Mestrado em Informática

2010/11

A.J.Proença

Tema

Os Números nos Sistemas de Computação


```
double recip(int denom)
{
  return 1.0/(double) denom;
}

void do_nothing() {}

void test1(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t1;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  t1 = r1 == r2;
  do_nothing();
  printf("test1 t1: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t1 ? '=' : '!', r2);
}

void test2(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t2;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  do_nothing();
  t2 = r1 == r2;
  printf("test2 t2: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t2 ? '=' : '!', r2);
}
```

```
int main()
{
  int denom=10;

  test1(denom);
  test2(denom);
}
```

Será 1/10 sempre igual a 1/10?


```
double recip(int denom)
{
  return 1.0/(double) denom;
}

void do_nothing() {}

void test1(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t1;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  t1 = r1 == r2;
  do_nothing();
  printf("test1 t1: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t1 ? '=' : '!', r2);
}

void test2(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t2;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  do_nothing();
  t2 = r1 == r2;
  printf("test2 t2: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t2 ? '=' : '!', r2);
}
```

```
int main()
{
  int denom=10;

  test1(denom);
  test2(denom);
}
```

```
test1 t1: r1 0.100000 != r2 0.100000
test2 t2: r1 0.100000 == r2 0.100000
```

Porquê?

- Erro no algoritmo?
- Erro na codificação?
- Erro na compilação? ... provavelmente...

então:

– analisar o código gerado

– e procurar as diferenças que causaram a anomalia

• comparar código desmontado de `test1` e `test2`

```
void test1(int denom)
{ ...
  ...
  t1 = r1 == r2;
  do_nothing();
  printf(...);
}
```

```
void test2(int denom)
{ ...
  ...
  do_nothing();
  t2 = r1 == r2;
  printf(...);
}
```

Olhar de novo para o código...

```
double recip(int denom)
{
  return 1.0/(double) denom;
}

void do_nothing() {}

void test1(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t1;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  t1 = r1 == r2;
  do_nothing();
  printf("test1 t1: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t1 ? '=' : '!', r2);
}

void test2(int denom)
{
  double r1, r2;
  int t2;
  r1 = recip(denom);
  r2 = recip(denom*2-10);
  do_nothing();
  t2 = r1 == r2;
  printf("test2 t2: r1 %f %c= r2 %f\n", r1, t2 ? '=' : '!', r2);
}
```

```
int main()
{
  int denom=10;

  test1(denom);
  test2(denom);
}
```


Análise do código desmontado de `test1` (1)

```
00401090 <test1>:
 401090:  55                    push   %ebp
 401091:  89 e5                 mov    %esp,%ebp
 401093:  83 ec 28              sub    $0x28,%esp
 401096:  89 5d fc              mov    %ebx,0xfffffffc(%ebp)
 401099:  8b 5d 08              mov    0x8(%ebp),%ebx
 40109c:  89 1c 24              mov    %ebx,(%esp,1)
 40109f:  8d 5c 1b f6           lea    0xfffffff6(%ebx,%ebx,1),%ebx
 4010a3:  e8 b8 ff ff ff        call   401060 <_recip>
 4010a8:  89 1c 24              mov    %ebx,(%esp,1)
 4010ab:  dd 5c 24 04           fstpl  0x4(%esp,1)
 4010af:  e8 ac ff ff ff        call   401060 <_recip>
 4010b4:  dd 44 24 04           fldl   0x4(%esp,1)
 4010b8:  d9 c9                 fxch   %st(1)
 4010ba:  dd 54 24 10           fstl   0x10(%esp,1)
 4010be:  da e9                 fucompp
 4010c0:  df e0                 fnstsw %ax
 4010c2:  9e                    sahf
 4010c3:  0f 9b c2              setnp  %dl
 4010c6:  0f 94 c0              sete   %al
 4010c9:  20 d0                 and    %dl,%al
 4010cb:  0f b6 d8              movzbl %al,%ebx
 4010ce:  e8 9d ff ff ff        call   401070 <_do_nothing>
 4010d3:  c7 04 24 75 10 40 00  movl   $0x401075,(%esp,1)
 4010da:  31 c0                 xor    %eax,%eax
 4010dc:  85 db                 test   %ebx,%ebx
 4010de:  0f 95 c0              setne  %al
 4010e1:  48                    dec    %eax
 4010e2:  83 e0 e4              and    $0xffffffe4,%eax
 4010e5:  83 c0 3d              add    $0x3d,%eax
 4010e8:  89 44 24 0c           mov    %eax,0xc(%esp,1)
 4010ec:  e8 ff 04 00 00        call   4015f0 <_printf>
 4010f1:  8b 5d fc              mov    0xfffffffc(%ebp),%ebx
 4010f4:  89 ec                 mov    %ebp,%esp
 4010f6:  5d                    pop    %ebp
 4010f7:  c3                    ret
 4010f8:  74 65                 je     40115f <_test2+0x3f>
 4010fa:  73 74                 jae    401170 <_test2+0x50>
 4010fc:  32 20                 xor    (%eax),%ah
 4010fe:  74 32                 je     401132 <_test2+0x12>
 401100:  3a 20                 cmp    (%eax),%ah
 401102:  72 31                 jb     401135 <_test2+0x15>
 401104:  20 25 66 20 25 63     and    %ah,0x63252066
 40110a:  3d 20 72 32 20        cmp    $0x20327220,%eax
 40110f:  25 66 0a 00 8d        and    $0x8d000a66,%eax
 401114:  b6 00                 mov    $0x0,%dh
 401116:  00 00                 add    %al,(%eax)
 401118:  00 8d bc 27 00 00     add    %cl,0x27bc(%ebp)
```


Análise do código desmontado de `test1` (1)

```
push   %ebp
mov    %esp,%ebp
sub    $0x28,%esp
mov    %ebx,0xfffffffc(%ebp)
```

bloco de arranque da função

```
mov    0x8(%ebp),%ebx          valor do arg recebido <denom> em %ebx
mov    %ebx,(%esp,1)           topo da stack <- valor do arg <denom> para <recip>
lea    0xfffffff6(%ebx,%ebx,1),%ebx   o próximo arg ( = denom + denom - 10)
call   401060 <_recip>         calcula o recíproco de 10
mov    %ebx,(%esp,1)           topo da stack <- o novo valor do arg para <recip>
fstpl  0x4(%esp,1)             r1=val_ret: pop/sto %st(0) na mem (reduz a 64b); 2º arg p/ <printf>
call   401060 <_recip>         calcula o novo recíproco (que é 10 outra vez)
fldl   0x4(%esp,1)             recupera r1, i.e., push para %st(0) - valor de 64b -> 80b
fxch   %st(1)                  troca %st0 (r1) com %st1 (o novo recíproco)
fstl   0x10(%esp,1)            r2=val_ret: store %st(0) na mem (reduz a 64b); 4º arg p/ <printf>
fucompp                        compara+pop os 2 reg, com r1(64b->80b) e r2(80b)
```


Análise do código desmontado de `test1` (2)

```
mov    0x8(%ebp),%ebx
mov    %ebx,(%esp,1)
lea    0xfffffff6(%ebx,%ebx,1),%ebx
call   401060 <_recip>
mov    %ebx,(%esp,1)
fstpl  0x4(%esp,1)
call   401060 <_recip>
fldl   0x4(%esp,1)
fxch   %st(1)
fstl   0x10(%esp,1)
fucompp
```

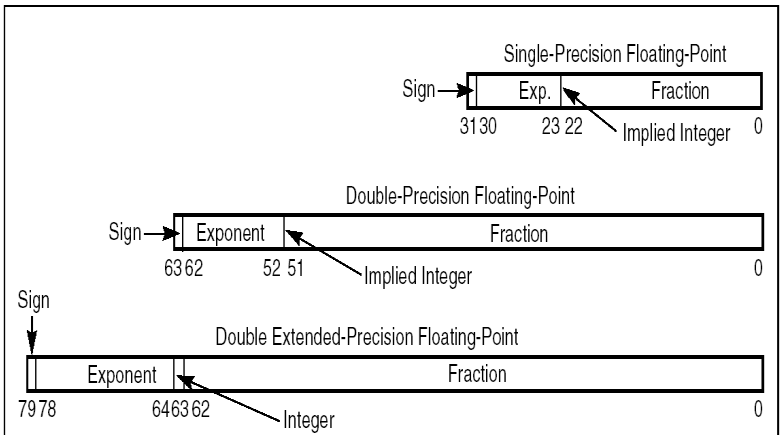
Análise do código desmontado de `test2`

```
call   401060 <_recip>          ; calcula o recíproco de 10
mov  %ebx,(%esp,1)
fstpl  0x4(%esp,1)              ; guarda na mem o valor de ret da func
                                    (r1 reduzido a 64b)
call   401060 <_recip>          ; calcula o novo recíproco
                                    (que neste caso é 10 outra vez)
fstpl  0x10(%esp,1)             ; guarda tb na mem o valor retorno da função
                                    (r2 reduzido a 64b)
call   401070 <_do_nothing>
fldl   0x4(%esp,1)              ; recupera r1
fldl   0x10(%esp,1)             ; recupera r2
movl $0x4010f8,(%esp,1)
fucompp                         ; compara r1:r2
                                    (ambos ex-80b arredondados para 64b)
```


Análise do código: conclusões

- detectada 1 diferença fundamental:
  - a comparação em **`test1`** é feita entre
    - **`r1`**, calcul c/ 80b, armazen c/ 64b, recup c/ ext a 80b
    - **`r2`**, valor calculado e mantido em 80b
  - e em test2: r1 e r2 são ambos 80b->64b->80b
  - quando ocorre esta salvag autom de registos?
    - nesta versão do compilador, os valores em reg fp são salvaguardados antes de invocar a função
- a diferença é crítica?
  - será se a representação binária do valor (IEEE 754) necessitar mais que os 64b da precisão dupla
  - o valor decimal "0.1" necessita?...

Representação de reais no IA32



Análise da representação binária do valor decimal "0.1"

- 0.1_{10} = $0.0(0011)_2$ **(valor normalizado)**
  - prec dupla estendida, 80b (**`frac`** com 63b + 1b):
    - $0.0(0011)_2 * 2^0$ =

$1.1001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011010 * 2^{-4}$

  - prec dupla, de 80b arredond p/ 64b (frac com 52b + 1b):
    - $0.0(0011)_2 * 2^0$ =

$1.1001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011010 * 2^{-4}$

  - de prec dupla 64b estend p/ 80b (**`frac`** com 63b + 1b) :
    - $0.0(0011)_2 * 2^0$ =

$1.1001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011010000000000000 * 2^{-4}$