Aula 04

Correcção

Abordagens Sistemáticas à Programação

Programação II, 2020-2021

v1.6, 01-03-2020

DETI, Universidade de Aveiro

Sumário

Tipos de Dados Abstratos

Tipo de Dados Abstrato (TDA)

É um *modelo* que descreve um tipo de dados apenas pelas *operações* que lhe são aplicáveis e não pela forma como é implementado... *(Definição mais completa adiante.)*

- Um TDA descreve o que um tipo de dados representa sem ditar como o faz.
- Um TDA deve ter tudo o que precisamos de saber para utilizar o tipo de dados.
- Assim, o utilizador do tipo pode abstrair-se dos detalhes de implementação.
- Como veremos a seguir, o comportamento de um tipo de dados pode ser formalizado através de pré-condições, pós-condições e invariantes.
- A abstração é a melhor forma de lidar com a complexidade.

Exemplo: Mesma representação de dados, TDAs distintos

- Considere um tipo para representar frações.

```
public class Fraction {
   private int num;
   private int den;
   public Fraction add(Fraction f) { ... }
   public Fraction multiply(Fraction f) { ... }
}
```

- E um tipo para representar a posição de um pixel no ecrã.

```
public class Pixel {
   private int x;
   private int y;
   public Pixel move(int dx, int dy) { ... }
   public double distanceTo(Pixel) { ... }
}
```

- Ambos usam dois atributos inteiros para representar os *dados*.
- Mas têm *operações* com significado diferente.
- Logo, representam tipos de dados abstratos distintos.

Exemplo: Dados diferentes, mesmo TDA

- Uma fração pode ser representada na forma $\frac{N}{D}$, por exemplo $\frac{7}{3}$.

```
public class Fraction {
   private int N;  // Numerador
   private int D;  // Denominador
   public Fraction add(Fraction f) { ... }
   public Fraction multiply(Fraction f) { ... }
}
```

- Mas também pode ser representada na forma mista $I\frac{N}{D}$, por exemplo $2\frac{1}{3}$.

```
public class Fraction {
   private int I;  // Parte inteira
   private int N;  // Numerador
   private int D;  // Denominador (maior que N)
   public Fraction add(Fraction f) { ... }
   public Fraction multiply(Fraction f) { ... }
}
```

- São representações diferentes para os *dados*.
- Mas têm as mesmas *operações* com o mesmo significado.
- Logo, implementam o mesmo tipo de dados abstrato.

Objectos - Abstracção de Dados

- As classes são uma forma de implementar tipos de dados abstratos.
- As operações do TDA são expostas pelas declarações de membros públicos de uma classe e constituem a sua interface.
- Os membros privados e os corpos dos métodos constituem a implementação.
- Classe = Interface + Implementação;

```
public class Data {
    public Data() { ... }
    public Data(int dia, int mes, int ano) { ... }
    public int dia() { ... }
    public int mes() { ... }
    public int ano() { ... }
    public boolean equals(Data outra) { ... }
    private ...
}
```

Abordagens Sistemáticas à Programação

- O factor de qualidade mais importante é a correcção;
- Assim sendo, como verificar se um programa está correcto?
- Testando o programa por fora:
  - Executar o programa para diferentes casos;
  - Construção de programas orientada ao teste (*TDD: Test Driven Development*);
  - Árbitro externo ao programa decide da sua correcção.
- Testando o programa por dentro:
  - Será possível trazer o árbitro para dentro do próprio programa?
  - Se for, então o programa saberá quando está em falha (e pode agir em conformidade);

Abordagens Sistemáticas à Programação (2)

- Qualquer que seja o elemento de software em apreço – classe, função, bloco, instrução condicional, instrução repetitiva, atribuição de valor, etc. – existe sempre uma razão para a sua escolha e o seu uso tem um determinado significado (uma semântica).
- Não é boa ideia deixar esse significado apenas implícito no código, ou descrito apenas em documentação externa.
- O significado deve ficar explícito no próprio código fonte. Desse modo:
  - Facilitamos a compreensão (perceber o significado) do software.
  - Melhoramos a legibilidade.
  - Potenciamos a correcção.

Abordagens Sistemáticas à Programação (3)

- Para procurar atingir esse objetivo devemos:
  - Atribuir nomes sugestivos às classes, métodos, variáveis.
  - Documentar adequadamente o código. Bons comentários devem conter significados que não sejam evidentes no próprio código.
  - Anotar o elemento de software com asserções. Esta é uma abordagem ainda mais poderosa e eficaz que as anteriores.

Abordagens Sistemáticas à Programação (4)

- As asserções são expressões booleanas executáveis, que expressam condições esperadas sempre que o programa chega a esse ponto.
- Se a asserção preceder um elemento de software, diz-se que é uma pré-condição desse elemento.
- Se suceder ao elemento, então diz-se que é uma pós-condição.
- Cada asserção incluída no código fonte pode ser vista como
  - Uma especificação expressa de forma axiomática, que estipula o modo correto de utilizar o código nesse ponto do programa.
  - Uma documentação do funcionamento do código, sem o risco de ficar incoerente com o código.
  - Um teste, que pode ser verificado sistematicamente sempre que o programa é executado.

Exemplo

- Este programa está correcto?

```
r = x;
q = 0;
while (r > y)   {
    r = r - y;
    q = q + 1;
}
```

- Não sabemos! Depende do que é suposto ele fazer.
- Especificação:
  - Calcula o quociente *q* e o resto *r* como resultados da divisão inteira de *x* por *y*.

Exemplo

- Este programa calcula o quociente q e o resto r como resultados da divisão inteira de x por y. Está correcto?

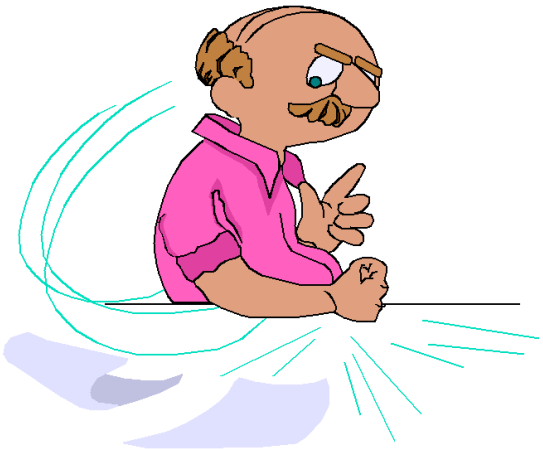
```
r = x;
q = 0;
while (r > y) {
    r = r - y;
    q = q + 1;
}
```

- TALVEZ! De acordo com a especificação podemos provar que no final:

$$x = y * q + r,$$

que é a *propriedade fundamental da divisão*.

Algum tempo mais tarde

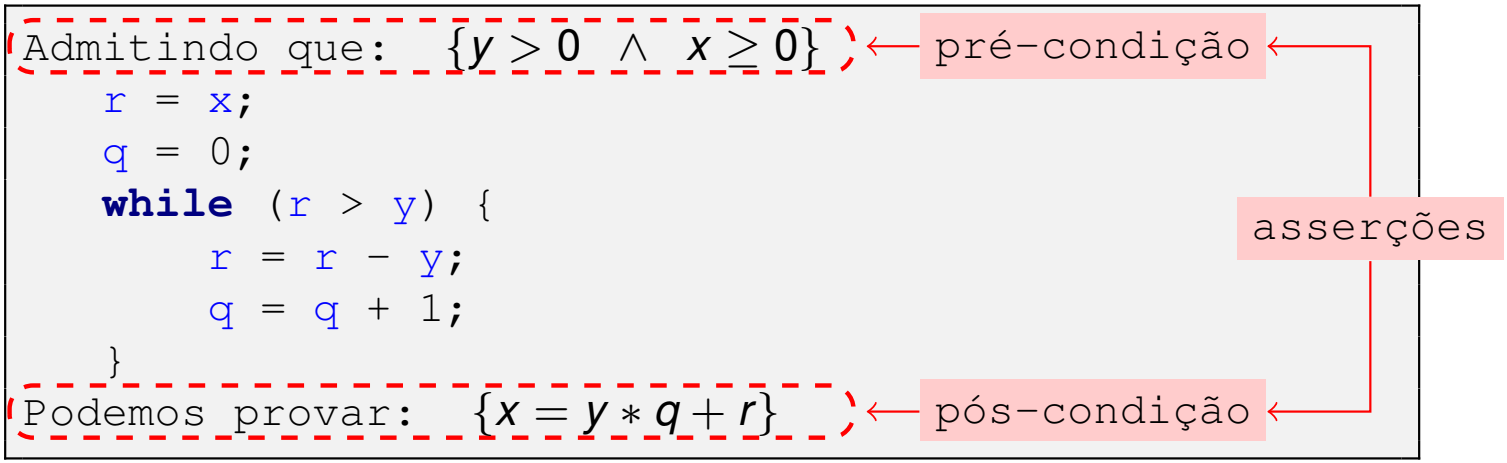


```
r = x;
q = 0;
while (r > y) {
    r = r - y;
    q = q + 1;
}
```

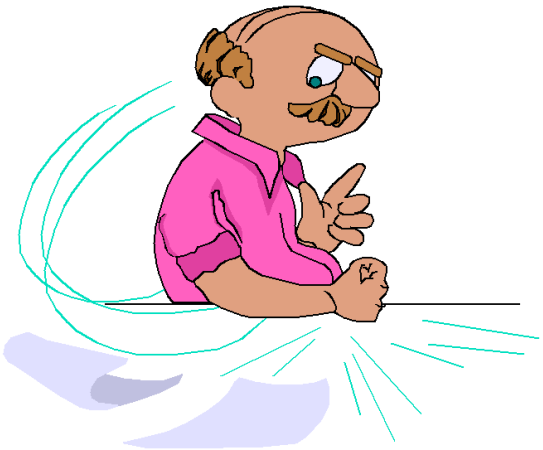
- O programa não está correcto!
- Não termina quando $y = 0$!
- Obviamente que, por definição, não podemos dividir por zero.
- Valores negativos de x ou y também são problemáticos!

- Logo a especificação está incompleta.
- Devíamos ter "dito" que o programa só se aplica se $y > 0 \wedge x \geq 0$.

Exemplo



Algum tempo mais tarde



```
r = x;
q = 0;
while (r > y) {
    r = r - y;
    q = q + 1;
}
```

- O programa ainda não está correcto!
- Quando $x = 6$ e $y = 3$ o resultado é:

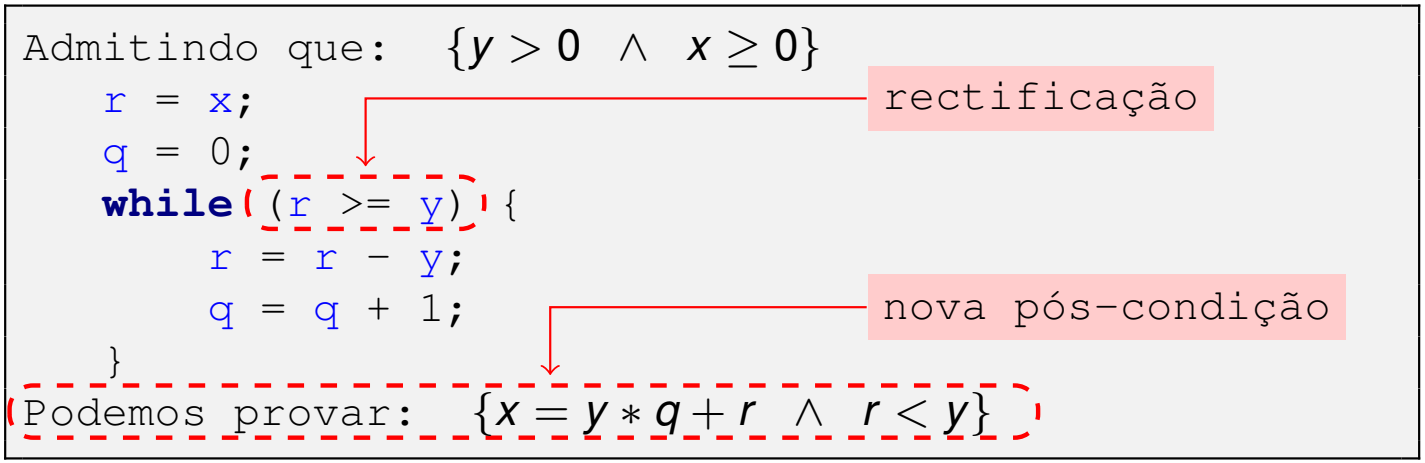
$$q = 1 \ \wedge \ r = 3$$

- em vez de:

$$q = 2 \ \wedge \ r = 0$$

- Oops! É um erro . . . vamos ver. . .

Exemplo



Formalizando uma Especificação

- Considere-se qualquer bloco de instruções A. A sua formulação em lógica de Hoare pode ser expressa como:

$$\{P\}\ A\ \{Q\}$$

- P e Q são asserções:
  - P é a pré-condição de A;
  - Q é a pós-condição de A.
- Significado:
  - Qualquer execução de A, começando num estado que satisfaça P deverá terminar num estado que satisfaça Q.
- Exemplo:

$$\{x >= 9\}\ x = x + 5\ \{x >= 14\}$$

Programação por Contrato

- A Programação por Contrato (PpC) é uma abordagem à programação que acrescenta à programação modular a anotação sistemática dos programas com asserções.
- Segundo a PpC, cada função deve especificar as suas pré-condições e pós-condições.
- Cada tipo de dados, deve especificar as condições invariantes.
- A essa especificação, quando feita por asserções, dá-se o nome de contrato do módulo.
- Todas as asserções que definem as propriedades das operações públicas passam a ser parte integrante do tipo de dados abstrato.

Contratos de Funções

- O contrato associado à especificação de funções é definido pelas pré-condições e pós-condições da função.
- Esse contrato faz parte da interface abstrata da função e deve manter-se mesmo que a implementação da função mude.
- Exemplo (raiz quadrada):

```
public static double sqrt(double x)
{
   assert x >= 0;          <-- pré-condição

   double result;
   ...

   assert Math.abs(result*result-x) <= NEAR_ZERO;
   return result;
}                          <-- pós-condição
```

Contratos de Objectos

- O contrato de um objecto é definido pelos contratos das suas funções públicas (ou seja, as suas **pré-condições** e **pós-condições**) conjuntamente com o **invariante** do objecto.
- As pré-condições e pós-condições descrevem propriedades à entrada e à saída de métodos.
- Os invariantes são condições que devem ser sempre respeitadas nos estados estáveis do objecto (ou seja quando estes são externamente utilizáveis).
- Por exemplo, a classe Data poderá ter o seguinte invariante:

```
valida(dia(),mes(),ano())
```

- Dessa forma simplificamos a concepção e a utilização do módulo `Data`, garantindo que os seus objectos representam **sempre** uma data válida.

Contratos de Objectos (2)

A anterior definição de Tipo de Dados Abstrato está incompleta. A definição completa será:

Tipo de Dados Abstrato (TDA)

É um *modelo* que descreve um tipo de dados apenas pelas *operações* que lhe são aplicáveis e pelo *contrato* dos seus objectos.

- Assim, são os contratos dos objectos que dão o significado ao respectivo Tipo de Dados Abstrato.
- Quando um contrato falha, normalmente o programa é interrompido e indica a linha onde o contrato falhou. (O erro estará sempre a montante dessa linha.)
- Para construir programas tolerantes a falhas, podemos recorrer ao mecanismo de excepções da linguagem e evitar que o programa termine, como veremos noutra aula.

Distribuição de Responsabilidades

A PpC permite uma distribuição simples e clara de responsabilidades entre o módulo e os seus clientes:

	Obrigações	**Benefícios**
Cliente	Tem de garantir as pré-condições do módulo	Sabe que pós-condições e invariante são garantidos
Módulo	Tem de garantir o invariante e as pós-condições	Sabe que pré-condições são garantidas

Escolha de Contratos

- Obviamente, a escolha dos contratos a associar a cada módulo (função, objecto) está nas mãos de quem o implementa.
- No entanto, como regra deve optar-se por contratos tão fortes quanto necessário para garantir implementações simples e para manter uma boa sensibilidade a falhas, mas sem restringir desnecessariamente o domínio de utilização nem complicar demasiado as condições.
- Por exemplo, no caso dos objectos do tipo `Data`, faz todo o sentido definir como invariante que as datas sejam válidas, já que torna bastante mais simples a compreensão e utilização destes objectos. Nunca será necessário lidar com datas absurdas como por exemplo `31 de Fevereiro de 2000`.

Asserções em `Java`

- Sintaxe:

```
assert booleanExpression [: expression ];
```

- Semântica:
  - Se `booleanExpression` for `true`, a asserção passa.
  - Se for `false`, a asserção falha e é gerado um erro, que normalmente provoca a terminação do programa e produz um relatório com o contexto que antecedeu a falha.
  - `expression` é uma expressão opcional, geralmente uma `String`, que permite dar informação adicional sobre a falha.

Asserções em `Java` (2)

- Por omissão, as asserções não são avaliadas.
- Para activar: (`-enableassertions` ou `-ea`):
  `java -ea Prog`
- Para desactivar (`-disableassertions` ou `-da`):
  `java Prog` ou `java -da Prog`
- O funcionamento do programa não deve depender da avaliação das asserções. Por isso, as expressões incluídas nas asserções nunca devem produzir efeitos secundários no estado do programa.
- A instrução `assert` só apareceu no `Java` versão 1.4.

Asserções em Java: Exemplos

```
1  public class Assert1 {
2     public static void main(String[] args) {
3        assert false;
4     }
5  }
```

```
Exception in thread "main" java.lang.AssertionError
    at Assert1.main(Assert1.java:3)
```

```
1  public class Assert2 {
2     public static void main(String[] args) {
3        assert false: "disparate!";
4     }
5  }
```

```
Exception in thread "main" java.lang.AssertionError: disparate!
    at Assert2.main(Assert2.java:3)
```

PpC em Java

A linguagem Java não suporta adequadamente a programação por contrato. Algumas das suas principais deficiências são as seguintes:

- Não distingue os diferentes tipos de asserções.
- Não tem suporte para a definição de invariantes de classe.
- As asserções não fazem parte da interface das classes.
- As aplicações de documentação (`javadoc`) não mostram os contratos de classe automaticamente.
- Não é possível activar e desactivar contratos por tipo de contrato e por objecto.

Apesar destas limitações (e outras, relacionadas com programação orientada por objectos), em `Java` nativo é possível fazer-se programação por contrato utilizando a instrução `assert`.