

TPC7 e Guião Laboratorial

Resolução dos exercícios

1 Ciclo *for*

Uma forma de se analisar o código de um ficheiro executável (e para o qual não se tenha acesso ao ficheiro fonte em HLL que lhe deu origem) consiste em (i) desmontar o ficheiro binário para a versão *assembly* e depois (ii) tentar inverter o processo de compilação e produzir código C que pareça “natural” a um programador de C. Por exemplo, não queremos código com instruções *goto*, uma vez que estas são raramente usadas em C; e muito provavelmente não usaríamos também aqui a instrução *do-while*.

Este exercício obriga-nos a pensar no processo inverso da compilação num dado enquadramento: no modo como os ciclos *for* são traduzidos.

- Rotina...
- Ver alínea seguinte...
- A partir do ficheiro executável que foi disponibilizado, `m_contaN`, é possível desmontá-lo para *assembly*, localizar a parte de código desmontado correspondente à função `contaN` e ainda distinguir as partes de inicialização e término da função, e do corpo da função (a parte pertinente neste exercício).
O código desmontado da função deverá ter um aspeto semelhante ao seguinte; este código inclui já uma anotação introduzida manualmente, bem como as etiquetas (*labels*):

contaN:

```

0x080483f4 <contaN+0>: push    %ebp                ; inicializa função: salvag/ frame pointer anterior
0x080483f5 <contaN+1>: mov     %esp, %ebp                ; cria novo frame pointer (FP)
0x080483f7 <contaN+3>: push    %esi                ; salvaguarda registo %esi
0x080483f8 <contaN+4>: push    %ebx                ; salvaguarda registo %ebx
0x080483f9 <contaN+5>: mov     0x8(%ebp), %esi      ; %esi = apontador para início da string s (1º arg)
0x080483fc <contaN+8>: mov     0xc(%ebp), %ecx      ; inicializa com c a var controlo de ciclo (em %ecx)
0x080483ff <contaN+11>: mov     (%ecx, %esi, 1), %dl ; %dl = carácter na posição c da string, s[c]
0x08048402 <contaN+14>: xor     %ebx, %ebx          ; inicializa a var local, o somatório result: %ebx=0
0x08048404 <contaN+16>: test    %dl, %dl           ; s[c] = char-fim-da-string? (null em ASCII)
0x08048406 <contaN+18>: je      0x8048420<contaN+34> ; je ou jz: salta p/ fim da função se s[c] for null
.L7:
0x08048408 <contaN+20>: lea     -0x30(%edx), %eax    ; %eax=%edx (contém %dl) -48 (ASCII char "0")
0x0804840b <contaN+23>: cmp     $0x9, %al          ; compara %al com 9
0x0804840d <contaN+25>: ja      0x8048416<contaN+34> ; salta se valor de %al acima de 9, i.e., não é dígito
0x0804840f <contaN+27>: movsb   %dl, %eax          ; %eax = char s[c] estendido c/ sinal para 32bits
0x08048412 <contaN+30>: lea     -0x30(%eax, %ebx), %ebx ; result=result+ dígito em s[c]
.L4:
0x08048416 <contaN+34>: inc     %ecx               ; increm var controlo de ciclo (posição c na string s)
0x08048417 <contaN+35>: mov     (%ecx, %esi, 1), %al ; %al = carácter na posição c da string, s[c]
0x0804841a <contaN+38>: test    %al, %al          ; s[c] = char-fim-da-string? (null em ASCII)
0x0804841c <contaN+40>: mov     %al, %dl          ; %dl = s[c] (não altera bits de condição)
0x0804841e <contaN+42>: jne     0x8048408<contaN+20> ; salta p/ início ciclo (L7) se s[c] não é fim-da-string
.L9:
0x08048420 <contaN+44>: mov     %ebx, %eax        ; %eax=result (Σ a devolver pela função)
0x08048422 <contaN+46>: popl    %ebx              ; término da função: recupera registo %ebx
0x08048423 <contaN+47>: popl    %esi              ; recupera registo %esi
0x08048424 <contaN+48>: leave   ; recupera SP e FP-anterior
0x08048425 <contaN+49>: ret     ; recupera IP e regressa

```

De acordo com as anotações já introduzidas no código, as identificações pedidas na alínea **c)** são agora fáceis de resolver (não esquecer que se pedia para identificar no código desmontado em *assembly* e não no código C):

- sendo o `result` o somatório de dígitos a devolver, é só procurar a inicialização a zero de um registo e, se este não for o `%eax`, (neste caso é o `%ebx`) então procurar no fim uma instrução que copie o valor em `%ebx` para `%eax`; a variável `i` deveria ser inicializada com `c` e incrementada de uma unidade dentro do ciclo `for`, e isso acontece com o registo `%ecx`;
- sabendo que os 1º e 2º argumentos se encontram na *stack* à distância de, respetivamente, 8 e 12 células de memória do valor apontado pelo *frame pointer* (em `%ebp`), é fácil de ver para que registos foram copiados esses argumentos;
- o ciclo `for` deverá terminar quando o carácter lido for *null* (e também deverá ser garantido que o ciclo não é executado se o carácter inicial para análise da *string* `s` for também *null*); de notar que, tal como referido nos slides ISA_3, os compiladores transformam os ciclos `for` em `do_while` com testes da condição antes de entrar e dentro do ciclo; assim, o código *assembly* deverá conter 2 expressões de teste semelhantes: estão nas linhas `<contaN+16>` e `<contaN+18>` no teste antes de entrar no ciclo, e `<contaN+38>` e `<contaN+42>` dentro do ciclo `do_while`;
- atualização da variável `i`: procurar por uma instrução que faça o incremento de `%ecx`;
- consultando uma tabela ASCII fica-se a saber que os algarismos 0 a 9 são codificados por `0x30` a `0x39`, ou seja, de 48 a 57 (em decimal);
- a atualização do somatório (`result`, em `%ebx`) deveria ser feita pela expressão `result = result + (s[c] estendido c/ sinal para 32 bits) - 48`; como as instruções aritméticas do IA-32 não permitam especificar mais que 2 operandos, o compilador costuma aproveitar a expressividade da instrução `lea`.
Procurem no código onde uma adição como essa (`+=`) foi implementada com `lea...`

Pode-se ainda ver que:

- as expressões de teste do ciclo `for` têm como objetivo verificar se o carácter lido é o fim da cadeia ou não, i.e., se `s[c]=0`;
- há ainda uma outra expressão de teste associada a uma típica estrutura de `if...then` para decidir quando somar os caracteres (quando forem algarismos...); esta expressão tem como objetivo verificar se o carácter lido – o valor de 8 bits que está no registo `%al` – subtraído de 48 é menor ou igual a 9, o que corresponde a verificar se é o código ASCII de um algarismo ou não, i.e., se `s[c] >= '0' && s[c] <= '9'`; este duplo teste é feito de uma só vez ao se usar a instrução `ja` (*jump if above*) em vez de `jg` (*jump if greater*), porque se o carácter estiver na tabela ASCII antes do `'0'`, o resultado da subtração será um número negativo, codificado em complemento para 2, contendo um "1" no bit mais à esquerda, logo estará "acima" (maior-do-que, mas sem sinal) quando comparado com qualquer número positivo.

- d)** Com base no código anotado da alínea anterior (e comentários que se seguiram), e sabendo a estrutura habitual do código gerado por um compilador com um nível médio de otimização, é possível chegar-se ao seguinte código original em C:

```
1 int contaN(char *s, int c)
2 {
3     int i;
4     int result=0;
5     for (i = c; s[i]!='\0' ; i++)
6         if (s[i] >= '0' && s[i] <= '9')
7             result +=(s[i]-'0');
```