Especificação, Modelação e Projecto de Sistemas Embutidos

- **Especificação: conceitos introdutórios**
- **Modelos de computação**

Paulo Pedreiras, Luís Almeida
{pbrp,lda}@ua.pt

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática
Universidade de Aveiro

V1.0 Set/2008

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- Começando pelo principio ...
  - Definição de “Especificação” (*)
    - Acção de **especificar**;
    - Descrição especificada;
    - Discriminação.
  - Definição de “especificar” (*)
    - especializar;
    - indicar a espécie de;
    - esmiuçar;
    - dizer separadamente;
    - **exprimir de forma precisa;**
    - individualizar.

(*) Dicionário de Língua Portuguesa da Priberam, 2/Set/2008

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

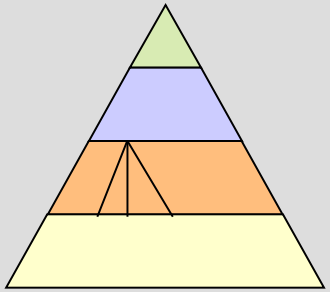
- Será a **linguagem natural adequada** para capturar a especificação de um sistema?
  - Considere-se o seguinte excerto do Código da Estrada da Califórnia, relativo ao direito de passagem em cruzamentos:
    - 21950. (a) The driver of a vehicle shall yield the right-of-way to a pedestrian crossing the roadway within any marked crosswalk or within any unmarked crosswalk at an intersection, except as otherwise provided in this chapter.
    - (b) The provisions of this section shall not relieve a pedestrian from the duty of **using due care** for his or her safety. No pedestrian shall **suddenly** leave a curb or other place of safety and walk or run into the path of a vehicle which is **so close** as to constitute an immediate hazard. No pedestrian shall **unnecessarily stop** or delay traffic while in a marked or unmarked crosswalk.
    - (c) The provisions of subdivision (b) shall not relieve a driver of a vehicle from the duty of exercising **due care** for the safety of any pedestrian within any marked crosswalk or within any unmarked crosswalk at an intersection.
  - Imaginem que tinham de **programar um veículo autónomo** por forma a garantir que o código da estrada é cumprido. Conseguem identificar algumas **dificuldades**?

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

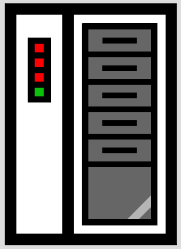
- A captura da especificação em **linguagem natural** é, em geral, **inadequada**.
- De uma forma genérica uma linguagem de especificação deve:
  - Permitir verificar se o sistema está descrito de uma forma completa
  - Permitir verificar se não há contradições na descrição do sistema
  - Deve permitir derivar implementações de uma forma sistemática
- Assim, a **especificação de sistemas** deve ser capturada em **linguagens formais**, processáveis por sistemas computacionais (***machine readable)***

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- As linguagens de especificação para ES devem ter a capacidade de representar os seguintes aspectos:
  - **Hierarquia**
    Os seres humanos têm **dificuldade** em **compreender** sistemas compostos por mais de ~5 objectos (e.g. estados, componentes).
    A esmagadora maioria dos sistemas actuais requerem maior número de objectos.
  - A representação hierárquica de objectos permite resolver este dilema permitindo que em cada instante o ser humano apenas lide com um subconjunto limitado de objectos.

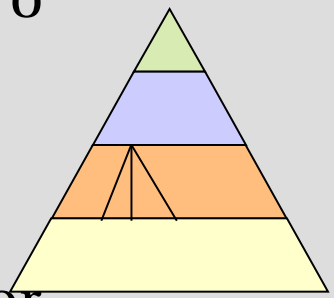


```
proc
  proc
    proc
```

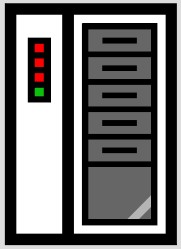


Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **Hierarquia (cont).**
  - **Hierarquia comportamental**
    Contêm os objectos necessários para descrever o comportamento do sistema.
    Exemplos: estados, eventos, sinais de saída;
  - **Hierarquia estrutural**
    Descrevem como os sistemas são compostos por componentes físicos.
    Exemplo:
    - **um ES pode ser composto por CPU, memória, sensores e actuadores.**
    - **Por sua vez os processadores são compostos por registos, multiplexers, ...**

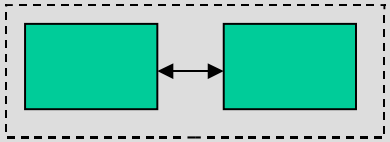


proc
proc
proc

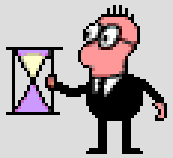


Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

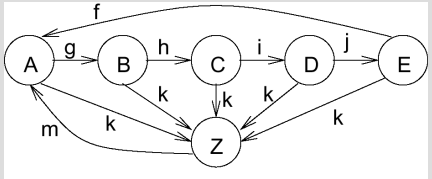
- **Composição de comportamentos**
  Deve ser "fácil" determinar o comportamento do **sistema** a partir do comportamento dos **subsistemas**



- **Comportamento temporal**
  Algumas aplicações de ES possuem requisitos críticos de **pontualidade** que deve ser capturados pelas especificação



- **Comportamento orientado ao estado (*State-oriented behavior*)**
  Os automata são mecanismos adequados para modelar sistemas reactivos. Assim, os **comportamentos orientados ao estado**, disponibilizados pelos automata, devem ser **fáceis** de **descrever**. (Automata "clássicos" são insuficientes – comportamento temporal e hierarquia não suportados)

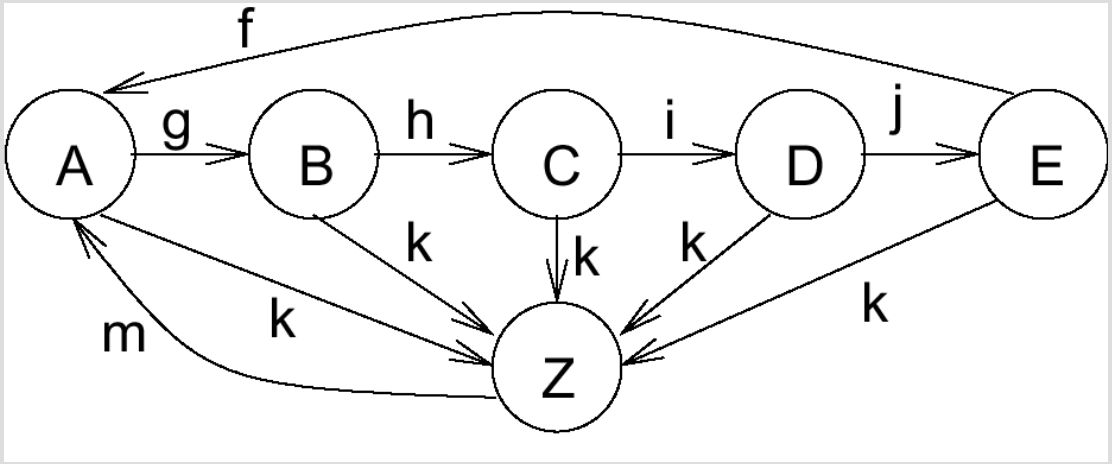


Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- ***Event-handling***
  Devido à natureza reactiva dos ES , devem existir mecanismos apropriados para **descrever eventos** (externos e/ou internos)
- **Não devem impor obstáculos em termos da eficiência da implementação**
  Muitos das aplicações de ES são muito **sensíveis a custos**; implementações eficientes permitem minimizar custos (CPU, memória, energia, ...)
- **Suporte para o projecto de sistemas críticos em termos de dependabilidade**
  Semântica **não ambigua**, permitir/facilitar a **verificação formal**, ser capaz de descrever os **requisitos de segurança**, ...

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **Comportamento orientado à excepção**
  Em muitos sistemas reais ocorrem excepções. Para projectar sistemas confiáveis deve ser possível tratar as excepções facilmente.
  Não é desejável (ou mesmo possível, dependendo da complexidade do sistema) descrever excepções para cada estado – **descrição do sistema complexa**!



Nota: irão estudar-se técnicas em que as setas designadas por "k" serão substituídas por uma única

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **Concorrência**
  Os sistemas reais são **distribuídos e concorrentes**. Torna-se então necessário poder representar a concorrência de uma forma conveniente e rigorosa

- **Comunicação e Sincronização**
  Os diversos **componentes** têm de **comunicar** e, frequentemente, de **partilhar** recursos
  (e.g. garantir exclusão mútua)

- **Presença de elementos de programação**
  As linguagens de programação "**convencionais**" (e.g. "C") têm provado ser um meio conveniente para **exprimir computações** que devem ser efectuadas. Deve então ser possível **integrar** elementos da linguagem de programação (e.g. operações aritméticas, loops, chamadas a funções) na técnica de especificação usada. (e.g. diagramas de estado "classicos" não permitem)

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **"Executabilidade"**
  A possibilidade de executar uma especificação permite verificar se esta corresponde ao "**modelo mental**"/ideia das pessoas; verificação de "plausabilidade"
  (uso de linguagens de programação pode ser vantajosa neste aspecto)
- **Suporte ao projecto de sistemas de grande dimensão/complexidade**
  Há uma tendência para o **aumento** da **dimensão/complexidade** dos ES. As linguagens de especificação devem contemplar esta realidade.
- **Suporte a domínios específicos**
  Seria desejável que a mesma linguagem de especificação servisse todos os tipos de ES. Todavia, na prática **diferentes domínios** possuem **especificidades** que, não sendo contempladas, podem por em causa a eficiência da representação.
  (e.g. domínios de aplicação *control-dominated*, *data-dominated*, centralizadas ou distribuídas podem beneficiar de particularidades da linguagem específicas para cada um deles)

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **Legibilidade**
  Como é óbvio a especificação deve ser **legível**/entendível por **seres humanos**. Também é desejável que possam ser processáveis (legíveis) por **computadores**

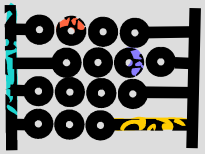
- **Portabilidade e flexibilidade**
  A especificação deve ser tanto quanto possível independente do hardware; deve ser **utilizável em várias plataformas** . Devem ser flexíveis por forma a que pequenas modificações no sistema requeiram apenas pequenas modificações na especificação

- **Terminação**
  Deve ser claro que processos é que **terminam e quando**

- **Suporte a dispositivos de I/O não standard**
  Muitos ES empregam **dispositivos de IO específicos** que é necessário descrever devidamente

Especificação de ES: requisitos das técnicas de especificação

- **Capacidade para descrever propriedades não funcionais**
  Os sistemas reais apresentam um grande número de **propriedades não funcionais** que devem ser definidas de formalmente:
  - **Pontualidade** na execução de tarefas, **latência** na **reacção** a certos eventos, tolerância a **falhas**, EMI, consumo, peso, tamanho, tempo médio de vida, expansibilidade, ...
- **Modelo de computação adequado**
  Descrição **fácil e rigorosa** do processamento que deve ser efectuado.



- **Nenhuma linguagem de especificação cumpre todos estes requisitos;**
  - **na prática tem de se viver com compromissos**
- **A escolha da linguagem a usar depende do domínio de aplicação**

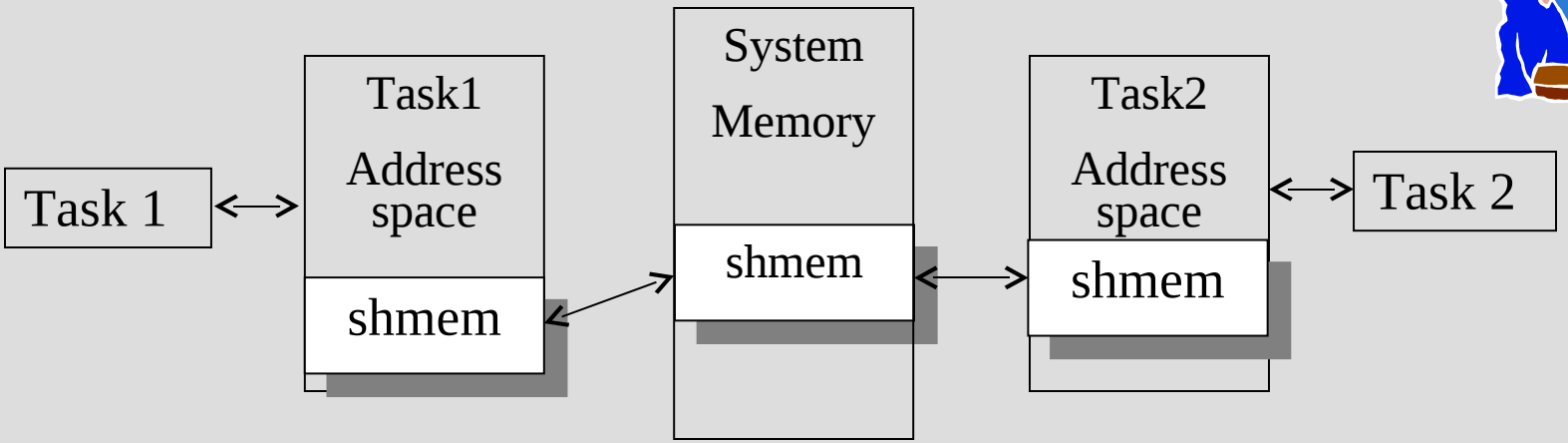
Modelos de computação

Modelos de computação: definição

- As aplicações de tecnologias de informação "convencionais" têm sido baseadas essencialmente na arquitectura de computação sequencial de Von Neumann.
  - **Este paradigma não é adequado para ES**. Por exemplo não há noção de tempo nesta arquitectura. Outros modelos de computação são necessários.
- **Um modelo de computação define:**
  - **Componentes:** e.g. processos, funções, máquinas de estados finitos, ...
  - **Protocolos de comunicação:** definem os mecanismos pelos quais os componentes podem interagir
  - **Interfaces:** definem o que os componentes conhecem uns acerca dos outros.

Modelos de computação: comunicação

- **Memória partilhada / *Shared memory***



- Variáveis **acessíveis** pelas **várias tarefas**
- Mecanismos de **implementação** possíveis:
  - **Espaço de endereçamento único** para as várias tarefas
    - E.g. threads em Linux
  - Primitivas para **criação** de zonas de memória partilhada

- Mecanismo simples, com baixo *overhead* mas **útil apenas para arquitecturas centralizadas**

Modelos de computação: comunicação

- **Shared Memory**
  - Potencial para ***race conditions***
    - Possibilidade de **resultados inconsistentes**
  - Secções criticas = secções em que tem de se garantir exclusão mutua no acesso a um recurso (e.g. *shared mem*)

```
process a {
  ..
  P(S)     //obter lock
  ..       // secção critica
  V(S)     //libertar lock
  ..
}
```

```
process b {
  ..
  P(S)     //obter lock
  ..       // secção critica
  V(S)     //libertar lock
..
}
```

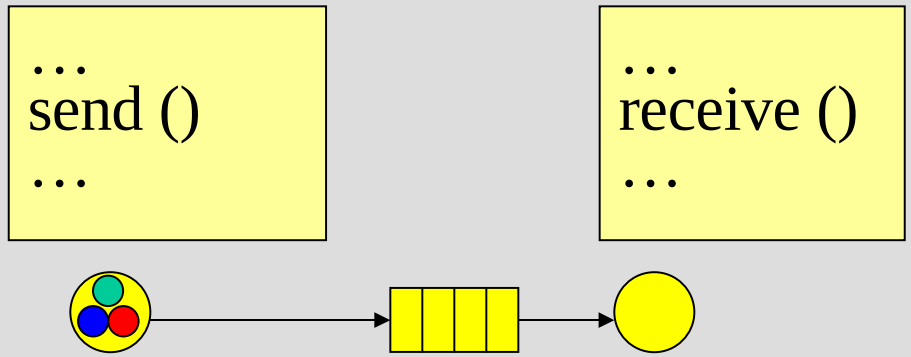
E.g. **exclusão mutua garantida** no acesso à *shared memory* por meio de semáforo S

Este modelo de comunicação pode ser suportado por:

- **Exclusão mútua** para secções críticas
- Protocolos para garantia de **coerência de *cache***

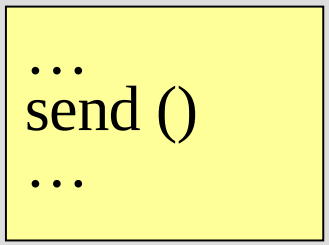
Modelos de computação: comunicação

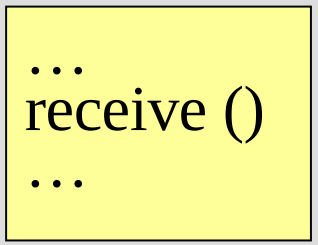
- **Passagem de mensagens não bloqueante/assincrona**
  (Non-blocking/asynchronous message passing)
  - Integra um **buffer** onde a tarefa **produtora deposita** as mensagens e a **tarefa consumidora** as **recolhe**
  - O produtor **não tem** de esperar que as mensagens sejam **lidas** pela(s) tarefas consumidoras
    - Potencial problema: dimensionamento dos buffers. **Como evitar overflows**?



Modelos de computação: comunicação

- **Passagem de mensagens bloqueante/sincrona**
  (Blocking/synchronous message passing / rendez-vous)
  - O produtor **tem de aguardar** que o consumidor leia a mensagem
  - Permite garantir **relações de precedência** entre tarefas
  - Dimensionamento dos buffers trivial (porquê?)





Modelos de computação: comunicação

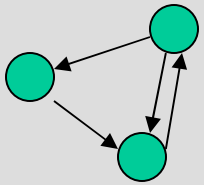
- Extended *rendez-vous*
  - Requerida **confirmação** (*acknowledge*) **explicita** do consumidor
  - Consumidor pode efectuar uma **verificação antes** de enviar a **confirmação** (ack)

```
…
send ()
…
```

```
…
receive ()
…
ack
…
```

Modelos de computação: componentes

- Modelos de computação relevantes para ES
  - **Máquinas de estados finitos comunicantes (CFSM)**



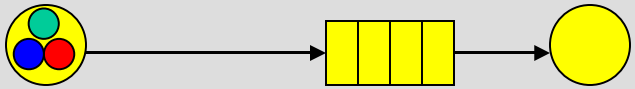
    - Colecções de FSM com capacidade de intercomunicação. Os métodos de comunicação são diversos mas bem definidos (e.g. variáveis globais)
    - Modelo usado e.g. em linguagens de especificação como StateChart, StateFlow e SDL
  - **Modelo de eventos discretos**
    - Os eventos transportam um *timestamp* totalmente ordenado (i.e. que permite estabelecer univocamente a ordem temporal dos eventos) indicando o instante em que o evento aconteceu. Os simuladores de eventos discretos gerem uma fila global de eventos que são processados por ordem cronológica.
    - Depende da existência de uma ou mais filas globais e de uma noção de tempo comum;
    - Modelo usado e.g. em VHDL, Verilog, e MatLab/Simulink (MathWorks)

Modelos de computação: componentes

- Modelos de computação relevantes para ES (cont.)
  - **Equações diferenciais**
    - Estas equações permitem modelar sistemas analógicos e físicos. Podem assim ser usadas para modelar ES.

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = b$$

  - **Passagem assíncrona de mensagens**
    - Os processos comunicam enviando mensagens por canais que podem armazenas estas mensagens (buffered). O transmissor não necessita de aguardar que o receptor leia a mensagem
    - Potencial problema com o dimensionamento dos buffers (como evitar overflows?)
    - Há diversas variantes deste esquema. E.g. *Khan process networks* e modelos *dataflow*

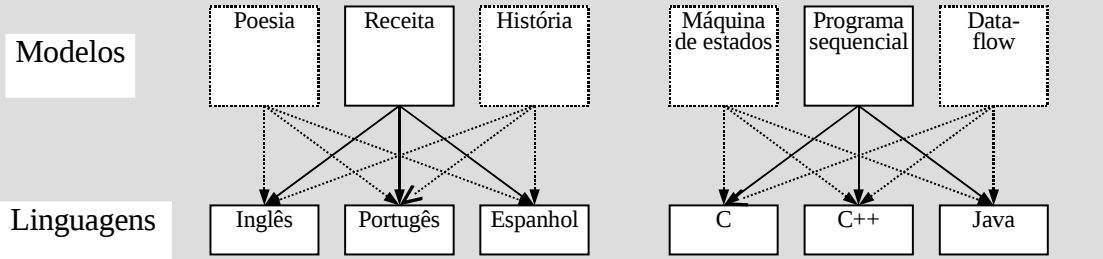


  - **Passagem síncrona de mensagens**
    - Os componentes são processos. A comunicação é atómica e instantânea (acção denominada *rendez-vous*). Quando um processo atinge um ponto de comunicação tem de aguardar que o seu parceiro também o atinja.
    - Não há risco de overflow de buffers, contrariamente ao caso anterior. A performance pode ser ser má (Porquê??)
    - Exemplos: CSP e ADA

Modelos de computação: componentes

- **Modelos combinados**
  Muitas das linguagens usadas na prática **combinam** alguns dos **modelos** anteriormente definidos
- Exemplos:
  - **SDL**
    - FSM + passagem assíncrona de mensagens
  - **StateCharts**
    - FSM + memória partilhada
  - **CSP, ADA**
    - Execução sequencial (von Neumann) + passagem síncrona de mensagens

Modelos vs. linguagens



Receita vs Portugês **Programa sequencial vs. C**

- Os **modelos** de computação descrevem o **comportamento** do sistema
  - Noção conceptual, e.g. receita de culinária, programa sequencial
- As **linguagens capturam** os **modelos**
  - Forma concreta. E.g. Portugês, C
- Uma **variedade de linguagens** pode **capturar** um modelo
  - E.g., modelo de programação sequencial → C,C++, Java
- Uma **liguagem** pode capturar **vários modelos**
  - E.g., C++ → modelo de programação sequencial, modelo orientado a objectos, modelo de máquians de estados
- Todavia certas linguagens podem ser **mais adequadas** para capturar certos modelos ...

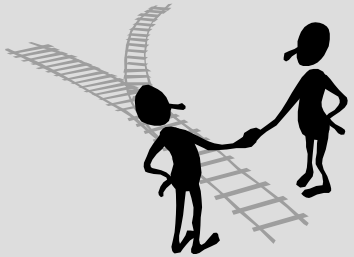
Recursos adicionais

- Ptolemy (UC Berkeley)
  - Ambiente para simulação de ES com suporte a diversos modelos de computação
  - http://ptolemy.berkeley.edu/

- Axel Jantsch. “Modeling Embedded Systems and Soc's: Concurrency and Time in Models of Computation”, Morgan-Kaufman, 2004

Enfrentando a realidade ...

- **Nenhuma linguagem de especificação cumpre todos os requisitos**
- Necessidade de **compromissos**
- Escolher a **mais adequada** a cada domínio de aplicação



Sumário

Requisitos das linguagens de especificação

- Hierarquia
- Comportamento temporal
- Comportamento orientado ao estado
- Concorrência
- Sincronização e comunicação
- E muitos outros …

Modelos de computação

- Definição de modelo de comunicação
  - Componentes
  - Protocolos de comunicação
  - Interfaces
- Composição de modelos
- Modelos vs linguagens