

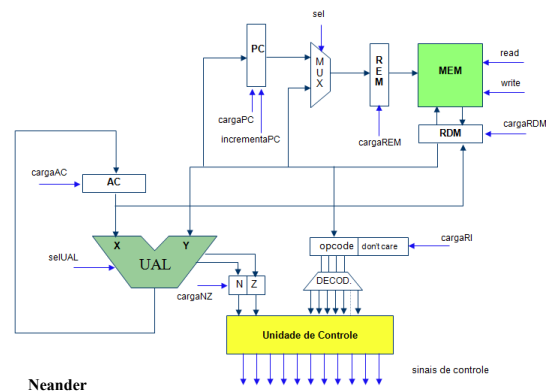
Pipeline

Ciclos de Operação da CPU Estágios do Pipeline Previsão de Desvio

William Stallings - Computer Organization and Architecture, Chapter 12 [Trad. E.Simões / F.Osório]

Estrutura da CPU

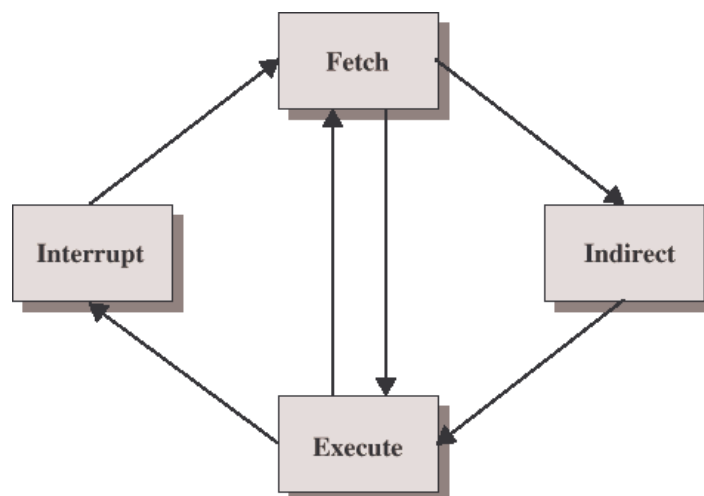
- Em cada ciclo, a CPU deve:
 - Buscar instruções
 - Interpretar instruções
 - Buscar dados
 - Processar dados
 - Escrever dados na memória



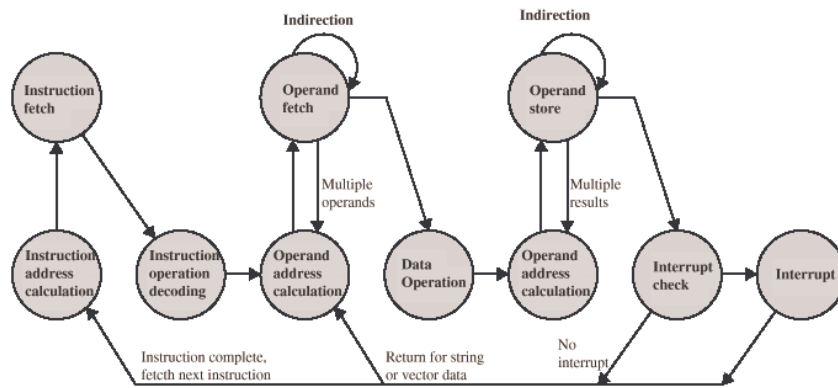
Ciclos de Operação da CPU

- Execução de uma Instrução:
Pode necessitar acesso(s) à memória para buscar Operando(s)
 - Acesso Imediato
 - Acesso Direto
 - Acesso **Indireto**
- Pode necessitar de sub-ciclos adicionais
- Controle de Interrupção

Ciclos de Operação com Endereçamento Indireto

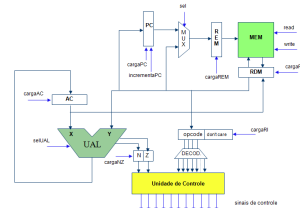


Ciclos de Operação

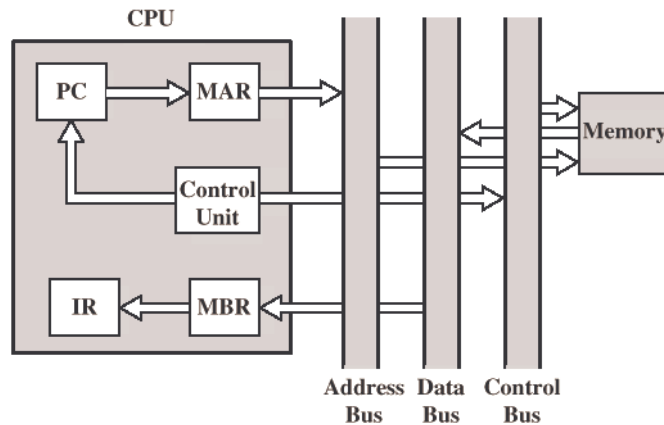


Fluxo de Dados Ciclo de Busca (Instruction Fetch)

- Depende do projeto da CPU
- Em Geral: Ciclo de Busca da Instrução (Fetch)
 - PC (Program Counter) contém endereço da próxima instrução
 - Endereço é movido para MAR (Memory Address Reg.)
 - Endereço é posto no Address Bus
 - Unidade de Controle sinaliza *Leitura* para a Memória
 - Resultado é posto no Data Bus
 - Copiado para MBR (Memory Buffer Reg.)
 - Movido para o **IR** (Instruction Reg.)
 - PC ++



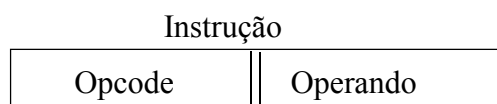
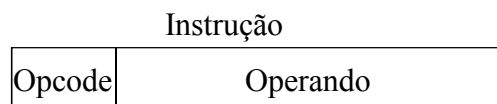
Fluxo de Dados Ciclo de Busca de Instrução



MBR = Memory buffer register
 MAR = Memory address register
 IR = Instruction register
 PC = Program counter

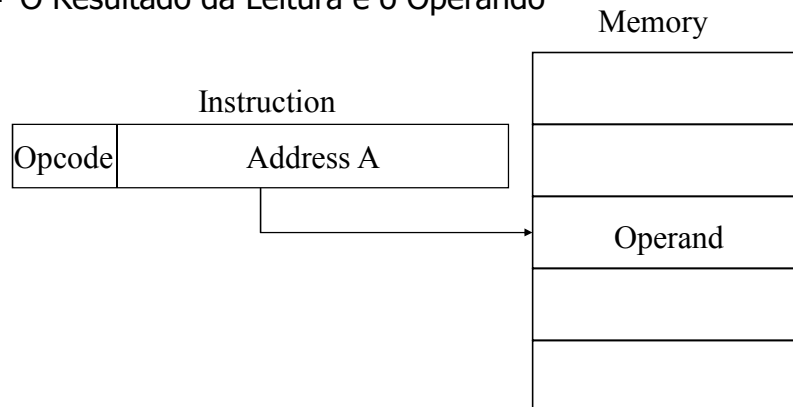
Fluxo de Dados Decodificação (Data Fetch)

- IR é examinado (decodifica)
- Se Endereçamento Imediato:
 - Instrução Única:
N bits mais a direita do MBR é o Operando
 - Instrução de 2 Bytes: busca dado



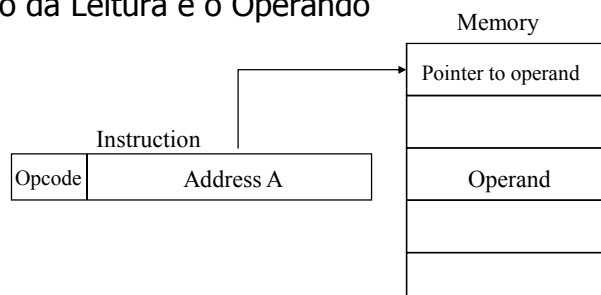
Fluxo de Dados Decodificação (Data Fetch)

- Se Endereçamento Direto:
 - N bits mais a direita do MBR transferidos para o MAR
 - Unidade de Controle sinaliza *Leitura* para a Memória
 - O Resultado da Leitura é o Operando

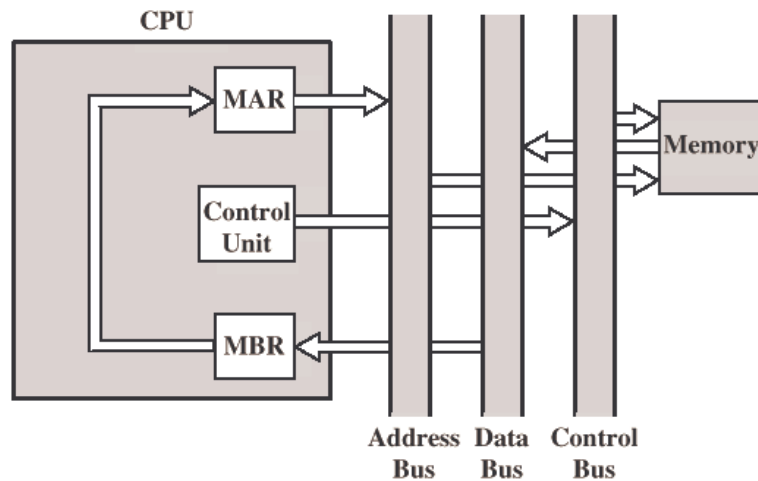


Fluxo de Dados Decodificação (Data Fetch)

- Se Endereçamento Indireto:
 - N bits mais a direita do MBR transferidos para o MAR
 - Unidade de Controle sinaliza *Leitura* para a Memória
 - Resultado (endereço do operando) movido para MBR
 - MBR transferido para o MAR
 - Unidade de Controle sinaliza *Leitura* para a Memória
 - O Resultado da Leitura é o Operando



Fluxo de Dados Decodificação: Indireto



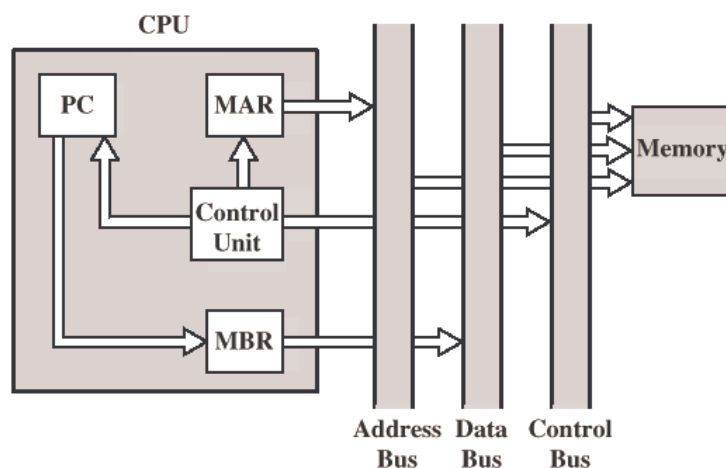
Fluxo de Dados Execução (Execute)

- Varia muito conforme a CPU
- Depende da Instrução sendo executada
- Pode Incluir:
 - Memory read/write
 - Input/Output
 - Transferência entre Registradores
 - Operações da ULA
- Basicamente:
 - Realiza Operação Lógica/Aritmética sobre Operandos
- Pode conter ciclo de Escrita do Resultado na Memória

Fluxo de Dados Interrupção (Interrupt)

- Simples
- PC atual é salvo para permitir *Restore*
 - Conteúdo do PC copiado para MBR
 - Stack pointer (SP) loaded to MAR / SP ++
 - MBR written to memory
- PC carregado com o endereço de atendimento da respectiva interrupção
- A primeira instrução da rotina de tratamento de interrupção é Buscada ... (Toda a Rotina)
- RESTORE:
 - SP -- / Stack pointer (SP) loaded to MAR
 - MBR é copiado para PC

Fluxo de Dados Interrupção



CPU- Otimização Busca/Execução

Explorar o
Paralelismo Implícito
na
Execução das Instruções

Prefetch

2 Etapas: Busca e Execução

- Ciclo de Busca (Fetch) sempre acessa a Memória
- Ciclo de Execução (Execution) normalmente não acessa a Memória
- Pode-se buscar a próxima instrução durante a execução da Instrução Corrente
- Denominado: *Instruction Prefetch*

Prefetch - Melhora de Performance

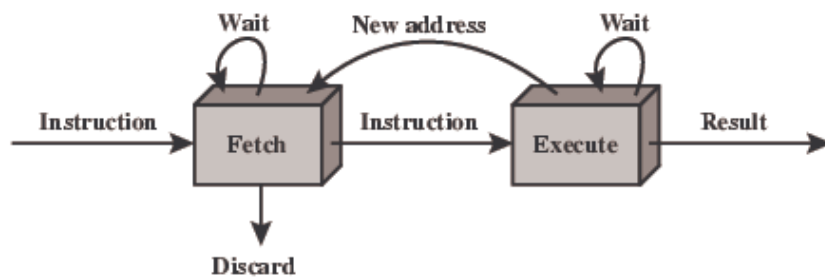
Paralelismo: 2 etapas com prefetch

- Otimização... mas não dobra a performance:
 - Fetch normalmente bem mais curto que Execution
 - Prefetch mais de uma instrução ? ? ? ? ?
 - Qualquer JUMP ou BRANCH significa que a instrução "prefechessada" não é mais necessária
- Solução:
 - Adicionar mais estágios!!! => *PIPELINING*!

Prefetch - Dois Estágios (FIFO)



(a) Simplified view



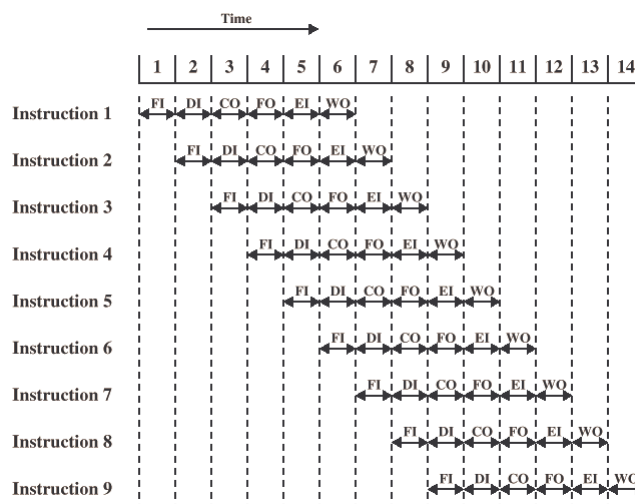
(b) Expanded view

Pipelining

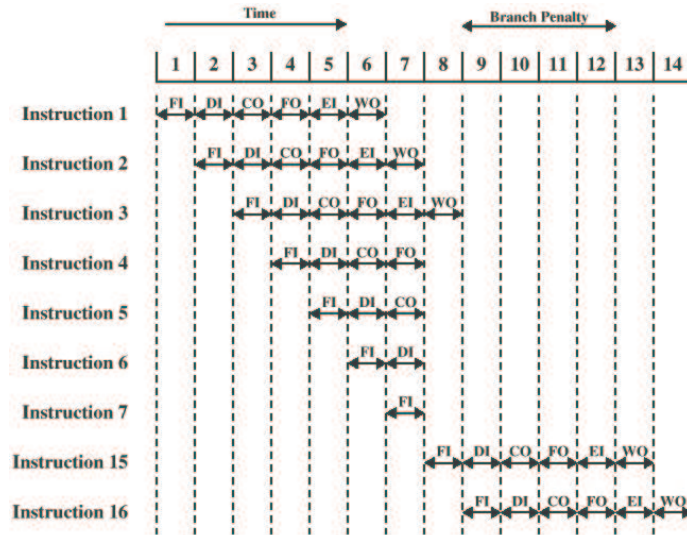
- Fetch instruction - FI
- Decode instruction - DI
- Calculate operands - CO
- Fetch operands - FO
- Execute instructions - EI
- Write result - WO

- Sobrepor essas Operações ! ! ! ! !

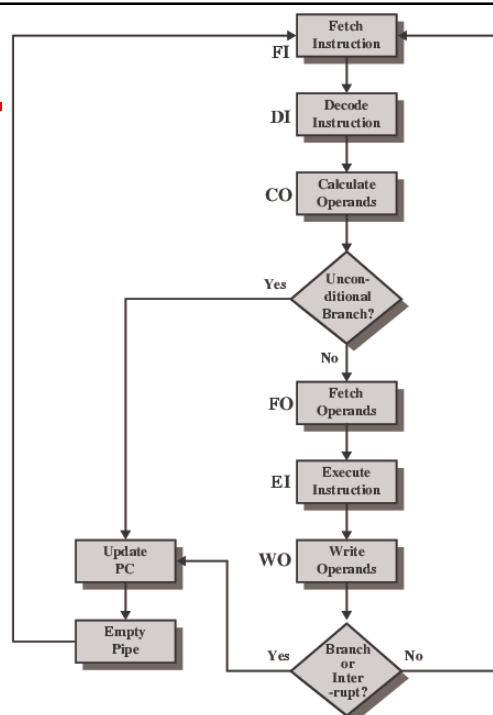
Timing do Pipeline



Desvios (Branch) no Pipeline

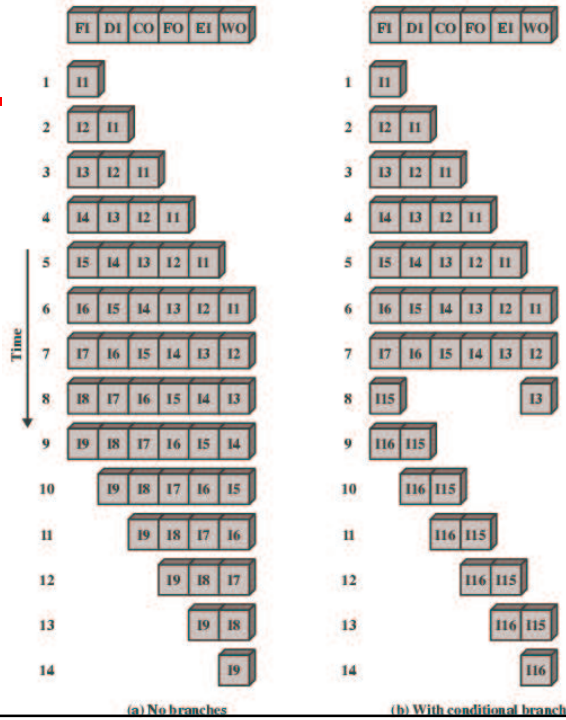


Pipeline de Instrução de 6 Estágios

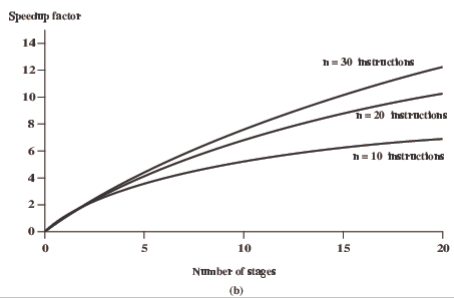
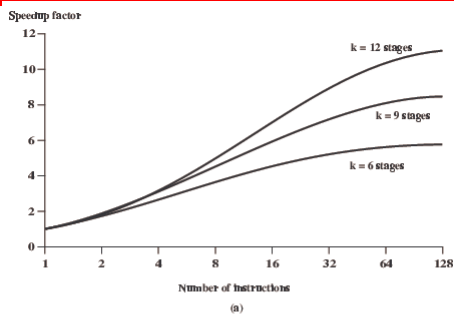


Pipeline de Instrução de 6 Estágios

- I3 é o Branch



Speedup Factors with Instruction Pipelining

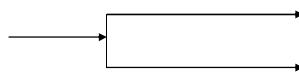


Tratando os Desvios (Branches)

- Multiple Streams
- Prefetch Branch Target
- Loop buffer
- Branch prediction
- Delayed branching

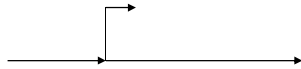
Multiple Streams

- Tem Dois Pipelines !!!
 - Essa era Óbvvia!!
- Prefetch cada BRANCH em um pipeline separado
- Usa apropriadamente o Pipeline
- Leva à contenção de Barramento e Registradores (bus & register contention)
 - Ex.: Quando os dois lados querem modificar o mesmo Registrador
- Multiplos BRANCHES necessitam de mais Pipelines!!



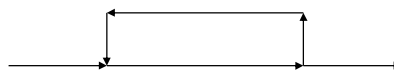
Prefetch Branch Target

- Instrução *Target* do BRANCH é “prefetchessada” juntamente com instruções normais
- Mantém target até que o BRANCH seja executado
- Utilizado no IBM 360/91

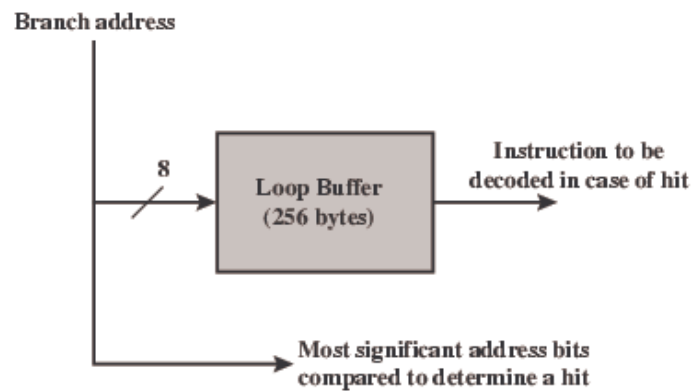


Loop Buffer

- Memória muito rápida
- Mantida pelo estágio de Busca (Fetch) do pipeline
- Checa o buffer antes de Buscar da memória
- Muito eficiente para pequenos loops e jumps
- É como uma **cache** de instruções (menor)
- Utilizado no CRAY-1
- Atende muito bem Loops com IF – THEN – ELSE
- Motorola 68010 (tamanho 3 instruções):
 - Decrementa
 - Compara
 - Branch



Loop Buffer Diagram



Branch Prediction (1)

- Predict never taken
 - Assume que o BRANCH nunca vai ocorrer
 - Sempre busca a próxima instrução
 - 68020 & VAX 11/780
- Predict always taken
 - Assume que o BRANCH vai ocorrer sempre
 - Sempre busca a instrução alvo

Branch Prediction (2)

- Predict by Opcode
 - Algumas instruções tem mais chances de resultar em BRANCH que outras
 - Alcança até 75% de sucesso
- Taken/Not taken switch
 - Baseado na história anterior
 - Associa um ou mais bits a cada tipo de BRANCH em tabela para guardar se deu ou não salto na última vez
 - Eficiente para loops
 - For I = 1 to 10 (compara se I = 10 e jump se não for)
 - Acerta 10 vezes e erra uma (na saída)
 - Com um bit, um erro vai ocorrer ao entrar no loop e ao sair!

Branch Prediction (3)

- Delayed Branch
 - Não tomar o desvio até que seja necessário (mais tarde)
 - Rearranjar as instruções de um programa
 - Vamos ver em RISC

Branch Prediction State Diagram

