

Secção Especial

Sistemas de Tempo-Real: uma abordagem prática

Luís Almeida, Paulo Pedreiras

Resumo – No 1º semestre do ano lectivo 2003-2004 funcionou pela primeira vez a opção de 5º ano intitulada Sistemas de Tempo-Real, tanto no âmbito da LEET como da LECT. Embora algumas matérias relacionadas com essa temática já tenham vindo a ser abordadas noutras disciplinas, tal tem sido efectuado de forma avulsa, tendo sido esta a primeira vez que a temática dos Sistemas de Tempo-Real foi abordada de forma sistematizada e como um ramo coerente dos sistemas computacionais. Ao organizar esta secção especial temos como objectivo divulgar esta área ainda com pouca tradição no nosso meio, pese embora o facto de existir uma dinâmica considerável ao nível de actividade científica. Esta secção especial começa com um ensaio introdutório à temática em causa, depois contém 6 artigos curtos referentes a uma selecção de trabalhos desenvolvidos na componente prática da disciplina, e termina com um artigo de maior profundidade que descreve um kernel de tempo-real que segue o paradigma da orientação a objectos.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de tempo-real desempenham um papel crucial nas sociedades modernas, suportando áreas aplicacionais tais como controlo de centrais nucleares, controlo de indústrias químicas, sistemas aviónicos, sistemas de controlo de tracção, motor e travagem em automóveis, controlo de tráfego aéreo, marítimo, ferroviário e rodoviário, sistemas de telecomunicações, automação industrial, robótica, sistemas de defesa militar, missões espaciais, etc..

Por outro lado, a recente grande difusão de aplicações interactivas, como os sistemas de realidade virtual ou genericamente os sistemas multimedia, veio alargar substancialmente o leque de aplicabilidade dos sistemas de tempo-real. Embora estas aplicações não sejam críticas em termos de segurança, o cumprimento das respectivas restrições temporais tem um impacto directo no respectivo desempenho e grau de verosimilhança.

Esta proliferação de aplicações com restrições temporais veio aumentar significativamente o interesse nos sistemas de tempo-real, desde os sistemas operativos (SOs), como por exemplo os *patches* tempo-real RTAI e

RT-Linux, para o sistema operativo Linux, VxWorks, QNX, etc., até aos protocolos de comunicação tempo-real em redes partilhadas como CAN, PROFIBUS, WorldFIP, Ethernet Powerlink, entre muitos outros.

O interesse que a área dos Sistemas de Tempo-Real tem vindo a despertar, tem também encontrado eco na comunidade científica, onde a actividade neste domínio não tem parado de crescer nos últimos 30-40 anos. Também entre nós, no âmbito do Laboratório de Sistemas Electrónicos do IEETA [1], tem vindo a ser desenvolvida actividade científica que tem recolhido reconhecimento pela comunidade internacional, em particular no que diz respeito a protocolos de comunicação tempo-real para sistemas embarcados distribuídos.

Assim, pareceu oportuno lançar uma disciplina de especialização, direccionada aos alunos de 5º ano quer da LEET quer da LECT, onde fossem transmitidos os conceitos fundamentais dos Sistemas de Tempo-Real de uma forma sistematizada e coerente. Essa disciplina funcionou pela primeira vez no 1º semestre de 2003-2004 com 32 alunos, tendo sido dado um enfoque particular aos sistemas operativos de tempo-real [2].

Esta secção especial surge com o objectivo de contribuir para a divulgação da área. Neste editorial falaremos brevemente da problemática dos Sistemas de Tempo-Real, dos conteúdos e organização da disciplina, e dos artigos incluídos.

II. PROBLEMÁTICA

A definição talvez mais comum de Sistema de Tempo-Real diz que se trata de um sistema computacional ou, possivelmente, de comunicação, cujo funcionamento está sujeito a restrições temporais impostas pela funcionalidade desejada, quer seja um controlo em malha fechada, um protocolo de comunicação ou um fluxo multimedia. De forma mais simples diz-se serem sistemas cujos *outputs* têm de ser logicamente correctos e gerados dentro de janelas temporais impostas por factores exógenos.

Seguindo um exemplo utilizado por Kopetz em [3], a Fig. 1 ilustra de forma satírica um sistema de tempo-real típico, o caso do piloto automático de um avião.



Fig. 1 – Ilustração satírica de um sistema de tempo-real.

Outro exemplo humorístico de definição de tempo-real pode ser encontrado em [4], onde Krishna e Shin recorrem a um diálogo com um leitor anónimo que coloca questões de senso comum. Após várias tentativas de resposta à complicada questão de definir um sistema de tempo-real, chegam à conclusão que, no fundo, todos os sistemas computacionais são de tempo-real pois espera-se que gerem resultados numa janela temporal limitada, quanto mais não seja, pela nossa paciência ou longevidade!

Seguindo um exercício semelhante mas mais objectivo apresentamos a seguir um diálogo hipotético entre um professor e um aluno imaginários, que achamos contribuir para uma melhor explicação da problemática subjacente aos Sistemas de Tempo-Real e sua utilidade.

(Prof) Um sistema de tempo-real é aquele em que as respostas a eventos externos têm de ser geradas dentro de uma janela temporal limitada.

(Al) Não bastaria usar um processador rápido?

(Prof) Se for para executar um programa com estrutura trivial (tipo um único ciclo infinito), é provável que sim. Se o computador tiver de executar várias tarefas em simultâneo, a rapidez de processamento já não basta. Uma tarefa pode bloquear outras e causar atrasos demasiado grandes ou mesmo imprevisíveis.

(Al) Então o que é necessário?

(Prof) Escalonamento! que é como quem diz, ordenação correcta das tarefas a executar. Existem critérios de ordenação que nos permitem restringir e determinar os atrasos máximos que as tarefas poderão sofrer.

(Al) Então isso só interessa quando se usa *multi-tasking*...

(Prof) Conforme foi dito atrás, estamos a considerar situações em que um computador tem de executar várias tarefas simultaneamente. Será normal que nessas situações se utilize um sistema operativo, ou apenas um executivo ou *kernel*, *multi-tasking*. Mas, muitas vezes, mesmo quando o corpo principal do programa é um simples ciclo infinito, existem várias tarefas encapotadas dentro de rotinas de interrupção assíncronas, o que leva à mesma situação. O disparo de rotinas de interrupção também pode ser atrasado, ou até descartado. É necessário usar técnicas adequadas para restringir e determinar esses atrasos.

(Al) E esses atrasos são assim relevantes?

(Prof) Bom, se se trata de sistemas de controlo,

e se os atrasos forem tais que levam à perda de amostras, é provável que se perca o controlo! Se isso acontecer num avião... ou num carro com actuação electrónica (X-by-

Piloto automático para o avião:
- Não te mexas tão depressa!
Ainda estou a fazer uns cálculos!

wire)... ou num robô que se movimenta perto de outros equipamentos e pessoas... ou num foguetão... haverá danos graves! Por outro lado, em sistemas multimedia, consolas de jogos, DVDs, ou em *routers* para redes de computadores, atrasos nas tarefas não provocarão a morte a ninguém mas haverá uma perda de Qualidade-de-Serviço.

III. CONTEÚDOS E ORGANIZAÇÃO DA DISCIPLINA

Quando se fala em Sistemas de Tempo-Real é necessário perceber que se trata de uma área relativamente abrangente, incluindo questões como os sistemas operativos, os protocolos de comunicação, a análise dos tempos de execução, o escalonamento de tarefas e tráfego, a modelização, a verificação formal... Assim, torna-se necessário definir à partida o enfoque a dar, uma vez que um semestre seria insuficiente para tratar todos aqueles aspectos. Neste caso, foram focados os seguintes quatro aspectos essenciais:

- a origem e caracterização das restrições impostas pelo ambiente ao comportamento temporal do sistema computacional;
- a forma como o sistema computacional mantém o conhecimento do estado do ambiente que o rodeia;
- a teoria de escalonamento de actividades concorrentes associadas a processos de tempo-real;
- e a constituição e construção de sistemas operativos / executivos de tempo-real.

Quanto à organização, a disciplina contou com uma componente teórica onde se promoveram frequentes sessões de discussão que contribuíram para a avaliação dos alunos, e de uma componente prática onde, após alguns trabalhos iniciais ilustrativos de técnicas e ferramentas relevantes, foi realizado um mini-projecto em grupo por cada dois alunos. Os mini-projectos incluíram desde simulação de sistemas físicos usando SOs tempo-real, desenvolvimento de executivos para plataformas específicas, comparação de SOs, e utilização de SOs tempo-real para controlo de máquinas.

IV. CONTEÚDO DESTA SECÇÃO ESPECIAL

Para terminar esta introdução à Secção Especial resta fazer uma breve referência aos artigos nela incluídos. Começa com 1 ensaio introdutório aos Sistemas de Tempo-Real realizado no âmbito do trabalho de doutoramento de Arnaldo Oliveira. Seguidamente inclui 6 artigos curtos referentes a uma selecção de trabalhos desenvolvidos na componente prática da disciplina, que sobressaíram pela qualidade da apresentação e da execução. Estes trabalhos cobrem desde o desenvolvimento de executivos para plataformas específicas, melhoramentos de executivos já existentes, e desenvolvimento de aplicações de controlo e de simulação utilizando executivos/SOs de tempo-real. Finalmente, a Secção Especial termina com um trabalho mais profundo, descrevendo um executivo tempo-real orientado a

objectos, OReK, também realizado no âmbito do trabalho doutoramento de Arnaldo Oliveira.

REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.ieeta.pt/lse>
- [2] <http://sweet.ua.pt/~lda/str/str.htm>
- [3] Kopetz, H. (1997). *Real-Time Systems Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Kluwer Academic Publishers.
- [4] Krishna, C.M. & K. Shin (1997). *Real-Time Systems*. McGraw-Hill.