Introdução à Software Básico: Montadores - parte 1

Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Ciências Exatas
Universidade de Brasília

Sumário

Montadores

Montador

- Nos primórdios da computação, os primeiros programas foram escritos em Linguagem de Máquina, isto é, as instruções eram armazenadas diretamente na memória, em formato binário
- Esse trabalho de programação era feito através de botões ou ligações por cabos.
- Já na segunda geração das linguagens de programação surgem os primeiros tradutores. Que traduzem uma linguagem formada por símbolos mnemônicos (linguagem de Montagem) e a linguagem binária da máquina:
  - os chamados Montadores (do inglês, "Assembler").

Montador

- Como vimos anteriormente, o processo de "montagem" recebe como entrada um arquivo texto contendo o código fonte do programa em linguagem de montagem e gera como saída um arquivo binário contendo o código de máquina e outras informações relevantes para a execução do código gerado.
- Para entendermos o processo de montagem, vamos precisar de algumas "ferramentas", as quais veremos a seguir.

Uma máquina hipotética

Descrição da máquina hipotética

- Para nos auxiliar no estudo de montadores (e também ligadores e carregadores), nós vamos definir uma máquina hipotética e um conjunto (reduzidíssimo) de instruções para ela.
- Embora o nosso conjunto de instruções seja bem reduzido, veremos que programas completos podem ser criados
- O objetivo aqui é apresentar a linguagem assembly de maneira informal, complementado posteriormente.

Descrição da máquina hipotética

- A nossa máquina hipotética terá:
  - 1 registrador acumulador de 16 bits. Chamaremos de **ACC**.
  - 1 registrador apontador de instruções de 16 bits. Chamaremos de **Program counter** ou **PC**.
  - Memória de 216 palavras de 16 bits;
  - A nossa máquina hipotética pode reconhecer 3 formatos de instruções:
    - Formato 1: Opcode
    - Formato 2: Opcode Endereço
    - Formato 3: Opcode Endereço_1 Endereço_2

Código de Operação ou OPCODE

- Identifica a operação a ser realizada pelo processador.
- É o campo da instrução cujo **valor binário** identifica a operação a ser realizada (é o código binário da instrução) .
- Este código é a entrada no **decodificador de instruções** na unidade de controle.
- Cada instrução deverá ter um código único que a identifique.

Uma máquina hipotética

mnemônico

código da máquina

espaço que a inst ocupará em mem

Opcode Simbólico	Opcode Numérico	Tamanho (palavras)	Ação
ADD	01	2	ACC ← ACC + mem(OP)
SUB	02	2	ACC ← ACC - mem(OP)
MUL	03	2	ACC ← ACC × mem(OP)
DIV	04	2	ACC ← ACC ÷ mem(OP)
JMP	05	2	PC ← OP
JMPN	06	2	Se ACC<0 então PC ← OP
JMPP	07	2	Se ACC>0 então PC ← OP
JMPZ	08	2	Se ACC=0 então PC ← OP
COPY	09	3	mem(OP2) ← mem(OP1)
LOAD	10	2	ACC ← mem(OP)
STORE	11	2	mem(OP) ← ACC
INPUT	12	2	mem(OP) ← entrada
OUTPUT	13	2	saída ← mem(OP)
STOP	14	1	Suspende a execução

Figura: Conjunto de instruções da máquina hipotética

Uma máquina hipotética

Conjunto de instruções

- O conjunto de instruções de alguns processadores, como por exemplo o Intel 8080, não possui instruções para multiplicação ou divisão
- Portanto, um programa em linguagem de máquina, nestes processadores, não pode fazer multiplicação ou divisão diretamente (somente através de combinação de outras instruções).
- Já um programa em linguagem de nível mais alto pode implementar comandos de multiplicação (ou divisão) que combinem uma série de instruções binárias do conjunto de instruções para fazer uma multiplicação (ou divisão) através de repetidas somas (subtrações) ou por deslocamento de bits (Ex. C).

Formato de uma linha fonte:

- O nosso programa fonte, em pseudo-assembler, utiliza o seguinte formato:
  <rótulo>: <operação> <operandos> ;<comentários>

Exemplo

Algoritmo 1 Exemplo 1

```
1: ROT: INPUT N1
2:          COPY N2,N1 ;isso é um comentário
3: N1: SPACE
4: N2: SPACE
```

Exemplo

O programa a seguir utiliza o conjunto de instruções definidos acima para ler dois números da entrada padrão (teclado) e imprimir a soma dos mesmos na saída padrão (vídeo):

- $N3 = N1 + N2;$

Algoritmo 2 Exemplo 2

```
INPUT     N1      ; Lê o primeiro número
INPUT     N2      ; Lê o segundo número
LOAD      N1      ; Carrega N1 no acumulador
ADD       N2      ; Soma está no acumulador
STORE     N3      ; Coloca soma N1+N2 em N3
OUTPUT    N3      ; Escreve o resultado
STOP              ; Termina a execução do programa
N1:       SPACE   ; Reserva espaço para o primeiro número
N2:       SPACE   ; Reserva espaço para o segundo número
N3:       SPACE   ; Reserva espaço para o resultado
```

Conjunto de instruções

- São instruções para o próprio montador, isto é, uma instrução da linguagem assembler para que o montador modifique o seu comportamento ou realize alguma tarefa.
- Exemplo:
  - diretivas podem ser usadas para alocar espaço para dados ou variáveis;
  - instruir o montador a incluir arquivos fontes;
  - estabelecer o ponto de ínicio do programa, etc.
- Inicialmente vamos utilizar duas diretivas que usaremos nos exemplos e nos nossos programas:
  - **CONST** → Instrui o montador a gerar dados em memória (leitura apenas)
  - **SPACE** → Reserva espaço para os dados (leitura e gravação)

Exemplo

Exemplo 3

- Crie um programa, utilizando o conjunto de instruções definidos da nossa máquina hipotética que compute a área de um triângulo.
- O programa deverá ler os dados com INPUT e mostrar o resultado (Sabemos que a área é dada por: $(\text{Base} \times \text{Altura})/2$)

Exemplo

Solução

Algoritmo 3 Exemplo 3

```
INPUT     B        ; Lê a base
INPUT     H        ; Lê a altura
LOAD      B        ; Carrega B no acumulador
MULT      H        ; ACC tem  BxH
DIV       DOIS     ; ACC tem o resultado de (B+H)/2
STORE     R        ; Coloca soma (B+H)/2 em R
OUTPUT    R        ; Escreve o resultado
STOP               ; Termina a execução do programa
B:        SPACE    ; Reserva espaço para a base
H:        SPACE    ; Reserva espaço para a altura
R:        SPACE    ; Reserva espaço para o resultado
DOIS:     CONST  2 ; Reserva espaço para uma constante
```

Nosso Pseudo-Asm

- A linguagem assembler que estamos utilizando é também chamada de linguagem simbólica pura, pois cada declaração gera exatamente uma instrução de máquina.

```
Código fonte:
INPUT   N1
INPUT   N2
LOAD    N1
ADD     N2
STORE   N3
OUTPUT  N3
STOP
N1:     SPACE
N2:     SPACE
N3:     SPACE
```

Código Gerado		
End 0	12	13
End 2	12	14
End 4	10	13
End 6	01	14
End 8	11	15
End 10	13	15
End 12	14	
End 13	xx	
End 14	xx	
End 15	xx	

Figura: Exemplo de Montagem

Nota

Valores numéricos aparecem em decimal e o valor "xx" representa um valor qualquer ocupando uma palavra de memória (16 bits).

Funções de um Montador

Tarefas básicas do montador

- Tradução de pseudo-instruções por *opcodes* numéricos e expansão de "macros"
- Representação do programa em linguagem de máquina: instruções e dados
- Reservar espaço para os dados
- Determinação dos endereços de memória referenciados pelo programa
- Registro das informações necessárias à **ligação** do programa:
  - Tabela de Definições - símbolos externos usados no módulo
  - Tabela de Uso – Símbolos exportados e seus atributos

O processo de Montagem (Assembler)

- Como vimos, um programa em linguagem *assembly* puro consiste de uma série de declarações de uma linha
- Desta forma, seria natural imaginar um montador que lesse o código fonte (*assembly*), linha a linha, e gerasse o código de máquina em um outro arquivo
- Esse processo poderia ser repetido até que todas as declarações do arquivo fonte fossem traduzidas em linguagem de máquina

O processo de Montagem (Assembler)

- Infelizmente, o processo não é tão simples.
- Para ver isso, imagine uma situação na qual temos um desvio (*jump*) no programa para um rótulo R dentro do programa.
- O montador não poderá gerar o código de máquina para essa instrução até que o endereço do rótulo R seja conhecido.
- O rótulo R pode estar definido no final do programa, o que leva o montador a ler o programa fonte inteiro para poder encontrar o rótulo (e então gerar o endereço)

O processo de Montagem (Assembler)

- Outro exemplo, e no exercício anterior onde os identificadores para as variáveis (os rótulos de N1,N2 e N3) foram declarados no final

```
Código fonte:
INPUT   N1
INPUT   N2
LOAD    N1
ADD     N2
STORE   N3
OUTPUT  N3
STOP
N1:     SPACE
N2:     SPACE
N3:     SPACE
```

	Código Gerado	
End 0	12	13
End 2	12	14
End 4	10	13
End 6	01	14
End 8	11	15
End 10	13	15
End 12	14	
End 13	xx	
End 14	xx	
End 15	xx	

O processo de Montagem (Assembler)

- O problema que vimos no slide anterior é conhecido como *forward reference problem* – ou problema de referência posterior
- Como resolver a questão de "referências posteriores"?
- Existem duas formas:
  1. Ler o código uma única vez utilizando mecanismos para resolver o problema de referências posteriores
     - Torna o montador mais complexo
  2. Ler o código duas vezes
     - A primeira leitura identifica os símbolos
     - A segunda, gera o código de máquina
     - Aumenta o Tempo de leitura. Necessitamos ler todo o programa fonte duas vezes

O processo de Montagem (Assembler)

- Por sua simplicidade, a maioria dos assembler utiliza o processo de ler o código fonte duas vezes
- Cada leitura do código fonte é chamada de **passagem**
- O tradutor que lê o código fonte duas vezes é chamado de tradutor de duas passagens (ou *two-pass translator*)
- Seguindo a mesma nomenclatura, um montador que lê o código fonte duas vezes é chamado de montador de duas passagens (*two-pass assembler*)

Estrutura Interna de um Montador

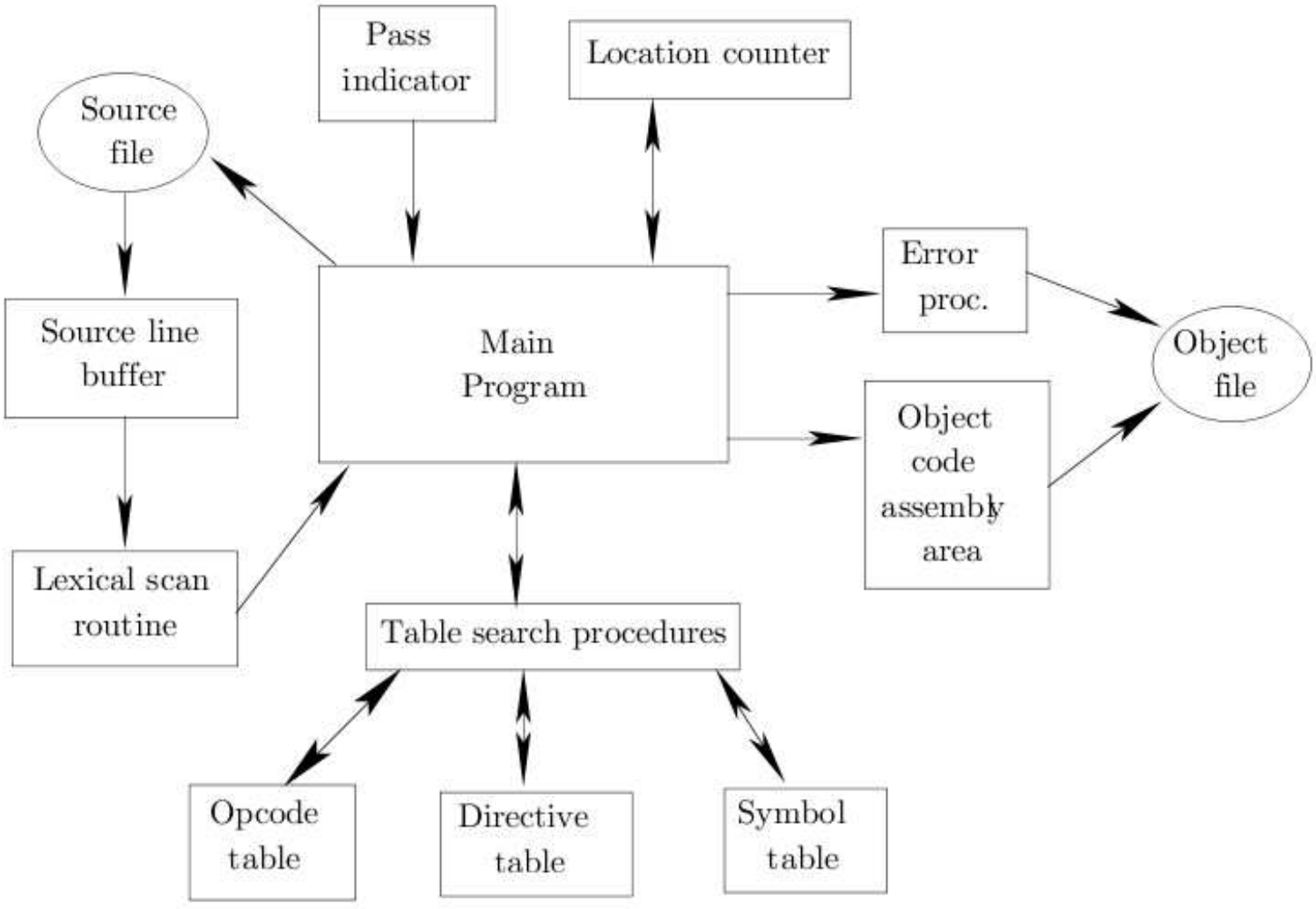


Figura: Estrutura Interna de um Montador

Montador de duas passagens

- Iniciaremos a nossa discussão do pelo algoritmo de duas passagens
- O processo executado pelo montador em cada passagem é descrito como segue:
- **Primeira Passagem**
  - Na primeira passagem, o montador coleta informações de definições de rótulos, símbolos, etc, e os armazena em uma tabela
- **Segunda Passagem**
  - Na segunda passagem, os valores (endereços) dos símbolos já são conhecidos e cada declaração pode, então, ser "montada"

Primeira Passagem

- A função principal da primeira passagem é a construção da Tabela de Símbolos
- **Tabela de símbolos (TS)**: contém todos os símbolos definidos no programa e seus atributos
- **Símbolo**: Um símbolo é um rótulo ou o nome de uma variável declarada com um nome simbólico

Exemplo

Algoritmo 4 Exemplo 4

```
1: ...
2: N1: CONST 0
3: N2: SPACE
4: L: OUTPUT X
```

Estruturas de Dados

- Além da tabela de símbolos, o montador utiliza as seguintes estruturas de dados:
- **Tabela de instruções**:
  - contém os opcodes simbólicos acompanhadas das informações para gerar código de máquina
  - Basicamente, esta tabela contém o formato da instrução e opcode numérico.
  - Esta tabela está pronta, isto é, faz parte do código do montador.

Estruturas de Dados

- **Contador de linhas**:
  - indica a linha do programa fonte que está sendo analisada no momento (útil para impressão de mensagens de erro)
- **Contador de posições (location counter)**:
  - indica a posição de memória a ser ocupada (preenchida) pelo código de máquina.
- **Tabela de símbolos (TS)**:
  - contém todos os símbolos definidos no programa e seus atributos. Essa tabela é criada na 1ª passagem e usada na 2ª
- **Tabela de diretivas**:
  - contém as diretivas da linguagem. Em geral, para cada diretiva existe uma rotina que implementa as ações correspondentes. Esta tabela também está pronta.
  - Nos exemplos, nós vamos assumir que as diretivas CONST and SPACE ocupam 1 palavra de memória (16 bits)

Algoritmo da primeira passagem:

```
contador_posição = 0
contador_linha = 1
Enquanto arquivo fonte não chegou ao fim,  faça:
    Obtém uma linha do fonte
    Separa os elementos da linha:
        rótulo, operação, operandos, comentários
    Ignora os comentários
    Se existe rótulo:
        Procura rótulo na TS (Tabela de Símbolos)
    Se achou: Erro → símbolo redefinido
    Senão:      Insere rótulo e contador_posição na TS
    Procura operação na  tabela de instruções
    Se achou:
        contador_posição = contador_posição + tamanho da instrução
    Senão:
        Procura operação na tabela de diretivas
        Se achou:
                chama subrotina que executa a diretiva
                contador_posição = valor retornado pela subrotina
        Senão: Erro, operação não identificada
        contador_linha = contador_linha + 1
```

Figura: Primeira Passagem

Exemplo Primeira Passagem 1

- **Código fonte:**

```
INPUT          N1
INPUT          N2
LOAD           N1
ADD            N2
STORE          N3
OUTPUT         N3
STOP
N1:    SPACE
N2:    SPACE
N3:    SPACE
```

- **Tabela de Símbolos**

```
N1:    13
N2:    14
N3:    15
```

Exemplo Primeira Passagem 2

- Considere o programa abaixo e assuma que a entrada seja 8.
- Para o programa você deverá:
  - Mostrar a saída
  - Tente identificar o que está sendo computado
  - Utilizar o algoritmo de primeira passada para criar a tabela de símbolos

```
         COPY            ZERO,   OLDER
         COPY            ONE,    OLD
         INPUT           LIMIT
         OUTPUT          OLD
FRONT:   LOAD            OLDER
         ADD             OLD
         STORE           NEW
         SUB             LIMIT
         JMPP            FINAL
         OUTPUT          NEW
         COPY            OLD,    OLDER
         COPY            NEW,    OLD
         JMP             FRONT
FINAL:   OUTPUT          LIMIT
         STOP
ZERO:    CONST           0
ONE:     CONST           1
OLDER:   SPACE
OLD:     SPACE
NEW:     SPACE
LIMIT:   SPACE
```

Exemplo

Solução

```
         COPY          ZERO,    OLDER
         COPY          ONE,     OLD
         INPUT         LIMIT
         OUTPUT        OLD
FRONT:   LOAD          OLDER
         ADD           OLD
         STORE         NEW
         SUB           LIMIT
         JMPP          FINAL
         OUTPUT        NEW
         COPY          OLD,     OLDER
         COPY          NEW,     OLD
         JMP           FRONT
FINAL:   OUTPUT        LIMIT
         STOP
ZERO:    CONST         0
ONE:     CONST         1
OLDER:   SPACE
OLD:     SPACE
NEW:     SPACE
LIMIT:   SPACE
```

Mostra a Série de Fibonacci
8 → 1,1,2,3,5,8

Símbolo	Valor
FRONT	10
FINAL	30
ZERO	33
ONE	34
OLDER	35
OLD	36
NEW	37
LIMIT	38

Exemplo

Exemplo Primeira Passagem 3

- Crie um programa que compute o fatorial de um número.
- Utilize o algoritmo da primeira passagem para gerar a tabela de símbolos.

Exemplo

Solução

- Esse programa computa o fatorial do valor lido pela entrada padrão

Código Fonte

```
        INPUT   N
        LOAD    N
FAT:    SUB     ONE
        JNPZ    FIM
        STORE   AUX
        MULT    N
        STORE   N
        LOAD    AUX
        JNP     FAT
FIM:    OUTPUT  N
        STOP
AUX:    SPACE
N:      SPACE
ONE:    CONST   1
```

Input→ 5

Output→ **120**

N	ACC	AUX
5	5	
5	5-1=4	4
20	4*5=20	4
20	4	4

N	ACC	AUX
20	4	4
20	4-1=3	3
60	3*20=60	3
60	3	3

N	ACC	AUX
60	3	3
60	3-1=2	2
120	2*60=120	2
120	2	2

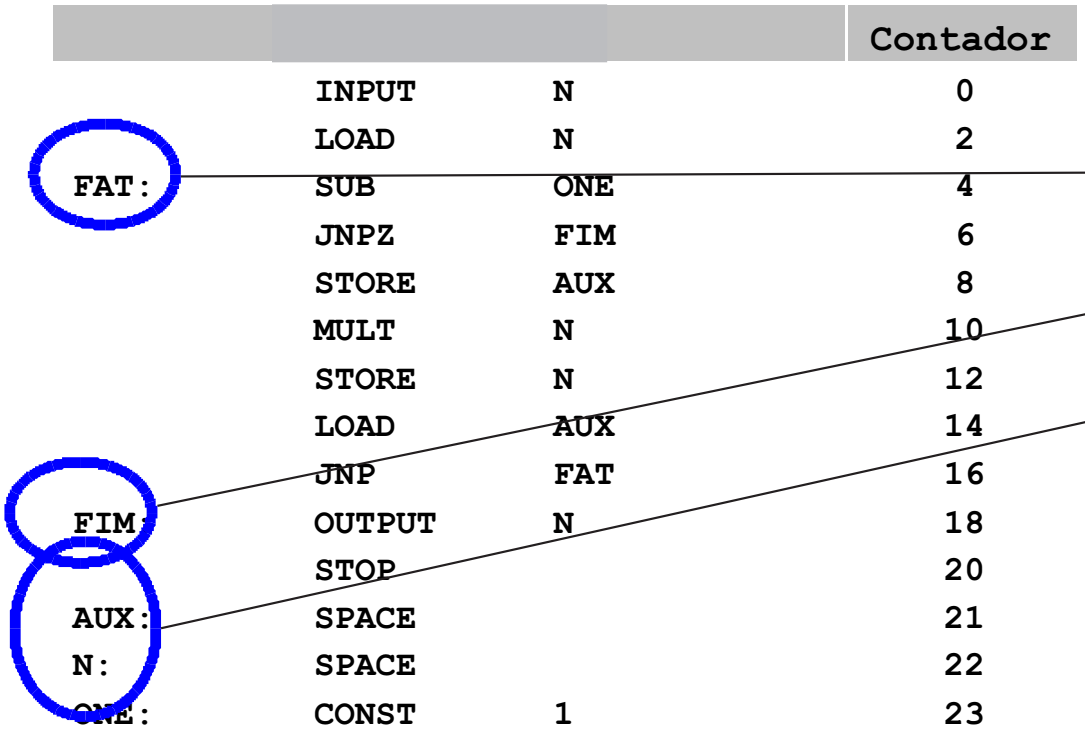
N	ACC	AUX
120	2	2
120	2-1=1	1
120	1*120=120	1
120	1	1

N	ACC	AUX
120	1	1
120	1-1=0	1

Exemplo

Solução

- Vamos ilustrar o algoritmo de duas passagens com um programa que computa o fatorial de um número lido do fluxo de entrada padrão



			Contador
	INPUT	N	0
	LOAD	N	2
FAT:	SUB	ONE	4
	JNPZ	FIM	6
	STORE	AUX	8
	MULT	N	10
	STORE	N	12
	LOAD	AUX	14
	JNP	FAT	16
FIM:	OUTPUT	N	18
	STOP		20
AUX:	SPACE		21
N:	SPACE		22
ONE:	CONST	1	23

Tabela de Símbolos	
Símbolo	**Valor**
FAT	4
FIM	18
AUX	21
N	22
ONE	23

Próxima Aula

Montador passagem única