

Sistemas Operativos

MIEI

2020/2021

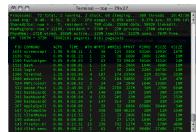
fsm@.di.uminho.pt

Sistemas Operativos 2020/2021

12

.12

- Má preparação anterior tem de ser recuperada ASAP!
 - concepção de algoritmos e estruturas de dados, programação em C, BATER CÓDIGO, **trabalho individual...**
- Interface "linha de comando"
- Guiões vão-se acumulando:
 - Ficheiros + Processos + Redir + pipes + + FIFOs + Sinais



Sistemas Operativos 2020/2021

14

.14

As más notícias

- É uma UC de engenharia:
 - É preciso usar a “massa cinzenta”
 - Também é preciso a “sujar as mãos”

=> programar, testar, configurar, debug, mexer no programa e ver o que dá...



- Não basta ir ao Google ou “ver” os exercícios resolvidos por outros

Sistemas Operativos 2020/2021

13

.13

As boas notícias

- Apesar da “mística” que rodeia esta unidade curricular...
 - basta um pouco de trabalho* e bom senso para fazer esta unidade curricular
 - e ultrapassar grande parte das limitações anteriores!

(*) Participação nas aulas **+ 2 a 3 horas POR SEMANA** (sem contar com a recuperação de dificuldades anteriores)

Sistemas Operativos 2020/2021

15

.15

.1

Objectivo

- **Ajudar a perceber como funcionam os computadores**

- Em termos físicos, o que é uma aplicação informática?
- Que recursos necessita?
- Como devem ser geridos esses recursos?
- Como interage esta aplicação com outras?
- Isto está lento... Que fazer?
- Foi abaixo... Perdi tudo?

Sistemas Operativos 2020/2021

16

.16

Programa

- Recapitulação de conceitos de programação de sistemas
- Gestão de processos, memória, ficheiros, periféricos
- Alguma **programação concorrente** (de baixo nível)

- E mãos na massa:
 - Aulas práticas em ambiente Linux
 - Nada de janelas, nem ratos...
 - Terminal com *Bash*, comandos, pipelines...
 - Programação de “baixo nível”: C, syscalls, libs...



Sistemas Operativos 2020/2021

18

.18

Numa palavra...

- Se fosse necessário dizer de que trata esta UC de Sistemas Operativos:
 - Numa só palavra:
 - CONCORRÊNCIA
 - Em mais do que uma:
 - Concorrência, concorrência...
 - Eficiência, rapidez, segurança, etc.
 - Boa gestão de recursos perante determinada carga
 - Perceber como funcionam os sistemas (Apps, SO, HW)

Sistemas Operativos 2020/2021

.17

Bibliografia recomendada

- Silberschatz, Galvin and Gagne, *Operating System Concepts*, John Wiley & Sons, 2010.
- Carlos Ribeiro, Alves Marques, 2^a-ed, FCA Editora Informática, 2012.
- **FSM 2004, VOU FAZER SISTEMAS OPERATIVOS**

Sistemas Operativos 2020/2021

19

.19

Bibliografia Adicional

- Man !!!!!!!!!
- R. Stevens, *Advanced Programming in the Unix Environment*, Addison Wesley, 1990.
- Beej Guides
- Google, Youtube, slashdot...

Sistemas Operativos 2020/2021

20

.20

Slides

- Baseados nos slides originais dos livros recomendados (em especial Silberschatz), caso seja necessário identificar o respectivo capítulo
- Disponíveis no Blackboard, mas em permanente revisão
- Servem apenas de “âncora” ao estudo
 - Não chegam para responder aos testes!
 - Faltam os porquês, e.g. porquê usar “isto” com esta carga?

Sistemas Operativos 2020/2021

21

.21

Aulas práticas

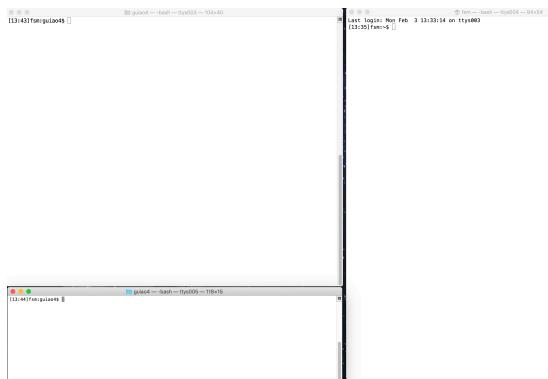
- Cada aula prática tem um “guião” muito detalhado.
 - Normalmente só duram uma semana
 - Fazem sempre falta para a aula seguinte (+ trabalho práctico)
 - Sempre que resolver uma alínea, deve parar e perguntar:
- O que é que EU aprendi com este exercício?
- Recomenda-se:
 - estudar o guião antes da respectiva aula
 - usar a aula para tirar dúvidas e não para colecionar resoluções; tente entender o raciocínio para lá chegar.
 - terminar em casa todas as alíneas não resolvidas durante a aula; se necessário, peça ajuda por mail

Sistemas Operativos 2020/2021

22

.22

Ambiente de trabalho nas PLs



Sistemas Operativos 2020/2021

.23

Avaliação

- Trabalho prático em grupo de 3, **obrigatório**
- Não há (des)congelamento de nota TP, salvo excepções indicadas no RAUM
- 2 testes ou exame de recurso

- Classificação = 50% TP + 20% t1 + 30% t2, ou
- Classificação = 50% TP + 50% Recurso

Note que há **notas mínimas**: 10 no TP, 9 em $(t1+t2)/2$

Sistemas Operativos 2020/2021

.SO MIEI 2020/2021

.24

Avaliação

Prova escrita (teste ou exame) individual e sem consulta.

- É preciso escrever código que resolva **o problema proposto**; não basta reproduzir os guiões
- Valoriza-se a capacidade de raciocínio e a concepção de algoritmos (por oposição à utilização de “padrões” de soluções)
- Quase tudo tem a ver com concorrência
- As perguntas da parte teórica insistem sempre nos “porquês”, na justificação, demonstração ou prova.

Ninguém faz esta UC apenas com a parte teórica

Dificilmente a fará só com a prática

Sistemas Operativos 2020/2021

25

.25

Programa

- Introdução (à *programação de sistemas*)
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos 2020/2021

26

.26

Is it harder...

- Is it harder to become a systems programming engineer than other types of software engineer?

- Another way to look at this questions is: **is it harder to work on a operating system than on a website?**

Sistemas Operativos 2020/2021

.27

.4

YES...

- Systems Programming is "working without a net" in that when an application programmer screws up, his application crashes, but the computer system keeps on operating. When a systems programmer screws up, the computer system crashes en toto (halts).
- Systems programmers must know how a computer actually works, i.e. know something about Computer Architecture, Compilers...
- Systems programming deals with Concurrency all the time
- Systems Programming is lower level.

Sistemas Operativos 2020/2021

.28

Vamos começar pelo princípio...

Para que serve um computador?

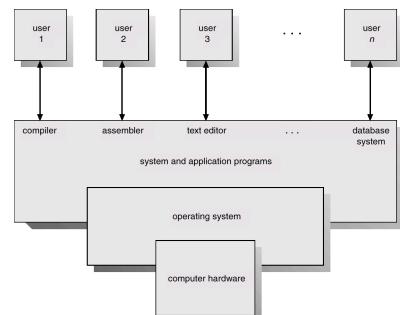
- Para executar programas (aplicações)
- Que facilitam a vida aos utilizadores

Sistemas Operativos 2020/2021

29

O que é um Sistema Operativo?

- Programa que actua como **intermediário** entre os utilizadores e o hardware



Sistemas Operativos 2020/2021

30

.30

Portanto...

- SO deve colocar o hardware à disposição dos programas e utilizadores, mas de uma forma
 - **conveniente,**
 - **protegida,**
 - **eficiente,**
 - **justa,**
 - ...

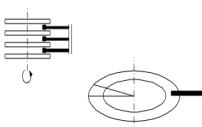
Sistemas Operativos 2020/2021

31

.31

O Sistema Operativo pode ser visto como...

- Extensão da máquina
 - simula uma *máquina virtual* "acima" da máquina real: **open()**, **read()**, **write()**...

- Gestor de recursos
 

Sistemas Operativos 2020/2021

32

.32

Objectivos (1)

- Conveniência
 - SO esconde os detalhes do hardware
 - e.g. [dimensão e organização da memória](#)
 - Simula máquina virtual com valor acrescentado
 - e.g. [cada processo executa numa “máquina”](#)
 - Fornece API mais fácil de usar do que o hardware
 - e.g. [ficheiros vs. blocos em disco](#)

Sistemas Operativos 2020/2021

33

.33

Na prática...

- É o Sistema Operativo quem define a “**personalidade**“ de um computador

- Como se comporta o mesmo computador (hardware) após ter arrancado
 - MSDOS?
 - Windows 95?
 - Windows 10?
 - Linux (Ubuntu, Kali...)?



Sistemas Operativos 2020/2021

34

.34

Objectivos (2)

- Eficiência
 - SO controla a alocação de recursos
 - Se 3 programas usarem a impressora ao mesmo tempo → sai lixo?
 - Programa em ciclo infinito → [computador bloqueia?](#)
 - Processo corrompe a memória dos outros → [programas morrem?](#)

- Multiplexação:
 - Tempo: cada processo usa o recurso à vez (impressora, CPU)
 - Espaço: recurso é partilhado simultaneamente por vários processos (memória central, disco)

Sistemas Operativos 2020/2021

35

.35

Objectivos (3)

- Recapitulemos então os objectivos gerais de um SO
 - Conveniência
 - Eficiência
- Então, os nossos critérios de avaliação serão...
 -  Dá jeito?
 -  É eficiente ou aumenta a eficiência geral do sistema?
 -  Nem uma nem outra?

Sistemas Operativos 2020/2021

36

.36

Evolução

- Sistemas de Computação
 - 1^a geração (1945/1955) – Válvulas
 - 2^a geração (1955/1965) – Transistores, *batch*
 - 3^a geração (1965/1980) – ICs, *time-sharing*
 - 4^a geração (1980/ ?) – PCs, workstations, ethernet, modelo Cliente/Servidor

“The network IS the system”
- Hoje temos...
 - Datacenters, servidores, portáteis, tablets, smartphones...
 - Tudo interligado em “Cloud”
 - Internet of things (IOT)...



Sistemas Operativos 2020/2021

37

.37

Tome nota:

- Este “filme” não é para decorar...
- É para perceber a evolução e os porquês
- Quando terminar, terá ficado a saber
 - os objectivos dos Sistemas Operativos
 - como estes foram sendo atingidos:
 - com muita massa cinzenta
 - e algum apoio do hardware!

Sistemas Operativos 2020/2021

.38

No início era assim...

- Acesso livre ao computador
 - Utilizador podia fazer tudo, mas
 - Também tinha de fazer tudo...
- Eficiência era baixa
 - Elevado tempo de preparação
 - Tempo “desperdiçado” com debug

Sistemas Operativos 2020/2021

39

.39

No início era assim...

Exemplo: [HP 2114B \(1968\)](#)



Sistemas Operativos 2020/2021

→ Sim, TUDO!!!!

- Comprava-se hardware sem software!
- Dava-se acesso livre ao computador
 - Utilizador podia fazer tudo (i.e. interagir com o programa)
 - Mas também tinha de fazer tudo...

.40

Acesso livre

- Utilizador é um faz-tudo (I):
 - Percebe o problema e idealiza a solução (algoritmo + dados)
 - Descreve o algoritmo em “alguma notação de alto nível”
 - Estuda o manual do CPU e memória e faz então a tradução para linguagem máquina (e decide que endereços vai usar)

 1: S = 0
2: Ler N
3: Se N > 999 continuar no passo 6
4: S = S + N
5: Voltar ao passo 2
6: Mostrar S

\$32, %rsp
\$64, %eax
%eax, %edi
\$0, -4(%rbp)
_malloc
catqq
leaq L_.str(%rip), %rdi
0002 e000 01ae 0000 c085 850f
\$4294967295, %rcx
0048 105b 09cb ffb3 7502 4879
%edx, %edx
0000 4c40 0000 07eb ff48 48c3 5d99 0fd0 3bb6
06400 4000 0000 06420 8448 78ff 418a 448b 3cbe 2144 eb18 beba
06440 4000 0000 05e8 0001 8500 75c0 0fd9 03b6

Sistemas Operativos 2020/2021

.41

E para aumentar a eficiência...

- Introduziu-se um operador especializado
 - Utilizador entrega fita perfurada ou cartões
 - Operador carrega o programa, executa-o e devolve os resultados
- **Ganhou-se em eficiência, perdeu-se em conveniência**
 - Operador é especialista em operação, não em programação
 - Pode haver escalonamento (i.e. alteração da ordem de execução)
 - Utilizador deixou de interagir com o seu programa

Sistemas Operativos 2020/2021

.42

.43

GSD
Grupo de Sistemas Distribuídos

When apps were cards or tape...

Sistemas Operativos 2020/2021

44

.44

GSD
Grupo de Sistemas Distribuídos

Card reader + line printer

Sistemas Operativos 2020/2021

45

.45

GSD
Grupo de Sistemas Distribuídos

Melhor do que ter um operador...

- É automatizar, ter um programa que:
 - Controla a operação do computador
 - Encadeia “jobs”, operador apenas carrega e descarrega
- Utilizadores devem usar rotinas de IO do sistema (embora ainda possam escrever as suas)

Embrião de um sistema operativo?

Sistemas Operativos 2020/2021

46

.46

GSD
Grupo de Sistemas Distribuídos

Mas havia o risco de...

- Se perder eficiência devido a erros de programação
 - Ciclos infinitos
 - Erros na leitura ou escrita de periféricos
 - Programa do utilizador destruir o “programa de controle”
 - Espera por periféricos lentos

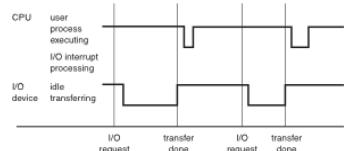
Sistemas Operativos 2020/2021

47

.9

Soluções (hardware)

- Interrupções



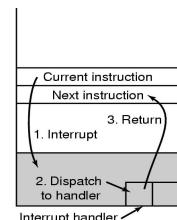
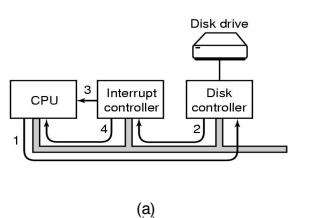
- Relógio de Tempo Virtual
- Instruções privilegiadas, 2 ou mais modos de execução
- Protecção de memória

Sistemas Operativos 2020/2021

48

.48

Exemplo: Interrupt-driven IO



Sistemas Operativos 2020/2021

50

.50

Exemplo: Polling IO

- Disk_IO()
- Carrega o controlador de disco com parâmetros adequados (pista, sector, endereço de memória, direcção...)
- While (NOT IO_done); /* do nothing in a busy way*/

(Equivalente a:
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?
 Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste? Já acabaste?
 ...)

- OK, regressa de disk_io()

Resulta em *desperdício de tempo de CPU*

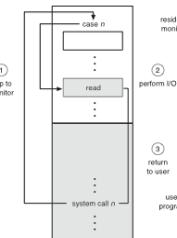
Sistemas Operativos 2020/2021

49

.49

Soluções (software)

- Chamadas ao Sistema
- Virtualização de periféricos
 - Por exemplo o Leitor de cartões:
 - Programador pede para ler do periférico
 - SO devolve o conteúdo de um cartão que foi copiado para banda magnética ou lido anteriormente directamente para memória (SPOOL)
- Multiprogramação



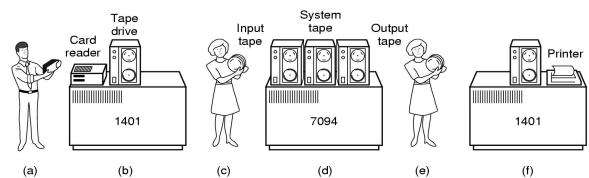
Sistemas Operativos 2020/2021

51

.51

.10

Primeiros sistemas de batch

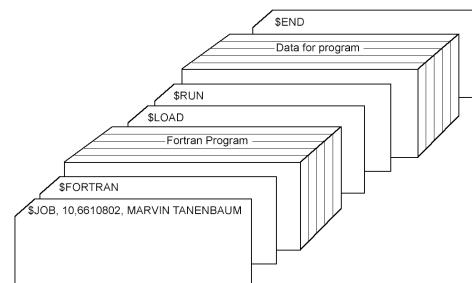


Processador auxiliar faz IO de periféricos lentos (virtuais)

- Carregar cartões no 1401, que os copia para banda magnética
- Colocar banda no 7094 e executar os programas
- Recolher banda com resultados e colocá-la no 1401, que os envia para a impressora

.52

Exemplo de um “job”



.53

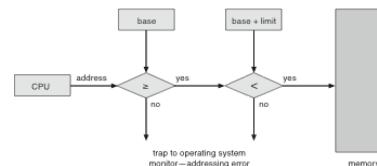
Multiprogramação

Vários jobs são carregados para memória central, e o tempo de CPU é repartido por eles.



.54

Protecção de memória

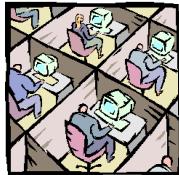


Note que estes testes têm de ser feitos sempre que há um acesso à memória...
2, 3 ou mesmo 4 vezes por instrução?

.55

E a conveniência?

- Teve de esperar pelos sistemas de **Time-Sharing**
- Terminais (consolas) ligados ao computador central permitem que os utilizadores voltem a interagir directamente
- Sistema Operativo reparte o tempo de CPU pelos vários programas prontos a executar



Sistemas Operativos 2020/2021

56

.56

E desde aí?

- Com o computador pessoal volta tudo ao início...
 - Control Program for Microcomputers
 - Monoprogramação, baixa eficiência...
- Mas...
 - É muito conveniente para o utilizador
 - É barato, logo eficiência não é a prioridade

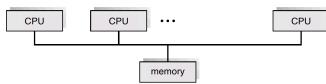
Sistemas Operativos 2020/2021

57

.57

Multiprocessamento (1)

- Vantagens
 - *throughput*
 - economia
 - *graceful degradation*
 - ...



Exemplo: com 2 CPUs



A ideia é executar o dobro da carga no mesmo intervalo de tempo (i.e. maior **throughput**)

não é executar um programa mais depressa (i.e. baixar **tempo de resposta**). Para isso necessitaria de paralelizar a aplicação, dividida em vários processos

Sistemas Operativos 2020/2021

58

.58

Multiprocessamento (2)

- Arquitectura
 - Simétrico
 - Qualquer CPU pode executar código do SO, mas
 - cuidado com *race conditions*, (e.g. tabela de blocos de memória livres)
 - hardware mais sofisticado (e.g disco interrompe todos os CPUs?)
 - Assimétrico
 - Periféricos associados a um só CPU, o que executa o SO
 - Não há *races*, mas os outros CPUs podem estar parados porque esse não “despacha” depressa,
 - nesse caso o *throughput* diminui



Sistemas Operativos 2020/2021

59

.59

Sistemas Distribuídos (1)

- Nos anos 80 apareceram as redes locais para partilha de
 - recursos caros (e.g. impressoras) ou
 - inconvenientes de replicar (e.g. sistemas de ficheiros)
 - redirecionamento de IO
- Exemplo: cat fich.txt | rsh print_server lpr
- Questões
 - protocolos de comunicação, modelo cliente-servidor?
 - como saber o estado de recursos remotos?

Sistemas Operativos 2020/2021

60

.60

Sistemas Distribuídos (2)

- Em breve
 - se passou dos *network aware OSs* para sistemas que estão vocacionados para o trabalho em rede
 - as aplicações podem localizar e aceder recursos remotos de uma forma transparente
- E chegou-se à Web...



Sistemas Operativos 2020/2021

61

.61

E ainda...

- SOs para *mainframes*:
 - IBM MVS, IBM VM/CMS.
 - desenvolvidos nos anos 60 e ainda em operação (z/VM)!
- Actualmente a virtualização é (outra vez) ***HOT TOPIC*** (vmware, Xen...) + Docker...

Sistemas Operativos 2020/2021

62

.62

E ainda...

- SO de Tempo Real
 - controlo de processos industriais, sistemas de vôo, automóveis, máquinas de lavar, etc.
 - SO normais não conseguem dar **garantias** de tempo de resposta.
- SOs para computadores “restritos”:
 - smartcards, PDAs, telemóveis, sensores...

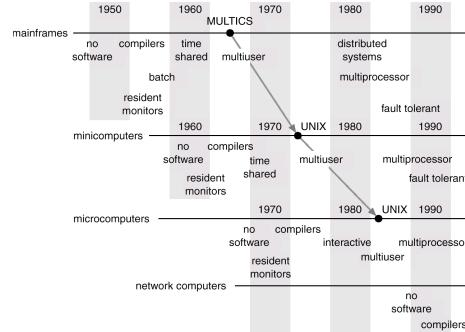


Sistemas Operativos 2020/2021

63

.63

Evolução de conceitos de SO



Sistemas Operativos 2020/2021

64

.64

Antes de continuar...



- Assegure-se que percebeu os conceitos anteriores, e que entendeu os problemas que as soluções indicadas procuram resolver...
- Por exemplo:
 - Sabe mesmo o que são e para que servem os 2 modos de execução?
 - Modo de execução é **hardware** ou **software**?
 - E multiprogramação? E multiprocessamento? E interrupção?
 - Para que servem as interrupções?
 - Para que servem as system calls? Qual a diferença em relação a uma função normal?
 - O que é o tempo virtual?

Sistemas Operativos 2020/2021

65

.65

Arquitectura de Sistemas Operativos

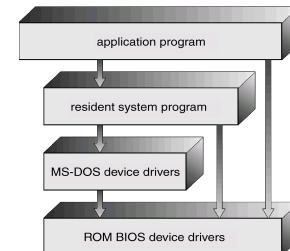
- Alguns exemplos
 - Sistemas monolíticos
 - Sistemas em camadas, hierárquicos
 - Modelo cliente-servidor
 - Máquinas virtuais
 - ...

Sistemas Operativos 2020/2021

66

.66

MS-DOS Layer Structure

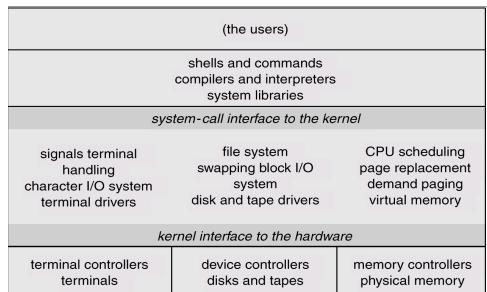


Sistemas Operativos 2020/2021

67

.67

UNIX System Structure

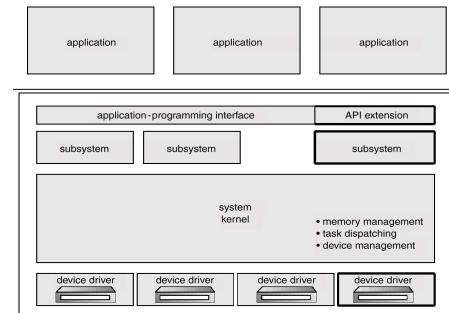


Sistemas Operativos 2020/2021

68

.68

OS/2 Layer Structure

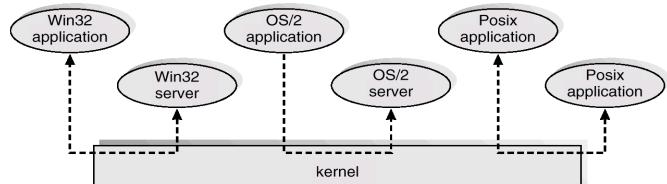


Sistemas Operativos 2020/2021

69

.69

Windows NT (cliente-servidor)



Sistemas Operativos 2020/2021

70

.70

E nas nossas aulas?

- O nosso SO é bastante modular
 - Módulo de gestão de processos
 - Módulo de gestão de memória
 - Módulo de gestão de periféricos
 - Módulo de gestão de ficheiros
- Mas há hierarquia / interdependência:
 - e.g. Memória virtual / memória real / disco / processos

Sistemas Operativos 2020/2021

71

.71

Agora que já sabemos

- Para que serve um sistema operativo
- Quais os objectivos de um sistema operativo
- E começamos a saber:
 - como é um sistema operativo → estrutura interna, algoritmos, ...
 - e os porquês de ser assim
 - que benefícios/objectivos se pretendem alcançar com determinadas estratégias
 - em que circunstâncias não se pode fazer melhor

Sistemas Operativos 2020/2021

72

.72

Convinha garantir que...

- Sabemos de facto
 - “Como é” um programa (e porquê?)
 - “Como é” um computador (e porquê?)
- Ou seja,
 - perceber as razões para o hardware e software de sistemas serem como são

Sistemas Operativos 2020/2021

73

.73

O que é/como é um programa/processo?

- Programa executável:
 - Resultado da compilação, ligação, (re)colocação em memória
 - Normalmente dependerá de módulos externos, libs
- Processo em execução:
 - código já (re)colocado em memória central + dados +stack
 - Estruturas de gestão:
 - Processo: contexto, recursos HW e SO em uso (registos, ficheiros abertos...)
 - Utilizador (uid, gid, account...)

Sistemas Operativos 2020/2021

74

.74

O que é/como é um computador?

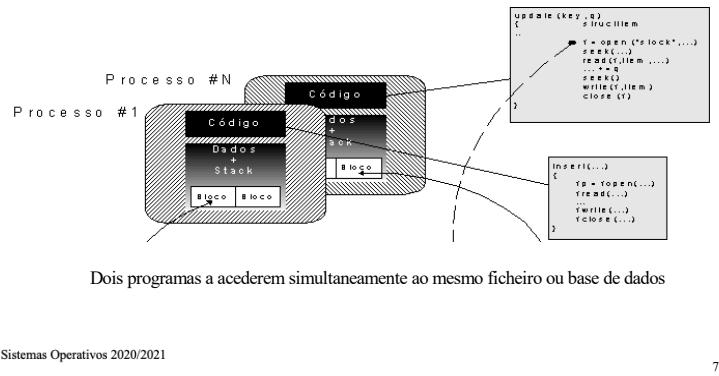
- CPU
 - Registos (PC, SP, BP, CS, DS...) → “contexto volátil”
 - Instruções privilegiadas → só podem ser executadas em modo “protegido”; a forma de um programa do utilizador solicitar serviços ao SO é através das chamadas ao sistema (syscalls)
- Memória (mas o que é um endereço? E modos de endereçamento?)
- Periféricos + formas de dialogar com eles
- Interrupções (já agora, recordemos traps e exceções!)

Sistemas Operativos 2020/2021

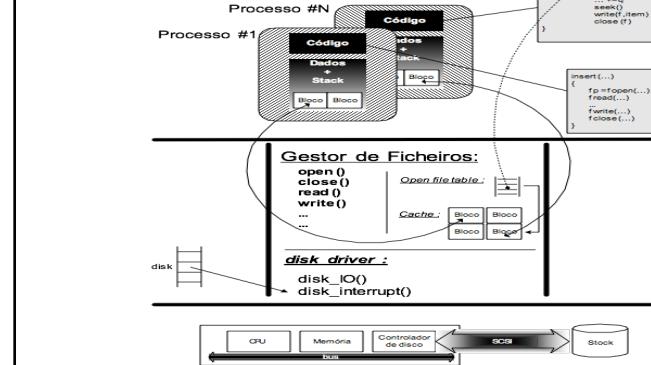
75

.75

The big picture



.76



Porquê criar vários processos?

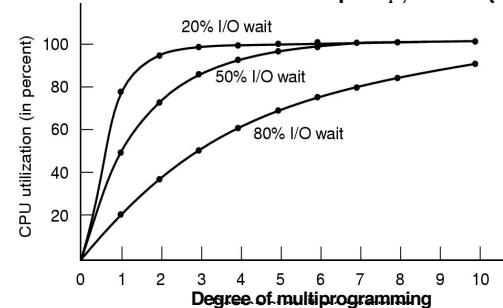
- Porque dá jeito... + conveniência
 - Estruturação dos programas
 - Para não estar à espera (spooling, background...)
 - Múltiplas actividades / janelas

- Porque é melhor + eficiência
 - Múltiplos CPUs
 - Aumenta a utilização de recursos (e.g multiprogramação)

Sistemas Operativos 2020/2021

80

Benefícios da multiprogramação



Sistemas Operativos 2020/2021

81

Processos

- **Processo**: um programa em execução, tem actividade própria
- **Programa**: entidade *estática*, **Processo**: entidade *dinâmica*
- Duas invocações do mesmo programa resultam em dois processos diferentes (e.g. vários utilizadores a usarem cada um a sua shell, o vi, browser, etc.)

Sistemas Operativos 2020/2021

82

Processos

- O contexto de execução de um processo (i.e. o seu **estado**) compreende:
 - código
 - dados (variáveis globais, *heap*, *stack*)
 - estado do processador (registos)
 - ficheiros abertos,
 - tempo de CPU consumido, ...

Sistemas Operativos 2020/2021

83

.82

.83

Exemplo de informação sobre um processo

Process management	Memory management	File management
Registers	Pointer to text segment	Root directory
Program counter	Pointer to data segment	Working directory
Program status word	Pointer to stack segment	File descriptors
Stack pointer		User ID
Process state		Group ID
Priority		
Scheduling parameters		
Process ID		
Parent process		
Process group		
Signals		
Time when process started		
CPU time used		
Children's CPU time		
Time of next alarm		

Sistemas Operativos 2020/2021

84

Processos

- O SO deverá ser capaz de:
 - Criar, suspender e reiniciar a execução de processos
 - Suportar a comunicação entre processos
- O próprio SO tem muitos processos “do sistema”

Sistemas Operativos 2020/2021

85

Processos

- Para poderem executar os seus programas, os processos requerem tempo de CPU, memória, utilização de dispositivos...
- Por outras palavras, os processos
COMPETEM POR RECURSOS
- E cabe ao sistema operativo fazer o escalonamento dos processos, i.e. atribuir os recursos pela ordem correspondente às políticas de escalonamento

Sistemas Operativos 2020/2021

86

Políticas de escalonamento

- Qual a melhor?
- E a resposta é...
 - Depende!
 - De quem responde, utilizador ou administrador?
- É preciso definir **OBJECTIVOS**

Sistemas Operativos 2020/2021

87

.86

.87

Objectivos

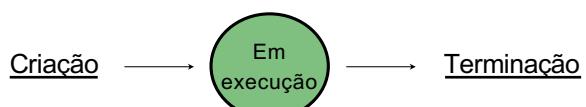
- Conveniência
 - Justiça
 - Redução dos tempos de resposta
 - Previsibilidade
 - ...
- Eficiência
 - Débito (*throughput*), transacções por segundo, ...
 - Maximização da utilização de CPU e outros recursos
 - Favorecer processos “bem comportados”, etc.

Sistemas Operativos 2020/2021

88

.88

Estados de um processo (i)



Sistemas Operativos 2020/2021

90

.90

Critérios de escalonamento

- IO-bound ou CPU-bound
- Interactivo ou não (batch, background)
- Urgência de resposta (e.g. tempo real)
- Comportamento recente (utilização de memória, CPU)
- Necessidade de periféricos especiais
- PAGOU para ir à frente dos outros...

Sistemas Operativos 2020/2021

89

.89

Processos em Unix

- Para criar um novo processo:
 - **fork**: cria um novo processo (a chamada ao sistema retorna “duas vezes”, uma para o pai e outra para o filho)
 - A partir daqui, ambos executam o mesmo programa
- Para executar outro programa
 - **exec**: substitui o programa do processo corrente por um novo programa
- Para terminar a execução
 - **exit**

Compare o **exec** com a invocação de uma função: são muito diferentes

Sistemas Operativos 2020/2021

91

.91

.20

fork/exec

```
pid = fork()
if (pid == 0) {
    /* Sou o filho */
    exec( novo programa )
} else {
    /* Sou o pai
       A Identificação do meu filho é colocada na variavel pid
    */
}
```

Sistemas Operativos 2020/2021

92

.92

fork'ing e exec'ing

- O padrão fork/exec é muito frequente (e.g. shell)
- Optimizações (a rever no capítulo de gestão de memória):
 - **copy on write**
 - Variante: **vfork**, não duplica o espaço de endereçamento; ambos os processos partilham o espaço de endereçamento e o pai é bloqueado até o filho terminar ou invocar o exec.

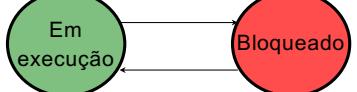
Sistemas Operativos 2020/2021

93

.93

Estados de um processo (ii)

Podemos para já admitir que durante a sua “vida” os processos passam por 2 estados:



Sistemas Operativos 2020/2021

94

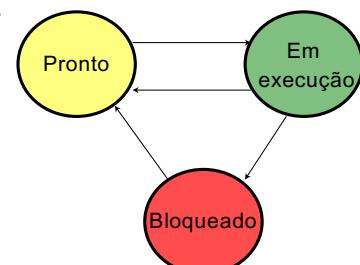
.94

Estados de um processo (iii)

Na prática, há mais processos não bloqueados do que CPUs

Surge uma fila de espera com processos Prontos a executar

Processos em execução podem ser desafectados



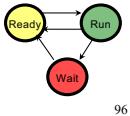
Sistemas Operativos 2020/2021

95

.95

Estados de um processo (iv)

- Em execução
 - Foi-lhe atribuído o/um CPU, executa o programa correspondente
- Bloqueado
 - O processo está logicamente impedido de prosseguir, e.g. porque lhe falta um recurso ou espera por evento
 - Do ponto de vista do SO, é uma transição **VOLUNTÁRIA!**
- Pronto a executar, aguarda escalonamento

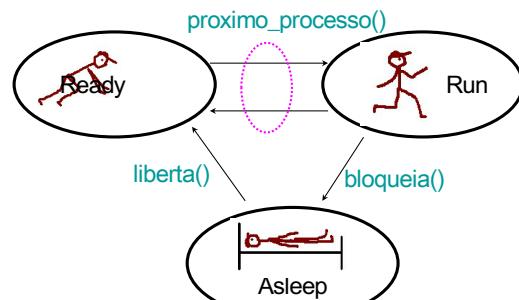


Sistemas Operativos 2020/2021

96

.96

Primitivas de despacho (i)



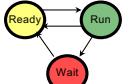
Sistemas Operativos 2020/2021

97

.97

Primitivas de despacho (ii)

- Bloqueia(evento)
 - Coloca **processo corrente** na fila de processos **parados** à espera deste “evento”
 - Invoca **próximo_processo()**
- Liberta(evento) ou liberta(processo,evento)
 - Se o **outro** processo não está à espera de mais nenhum evento, então coloca-o na lista de processos **prontos a executar**
 - Nesta altura pode invocar ou não **próximo_processo()**



Sistemas Operativos 2020/2021

98

.98

Primitivas de despacho (iii)

- Proximo_processo()
 - Seleciona um dos processos existentes na lista de processos prontos a executar, de acordo com a política de escalonamento
 - Executa a comutação de contexto
 - Salvaguarda contexto volátil do processo corrente
 - Carrega contexto do processo escolhido e regressa (executa o **return**)

Como o Stack Pointer foi mudado,
"regressa" para o **processo escolhido!**

Sistemas Operativos 2020/2021

99

.99

Principais decisões

- Qual o próximo processo?
- Quando começa a executar?
- Durante quanto tempo?

- Por outras palavras,

Há **desafectação forçada** ou não?

Sistemas Operativos 2020/2021

100

.100

Escalonamento de processos

- Quando, uma vez atribuído a um processo, o CPU nunca lhe é retirado então diz-se que o escalonamento é **cooperativo** (non-preemptive).
 - Exemplos: Windows 3.1, co-rotinas, `thread_yield()`
- Quando o CPU pode ser retirado a um processo ao fim do quantum ou porque surgiu outro de maior prioridade diz-se que o escalonamento é com **desafectação forçada** (preemptive)

Sistemas Operativos 2020/2021

101

.101

Escalonamento de processos

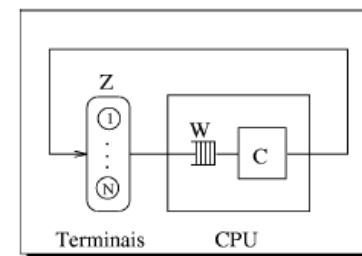
- Escalonamento **cooperativo** (non-preemptive).
 - “poor man’s approach to multitasking” ?
 - Sensível às variações de carga
- Escalonamento com **desafectação forçada**
 - Sistema “responde” melhor
 - Mas a comutação de contexto tem overhead

Sistemas Operativos 2020/2021

102

.102

Modelo de sistema interactivivo



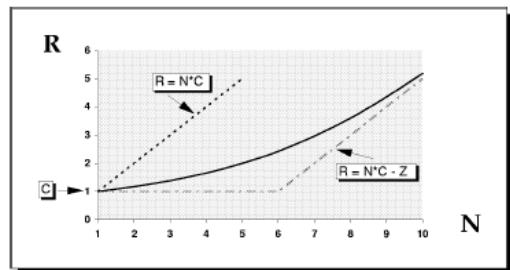
Z = Think time
 C = Service time
 W = Wait time
 N = Number of users

Sistemas Operativos 2020/2021

103

.103

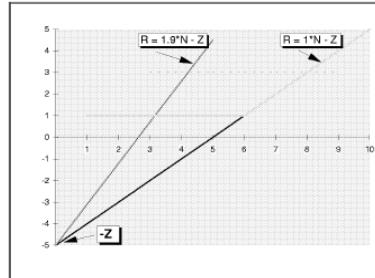
Tempo de Resposta (carga homogénea)



Sistemas Operativos 2020/2021

104

Tempo de Resposta (carga heterogénea)



Sistemas Operativos 2020/2021

105

Assuma-se agora que uma em cada 10 interacções é muito longa, 10 vezes maior.

Veja-se a degradação de tempos de resposta

Tempo de Resposta (carga heterogénea)

- Para evitar que as interacções longas monopolizem o CPU e aumentem o tempo de resposta das restantes deve usar-se desafectação forçada.
- Neste caso deve atribuir-se um quantum (ou time slice) para permitir a troca rápida de processos:
 - Interacções curtas terminam dentro dessa fatia de tempo, logo não são afectadas pela política de desafectação.
 - Interacções longas executam durante um quantum e a seguir o processo correspondente regressa ao estado de **Pronto a Executar**, dando a vez a outros processos. Mais tarde ser-lhe-á atribuído nova fatia de tempo, e sucessivamente até a interacção terminar.

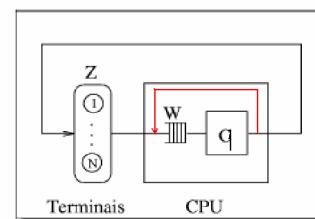
Sistemas Operativos 2020/2021

106

Duração da fatia de tempo

- Maioria das interacções deve “caber” num quantum
- $$R = W + C$$
- Se precisar de 2 passagens pelo CPU, $T_{Resposta}$ é quase o dobro!

$$R = W + q + W + c'$$



Sistemas Operativos 2020/2021

107

•106

•107

Escalonamento de processos

- Escalonadores de longo-prazo (segundos, minutos) e de curto-prazo (milisegundos)
- Processo CPU-bound: processo que faz pouco I/O mas que requer muito processamento
- Processo I/O-bound: processo que está frequentemente à espera de I/O.

Sistemas Operativos 2020/2021

108

.108

Escalonamento de processos

- Os processos prontos são seriados numa fila (*ready list*)
- A lista é uma lista ligada de apontadores para PCB's
- A lista poderá estar ordenada por prioridades de forma a dar um tratamento preferencial aos processos com maior prioridade

Sistemas Operativos 2020/2021

109

.109

Escalonamento de processos

- Quando um processo é escalonado, é retirado da *ready list* e posto a executar
- O processo pode “perder” o CPU por várias razões:
 - Aparece um processo com maior prioridade
 - Pedido de I/O (passa ao estado de bloqueado)
 - O *quantum* expira (passa ao estado de pronto)

Sistemas Operativos 2020/2021

110

.110

Escalonamento de processos

- Pretende-se maximizar a utilização do CPU tendo em atenção outras coisas importantes:
 - Tempo de resposta para aplicações interactivas
 - Utilização de dispositivos de I/O
 - Justiça na distribuição do tempo de CPU

Sistemas Operativos 2020/2021

111

.111

Escalonamento de processos

- A decisão de escalarar um processo pode ser tomada em diversas alturas:
 - Qdo um processo passa de a-executar a bloqueado
 - Qdo um processo passa de a-executar a pronto
 - Qdo se completa uma operação de I/O
 - Qdo um processo termina

Sistemas Operativos 2020/2021

112

.112

Escalonamento de processos

- Diferentes algoritmos de escalonamento visam objectivos diferentes:
 - Diminuir o tempo de resposta (reduzindo o tempo de espera para determinados processos)
 - Maximizar a utilização do CPU

Sistemas Operativos 2020/2021

113

.113

Escalonamento de processos

- Alguns algoritmos de escalonamento:
 - FCFS (First Come, First Served)
 - SJF (Shortest Job First)
 - SRTF (Shortest Remaining Time First)
 - Preemptive Priority Scheduling
 - RR (Round Robin)

Sistemas Operativos 2020/2021

114

.114

First Come, First Served (FCFS)

- A *ready list* é uma fila FIFO
- Os processos são colocados no fim da fila e selecionado o da frente
- Método cooperativo
- Nada apropriado para ambientes interactivos

Sistemas Operativos 2020/2021

115

.115

FCFS

- Tempo de espera com grandes flutuações dependendo da ordem de chegada e das características dos processos
- Sujeito ao “efeito de comboio”
- Uma vantagem óbvia do FCFS é sua simplicidade de implementação
- Parece haver vantagens em escalar os processos mais curtos à frente...

Sistemas Operativos 2020/2021

116

.116

SJF

- Não se consegue adivinhar o tempo de processamento dos processos
- Apenas se podem fazer estimativas
- Usa uma combinação de tempos reais e suas estimativas para fazer futuras previsões.

Sistemas Operativos 2020/2021

118

.118

SJF (Shortest Job First)

- A ideia é escalar sempre o processo mais curto primeiro
- Possibilidades:
 - Desafectação forçada (SRTF) - interrompe o processo em execução se aparecer um mais curto
 - Cooperativo – aguardar pela terminação do processo em execução mesmo na presença de um processo recente mais curto

Sistemas Operativos 2020/2021

117

.117

Preemptive Priority

- Associa uma prioridade (geralmente um inteiro) a cada processo.
- A *ready queue* é uma fila seriada por prioridades.
- Escalona sempre o processo na frente da fila.
- Se aparece um processo com maior prioridade do que o que está a executar faz a troca dos processos

Sistemas Operativos 2020/2021

119

.119

Preemptive Priority

- Problema: starvation
- Uma solução: envelhecimento – aumenta a prioridade dos processos pouco a pouco de forma a que inevitavelmente executem e terminem.

Sistemas Operativos 2020/2021

120

.120

RR

- Se o quantum for (muito) grande o RR tende a comportar-se como o FCFS
- Se o quantum for (muito) pequeno então o overhead de mudanças de contexto tende a dominar degradando os níveis de utilização de CPU
- Tem um tempo de resposta melhor que o SJF (o quantum “é” normalmente o SJ)

Sistemas Operativos 2020/2021

122

.122

RR (Round Robin)

- Dá a cada processo um intervalo de tempo fixo de CPU de cada vez
- Quando um processo esgota o seu quanto retira-o do CPU e volta a colocá-lo no fim da fila.
- Ignorando os overheads do escalonamento, cada um dos n processos CPU-bound terá $(1/n)$ do tempo disponível de CPU

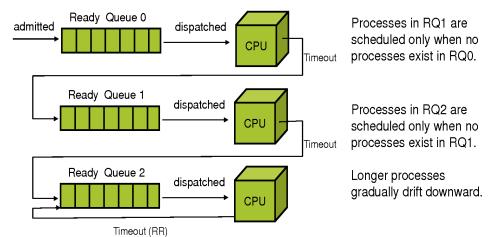
Sistemas Operativos 2020/2021

121

.121

Multilevel Feedback Queue Scheduling

- Another way to put a preference on short-lived processes
 - Penalize processes that have been running longer.
- Preemptive



Sistemas Operativos 2020/2021

123

.123

Níveis de escalonamento

- Uma vez que há inúmeros critérios de escalonamento (ie muitas variáveis a considerar para saber qual o “melhor” process, é habitual dividir a questão...)
- 2 ou 3 níveis:
 - Nível 0 --- só despacha o que está em RAM
 - Nível 1 --- Decide que processos são multiprogramados
 - Nível 2 --- Não deixa criar processos nas horas de ponta

Sistemas Operativos 2020/2021

124

.124

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos 2020/2021

125

.125

Paralelismo versus concorrência

- Execução paralela => hardware
 - Vários computadores, eg. cluster
 - Multiprocessamento, eg. um processo em cada CPU
 - Hyper-threading / Dual core
 - CPU a executar instruções em paralelo com a operação de disco (que se manifesta através de uma **interrupção**, com prioridade superior à actividade no CPU)

Sistemas Operativos 2020/2021

.126

Em geral...

- Seja num ambiente de paralelismo real ou simulado pelo SO
- Existem várias “actividades” em execução “paralela”
- Normalmente essas actividades **não são independentes**, há **interacção** entre elas
- Este facto que levanta algumas questões...

Sistemas Operativos 2020/2021

.127

Papel do SO

- O sistema operativo tem a responsabilidade de
 - Fornecer **mecanismos** que permitam a criação e interacção entre processos
 - Gerir a execução concorrente (ou em paralelo), de acordo com as **políticas** definidas pelo administrador de sistemas

Sistemas Operativos 2020/2021

.128

Cooperação e Competição

- Há normalmente 2 padrões de interacção entre processos:
 - Cooperam entre si para atingir um resultado comum
 - Processo inicia transferência do disco e aguarda passivamente que esta termine
 - O disco interrompe e a rotina de tratamento avisa que o processo já pode prosseguir
 - Competem por recursos (CPU, memória, impressora, etc.)
 - Há necessidade de forçar 1 ou mais processos a esperar até que o recurso pretendido fique disponível e lhes seja atribuído (seja a sua vez).

Sistemas Operativos 2020/2021

.129

Sincronização

- Nos dois casos anteriores estamos perante uma questão de sincronização:
 - Cooperação (espera até que evento seja assinalado)
 - Competição (espera até que recurso esteja disponível)
- **Sincronizar** é fazer esperar, atrasar deliberadamente um processo até que determinado evento surja
 - Convém que a espera seja passiva.

Sistemas Operativos 2020/2021

.130

Comunicação

- Para haver interacção tem de haver de **comunicação**:
 - Processos podem requisitar ao SO memória partilhada, podem escrever/ler ficheiros comuns, enviar/receber *mensagens* através de “canais”, pipelines, sockets, etc.
 - Threads do mesmo processo podem comunicar através de variáveis globais
- A comunicação pode ser tão simples como o assinalar a ocorrência de um evento (de sincronização), ou pode transportar dados.

Sistemas Operativos 2020/2021

.131

Exemplos de concorrência

- Inspirados na vida real
 - Diálogo cliente/bar(wo)men
 - Actualização do saldo de uma conta bancária
 - Entrada num parque de estacionamento ou sala de cinema sem marcação de lugar
- São exemplos, respectivamente, de
 - Sincronização
 - Exclusão mútua (caso particular em que capacidade = 1)
 - Controlo de capacidade

Sistemas Operativos 2020/2021

.132

Exemplo: num festival...

- Que algoritmo sugere para controlar a concorrência de largas dezenas de clientes ansiosos por retirarem um copo de cerveja do balcão?
- Que algoritmo sugere seja usado pela pessoa ou pessoas que estão a encher os copos e a colocá-los no balcão?

Sistemas Operativos 2020/2021

.134

Grupo de Sistemas Distribuídos

Na realidade...

- Os três exemplos anteriores são casos de **Sincronização**, pois em todos poderá ser necessário esperar até que se verifique determinada condição:
 - Cliente: existir pelo menos um copo no balcão
 - O recurso estar livre, não haver outro processo a actualizar “esse” registo do ficheiro
 - Sala de cinema ou parque de estacionamento não estar totalmente cheios.
- Como veremos a seguir, conduzem a 3 padrões de soluções

Sistemas Operativos 2020/2021

.133

Grupo de Sistemas Distribuídos

Não basta dizer...

- **Cliente/servidor?**
 - Já temos, não?
 - Clientes pedem, barman/servidor responde?
- **Arranja-se uma fila**
 - Onde? Só uma? Porquê? Como a implementa?
- **Lista ligada?**
 - De quê? De copos, clientes ou barmen? Dos 3???



Sistemas Operativos 2020/2021

.135

Onde está a espera?

- Uma lista é apenas uma estrutura de dados, quando muito poderia servir para comunicação entre barman e clientes (balcão)
- E depois de inserir um copo nessa fila, como/quem espera por um cliente? Se a fila for de clientes, como esperam pelo seu copo?
- É preciso perceber a diferença entre **comunicação** e **sincronização**!

Sistemas Operativos 2020/2021

.136

Arquitectura da solução

- Que processos temos, quem são os componentes activos que executam algoritmos?
 - processos Cliente e processos Barman
- Como comunicam através do “balcão”?
 - variável/array/lista/ficheiro de copos?
- Como sincronizam?
 - Cliente espera por copo, barman pousa copo

Sistemas Operativos 2020/2021

.138

Vamos recapitular

- **Comunicação:** escrita/leitura de dados passados através de vários mecanismos (ficheiros, memória partilhada...)
- **Sincronização:** coordenação de eventos entre processos (usando semáforos, variáveis de condição, locks, etc.), designadamente para garantir uma ordem na ocorrência desses eventos -- só leio depois de tu escreveres
- Há mecanismos que tratam dos dois aspectos: pipelines, mensagens, sockets...

Sistemas Operativos 2020/2021

.137

Sincronização com variáveis partilhadas

CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */  
while (n_copos == 0);  
  
n_copos = n_copos - 1;  
tirar_copo_do_balcao();  
...
```

Consegue perceber a ideia ?

Sistemas Operativos 2020/2021

.139

Sincronização com variáveis partilhadas

CLIENTE

```
/* aguarda por copo cheio */
while (n_copos == 0);

n_copos = n_copos - 1;
tirar_copo_do_balcao();
...
```

BARMAN

```
/* aguarda vaga no balcão*/
while (n_copos == MAX);

n_copos = n_copos + 1;
pousar_copo_no_balcao();
...
```

Acha que este pseudo-código está correcto?

Sistemas Operativos 2020/2021

.140

Infelizmente não está...

- Não garante que não haja copos partidos (!?)
- Nem clientes a pegarem no mesmo copo (!?)
- É muito ineficiente
 - esperas activas desperdiçam tempo de CPU
 - precisamos de primitivas capazes de *adormecer/acordar* processos

Sistemas Operativos 2020/2021

.141

Mecanismos de sincronização

- Existem muitas propostas, sendo o seu estudo diferido para unidades curriculares como programação concorrente, sistemas distribuídos e computação paralela.
- Umas são genéricas (semáforos, mensagens), outras vocacionadas para casos particulares nomeadamente
 - exclusão mútua (e.g. mutexes, fcntl, Linux leases, métodos *synchronized*, etc.),
 - para serem usadas dentro do kernel do SO (sleep/wakeup, spin locks)
 - em ambientes multithreaded (wait/signal/notify)...

Sistemas Operativos 2020/2021

.142

Mecanismos de sincronização

- Em sistemas operativos explora-se a partilha entre processos de estado global tipicamente guardado em ficheiros e, por outro lado, o encapsulamento desse estado em processo(s) gestor(es).
- Nas aulas teóricas usam-se semáforos como introdução e treino mental de controlo de concorrência, enquanto que nas práticas se usam pipes e fifos, que combinam comunicação e sincronização no mesmo mecanismo.

Sistemas Operativos 2020/2021

.143

Semáforos

- Servem para resolver problemas de sincronização, exclusão mútua e controlo de capacidade
- Com apenas 3 operações*:
 - Inicialização :
$$s = \text{cria_semáforo}(\text{valor_inicial})$$
 - P (s) ou Down (s)
 - V (s) ou Up (s)

* Na realidade há mais operações

Sistemas Operativos 2020/2021

.144

Semáforos

```
P(s){
  s = s - 1
  if (s < 0)
    then bloqueia("S")
}
```

Quando $s < 0$, o seu valor absoluto $|s|$ conta o número de processos bloqueados no P()

Sistemas Operativos 2020/2021

```
V(s){
  s = s + 1
  if (s ≤ 0)
    then liberta("S")
}
```

Semáforos

- Imagine uma caixa com bolas e as operações:
 - P: Se há bola(s) na caixa, retiro uma e continuo, senão aguardo (passivamente) que alguém deposite uma
 - V: Devolvo a bola à caixa; se há alguém bloqueado à espera, acordo-o

(P = PÁRA e V = VAI; podem bloquear e libertar processos,respectiv.)

Sistemas Operativos 2020/2021

.145

Semáforos

- Bloquear significa retirar o processo corrente do estado RUN e inseri-lo na fila “S”
- Libertar significa escolher um processo da fila “S” e inseri-lo na fila READY
- Normalmente essa escolha é FIFO
- **Mas pode não ser...**

Sistemas Operativos 2020/2021

.146

.34

Sincronização com semáforos

- Para cada evento de sincronização, é criado um semáforo com **valor inicial zero**
- Um processo espera *passivamente* pelo evento, e só avança depois do evento acontecer
 $P(s)$ /* se caixa vazia, espera; senão evento já ocorreu */
- Outro processo assinala ocorrência do evento
 $V(s)$ /* se ninguém à espera, deixa bola na caixa para indicar que o evento já ocorreu*/

Sistemas Operativos 2020/2021

.148

CLIENTE

/* aguarda por copo cheio */

$P(copo)$

tirar_copo_do_balcao();

BARMAN

pousar_copo_no_balcao();

/* avisa que há +1 copo cheio */

$V(copo)$

....

Falta inicializar o semáforo copo a Zero

Sistemas Operativos 2020/2021

.149

Capacidade

- Se a capacidade do balcão fosse de apenas 1 copo, Cliente e Barman executariam à vez. (Seria má estratégia... porquê?)
- Para aguardar por espaço no balcão, usa-se um semáforo inicializado à capacidade do recurso partilhado (e não a Zero)
- É um caso particular de sincronização: só bloqueia se o recurso estiver esgotado naquele instante

Sistemas Operativos 2020/2021

.150

CLIENTE

/* aguarda por copo cheio */

$P(copo)$

tirar_copo_do_balcao();

/* avisa que há vaga */

$V(espaço)$

BARMAN

/* aguarda por vaga no balcão */

$P(espaço)$

pousar_copo_no_balcao();

/* avisa que há +1 copo cheio */

$V(copo)$

....

Falta inicializar o semáforo copo a Zero e espaço à capacidade do balcão

Sistemas Operativos 2020/2021

.151

Exclusão mútua com semáforos

- Para cada região crítica, é criado um semáforo com valor inicial igual a **1 (um)**
- No início da região crítica
 $P(s)$ /* só avança se região está livre */
- No fim da região crítica
 $V(s)$ /* assinala que a região está livre */

Sistemas Operativos 2020/2021

.152

Produtor/consumidor com semáforos

- Agora que resolvemos os aspectos de sincronização
- E já sabemos a “receita” da exclusão mútua
- É altura de reparar que o balcão é uma variável partilhada pelos vários processos (M barmen + N clientes)

=>Falta garantir **exclusão mútua** no acesso ao balcão!

Sistemas Operativos 2020/2021

.154

Grupo de Sistemas Distribuídos

“Receitas” com semáforos

- Sabendo que **valor inicial + #V() ≥ #P()** concluídos
 - Sincronização:
valor inicial = 0
 - Exclusão mútua:
valor inicial = 1
 - Capacidade:
valor inicial = N = capacidade do recurso

Sistemas Operativos 2020/2021

.153

Grupo de Sistemas Distribuídos

Produtor(es)

```
P(espaço);
P(mutex);
Buf[p++ % N] = px;
V(mutex);
V(copo);
```

Consumidor(es)

```
P(copo)
P(mutex);
cx = Buf[c++ % N];
V(mutex);
V(espaço)
```

Falta inicializar os semáforos espaço a N, copo a ZERO, mutex a UM, e as variáveis p e c a ZERO.

Sistemas Operativos 2020/2021

.155

E não temos cliente/servidor?

- O que aqui temos são dois conjuntos de processos, uns a “produzem” dados e outros a “consumem” esses dados, de forma coordenada, eficiente e justa (ordem FIFO)
- Os algoritmos tratam apenas da passagem de dados entre produtores/barmen e consumidores/clientes/utentes. Mas poderão vir a ser usados numa arquitectura cliente/servidor!
- E antes de chegarmos a essa arquitectura, há que responder a:
 - *Que mal teria deixar os utentes/clientes servirem-se a eles próprios? Porque há um balcão e gente a servir?*

Sistemas Operativos 2020/2021

.156

E não há...

- Sistemas operativos com arquitectura C/S?
 - Há! E desde os anos 80... tipicamente com um micro-kernel que gere escalonamento e diálogo com periféricos e um conjunto de processos “gestores” de recursos (e.g. o MACH de Carnegie Mellon University)
 - Curiosidade: dois dos investigadores principais do MACH mudaram-se em meados de 90 para a Microsoft e Apple, presumivelmente influenciando a evolução para Windows NT e MAC OSX...

Sistemas Operativos 2020/2021

.158

Self-scheduling vs Client/Server

- As chamadas ao sistema são executadas dentro do kernel mas em ambiente protegido e controlado
- Na arquitectura cliente/servidor há separação de processos:
 - o cliente nunca tem acesso directo ao estado do servidor nem AOS RECURSOS que este gere: isto implica permissões diferentes nos ficheiros e periféricos!
 - cliente faz o pedido e aguarda pela resposta: são precisos mecanismos de comunicação e sincronização, bem como de autenticação de clientes

Sistemas Operativos 2020/2021

.157

Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos 2020/2021

159

.159

Gestão de Memória

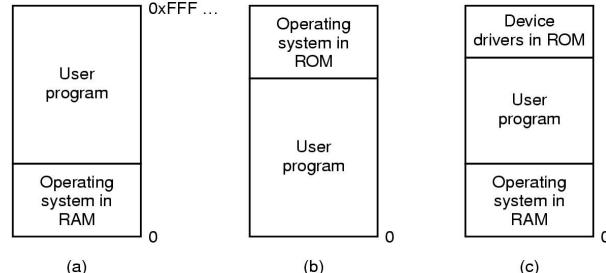
- Idealmente a memória seria:
 - grande
 - rápida
 - não volátil
- Hierarquia da memória
 - Pouca memória rápida, cara – cache
 - Velocidade média, custo aceitável – memória principal
 - Gigabytes de memória lenta, discos baratos
- O gestor de memória gera esta hierarquia da memória

Sistemas Operativos 2020/2021

160

•160

Monoprogramação



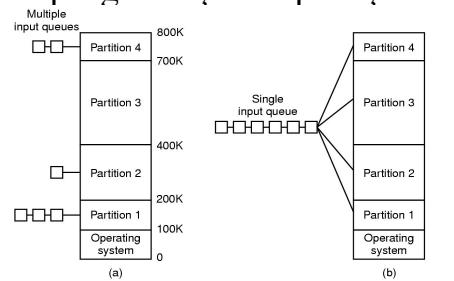
Três formas de organizar a memória com SO e apenas um processo

Sistemas Operativos 2020/2021

161

•161

Multiprogramação c/ partições fixas



Filas separadas para cada partição

Fila única

Sistemas Operativos 2020/2021

162

•162

Recolocação e Protecção

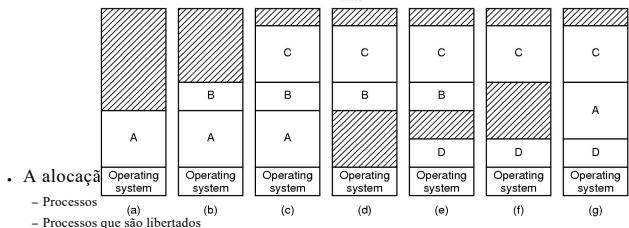
- Incerteza sobre o endereço de carregamento do programa
 - Endereço de variáveis, e das rotinas não pode ser absoluto
 - Um processo não se pode sobrepor a outro processo
- Uso de valores de base e limites
 - Endereços adicionados à base para obter endereços físicos
 - Endereços superiores ao limite são erros

Sistemas Operativos 2020/2021

163

•163

Swapping

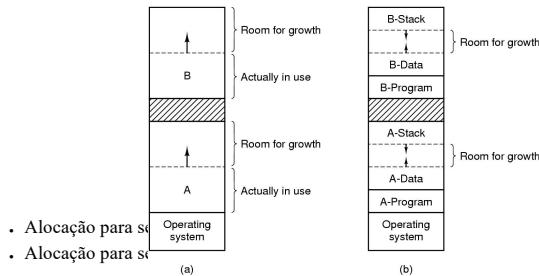


Sistemas Operativos 2020/2021

164

•164

Swapping

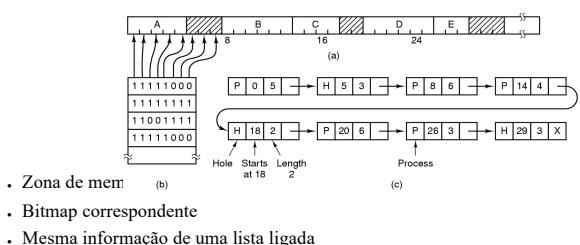


Sistemas Operativos 2020/2021

165

•165

Gestão de memória com bitmaps

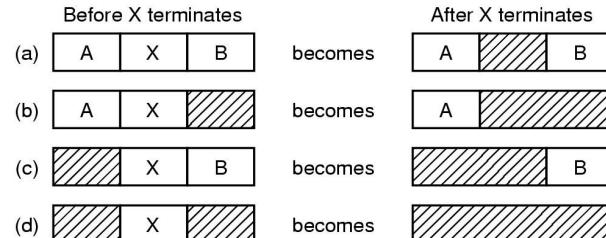


Sistemas Operativos 2020/2021

166

•166

Gestão de memória listas ligadas



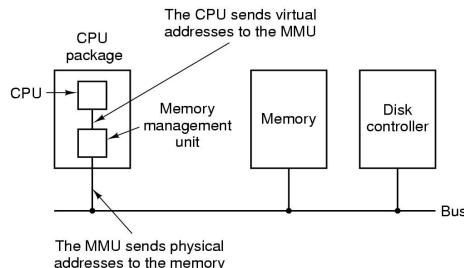
Quatro cenários para a terminação do processo X

Sistemas Operativos 2020/2021

167

•167

Memória Virtual



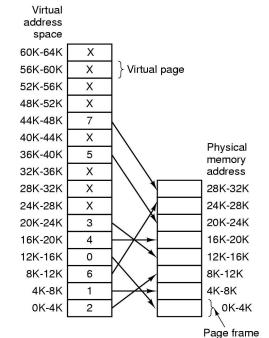
Sistemas Operativos 2020/2021

168

•168

Memória Virtual

A relação entre endereços virtuais e físicos é dada por uma tabela

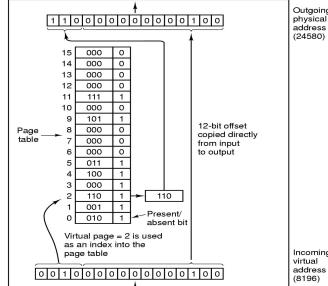


Sistemas Operativos 2020/2021

169

•169

Memória Virtual



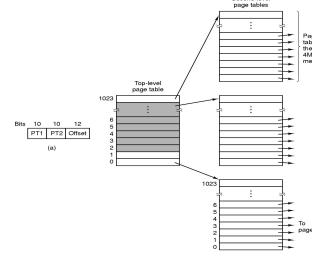
Operação da MMU com 16 páginas de 4 KB

Sistemas Operativos 2020/2021

170

•170

Memória Virtual



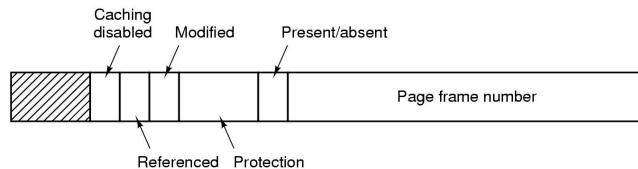
- Endereço de 32 bit c/ 2 campos para tabelas de páginas
- Tabelas de páginas de 2 níveis

Sistemas Operativos 2020/2021

171

•171

Memória Virtual



Entrada típica da tabela de páginas

Sistemas Operativos 2020/2021

172

.172

Memória Virtual

- TLBs – Translation Lookaside Buffers – para melhorar o desempenho

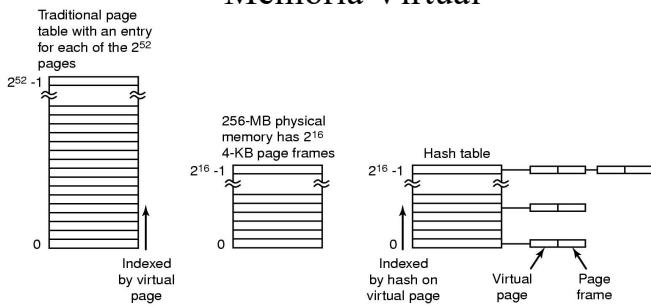
Valid	Virtual page	Modified	Protection	Page frame
1	140	1	RW	31
1	20	0	R X	38
1	130	1	RW	29
1	129	1	RW	62
1	19	0	R X	50
1	21	0	R X	45
1	860	1	RW	14
1	861	1	RW	75

Sistemas Operativos 2020/2021

173

.173

Memória Virtual



Sistemas Operativos 2020/2021

174

.174

Aspectos de Implementação

Tratamento da Page Fault

1. MMU interrompe o processador.
2. Kernel salvaguarda os registos e invoca RTI
3. SO determina a página virtual necessária
4. SO valida endereço e procura/cria page frame
 - Page in, zero fill, in transit...

Sistemas Operativos 2020/2021

175

.175

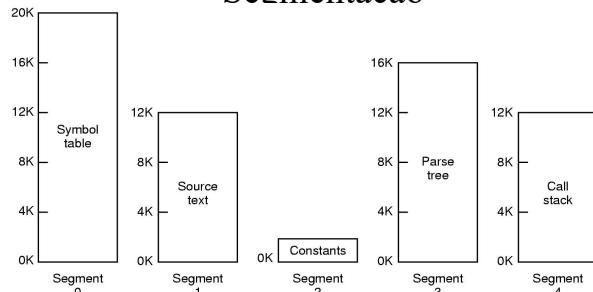
Aspectos de Implementação

O SO intervém 4 vezes na paginação:

1. Criação do processo
 - Determinar o tamanho do programa
 - Criar a tabela de páginas
2. Execução do processo
 - Re-inicializar a MMU para o novo processo
 - Limpar a TLB
3. Na Page Fault
 - Determinar o endereço virtual causador da page fault
 - Colocar a página em memória, se endereço for legal
4. Fim da execução do processo
 - Libertar a tabela de páginas e as páginas associadas

•176

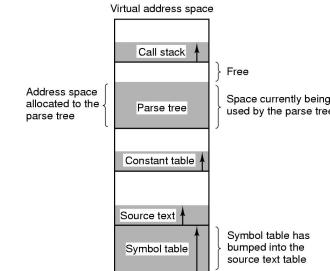
Segmentação



- Cada tabela pode crescer ou encolher independentemente

•178

Segmentação



- Espaço de endereçamento único com tabelas crescentes
- Uma tabela pode sobrepor-se a outra

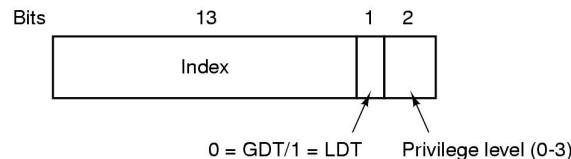
•177

Segmentação vs Paginação

	Paginação	Segmentação
Transparente para o programador	Sim	Não
Número de espaços de endereçamento	1	Vários
O espaço de endereçamento pode ultrapassar o tamanho da memória física	Sim	Sim
O código e dados podem ser distintos e protegidos separadamente	Não	Sim
Tabelas de tamanho variável podem ser geridas facilmente	Não	Sim
A partilha de código é facilitada	Não	Sim

•179

Segmentação com Paginação: Pentium

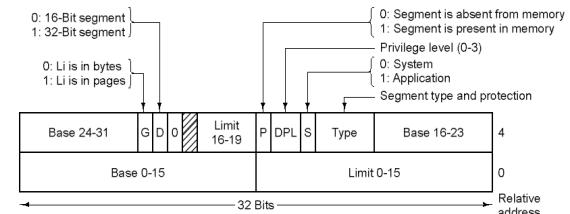


Um *selector* no Pentium

Sistemas Operativos 2020/2021

180

Segmentação com Paginação: Pentium

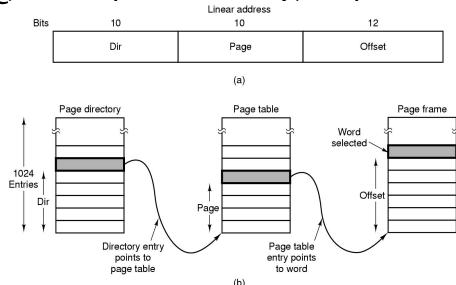


Descriptor de segmento de código

Sistemas Operativos 2020/2021

181

Segmentação com Paginação: Pentium



Mapeamento de um endereço linear para o endereço físico

Sistemas Operativos 2020/2021

182

.182

Rejeição de páginas

- Um *page fault* leva:
 - A decidir que página em memória rejeitar
 - A criar espaço para uma nova página
- Uma página modificada tem que ser escrita
 - Uma não modificada é logo sobreposta
- Convém não rejeitar uma página frequentemente usada
 - Pois provavelmente terá de ser carregada a seguir

Sistemas Operativos 2020/2021

183

.183

Rejeição de páginas

- Rejeitar a página que será usada mais tarde
 - Inexequível
- Aproximado por estimativa
 - Histórico de execuções anteriores do processo
 - Também isto é impraticável

Sistemas Operativos 2020/2021

184

.184

Rejeição de páginas NRU

- Cada página tem 1 bit de acesso e 1 de escrita
- As páginas são assim classificadas:
 1. Não acedida, não modificada
 2. Não acedida, modificada
 3. Acedida, não modificada
 4. Acedida, modificada

NRU remove a página com menor “ranking”

Sistemas Operativos 2020/2021

185

.185

Rejeição de páginas FIFO

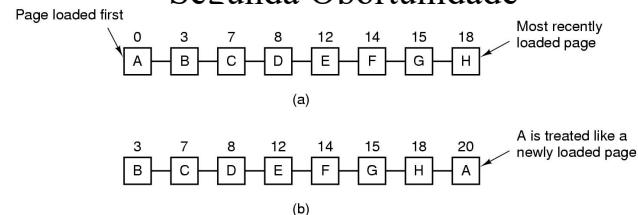
- Mantém uma lista das páginas em memória
 - Segundo a ordem em que foram carregadas
- A página no topo da lista é rejeitada
- Desvantagem
 - A página há mais tempo em memória poderá ser a mais usada

Sistemas Operativos 2020/2021

186

.186

Segunda Oportunidade



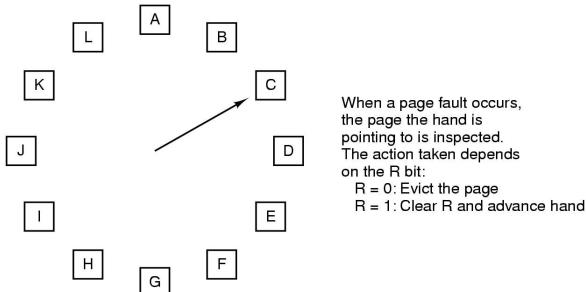
- Ordem FIFO
- Se a página mais antiga tiver sido acedida, não é rejeitada
- É limpo o bit de acesso e é colocada no fim da fila

Sistemas Operativos 2020/2021

187

.187

Rejeição de páginas: Relógio



Sistemas Operativos 2020/2021

188

Rejeição de páginas LRU

- Assume que as páginas usadas recentemente serão usadas em breve
 - Rejeitar a página não usada há mais tempo
- Tem que gerir uma lista de páginas
 - Ordenada pela mais recente
 - Actualizada em todos os acessos à memória!
- Alternativamente manter um contador em cada entrada da tabela de páginas
 - Escolher a página com o menor valor
 - Periodicamente zerar o contador

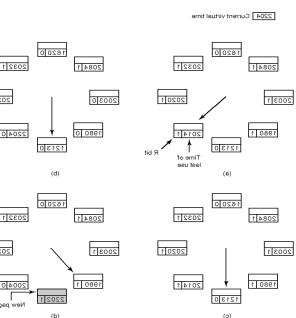
Sistemas Operativos 2020/2021

189

.188

.189

WorkingSetClock



Sistemas Operativos 2020/2021

190

.190

Rejeição de páginas

Algoritmo	Características
Óptimo	Inexequível. Padrão para comparação.
NRU (não usado recentemente)	Aproximação grosseira.
FIFO	Leva à rejeição de páginas importantes.
Segunda Oportunidade	Melhoramento do FIFO.
Relógio	Solução realista.
LRU (menos recentemente usado)	Muito bom. Implementação exacta difícil.
NFU (menos frequentemente usado)	Aproximação grosseira do LRU.
Aging (envelhecimento)	Aproximação boa e eficiente do LRU.
Working set	Implementação ineficiente.
WSClock	Aproximação boa e eficiente.

Sistemas Operativos 2020/2021

191

.191

Anomalia de Belady

All pages frames initially empty													
Youngest page	0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4	
Oldest page	0	1	2	3	0	1	4	1	4	4	2	3	3
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	9 Page faults
(a)													

All pages frames initially empty													
Youngest page	0	1	2	3	3	3	4	0	1	2	3	4	
Oldest page	0	1	2	2	2	3	4	0	1	2	3		
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	10 Page faults
(b)													

- FIFO com 3 page frames
- FIFO com 4 page frames
- Os P's indicam ocorrência de page faults

.192

Sistemas Paginados

- Aspectos de Concepção de
 - Alocação local e global
 - Controlo de carga / thrashing
 - Tamanho das páginas

.193

Alocacão Local e Global

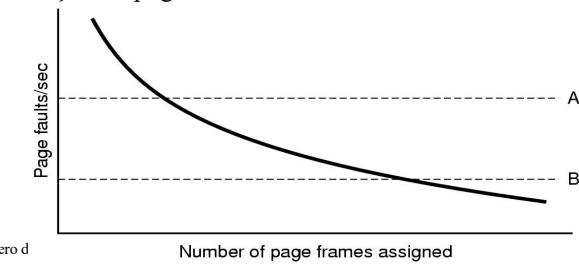
Age					
A0	10	A0	A1	A2	A3
A1	7	A1	A2	A3	A4
A2	5	A2	A3	A4	(A5)
A3	4	A3	A4	(A5)	A6
A4	6	A4	(A5)	(A6)	B0
A5	3	(A5)	(A6)	B0	B1
B0	9	B0	B1	B2	B3
B1	4	B1	B2	B3	B4
B2	6	B2	B3	B4	B5
B3	2	B3	B4	B5	B6
B4	5	B4	B5	B6	C1
B5	6	B5	B6	C1	C2
B6	12	B6	C1	C2	C3
C1	3	C1	C2	C3	
C2	5	C2	C3		
C3	6	C3			

(a) Config. original (b) Subst. local (c) Subst. global

.194

Alocacão Local e Global

- Alocacão de páginas Local e Global



.195

Controlo de carga / thrashing

- Apesar de um bom desenho, pode ainda ocorrer **thrashing**
- Quando a Frequência de Page Faults indica que:
 - Alguns processos precisam de mais memória central
 - Mas nenhum pode ceder parte da memória que tem
- Solução :
 - Reducir o número de processos que competem por memória
 - Passar um ou mais processos para disco e atribuir as páginas que lhes estavam atribuídas
 - Rever o grau de multiprogramação

Sistemas Operativos 2020/2021

196

.196

Tamanho das páginas

Páginas pequenas

- Vantagens
 - Menos fragmentação interna
 - Melhor adequação a várias estruturas de dados e código
 - Menos partes de programas não usados em memória
- Desvantagens
 - Mais páginas, tabelas de páginas maiores

Sistemas Operativos 2020/2021

197

.197

Tamanho das páginas

- Overhead estimado:
- Em que
 - s = tamanho médio dos processos em bytes
 - p = tamanho das páginas
 - e = entrada na tabela de páginas

$$\text{overhead} = \frac{s \cdot e}{p} + \frac{p}{2}$$

Espaço da tabela de páginas

Fragmentação interna

Valor óptimo quando

$$p = \sqrt{2se}$$

Sistemas Operativos 2020/2021

198

.198

Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos 2020/2021

199

.199

Hardware de E/S

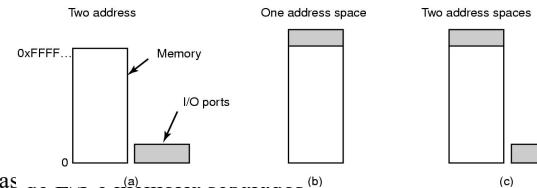
Device	Data rate
Keyboard	10 bytes/sec
Mouse	100 bytes/sec
56K modem	7 KB/sec
Telephone channel	8 KB/sec
Digital lines	16 KB/sec
Laser printer	100 KB/sec
Scanner	400 KB/sec
Classic Ethernet	1.25 MB/sec
USB (Universal Serial Bus)	1.5 MB/sec
Digital camcorder	4 MB/sec
IDE disk	5 MB/sec
40x CD-ROM	6 MB/sec
Fast Ethernet	12.5 MB/sec
ISA bus	16.7 MB/sec
EIDE (ATA-2) disk	32 MB/sec
FireWire (IEEE 1394)	50 MB/sec
XGA Monitor	60 MB/sec
SONET OC-12 network	78 MB/sec
SCSI Ultra 2 disk	80 MB/sec
Gigabit Ethernet	125 MB/sec
Ultrium tape	320 MB/sec
PCI bus	528 MB/sec
Sun Gigaplane XB backplane	20 GB/sec

Sistemas Operativos 2020/2021

200

.200

E/S mapeado em memória



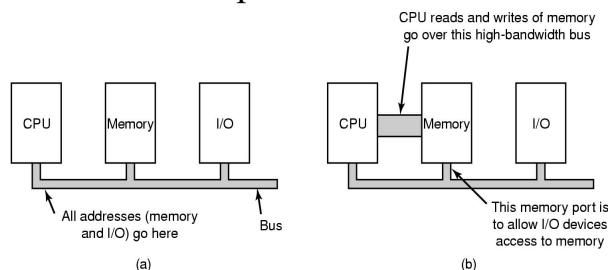
- Portas
- E/S mapeado em memória
- Híbrido

Sistemas Operativos 2020/2021

201

.201

E/S mapeado em memória

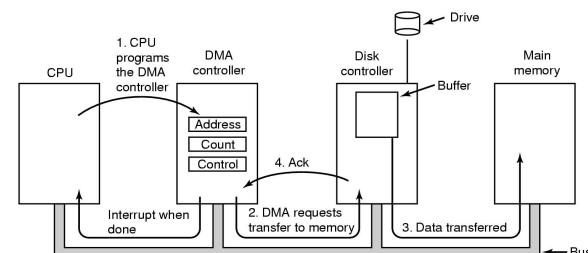


Sistemas Operativos 2020/2021

202

.202

Memória de Acesso Directo (DMA)

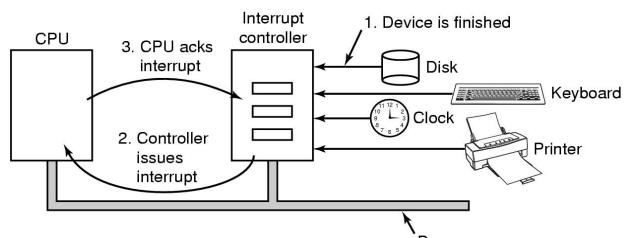


Sistemas Operativos 2020/2021

203

.203

Interrupções



Sistemas Operativos 2020/2021

204

.204

Características do Software de E/S

- Independência de dispositivos
 - Programas podem aceder a qualquer dispositivo através de abstracções, sem que o tenham de especificar à priori.
- Uniformização de nomes
 - Pomes de ficheiros e dispositivos independentes da máquina
- Tratamento de erros
 - Tão perto do hardware quanto possível

Sistemas Operativos 2020/2021

205

.205

Objectivos do Software de E/S

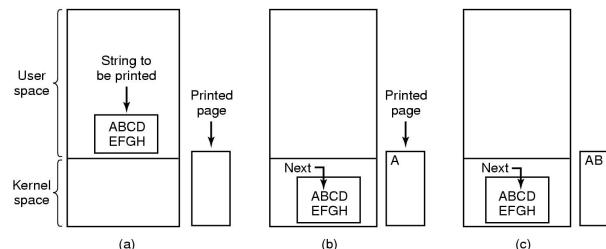
- Transferências síncronas e assíncronas
 - chamadas bloqueantes vs. interrupções
- Armazenamento (buffering)
 - Armazenamento e cache a vários níveis
- Dispositivos partilhados vs. dedicados

Sistemas Operativos 2020/2021

206

.206

E/S programado



Fases na impressão de uma string

Sistemas Operativos 2020/2021

207

.207

E/S programado

```
copy_from_user(buffer, p, count);           /* p is the kernel buffer */
for (i = 0; i < count; i++) {                /* loop on every character */
    while (*printer_status_reg != READY);   /* loop until ready */
    *printer_data_register = p[i];          /* output one character */
}
return_to_user();
```

Escrita de uma string para a impressora usando E/S
programado

Sistemas Operativos 2020/2021

208

E/S por interrupções

```
copy_from_user(buffer, p, count);
enable_interrupts();
while (*printer_status_reg != READY);
*printer_data_register = p[0];
scheduler();
if (count == 0) {
    unblock_user();
} else {
    *printer_data_register = p[i];
    count = count - 1;
    i = i + 1;
}
acknowledge_interrupt();
return_from_interrupt();
```

(a)

(b)

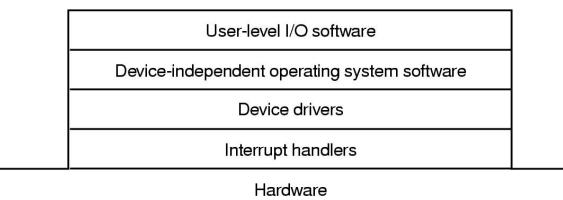
Escrita de uma string para a impressora usando E/S por interrupções

Sistemas Operativos 2020/2021

209

.208

Níveis do software de E/S



Sistemas Operativos 2020/2021

211

Sistemas Operativos 2020/2021

210

.210

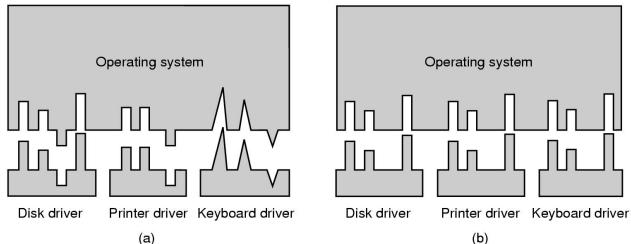
Operação de E/S com DMA

```
copy_from_user(buffer, p, count);
set_up_DMA_controller();
scheduler();
acknowledge_interrupt();
unblock_user();
return_from_interrupt();
```

(a)

(b)

E/S independente do dispositivo



Sem interface standard

Com interface standard

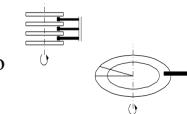
Sistemas Operativos 2020/2021

212

.212

Discos

- O tempo necessário para aceder a um bloco é determinado por três factores:
 - Tempo de procura (posicionamento na pista)
 - Tempo de rotação do disco (posicionamento no sector)
 - Tempo de transferência
- O tempo de procura (seek) é dominante

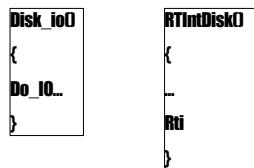


Sistemas Operativos 2020/2021

213

Escalonamento de pedidos de transferência

- FIFO
- SSTF
- Elevator
- Scan circular



Consegue imaginar os algoritmos?

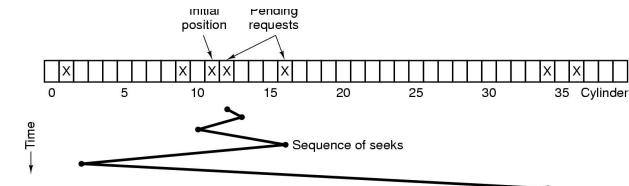
Como bloquear um processo até que chegue a vez do seu pedido?

Sistemas Operativos 2020/2021

214

.214

Escalonamento de pedidos a disco



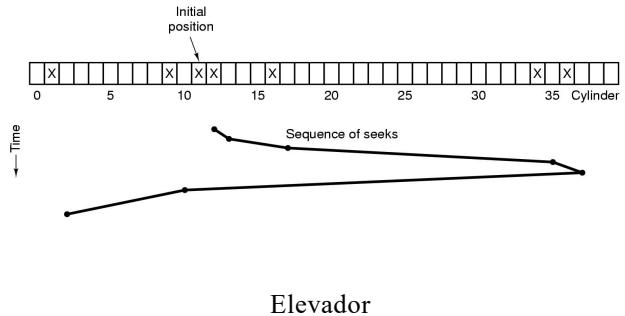
Shortest Seek First (SSF)

Sistemas Operativos 2020/2021

215

.215

Escalonamento de pedidos a disco

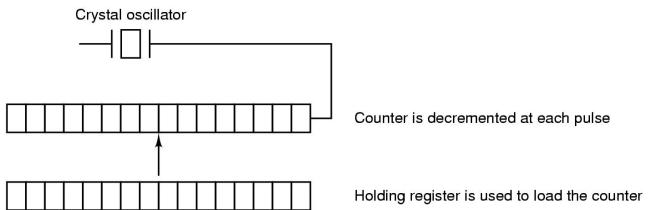


Sistemas Operativos 2020/2021

216

.216

Relógios



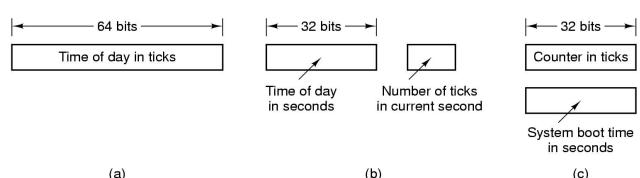
Um relógio programável

Sistemas Operativos 2020/2021

217

.217

Relógios



Três formas de manter a hora actual

Sistemas Operativos 2020/2021

218

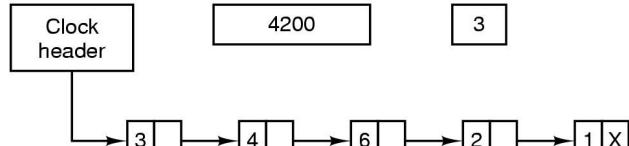
.218

Relógios

Current time Next signal

4200

3



Simulação de vários contadores com um único relógio

Sistemas Operativos 2020/2021

219

.219

Programa

- Introdução
- Gestão de processos
- Noções de programação concorrente
- Gestão de memória
- Gestão de periféricos
- Gestão de ficheiros

Sistemas Operativos 2020/2021

220

.220

Sistemas de ficheiros: requisitos

- Persistência
- Grande escala (quantidade de ficheiros + dimensão elevada)
- Rapidez de acesso (Tempo de acesso a disco >> TaccRAM)
- Concorrência
- Segurança
- ...

Sistemas Operativos 2020/2021

222

.222

Gestão de Ficheiros

- Sistemas de ficheiros
 - Recapitulação de hw e sw de IO
 - Discos, partições, disk IO, device drivers, concorrência, caches, etc.
 - Requisitos, objectivos, estudo de casos
 - RAID, Log structured File Systems
 - Noções de sistemas de ficheiros distribuídos

Sistemas Operativos 2020/2021

221

.221

Objectivos (1)

- Armazenamento
 - Persistente (backup, undelete, RAID)
 - Eficiente
 - Espaço (=> aproveitar)
 - Dados (exemplos)
 - Alocação não contígua para eliminar fragmentação externa
 - Suporte para ficheiros “dispersos” (resultado de “hash”, por exemplo)
 - Metadados, eg. estruturas para representar blocos livres/ocupados: FAT, i-nodes, ...
 - Tempo: algoritmos de gestão e **recuperação** rápidos

Sistemas Operativos 2020/2021

223

.223

Objectivos (2)

- Acesso
 - Escalável
 - Conveniente
 - estrutura interna visível (pelo kernel) ou só pelas aplicações?
 - Sequência de bytes vs. Ficheiros indexados
 - Seguro
 - controlo de acessos
 - auditoria
 - privacidade...

Sistemas Operativos 2020/2021

224

.224

Objectivos (4)

- Acesso rápido
 - **Escalonamento de pedidos de transferência do disco** para minimizar movimentos do braço
 - A ideia é reduzir o tempo médio de acesso a disco
 - Como de costume, ao alterar a ordem de serviço, atrasa alguns pedidos em benefício de outros...
 - Recorde as várias estratégias:
 - FIFO, SSTF, SCAN, C-SCAN...
 - Consegue imaginar os algoritmos?

Sistemas Operativos 2020/2021

226

.226

Objectivos (3)

- Acesso
 - Rápido (alguns exemplos de “bom-senso”)
 - Evitar dispersão de blocos pelo disco => cuidado na alocação, usando por exemplo
 - os “cylinder groups” do BSD, “file extents” do JFS e XFS
 - “hot file clustering” e desfragmentação “on-the-fly” do Mac OS X
 - Uso de caches (em disco e RAM) e delayed write => **CUIDADO!**
 - Directórias
 - Podem ter milhares de entradas (eg. e-mail!)
 - Procura sequencial? Binária? B-trees?

Sistemas Operativos 2020/2021

225

.225

E se um disco tem uma avaria?



Sistemas Operativos 2020/2021

227

.227

RAID

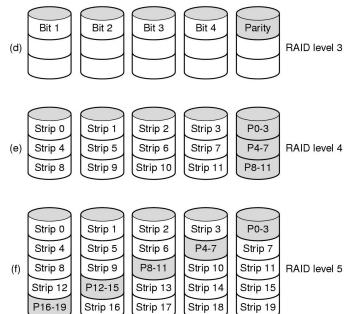
- Redundant Arrays of Inexpensive Disks
 - Pesquise no google por “Raid-1 Raid-5 primer”
- Objectivos:
 - Desempenho
 - Disponibilidade
 - Tolerância a faltas nos discos (depende do tipo de RAID)
 - Não resolve ficheiros apagados, virus, bugs, etc
 - Continua a precisar de BACKUPs!!

Sistemas Operativos 2020/2021

228

.228

Sistemas RAID

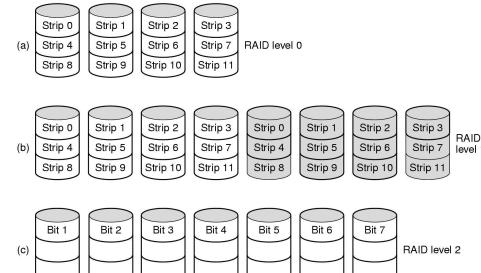


Sistemas Operativos 2020/2021

230

.230

Sistemas RAID



Sistemas Operativos 2020/2021

229

.229

Sistemas RAID

RAID LEVEL 0 : Striped Disk Array without Fault Tolerance



Copyright © 1996 - 2004 Advanced Computer & Network Corporation. All Rights Reserved.

A&NC
 www.acnc.com

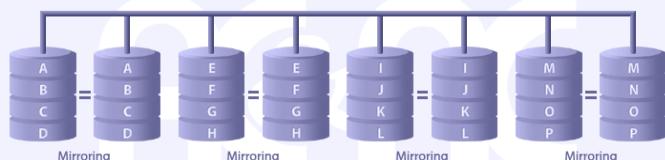
Sistemas Operativos 2020/2021

231

.231

Sistemas RAID

RAID LEVEL 1 : Mirroring & Duplexing



Copyright © 1996 - 2004 Advanced Computer & Network Corporation. All Rights Reserved.



Sistemas Operativos 2020/2021

232

E se há um *crash* do sistema?

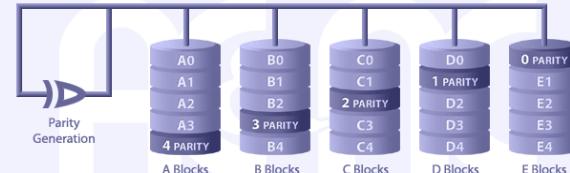
?

Sistemas Operativos 2020/2021

234

Sistemas RAID

RAID LEVEL 5 :Independent Data Disks with Distributed Parity Blocks



Copyright © 1996 - 2004 Advanced Computer & Network Corporation. All Rights Reserved.



Sistemas Operativos 2020/2021

233

Log-structured File Systems

- Devido à existência de caches em memória, e a necessidade de várias escritas em disco, há hipótese da informação ficar incoerente após crash => corrupção do SF
- FSCK pode demorar muito tempo pois tem de testar todos os meta-dados (faça man fsck e imagine os algoritmos)
 - **inaceitável** em certos cenários
- É preciso que o sistema de ficheiros **recupere depressa**

Solução?

Sistemas Operativos 2020/2021

235

Log-structured File Systems

- A solução passa por utilizar as “boas práticas” dos sistemas de gestão de Bases de Dados...
- SGBDs há muito utilizam Logs para garantir as propriedades ACID (aqui interessa em particular a Atomicidade)
 - SGBD escrevem no Log operações e dados
 - FS tendem a escrever apenas meta-dados (i-nodes, free block allocation maps, i-nodes maps, etc.)

Sistemas Operativos 2020/2021

236

.236

Log-structured File Systems

- Os sistemas de ficheiros baseados em “diário” (Log) mantêm um registo (log) das operações de actualização do SF.
 - As transacções são registadas no Log
 - Em background, as operações indicadas no Log são executadas sobre o sistema de ficheiros e a transacção marcada como committed. Em caso de crash, reexecuta-se apenas o log não completado
 - Checkpointing pode atrasar aplicações
 - Numa leitura, se o bloco pretendido não tiver sido alvo de “checkpoint” há que consultar o log => atraso.

Sistemas Operativos 2020/2021

237

.237

Estudo de casos

- MS-DOS
 - Baseado em FATs
 - File Allocation Tables indicam blocos ocupados por cada ficheiro e ainda os blocos livres na partição
 - Entrada na directória indica o primeiro bloco do ficheiro. Para localizar o seguinte é preciso seguir a FAT
 - Dimensão da FAT ? Pode obrigar a overlays de partes da FAT
 - Duplicação de FATs para tolerar corrupção

Sistemas Operativos 2020/2021

238

.238

Estudo de casos

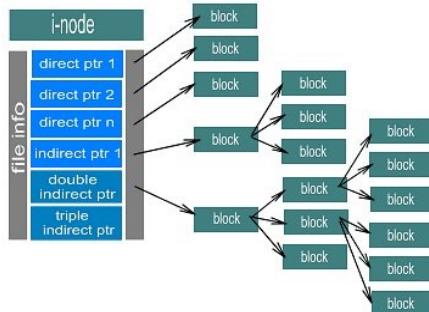
- Unix
 - Directorias + I-nodes + data blocks
 - Directorias
 - São ficheiros especiais que fazem a associação nome / i-node
 - I-nodes contêm restantes atributos dos ficheiros, incluindo permissões (ugo), datas e localização dos blocos (até 3 níveis de indirecção)

Sistemas Operativos 2020/2021

239

.239

Estudo de casos

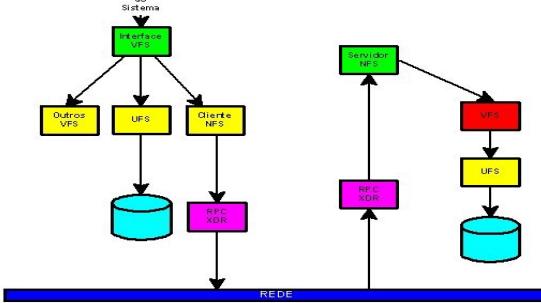


Sistemas Operativos 2020/2021

240

•240

Network File System (NFS)



Sistemas Operativos 2020/2021

241

•241

E ainda...

- Extent-based file systems
- Parallel File Systems
- Distributed File Systems
- Storage Area Networks
- ...

Sistemas Operativos 2020/2021

242

•242

O “estado-da-arte”

- Perquise no Google por Ext3, XFS, JFS, NTFS, Coda...
- Ou passe algum tempo em
<http://www.aspsys.com/software/links.aspx/14.aspx>
- Se o tempo é limitado, recomenda-se a leitura de
 - **Reiser FS** (<http://www.namesys.com/>)

Sistemas Operativos 2020/2021

243

•243

Backups

- Assegure-se que percebe a diferença entre
 - Backup
 - Redundância nos discos, por exemplo Raid-1(mirroring) ou Raid-5
- Backups
 - Para onde? Quando? Que garantias de integridade?