

PREFÁCIO

Os sistemas computacionais com requisitos de natureza temporal, ou simplesmente Sistemas de Tempo Real, existem desde os anos 1960. Entretanto, eles ganharam muita notoriedade e importância nas últimas décadas, com a disseminação dos Sistemas Embutidos ou Embarcados (*Embedded Systems*), ou seja, computadores escondidos dentro de máquinas e equipamentos realizando seu controle e automação. Tais sistemas computacionais precisam respeitar os aspectos temporais do ambiente onde estão inseridos, gerando assim requisitos temporais para o hardware e o software. Mais recentemente, o advento da Internet das Coisas tornou a temática dos sistemas de tempo real ainda mais importante.

Este livro foi escrito com a intenção de ser adotado como bibliografia básica em disciplinas sobre Sistemas de Tempo Real, tais como existem em cursos de Engenharia de Computação, Engenharia de Controle e Automação, Ciência da Computação e vários cursos de Tecnologia em Automação. Para isto, buscou-se uma linguagem de fácil leitura, rico em ilustrações e em exercícios. O tratamento dos conceitos e fundamentos da área é rigoroso. Entretanto, o texto procura manter um olhar prático de engenharia, fugindo de exageros matemáticos baseados em premissas distantes da realidade. A ideia é fornecer ao leitor uma estrutura conceitual sólida e um entendimento do tema, incluindo as limitações da área, de tal forma que ele possa lidar com projetos reais sabendo o que pode e o que não pode ser feito.

O livro também inclui material básico sobre sistemas operacionais e programação concorrente. Sobre sistemas operacionais, a gerência de processador é descrita com detalhes, e a gerência de memória é também abordada, incluindo paginação simples e descrevendo sucintamente memória virtual. Sobre programação concorrente, soluções baseadas em variáveis compartilhadas são bastante exploradas e soluções baseadas em troca de mensagens são apresentadas. Muitos cursos de engenharia e de tecnologia de automação possuem uma disciplina que junta sistemas operacionais, programação concorrente e tempo real, podendo este livro ser adotado como bibliografia básica de uma disciplina como esta. É o meu caso no curso de Engenharia de Controle e Automação da UFSC.

Este livro é muito flexível para a montagem de planos de ensino. A organização dos capítulos permite ao professor montar seu plano de ensino conforme o contexto do seu curso, podendo descartar alguns capítulos sem prejuízo para o entendimento de capítulos posteriores. Dependendo do contexto do curso, alguns capítulos são mais importantes que outros e a ordem deles também pode ser alterada. Por exemplo, caso os alunos tenham uma disciplina de sistemas operacionais antes, os capítulos sobre implementação de tarefas não são necessários. Da mesma forma, disciplinas de programação concorrente cobrem o material dos capítulos sobre sincronização de tarefas. O capítulo sobre o tempo real pode ser apresentado no início do curso, caso o professor prefira. Os capítulos sobre a variabilidade e a estimação do WCET podem não ser interessantes para muitos cursos de graduação e, neste caso, podem ser apresentados de forma resumida. A descrição do FreeRTOS e do Linux Preempt-RT no capítulo sobre sistemas operacionais de tempo real pode ou não ser incluída, conforme o curso. Em resumo, o professor

ao adotar este livro para sua disciplina é fortemente encorajado a escolher os capítulos e seções a serem usados conforme o seu plano de ensino.

Como sempre, as limitações de espaço obrigam o autor a decidir o que incluir e o que simplificar ou deixar de fora. Por exemplo, algumas pessoas podem achar estranho que servidores de aperiódicas não tenham seu próprio capítulo, dado ser um tema frequente. Ocorre que na grande maioria dos sistemas atuais a utilização total do processador é baixa. Existem problemas com perdas de deadlines, mas isto devido a situações de bloqueio e deadlines apertados, e não devido ao processador estar muito utilizado. Por isto, foi escolhido tratar dos servidores de aperiódicas como uma seção do capítulo de tópicos adicionais. Aliás, o capítulo sobre tópicos adicionais pode ser entendido como o capítulo das coisas que eu gostaria de ter incluído, mas não tinha espaço.

A pesquisa acadêmica sobre Sistemas de Tempo Real é muito fértil, centenas de artigos são publicados anualmente em congressos e periódicos científicos. Pessoas interessadas podem encontrar os mais recentes avanços na área, por exemplo, no periódico Real-Time Systems e em conferências como IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS) e Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS). No entanto, dado que qualquer coisa na computação pode ser revisitada com “um olhar de tempo real”, existem artigos sobre sistemas de tempo real em uma vasta gama de outros veículos.

Este livro resume os aspectos mais relevantes sobre os Sistemas de Tempo Real que aprendi ao longo de 25 anos, desde que comecei meu doutorado neste tema em 1993. Ao longo destes anos tive a oportunidade de trabalhar com centenas de pessoas, as quais contribuíram imensamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Em particular, gostaria de agradecer ao Prof. Joni da Silva Fraga, meu orientador de doutorado e um dos primeiros pesquisadores brasileiros na área. Também gostaria de agradecer a todos aqueles que assistiram minhas aulas de graduação, pós-graduação e em empresas, de certa forma foram cobaias, pois a melhor forma de aprender algo é ter que dar aulas sobre o assunto. Agradeço às seguintes pessoas, as quais revisaram partes do texto: Augusto Born de Oliveira, Andreu Carminati, Daniel Bristot de Oliveira, Karila Palma Silva, Luís Fernando Arcaro, Patrícia Della Méa Plentz e Rodrigo Lange.

Tive a oportunidade de orientar vários mestrandos e doutorandos na área, os quais contribuíram em muito para meu aprendizado sobre sistemas de tempo real. Entre eles, gostaria de nomear alguns (em ordem alfabética):

Alexandre Cervieri	Luciana de Oliveira Rech
Alexandre José da Silva	Lucy Vargas
Andreu Carminati	Luís Fernando Arcaro
Benhur Tessele	Marcos Vinicius Linhares
Cassia Yuri Tatibana	Patrícia Della Méa Plentz
Daniel Bristot de Oliveira	Renan Augusto Starke
Fábio Rodrigues de la Rocha	Rodrigo Lange

José Luiz Pereira dos Santos
Karila Palma Silva

Rodrigo Pinto Gonçalves
Roger Daniel Ferreira

Finalmente, gostaria de agradecer à minha esposa Simone e ao meu filho Augusto pelo suporte e apoio ao longo da vida. Boa leitura a todos.

*Florianópolis-SC, outubro de 2018.
Rômulo Silva de Oliveira.*

Sobre a 2ª Edição:

Para a 2ª edição vários erros gramaticais foram corrigidos, mas provavelmente não todos. Os exercícios ao final dos capítulos foram revisados. Na introdução mais um exemplo de sistema de tempo real foi incluído. O capítulo sobre escalonamento foi dividido em dois: um para escalonamento em sistemas de propósito geral e outro para escalonamento em sistemas de tempo real. O capítulo sobre estimação do tempo de resposta também foi dividido em dois: um para estimação baseada em análise e outro para estimação baseada em medição. A seção sobre os cuidados do desenvolvedor da aplicação de tempo real foi ampliada.

A ordem dos capítulos foi alterada, visando um desenvolver mais natural da ordem do livro em sala de aula. Como na primeira edição, cabe ao professor selecionar os capítulos que serão usados em seu curso, conforme os objetivos e contexto do curso. O conteúdo do livro pode ser dividido em três grandes temas, cada um com uma parte mais básica e uma parte mais avançada:

Sistemas de Tempo Real – Básico:

1. Caracterização dos Sistemas de Tempo Real
2. Conceitos Básicos dos Sistemas de Tempo Real
4. Variabilidade dos Tempos de Execução
10. Escalonamento em Sistemas de Tempo Real
15. Estimação do Tempo de Resposta usando Análise

Sistemas de Tempo Real – Avançado:

3. O Tempo Real
5. Estimação do WCET usando Análise Estática
6. Estimação do WCET usando Medições
12. Seções Críticas em Sistemas de Tempo Real
14. Variabilidade dos Tempos de Resposta
16. Estimação do Tempo de Resposta usando Medições
17. Diferentes Abordagens
19. Tópicos Adicionais

Sistemas Operacionais – Básico:

7. Implementação de Tarefas em Sistemas Pequenos
8. Implementação de Tarefas em Kernel Completo
9. Escalonamento em Sistemas de Propósito Geral

Sistemas Operacionais – Avançado:

18. Sistemas Operacionais de Tempo Real

Programação Concorrente – Básico:

11. Sincronização e Comunicação entre Tarefas

Programação Concorrente – Avançado:

13. Mecanismos de Sincronização com Variáveis Compartilhadas

*Florianópolis-SC, setembro de 2020.
Rômulo Silva de Oliveira.*