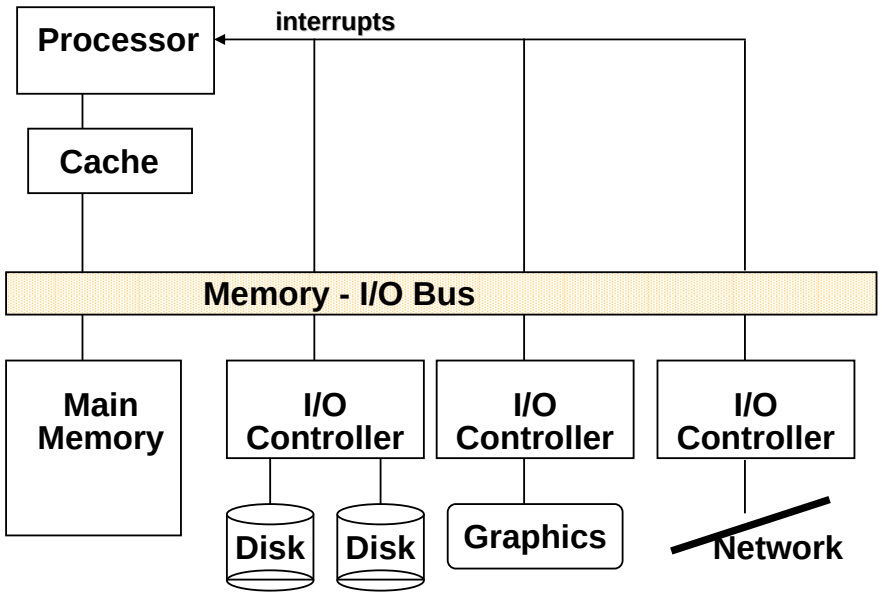
Aula 18: Introdução a Teoria das Filas e Interfaces de I/O

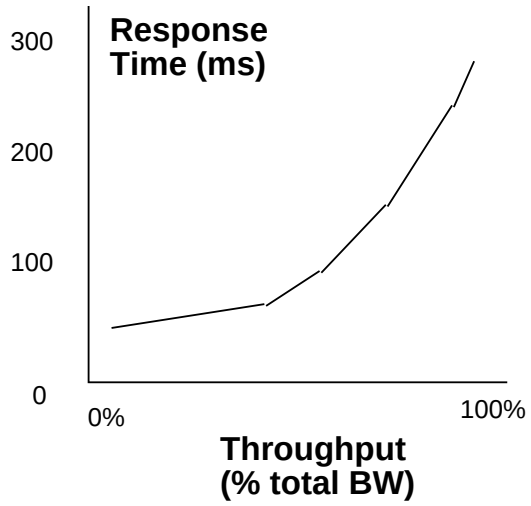
Sistemas de I/O

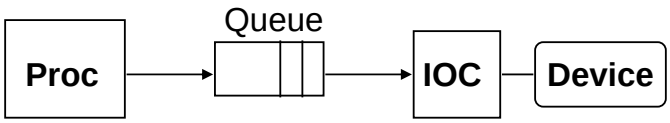


Time(workload) = Time(CPU) + Time(I/O) - Time(Overlap)

Performance do Sistema de Disco

Métricas: Tempo de resposta e "throughput"

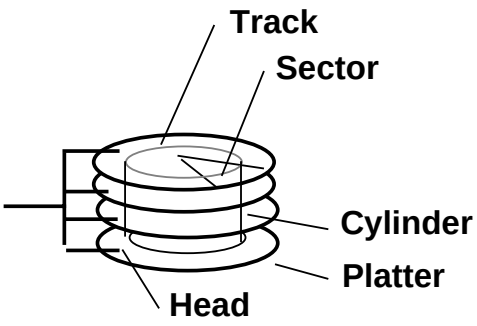




Response time = Queue + Device Service time

Dispositivos: Discos Magnéticos

- Objetivos:
  - Armazenamento não-volátil por tempo longo
  - Alta capacidade
- Características:
  - Tempo de acesso alto
    - Seek time, rotational delay
    - Transfer rate (1 setor/ms)
- Capacidade
  - Gigabytes



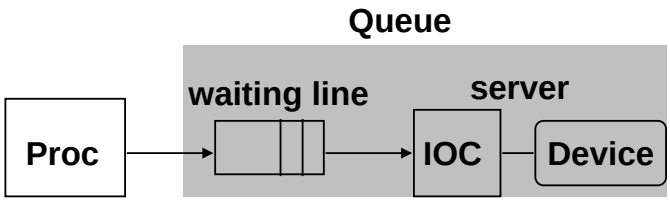
3600 RPM = 60 RPS => 16 ms per rev
ave rot. latency = 8 ms
32 sectors per track => 0.5 ms per sector
1 KB per sector => 2 MB / s
32 KB per track
20 tracks per cyl => 640 KB per cyl
2000 cyl => 1.2 GB

Tempo de resposta = Fila + Controlador + Seek + Rot + Xfer

Exemplo de Performance de Disco

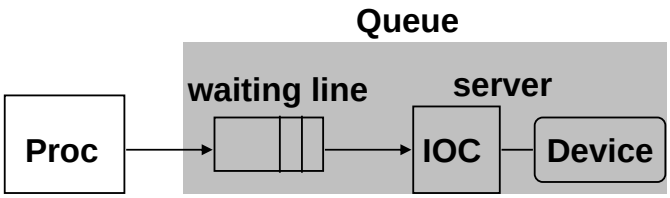
- Parâmetros:
  - Tamanho de transferência é de 8K bytes
  - Tempo médio de seek é de 12 ms
  - Disco roda a velocidade de 7200 RPM
  - Taxa de transferência é de 4 MB/sec
- Overhead do controlador é de 2 ms
- Pressuponha disco está parado (fila está inicialmente vazia)
- Qual é o tempo médio para acesso de disco p/ setor?
  - Seek + rot. Delay + taxa transferência + overhead do controlador
  - 12 ms + 0.5/(7200 RPM/60) + 8 KB/4 MB/s + 2 ms
  - 12 + 4.15 + 2 + 2 = 20 ms
- Tempo de seek não assume nenhuma localidade: tipicamente 1/4 a 1/3 de redução 20 ms => 12 ms

Introdução a Teoria das Filas



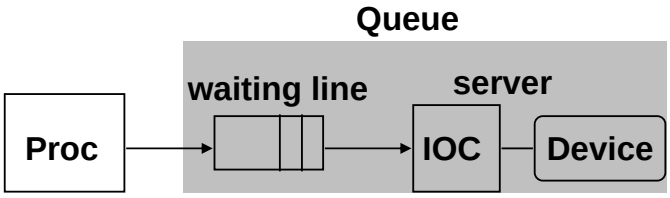
- Na verdade tempo de serviço deve considerar também período de espera devido a requisições chegando ao controlador aleatoriamente
- Modelo utilizado: *single server queue* - combinação de modelo contendo um servidor e uma área de espera: juntos chamados de fila
- Servidor gasta tempo aleatório com clientes. Como podemos caracterizar a variabilidade?

Introdução a Teoria das Filas



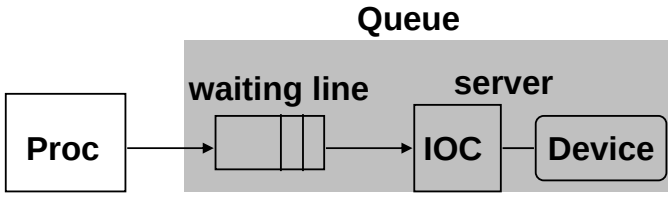
- Servidor gasta tempo aleatório com clientes
  - T_i – Tempo para execução da tarefa *i*
  - f_i – Frequencia de execução da tarefa *i*
  - Média ponderada *m* = $(f_1 \times T_1 + f_2 \times T_2 + ... + f_n \times T_n)/F$ $(F=f_1 + f_2 + ...)$
  - Variância = $(f_1 \times T_1^2 + f_2 \times T_2^2 + ... + f_n \times T_n^2)/F - m^2$
  - ***Squared coefficient of variance*: *C = variância/m²***

Introdução a Teoria das Filas



- ***Squared coefficient of variance*: *C = variância/m²***
- Distribuição exponencial $C = 1$: maioria dos tempos menores que a média; 90% < 2.3 x média, 63% < média
- Distribuição hipo-exponencial $C < 1$: tempos próximos à média, para C=0.5 => 90% < 2.0 x média, somente 57% < média
- Distribuição hiper-exponencial $C > 1$: tempos mais afastados da média, para C=2.0 => 90% < 2.8 x média, 69% < média

Introdução a Teoria das Filas : Tempo de Serviço Variável

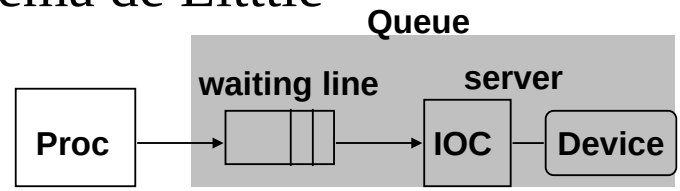


- Tempo de resposta de discos tem $C = 1.5$ (maioria dos tempos < média)
- Usualmente utiliza-se $C = 1.0$ (por simplicidade)
- Valor médio do tempo esperado para terminar a tarefa atual ***m(z):***
  - *Se* tempo de serviço das tarefas, *m,* fosse constante, esse tempo médio seria:

$$m(z) = 1/2 \times m$$

  - Mas o tempo de serviço das tarefas não é constante
  - Podemos derivar que este tempo médio de serviço da tarefa correntemente sendo servida (Average Residual Service Time) $m(z) = 1/2 \times m \times (1 + C)$
  - *Se não houver variância => C= 0 => m(z) = 1/2 × m*

Introdução a Teoria das Filas: Teorema de Litttle



- Modelo de filas assume estado de equilíbrio:
  taxa de entrada de requisições = taxa de atendimento
- Notação:

r	número médio de chegada de requisições/segundo
T_s	tempo médio de serviço de um cliente
u	utilização do servidor (0..1): $u = r \times T_s$
T_w	tempo médio/requisição na fila de espera
T_q	tempo médio/requisição na fila: $T_q = T_w + T_s$
L_w	tamanho médio da fila de espera: $L_w = r \times T_w$
L_q	tamanho médio da fila: $L_q = r \times T_q$

- Lei de Little: $r = L_q / T_q = L_w / T_w = u / T_s$
  Número médio de requisições = taxa de chegada x tempo médio de serviço

Introdução a Teoria das Filas : Tempo Médio de Espera

- Calculando tempo médio de espera T_w
  - Se algo estiver sendo executado no servidor, levará na média $m(z)$ para completar
  - Chance do servidor estar ocupado = u; logo tempo médio será u x $m(z)$
  - Depois, todas as outras requisições na fila de espera deverão completar, cada uma levando na média T_s

$$T_w = u \times m(z) + L_w \times T_s = 1/2 \times u \times T_s \times (1 + C) + L_w \times T_s$$
$$T_w = 1/2 \times u \times T_s \times (1 + C) + r \times T_w \times T_s$$
$$T_w = 1/2 \times u \times T_s \times (1 + C) + u \times T_w$$
$$T_w \times (1 - u) = T_s \times u \times (1 + C) / 2$$
$$T_w = T_s \times u \times (1 + C) / (2 \times (1 - u))$$

- Notação:

r	número médio de chegada de requisições/segundo
T_s	tempo médio de serviço de um cliente
u	utilização do servidor (0..1): $u = r \times T_s$
T_w	tempo médio/requisição na fila de espera
L_w	tamanho médio da fila de espera:$L_w = r \times T_w$

Introdução a Teoria das Filas : Um Exemplo

- Processador envia 10 requisições/segundo de acesso a disco de 8KB, exponencialmente distribuídas, com tempo de serviço de disco = 20 ms
- Na média, como o disco é utilizado?
  - Número médio de requisições na fila de espera?
  - Tempo médio gasto na fila de espera?
  - Tempo de resposta médio para uma requisição?
- Notação:

r	número médio de chegada de requisições/segundo = 10
T_s	tempo médio de serviço de um cliente = 20 ms
u	utilização do servidor (0..1): $u = r \times T_s$ = 10/s x 0.02s = 0.2
T_w	tempo médio/requisição na fila de espera $= T_s \times u / (1 - u)$ = 20 $\times$ 0.2/(1-0.2) = 20 $\times$ 0.25 = 5 ms
T_q	tempo médio/requisição na fila: $T_q = T_w + T_s$ = 5ms + 20 ms = 25 ms
L_w	tamanho médio da fila de espera:$L_w = r \times T_w$ = 10/s $\times$ .005s = 0.05
L_q	tamanho médio da *fila*:$L_q = r \times T_q$ = 10/s $\times$ .025s = 0.25

Introdução a Teoria das Filas : Outro Exemplo

- Processador envia agora 20 requisições/segundo de acesso a disco de 8KB, exponencialmente distribuídas, com tempo de serviço = 12 ms
- Na média, como o disco é utilizado?
  - Número médio de requisições na fila de espera?
  - Tempo médio gasto na fila de espera?
  - Tempo de resposta médio para uma requisição?
- Notação:

r número médio de chegada de requisições/segundo = 20

T_s tempo médio de serviço de um cliente = 12 ms

u utilização do servidor (0..1): $u = r \times T_s$ = 20/s × 0.012s = 0.24

T_w tempo médio/requisição na fila de espera $= T_s \times u \ / (1 - u)$

= 12 × 0.24/(1-0.24) = 12 × 0.32 = 3.8 ms

T_q tempo médio/requisição na fila: $T_q = T_w + T_s$ = 3.8ms + 12 ms = 16 ms

L_w tamanho médio da fila de espera: $L_w = r \times T_w$ = 20/s × .0038s = 0.076

L_q tamanho médio da *fila*: $L_q = r \times T_q$ = 20/s × 0.016s = 0.32

Introdução a Teoria das Filas : Mais Outro Exemplo

- Processador envia 10 requisições/segundo de acesso a disco de 8KB, *squared coef. var.* = 1.5, tempo de serviço de disco = 20 ms
- Na média, como o disco é utilizado?
  - Número médio de requisições na fila de espera?
  - Tempo médio gasto na fila de espera?
  - Tempo de resposta médio para uma requisição?
- Notação:

r número médio de chegada de requisições/segundo = 10

T_s tempo médio de serviço de um cliente = 20 ms

u utilização do servidor (0..1): $u = r \times T_s$ = 10/s × 0.02s = 0.2

T_w tempo médio/requisição na fila de espera $= T_s \times u \times (1+C) / (2 \times (1 - u))$

= 20 × 0.2(2.5)/2(1-0.2) = 20 × 0.32 = 6.25 ms

T_q tempo médio/requisição na fila: $T_q = T_w + T_s$ = 6.25ms + 20 ms = 26 ms

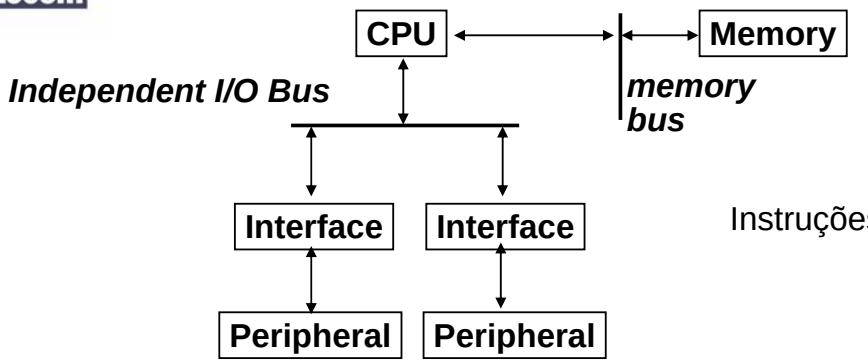
L_w tamanho médio da fila de espera: $L_w = r \times T_w$ = 10/s × .006s = 0.06

L_q tamanho médio da *fila*: $L_q = r \times T_q$ = 10/s × 0.026s = 0.26

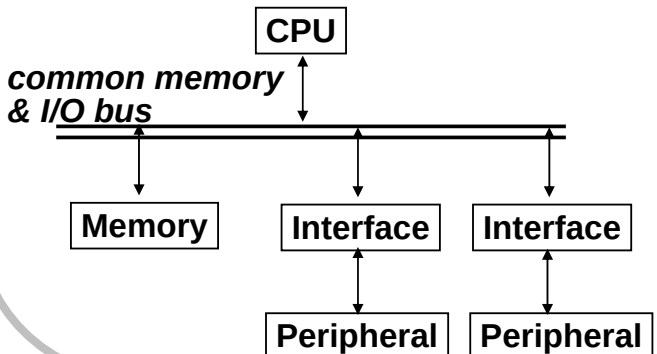
Interfaces com o Processador

- Interconexões
  - Barramentos
- Interface do Processador
  - Interrupções
  - I/O mapeado em memória
- Estruturas de Controle de I/O
  - Polling
  - Interrupções
  - DMA
  - Controladores de I/O
  - Processadores de I/O
- Capacidade, Tempo de acesso, BW

Interface com I/O

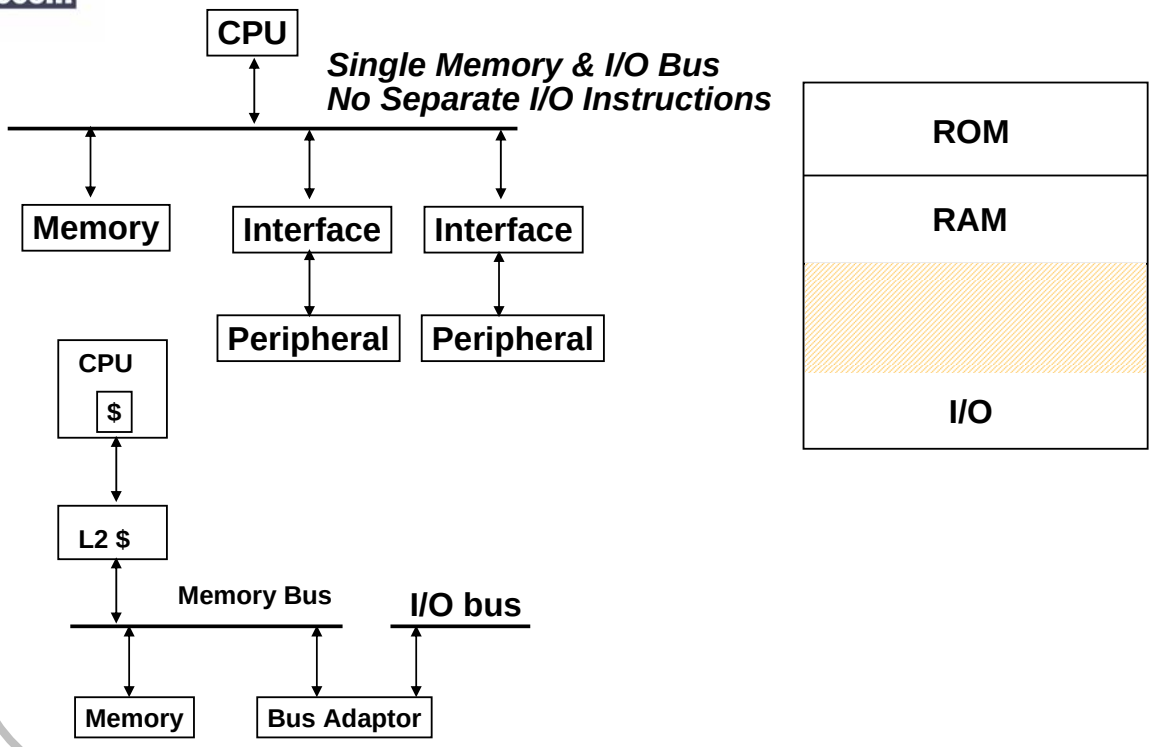


Instruções de I/O separadas (in,out)

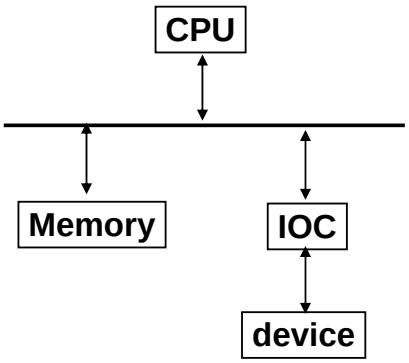


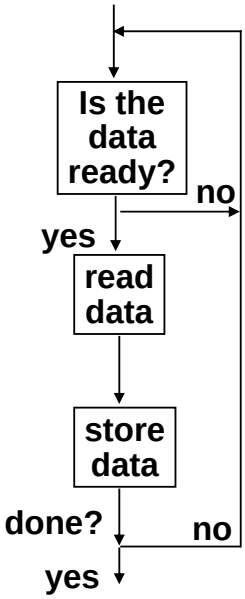
Linhas distinguindo I/O e memória

I/O Mapeada em Memória



I/O Programada (*Polling*)

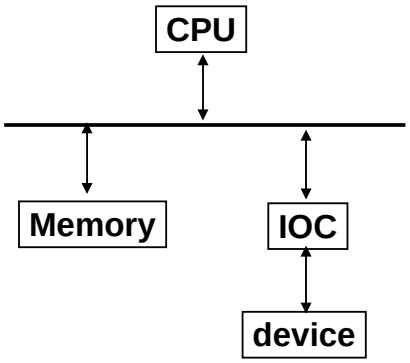


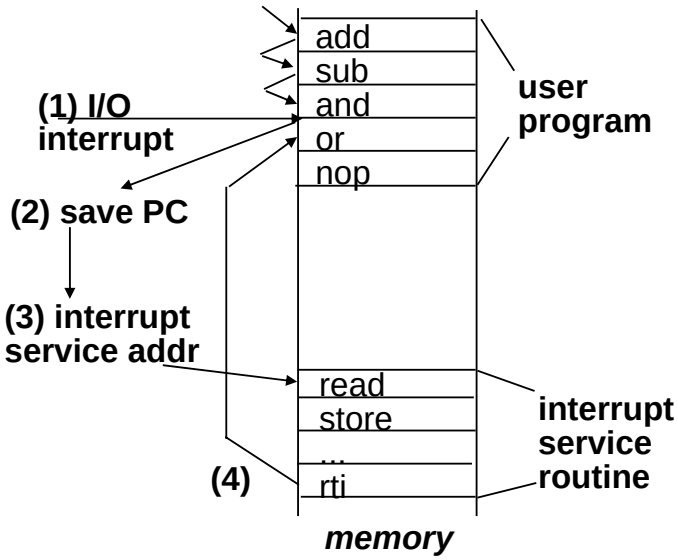


busy wait loop not an efficient way to use the CPU unless the device is very fast!

but checks for I/O completion can be dispersed among computationally intensive code

Transferência de Dados por Interrupção





Programa de usuário fica parado durante hora da transferência

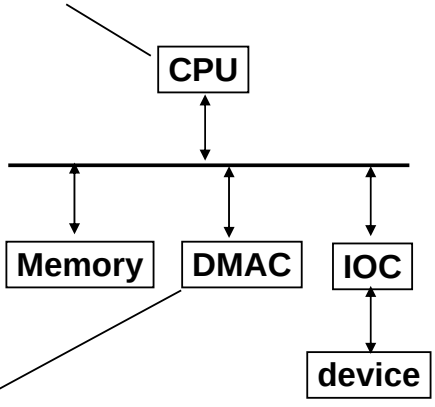
Acesso Direto à Memória

Tempo para fazer 1000 xfers a cada 1 msec cada:

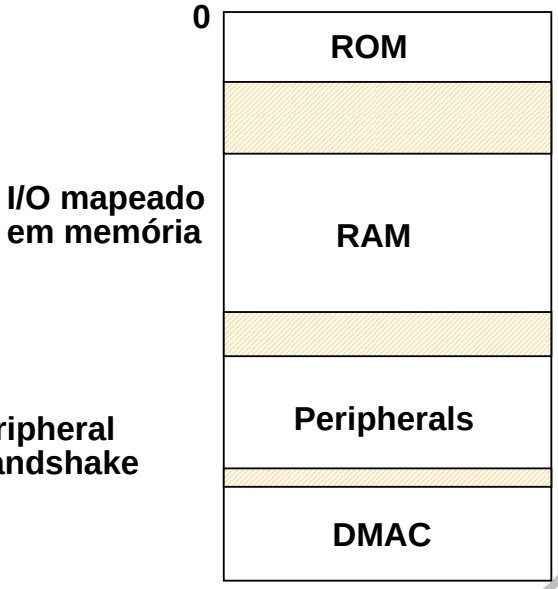
1 DMA set-up @ 50 µsec
1 interrupção @ 2 µsec
1 serviço de interrupção @ 48 µsec

.0001 segundo do tempo de CPU

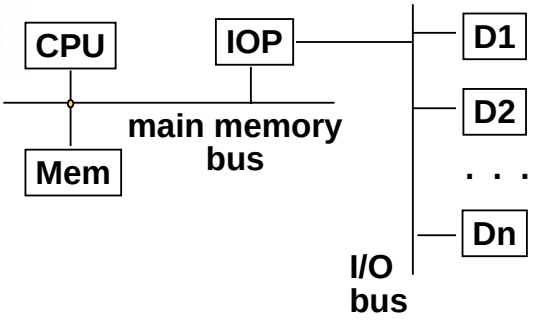
CPU sends a starting address, direction, and length count to DMAC. Then issues "start".

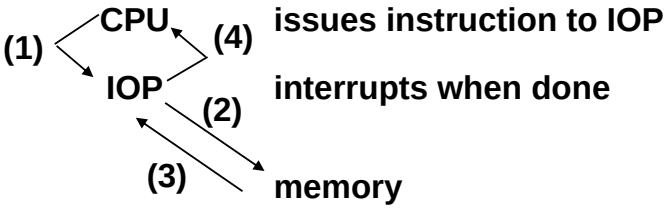


DMAC provides handshake signals for Peripheral Controller, and Memory Addresses and handshake signals for Memory.



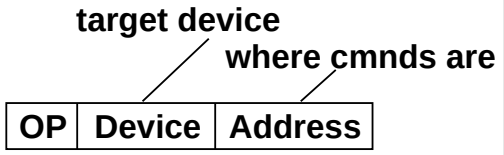
Processadores de I/O



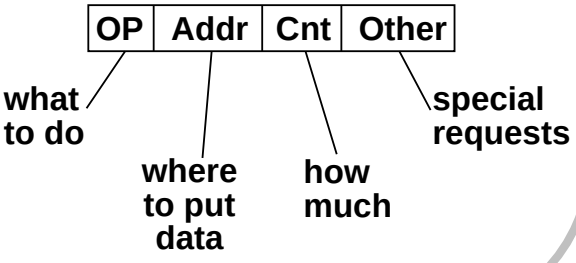


Device to/from memory transfers are controlled by the IOP directly.

IOP steals memory cycles.



looks in memory for commands



Relação de I/O com Arquitetura do Processador

- Instruções de I/O especiais e barramentos praticamente desapareceram
- Vetores de interrupção foram substituídos por *jump tables*

  PC ← M [IVA + # int]
  PC ← IVA + # int
- Interrupções:
  - Pilha utilizada para guardar contexto
  - *Handler* salva registradores e re-habilita interrupções de mais alta prioridade
  - Tipos de interrupção reduzidos em número; *handler* questiona controlador de I/O

Relação de I/O com Arquitetura do Processador

VERLab
Visão e Robótica

- Caches causam problemas para I/O
  - Flushing é caro, I/O polui cache
  - Solução é emprestada de sistemas multiprocessadores de memória compartilhada
- VM dificulta DMA
- Arquitetura Load/Store necessita de operações atômicas
  - load locked, store conditional
- Muito contexto fica difícil para salvar durante troca de contexto