

# Geração de Código em C para Simples

José de Oliveira Guimarães  
Departamento de Computação  
UFSCar - São Carlos, SP  
Brasil  
e-mail: jose@dc.ufscar.br

December 1, 2004

Este artigo descreve a tradução dos programas de Simples para C. Os nomes de alguns identificadores do programa em Simples, como classes e métodos, terão seus nomes alterados na tradução. Os nomes de variáveis locais são mantidos. Contudo, se o tipo da variável `pa` no programa em Simples for `A`, o tipo em C será o de um ponteiro para `class_A`, definida abaixo. Todas as variáveis cujos tipos são classes serão traduzidos para ponteiros em C. Isto será assumido no texto que se segue.

Um objeto de uma classe `A` possui todas as variáveis declaradas em `A` mais um ponteiro para um vetor de métodos. Como exemplo, a Figura 1 mostra um objeto da classe `A` da Figura 2.<sup>1</sup>

Todos os objetos possuem um ponteiro, que chamaremos de `vt`, que aponta para a tabela de métodos *públicos* da classe.

Cada classe possui um vetor de ponteiros onde cada entrada aponta para um dos métodos *públicos* da classe. Todos os objetos de uma classe apontam, via ponteiro `vt`, para a mesma tabela de métodos (TM) da classe.

Assim, se `pa` referir-se a um objeto da classe `A`, `pa->vt[0]` (já traduzindo `pa` para um ponteiro em C) apontará para um método público de `A` (neste caso, `A::get()`).

O compilador, ao compilar a classe `A`, transforma-a em uma estrutura contendo `vt` na primeira posição e as variáveis de instância de `A` em seguida:

```
typedef
struct St_A {
    Func *vt;
    int A_i;
} class_A;
```

---

<sup>1</sup>Usaremos `C::m` para designar método `m` da classe `C`.

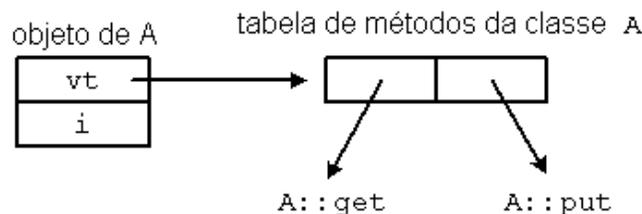


Figure 1: Representação de um objeto da classe A

```

class A
  private:
    var i : integer;
  public:
    proc get() : integer
      begin
        return self.i;
      end
    proc put( p_i : integer )
      begin
        self.i = p_i;
      end
end

```

Figure 2: Uma classe em Simples

O tipo Func é definido como

```

typedef
  void (*Func)();

```

Isto é, um ponteiro para uma função.

Cada método de A, seja ele público ou privado, é convertido em uma função que toma como parâmetro um ponteiro para `class_A` e cujo nome é formado pela concatenação do nome da classe e do método:

```

int A_get( class_A *self ) {
  return self->A_i;
}

void A_put( class_A *self, int p_i ) {
  self->A_i = p_i;
}

```

O nome do primeiro parâmetro é sempre `self`, e é através dele que são manipuladas as variáveis de instância da classe, que estão declaradas em `class_A`. A codificação dos métodos privados é exatamente igual à dos métodos públicos.

Agora, a tabela de métodos públicos da classe A é declarada e inicializada com as funções acima:

```

Func VTclass_A[] = {
  A_get,
  A_put
};

```

De fato, a declaração acima possui erros de tipo, pois o tipo de `A_get` (ou `A_put`) é diferente do tipo de `Func`, mas não nos preocuparemos com isto por enquanto. `Func` é o tipo de cada um dos elementos do vetor `VTclass_A`.

Como dissemos anteriormente, cada objeto de A aponta para um vetor de métodos públicos de A, que é `VTclass_A`. Assim, quando um objeto de A é criado, deve-se fazer o seu campo `vt` apontar para `VTclass_A`.

O compilador transforma

```

pa = A.new(); /* Simples */

```

em

```

pa = new_A(); /* C */

```

onde `new_A` é definida como

```

class_A *new_A()
{
    class_A *t;

    if ( (t = malloc(sizeof(class_A))) != NULL )
        t->vt = VTclass_A;
    return t;
}

```

Observe que a ordem dos métodos em `VTclass_A` é a mesma da declaração da classe `A`. A posição 0 é associada a `get` e 1, a `put`.

Uma chamada de um método público

```
j = pa.get();
```

é transformada em uma chamada de função através de `pa->vt`:

```
j = (pa->vt[0])(pa);
```

O índice 0 foi usado porque 0 é o índice de `get` em `VTclass_A`. O primeiro parâmetro de uma chamada de métodos é sempre o objeto que recebe a mensagem. Neste caso, `pa`.

De fato, a instrução acima possui um erro de tipos: `pa->vt[0]` não admite nenhum parâmetro e estamos lhe passando um, `pa`. Isto é corrigido colocando-se uma conversão de tipos:

```
j = ( (int (*)(class_A *)) pa->vt[0] )(pa);
```

O tipo “`int (*)(class_A *)`” representa um ponteiro para função que toma um “`class_A *`” como parâmetro e retorna um `int`.

Como mais um exemplo,

```
pa.put(12)
```

é transformado em

```
(pa->vt[1])(pa, 12)
```

ou melhor, em

```
((void (*)(class_A *, int )) pa->vt[1] )(pa, 12)
```

Com as informações acima, já estamos em condições de traduzir um programa de `Simple` para `C`. O programa `Simple` da Figura 3 é traduzido para o programa `C` mostrado nas Figuras 4 e 5. Neste programa estão colocadas as conversões de tipo (*casts*) necessárias para que o programa compile.

Como definido pela linguagem, a execução do programa começa com a criação de um objeto da classe `Program`, que é seguida do envio da mensagem `run` para este objeto.

Considere agora a classe `B` da Figura 6. Esta classe possui vários aspectos ainda não examinados:

1. o método `print` envia a mensagem `get` para `self`. O método `get` é público.
2. o método `put` de `B` chama o método `put` de `A` através de `super.put(p_i)`;<sup>2</sup>
3. o acréscimo de métodos nas subclasses (`print`, `inc` e `getLastInc`);
4. a redefinição de métodos nas subclasses (`put`);
5. adição de variáveis de instância nas subclasses (`lastInc`);
6. definição de métodos privados (`add`);
7. chamada a métodos privados usando `self`: (`self.add(1)`).

Veremos abaixo como gerar código para cada uma destas situações.

1. “`self.get()`” é traduzido para  

```
(self->vt[0])(self)
```

---

<sup>2</sup>Observe que esta herança está errada. Métodos de subclasses não podem restringir valores de parâmetros.

```

class A
  private:
    var i : integer;
  public:
    proc get() : integer
      begin
        return self.i;
      end
    proc put( p_i : integer )
      begin
        self.i = p_i;
      end
end

```

```

class Program
  public:
    proc run()
      var a : A;
          k : integer;
      begin
        a = A.new();
        a.put(5);
        k = a.get();
        write(k);
      end
end

```

Figure 3: Um programa em Simples

```

#include <alloc.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

typedef
    void (*Func)();

typedef
    struct St_A {
        Func *vt;
        int A_i;
    } class_A;

class_A *new_A();

int A_get( class_A *self ) {
    return self->A_i;
}

void A_put( class_A *self, int p_i ) {
    self->A_i = p_i;
}

Func VTclass_A[] = {
    ( void (*)() ) A_get,
    ( void (*)() ) A_put
};

class_A *new_A()
{
    class_A *t;

    if ( (t = malloc(sizeof(class_A))) != NULL )
        t->vt = VTclass_A;
    return t;
}

```

Figure 4: Tradução do programa da Figura 3 para C

```

typedef
    struct St_Program {
        Func *vt;
    } class_Program;

class_Program *new_Program();

void Program_run( class_Program *self )
{
    class_A *a;
    int k;

    a = new_A();
    ( (void (*)(class_A *, int)) a->vt[1] )(a, 5);
    k = ( (int (*)(class_A *)) a->vt[0] )(a);
    printf("%d ", k );
}

Func VTclass_Program[] = {
    ( void (*)() ) Program_run
};

class_Program *new_Program()
{
    class_Program *t;

    if ( (t = malloc(sizeof(class_Program))) != NULL )
        t->vt = VTclass_Program;
    return t;
}

void main()
{
    class_Program *program;

    /* crie objeto da classe Program e envie a mensagem run para ele */
    program = new_Program();
    ( ( void (*)(class_Program *) ) program->vt[0] )(program);
}

```

Figure 5: Continuação da tradução do programa da Figura 3 para C

```

class B subclassOf A
private:
  var lastInc : integer;
  proc add( n : integer )
  begin
    self.lastInc = n
    super.put( super.get() + n );
  end
public:
  proc print()
  begin
    write( self.get() );
  end
  proc put( p_i : integer )
  begin
    if p_i > 0
    then
      super.put(p_i);
    endif
  end
  proc inc()
  begin
    self.add(1);
  end
  proc getLastInc() : integer
  begin
    return self.lastInc;
  end
end

```

Figure 6: Herança de A por B com acréscimo e redefinição de métodos

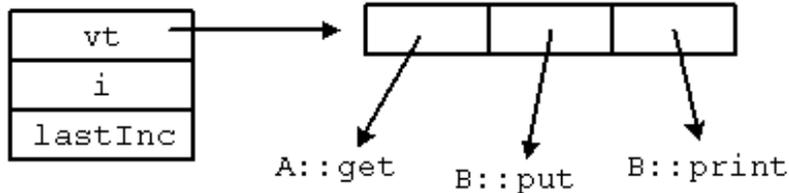


Figure 7: Objeto e tabela de métodos de B

ou melhor,

```
( (int (*)(class_A *)) self->vt[0] ) ( (class_A *) self )
```

Se o método é público, a ligação mensagem/método é dinâmica — é necessário utilizar a tabela de métodos mesmo o receptor da mensagem sendo `self`.

2. A chamada `super.put(p_i)` especifica claramente qual método chamar: o método `put` de `A`.<sup>3</sup>

Portanto, esta instrução resulta em uma ligação estática, que é:

```
A_put( self, p_i )
```

ou

```
A_put( (class_A *) self, p_i )
```

com conversão de tipos.

Como o destino do envio de mensagem `put` não é especificado (como em `a.put(5)`), assume-se que ele seja `self`. Observe que em

```
A_put( (class_A *) self, p_i )
```

é necessário converter um ponteiro para `class_B`, que é `self`, em um ponteiro para `class_A`. Isto não causa problemas porque `class_B` é um superconjunto de `class_A`, como foi comentado acima.

Note que o protótipo de `A_put` é

```
A_put( class_A *, int )
```

3. O acréscimo de métodos em subclasses faz com que a tabela de métodos aumente proporcionalmente. Assim, a tabela de métodos para `B` possui três entradas a mais do que a de `A`, para `print`, `inc` e `getLastInc`.
4. A redefinição de `put` em `B` faz com que a tabela de métodos de `B` refira-se a `B::put` e não a `A::put`. A classe `B` herda o método `get` de `A`, redefine o `put` herdado e adiciona o método `print`. Assim, a tabela de métodos de `B` aponta para `A::get`, `B::put` e `B::print`, como mostrado na Figura 7.
5. A declaração de `class_B` é

```
typedef
struct St_B {
    Func *vt;
    int A_i;
    int B_lastInc;
} class_B;
```

<sup>3</sup>O compilador faz uma busca por método `put` começando na superclasse de `B`, `A`, onde é encontrado.

As variáveis da superclasse aparecem antes das variáveis da subclasse.

6. A geração de código para um método privado é exatamente igual à de um método público. Porém, métodos privados não são colocados na tabela de métodos (como `VTclass_B`).
7. A chamada `self.add(1)` especifica qual método chamar: `add` da classe corrente. Sendo `add` um método privado, sabemos exatamente de qual método estamos falando. Então a chamada em `C` é estática:

```
B_add(self, 1)
```

Não há necessidade de converter `self` pois o seu tipo é `class_B` e `add` é declarado como

```
void B_add( class_B *self, int n ) { ... }
```

Chamadas a métodos privados nunca precisarão de conversão de tipo para `self`. Recordando, envios de mensagem para `self` resultam em ligação dinâmica (usando `vt`) se o método for público ou em ligação estática se o método for privado.

Na tabela de métodos de `B`, a numeração de métodos de `A` é preservada. Assim, a posição 0 da TM de `B` aponta para o método `get` porque esta mesma posição da TM de `A` aponta para `get`. Isto acontece somente porque `B` herda `A`. As numerações em classes não relacionadas por herança não são relacionadas entre si.

A preservação da numeração em subclasses pode ser melhor compreendida se considerarmos um método polimórfico `f`:

```
class X
public:
  proc f( a : A )
    begin
      a.put(5);
    end
end
```

Este método é transformado em

```
void X_f( class_X *self, class_A *a )
{
  ( (void (*)( class_A *, int )) a->vt[1] )(a, 5);
}
```

É fácil ver que a chamada

```
t = A.new();
x.f(t);
```

causa a execução de `A::put`, já que `t->vt` e `a->vt`<sup>4</sup> apontam para `VTclass_A` e a posição 1 de `VTclass_A` (que é `a->vt[1]`) aponta para `A::put`.

Como `B` é subclasse de `A`, objetos de `B` podem ser passados a `f`:

```
t = B.new();
x.f(t);
```

Agora, `t->vt` e `a->vt` apontam para `VTclass_B` e a posição 1 de `VTclass_B` aponta para `B::put`. Então, a execução de `f` causará a execução de `B::put`, que é apontado por `a->vt[1]`.

`f` chama `put` de `A` ou `B` conforme o parâmetro seja objeto de `A` ou `B`. Isto só acontece porque `B::put` foi colocado em uma posição em `VTclass_B` igual 'a posição de `A::put` em `VTclass_A`.

Esclarecemos melhor este ponto através de um exemplo. Se `VTclass_B` fosse declarado como

```
Func VTclass_B [] = {
  A_get,
```

---

<sup>4</sup>`a` é o parâmetro formal de `f`.

```

B_print,
B_put,
B_inc,
B_getLastInc
};

```

a execução da função `f` chamaria `B_print`.

A transformação da classe `B` para linguagem `C` é mostrada nas Figuras 8 e 10.

## Desempenho

O código abaixo compara o tempo de execução de uma chamada de função (com corpo vazio e um ponteiro como parâmetro) com o tempo de execução de chamadas indiretas de função.<sup>5</sup>

```

class C {
public:
    virtual void f() { }
};

typedef
void (*Func)();

typedef
struct {
    Func *vt;
} class_A;

void f( class_A * ) { }

Func VTclass_A[] = { (void (*)()) f };

int i, j;
class_A a, *pa = &a;
C c, *pc = &c;
void (*pf)(class_A *) = f;

void main()
{
    a.vt = VTclass_A;

    for (i = 0; i < 1000; i++ )
        for (j = 0; j < 1000; j++ ) {
            // ; /* 0.21 */
            // f(pa); /* 0.37 - 0.21 = 0.16 */
            // pf(pa); /* 0.41 - 0.21 = 0.20 */
            // ( ( void (*)(class_A *) ) pa->vt[0]) (pa); /* 0.46 - 0.21 = 0.25 */
            // pc->f(); /* 0.59 - 0.21 = 0.38 */
        }
}

```

---

<sup>5</sup>Estes dados foram obtidos em uma estação SPARC com Unix.

```

typedef
  struct St_B {
    Func *vt;
    int A_i;
    int B_lastInc;
  } class_B;

class_B *new_B();

void B_add( class_B *self, int n )
{
  self->B_lastInc = n;
  A_put( (class_A *) self, A_get( (class_A *) self ) + n );
}

void B_print ( class_B *self )
{
  printf("%d ", ((int (*)(class_A *)) self->vt[0])( (class_A *) self));
}

void B_put( class_B *self, int p_i )
{
  if ( p_i > 0 )
    A_put((class_A *) self, p_i);
}

void B_inc( class_A *self )
{
  B_add(self, 1);
}

int B_getLastInc( class_B *self )
{
  return self->B_lastInc;
}

```

Figure 8: Tradução da classe B para a linguagem C — parte I

```

Func VTclass_B[] = {
    (void (*) ()) A_get,
    (void (*) ()) B_put,
    (void (*) ()) B_print,
    (void (*) ()) B_inc,
    (void (*) ()) B_getLastInc
};

class_B *new _B()
{
    class_B *t;

    if ((t = malloc (sizeof(class_B))) != NULL)
        t->vt = VTclass_B;
    return t;
}

```

Figure 9: Tradução da classe B para a linguagem C — parte II

f(pa)	1
(*pf)(pa)	1.25
pa->vt[0](pa)	1.56
pb->f()	2.4

Figure 10: Tabela comparativa dos tempos de chamada de função

A tabela de tempos é sumarizada na Figura 10. Observe que o envio de mensagem `pb->f()` é implementado pela própria linguagem C++ e utiliza um mecanismo mais lento do que a implementação descrita nesta seção.

- Cada objeto possui um campo `vt` que aponta para uma tabela (vetor) de ponteiros onde cada ponteiro aponta para um dos métodos da classe do objeto.
- Todos os objetos de uma mesma classe apontam para a mesma tabela de métodos.
- Um envio de mensagem `a.m()`, onde o tipo de `a` é `A`, é transformado em `a->vt[0](a)`. O método `m` é invocado através de um dos elementos da tabela (neste caso, elemento da posição 0). O objeto é sempre o primeiro parâmetro.
- As classes são transformadas em estruturas contendo as variáveis de instância e mais um primeiro campo `vt` que é um ponteiro para um vetor de funções (métodos).
- Os métodos são transformados em funções adicionando-se como primeiro parâmetro um ponteiro chamado `self` para objetos da classe.
- Chamadas a métodos da superclasse (como em `super.put`) são transformadas em chamadas estáticas.