хора

```

Monitor sem {
    unsigned int count;
    Condition c;

    void P(void) {
        if (count == 0) {
            c.wait;
        }
        count -= 1;
    }

    void V(void) {
        count += 1;
        c.signal;
    }

    { count = N; }
}

```

Семафоры Дейкстры через Очереди сообщений

```

void Sem_init(int N) {
    int i;
    создать очередь сообщений m;
    for (int i = 0; i < N; ++i) {
        send(M, msg);
    }
}

void Sem_P() {

```

```

    receive(M, msg);
}

void Sem_V() {
    send(M, msg);
}

```

—— Пример решения задачи ——

В лесу стоит пустая бочка меда. Прилетают пчелы и кладут по капле. Только одна пчела может класть каплю меда.

Медведь ест полную бочку меда. Пчела, положившая последнюю каплю, кусает медведя, чтобы позвать его есть мед.

· Через семафоры ·

Нужно понять, где процессы могут уходить в ожидание:

- Пчела, когда другая пчела в бочке
- Пчела, когда бочка полная
- Медведь, когда бочка пуста

```

Semaphore bee = 1;
Semaphore bear = 0;
shared int Count = 0;

```

Пчела:

```

while (1) {
    P(bee);
    Count++;
    if (Count == N) {
        V(bear);
    } else {
        V(bee);
    }
    // улетает за медом
}

```

Медведь:

```

while (1) {
    P(bear);
    Count = 0;
    V(bee);
    // идет бродить
}

```

· Через очереди сообщений ·

```

shared int Count = 0;
MessageQueue bee, bear;

```

Пчела:

```

while (1) {
    receive(bee, m);
    Count++;
    if (Count == N) {
        send(bear, m);
    } else {
        send(bee, m);
    }
    // улетаем за медом
}

```

Медведь:

```

send(bee, m);
while (1) {
    receive(bear, m);
    Count = 0;
    send(bee, m);
    // идет бродить
}

```

· Через мониторы ·

```
Monitor bb {
    Condition cbee, cbear;
    int Count;

    void bee() {
        if (Count == N) {
            cbee.wait;
        }
        Count++;
        if (Count == N) {
            cbear.signal;
        } else {
            cbee.signal;
        }
    }

    void bear() {
        if (Count != N) {
            cbear.wait;
            Count = 0;
            cbee.signal;
        }
    }

    { Count = 0; }
}
```

Пчела:

```
while (1) {
    bb.bee();
    // летим за медом
}
```

Медведь:

```
while (1) {
    bb.bear();
    // идет бродить
}
```

Планирование процессов

Нужно распределить ограничить ресурсы между многими потребителями. Для этого нужно:

1. Поставить цель планирования (**критерий**)
2. Придумать **алгоритм**, который опирается на некоторые **параметры** системы

Уровни планирования

- **Долгосрочное планирование** (например, планирование заданий)

Обычно на процессоре пытаются поддерживать фиксированное число работающих заданий. Это число называется **степенью мультипрограммирования**. Тогда новое задание появляется только, когда завершается другое. Решение о запуске задач принимается редко и долго.

- **Среднесрочное планирование** (например, swapping)

Не завершившийся процесс временно выкачивают из оперативной памяти в постоянную. Потом когда-то возвращают.

- **Краткосрочное планирование** (например, планирование запуска процессов)

Решение принимается часто, каждый квант времени (каждые 100мс).

Цели планирования

- **Справедливость**: все процессам давать примерно одинаковое число времени
- **Эффективность**: ЦП загружен на 100% (на практике обычно не достигается)
Иногда на процессоре запускают IDLE процесс (работающий вхолостую)
- **Сокращение [среднего] полного времени выполнения** (turnaround time)
- **Сокращение времени ожидания** (waiting time): часть времени от turnaround time, когда мы не исполняемся
- **Сокращение времени отклика** (response time): время от момента нажатия до появления реакции
- Существуют некоторые другие цели

Цели друг другу противоречат

—— Желаемые свойства алгоритмов ——

- **Предсказуемость**: можно заранее оценить время работы программы; программа всегда должна работать примерно одно и то же время
- **Минимизация накладных расходов** (overhead)
- **Равномерность загрузки** вычислительной системы
- **Масштабируемость**: небольшое увеличение нагрузки не должно приводить к резкому ухудшению характеристик

—— Параметры планирования ——

- **Статические** (со временем не меняются): используются алгоритмами долгосрочного планирования
 - Статические параметры вычислительной системы (например, объем ОЗУ)
 - Статические параметры процесса: известны ещё до запуска (например, кем запущен, степень важность, требуемые ресурсы)
- **Динамические** (меняются со временем): используются алгоритмами всех уровней планирования
 - Динамические параметры вычислительной системы (например, объем свободной ОЗУ в данный момент)
 - Статические параметры процесса (например, уже использованное процессорное время)

Опр. CPU Burst — куски программы, которые могут непрерывно выполняться на процессоре (без работы с **IO Burst**).

—— Когда нужно делать краткосрочное планирование? ——

- Вынужденное принятие решений
 - «исполнение» → «закончил исполнение»
 - «исполнение» → «ожидание»
- Невынужденное принятие решений
 - «исполнение» → «готовность»
 - «ожидание» → «готовность»

Типы планирования:

- **Невытесняющее:** принимаем только вынужденные решения
- **Вытесняющее:** принимаем только и вынужденные, и невынужденные решения

—— Конкретные алгоритмы ——

FCFS (FIRST COME – FIRST SERVED) (невытесняющий)

Все готовые процессы выстраиваются в очередь FIFO. Когда освобождается место, мы берем процесс из головы очереди, новые добавляем в конце.

Преимущество: Очень простой

Недостаток: результирующие характеристики очень зависят от порядка появления процессов