

Introdução a Sistemas Embarcados

Prof. Hugo Vieira Neto
2020/1

Sistema Computacional Embarcado

- Sistema computacional:
 - Processador + Memória + Periféricos
- Embarcado:
 - Faz parte de outro sistema
 - Exemplos: aeronave, automóvel, eletrodoméstico, equipamento agrícola, equipamento médico, equipamento de telecomunicações, etc.
- Reage a eventos externos e internos

Sistema Computacional Embarcado

- Possui funcionalidade / uso específicos
 - Alteração do software embarcado (firmware) ocorre raramente
- Atende a diversas restrições:
 - Custo (preço aceitável)
 - Portabilidade (tamanho físico)
 - Robustez (condições ambientais)
 - Consumo de energia (alimentação por bateria)

Operação em Tempo Real

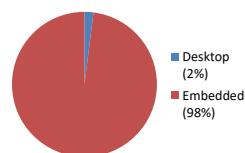
- Quando a operação correta do sistema não depende somente dos resultados da computação, mas também do tempo em que estes são gerados
 - Sistemas de controle (ex: freio ABS)
 - Sistemas biomédicos (ex: marca passo)
 - Sistemas multimídia (ex: dispositivos de reprodução de áudio e vídeo, e de comunicação)

Operação em Tempo Real

- Hard real-time
 - Falha no cumprimento de prazos resulta em consequências drásticas para o sistema ou seus usuários
- Soft real-time
 - Falha no cumprimento de prazos resulta em degradação do desempenho do sistema do ponto de vista dos seus usuários

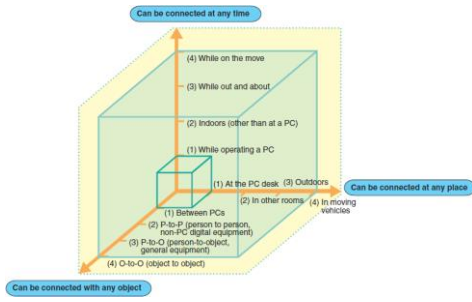
Sistemas Computacionais “Invisíveis”

Conjunto de todos os sistemas computacionais

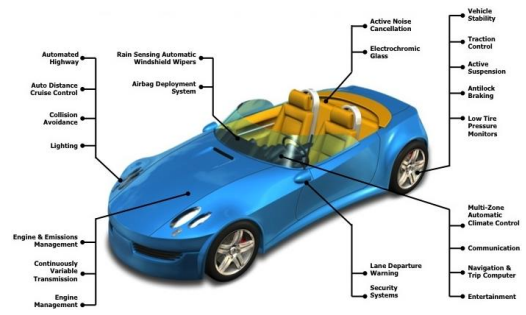


- Normalmente os usuários percebem a existência de SE apenas quando estes param de funcionar (ou colocam as suas vidas em risco)
- Grande parte desses Sistemas Embarcados opera em tempo real

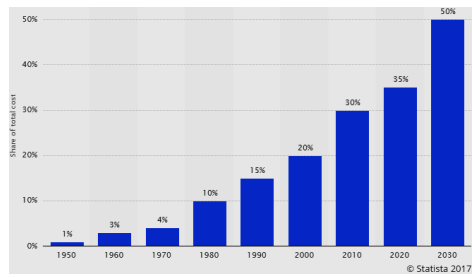
Fator Impulsionador: Internet



Sistemas Automotivos (Drive-by-Wire)



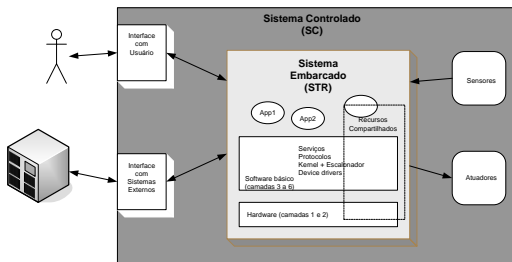
Eletrônica Automotiva Embarcada



Sistemas Aviônicos (Fly-by-Wire)

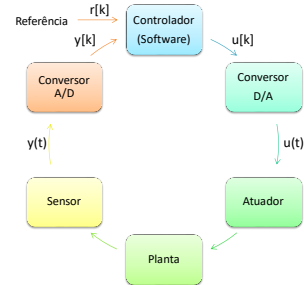


Exemplo Genérico



Reproduzido de: Stadzisz, P. C.; Renaux, D. P. B., [Software Embarcado](#). In: SBC – Escola Regional de Informática (ERI), 2007.

Sistema de Controle Digital



Software de Controle PID

- Obtém leitura do estado do sensor $y[k]$
- Calcula $e[k] = r[k] - y[k]$, em que $r[k]$ é o estado desejado
- Aplica lei de controle com base em constantes e parâmetros dinâmicos conhecidos:

$$u[k] = K_p \cdot e[k] + K_i \cdot sum + K_d \cdot dif$$
- Atualiza variáveis de estado (sum e dif)

Artigo do Tim Wescott: *PID Without a PhD*, Wescott Design Services, 2016.

Vídeos de Aplicações

- Área Automotiva – visão de futuro (Texas)
- Internet das Coisas – visão de futuro (Telit)
- Entregas (Prime Air) – presente
- Uso doméstico (Peggy, Eight, Inirv) – presente
- Iluminação (Hue, Lifx, Deako) – presente

Objetivos da Disciplina

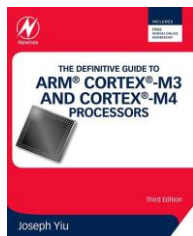
- Desenvolver competências para especificar, planejar, implementar, testar e depurar Sistemas Embarcados, incluindo os que operam em Tempo Real.
- Plataformas:
 - Microcontrolador ARM Cortex-M3/M4
 - Sistema Operacional de Tempo Real Keil RTX 5 (CMSIS-RTOS API v2)

Conteúdo

- Revisão da arquitetura do Cortex-M3/M4
- Interrupções e exceções no Cortex-M3/M4
- Modelagem de Sistemas Embarcados
- Sistemas Operacionais de Tempo Real
- Programação Concorrente e Escalonamento
- Uso de Memória em Sistemas Embarcados

Bibliografia Principal

- The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and ARM Cortex-M4 Processors



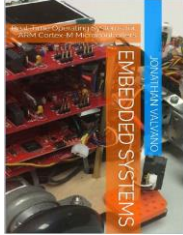
Bibliografia Principal

- Sistemas Operacionais de Tempo Real e Sua Aplicação em Sistemas Embarcados



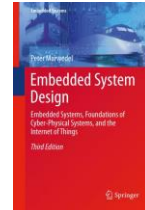
Bibliografia Complementar

- Embedded Systems: Real-Time Operating Systems for ARM Cortex-M Microcontrollers



Bibliografia Complementar

- Embedded System Design: Embedded Systems, Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things



Pré-requisitos

- Fundamentos de Programação 1
- Fundamentos de Programação 2
- Estruturas de Dados
- Sistemas Digitais
- Arquitetura e Organização de Computadores
- Microcontroladores / Sist. Microcontrolados
- Sistemas Operacionais
- Leitura técnica em inglês

Dinâmica

- Elevada carga horária de teor prático (50%)
- Elevado nível de relacionamento entre teoria e prática (laboratórios)
 - Teoria dá embasamento para as atividades práticas
 - Atividades práticas reforçam a teoria pela experimentação e pela atitude proativa
 - Assuntos dos laboratórios são avaliados nas provas teóricas e assuntos teóricos são avaliados nas apresentações dos laboratórios

Dinâmica

- CH semanal em sala: 4h (2T + 2P)
- CH semanal fora de sala: ao menos mais 4h (2T + 2P)
- Dedicção fora de sala é necessária **desde a primeira semana do semestre**
 - Estudar regularmente os assuntos abordados
 - Preparar antecipadamente os laboratórios (leitura de manuais; planejamento de soluções; escrita de código) – exige **organização**

Complementação de Carga Horária

- Atividades extraclasse (CCH)
 - Leitura de documentação técnica (manuais)
 - Especificação e planejamento de implementações
 - Elaboração de documentação e diagramas
 - Desenvolvimento de software e hardware
 - **Avaliação por pares** (parte dos laboratórios)

Avaliação por Pares

- Algumas das tarefas extraclasse também serão avaliadas por três colegas (pares)
 - O resultado da sua avaliação será validado após a entrega das suas próprias avaliações dos colegas
 - Dessa maneira todos aprendem objetivamente que suas ações têm consequências não apenas para si mesmos, mas para os outros também
 - Ao avaliar colegas temos a oportunidade de aprender com eles e também de ensiná-los – todos tendem a se beneficiar do processo e a aprender a “fazer bem-feito”

Teoria e Prática

- São igualmente importantes e portanto terão o mesmo peso na avaliação final, que será obtida por média geométrica:

$$N_F = \sqrt{N_T \times N_P}$$
- Ou seja, para obtenção da média mínima de aprovação, **todas** as avaliações teóricas e práticas terão que ser realizadas e as notas parciais terão que estar **equilibradas**.

Avaliações

- Duas avaliações teóricas (provas escritas)

$$N_T = \sqrt{P_1 \times P_2}$$
- Três apresentações práticas (laboratórios)

$$N_P = \sqrt[3]{L_1 \times L_2 \times L_3}$$
- Notas dos laboratórios (L_1, L_2, L_3):
 - Planejamento e desenvolvimento (peso = 3)
 - Demonstração e apresentação (peso = 5)
 - Avaliação individual dos estudantes (peso = 2)

Recuperação

- Provas teóricas
 - Uma única prova escrita *substitutiva* sobre **todo** o conteúdo da disciplina
 - Nota inferior a 4,0 em **qualquer** das duas provas teóricas implica obrigatoriamente em recuperação
- Apresentações práticas
 - Apresentação após o prazo limite é permitida, sujeita a uma penalidade de 10% da nota máxima por semana de atraso

CrITÉrios de Correção

- Primeira prova: correção menos rigorosa
- Segunda prova: correção mais rigorosa
- Recuperação: correção absolutamente rigorosa
- Correções serão apresentadas e discutidas em sala de aula
- Prova substitutiva é **substitutiva**
 - É para ser exceção, não regra

Bônus na Nota Final

- Eventuais bônus são individuais (e não por equipe), estando condicionados ao bom desempenho em todas as avaliações da disciplina
- Somente está elegível a receber bônus quem já estiver aprovado sem a necessidade dele

Frequência

- Pontualidade
 - Serão computados atrasos na chegada, assim como saídas antecipadas em todas as aulas
- Presenças serão lançadas semanalmente no Sistema Acadêmico
 - É de responsabilidade de cada estudante controlar sua própria frequência às aulas

Alguns Esclarecimentos

- Aprovação
 - Rendimento $\geq 6,0$ E frequência $\geq 75\%$
- Critério para avaliação de rendimento:
 - O estudante deve demonstrar que adquiriu nível suficiente de conhecimento sobre os temas do plano de ensino em avaliações teóricas e práticas
- Argumentos irrelevantes:
 - “Professor, estou em processo de jubramento.”
 - “Professor, só falta essa disciplina para me formar.”
 - “Professor, trabalho e não tenho tempo para estudar.”

O que está em jogo?

- Não se trata apenas do seu bem estar individual: as “suas notas” ou o “seu diploma”
- Trata-se do **nosso** bem estar coletivo: a **sua competência** para o bom funcionamento da sociedade como um todo
- Muito tempo e **recursos públicos** (da sociedade) está sendo empregado na **sua formação** – portanto, a sua responsabilidade em retribuir (à sociedade) é grande

Processo Ensino-Aprendizagem

- Minha experiência de mais de 20 anos como professor de ensino superior:
 - Não existe ensino sem estudante...
 - Mas existe aprendizagem sem professor.
 - Logo, o foco dos estudantes deve estar na **aprendizagem** (responsabilidade pessoal).
 - O ensino consiste em ajudar a direcionar os esforços do estudante de maneira mais eficaz (responsabilidade do professor).

Processo Ensino-Aprendizagem

- Não existe aprendizagem sem que se cause algum nível de desconforto – aprender é sair da zona de conforto e ampliar horizontes.
- Mas normalmente existe recompensa (satisfação) ao final do processo – saber atrasar recompensas é considerado parte das receitas para obtenção de “sucesso”.
- Ensino: controle do nível de desconforto + maximização da chance de recompensa.

Conhecimento vs. Informação

- Palestra do Prof. Gustavo Reis (TEDx):
 - <https://youtube.com/watch?v=1NqMt7dU5WY>

$$\text{Motivação} = \frac{1}{\text{Informação Disponível}}$$

- Quanto mais informação disponível (p.ex. Google), menor a motivação para garimpá-la...

O Caso de Sistemas Embarcados

- Informação disponível $\rightarrow \infty$
 - Manual de referência técnica Cortex-M4 (~110 p.)
 - Guia do usuário de dispositivos Cortex-M4 (~280 p.)
 - Manual do microcontrolador (~1900 p.)
 - Manual do kit de desenvolvimento (~40 p.)
 - Manual da biblioteca dos periféricos (~720 p.)
 - Manuais do AID (IAR EWARM, ~1800 p.)
 - Notas de aplicação, errata, livros, etc...

O Caso de Sistemas Embarcados

- Logo, motivação para garimpá-la $\rightarrow 0$
 - É desejável a existência de um mentor para **direcionamento** na seleção de informações relevantes, para que informação se transforme em conhecimento (autonomia)
- Contem com o professor para direcionar os seus esforços!

Neurociência da Aprendizagem

1. Não se aprende agindo passivamente.
 - Estudantes devem participar **ativamente** das aulas, mas estando consciente de que apenas assistir ou participar das aulas não significa estar aprendendo.
 - Aulas são atividades de ensino (direcionamento), não atividades de aprendizagem!

Neurociência da Aprendizagem

2. Não se aprende agindo passivamente.
 - Estudantes devem fazer todas as atividades práticas – **se** realizadas de forma **individual e ativa**, serão atividades de aprendizagem.
 - Cuidado com as armadilhas de atividades práticas em equipe em que alguém assume o papel de líder isolado – se você não for o líder, corre o risco de assumir uma postura passiva em vez de ativa.

Neurociência da Aprendizagem

- Faça anotações manuscritas em papel (atividade motora). Evite computador ou tablet para isso.
- Prefira ler materiais de estudo em papel ou e-paper (Kindle, Kobo) em vez de telas de computador ou tablet, quando possível.
- Estude todos os dias (releia notas de aula, **suas próprias anotações**, faça exercícios e atividades práticas) – preferencialmente no mesmo dia em que teve as aulas sobre o assunto (isto é, antes de uma noite de sono).

Neurociência da Aprendizagem

- Evite “estudar para as provas”, principalmente se for somente na véspera delas – se você estudar **ativamente** (quase) todos os dias, irá aprender efetivamente e nunca precisará “estudar para as provas”.
- Prepare “cola” regularmente (assim você estará fazendo **anotações manuscritas e selecionando os assuntos relevantes** de forma ativa e objetiva), mas não use nas provas.

Neurociência da Aprendizagem

- O uso de drogas (lícitas ou ilícitas) prejudica o equilíbrio físico-químico cerebral e, portanto, também prejudica a aprendizagem.
- Palestra do Prof. Pierluigi Piazzi:
 - <https://youtube.com/watch?v=opMgrJyHP9k>
- Livro do Prof. Pierluigi Piazzi: “Aprendendo Inteligência: Manual de Instruções do Cérebro para Estudantes em Geral”, Aleph, 2014.

Mais Informações

- Website:
 - <http://dainf.ct.utfpr.edu.br/~hvieir/ELx74/ELF74.html>
 - Notas de aula e materiais de apoio
 - Cronograma de apresentações de laboratório
 - Referências bibliográficas (livros e artigos)
 - Documentação de hardware e software
 - Exemplos e tutoriais
 - Informações gerais

Equipes de Laboratório

- Máximo de **dois** estudantes por equipe
- Motivos:
 - Maior eficácia no aprendizado
 - Número limitado de bancadas
- Devem ser definidas até a segunda semana letiva do semestre

Comportamento Discente

- Atitudes incentivadas
 - Comparação de soluções quanto ao seu desempenho, complexidade, organização, elegância, etc.
 - **Sugestões** (direcionamento) de uma equipe de laboratório a outra para **ajudar** a resolver problemas (não se trata de fornecer ou compartilhar soluções)

Comportamento Discente

- Atitudes ilegais:
 - Ler: “[Regulamento Disciplinar do Corpo Discente da UTEPR](#)” (Maio/2015)
 - Apresentar trabalhos ou partes de trabalhos elaborados por outros como sendo seus
 - Repassar informações a respeito de provas ou respostas a qualquer tempo
 - Repassar soluções parciais ou totais de laboratórios
 - Copiar, fotografar ou gravar provas ou aulas – se o professor julgar adequado divulgar qualquer conteúdo, o fará pelo website – solicite!

Kits de Desenvolvimento

- Há três modelos de kit de desenvolvimento disponíveis – alguns são mais novos (2018), outros estão em uso há mais tempo (desde 2012)
- Requerem cuidado no manuseio para não serem danificados
- Cada equipe usará **sempre o mesmo** kit ao longo do semestre
- Haverá dois kits extras disponíveis para uso fora de aula (laboratório livre)

Kits de Desenvolvimento (1)

- EK-TM4C1294XL + Educational BoosterPack MKII*



TM4C1294:
ARM Cortex-M4F

Ambientes de Desenvolvimento (1)

- IAR Embedded Workbench for ARM (EWARM)
 - Possui simulador
- Keil Microcontroller Development Kit (MDK)
 - Possui simulador
- Code Composer Studio (CCS)
 - Não possui simulador nas versões mais recentes
- Expansões compatíveis com TI BoosterPacks

Kits de Desenvolvimento (2)

- Renesas SK-S7G2



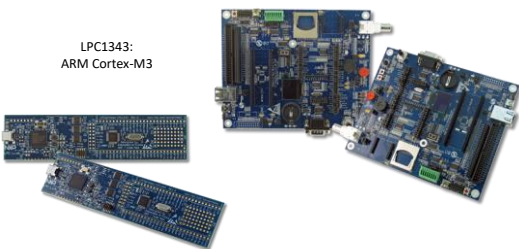
S7G2:
ARM Cortex-M4F

Ambientes de Desenvolvimento (2)

- IAR Embedded Workbench for ARM (EWARM) for Renesas Synergy
 - Possui simulador
- Synergy Standalone Configurator (SSC)
- Expansões compatíveis com Shields Arduino e interfaces PMOD

Kits de Desenvolvimento (3)

- LPCxpresso 1343 + LPCxpresso base board



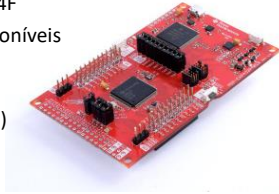
LPC1343:
ARM Cortex-M3

Ambientes de Desenvolvimento (3)

- IAR Embedded Workbench for ARM (EWARM)
 - Possui simulador
 - Necessita de interface JTAG externa (J-LINK)
- Keil Microcontroller Development Kit (MDK)
 - Possui simulador
 - Necessita de interface JTAG externa (J-LINK)
- Code Red / LPCxpresso
 - Não possui simulador
 - Utiliza a interface JTAG integrada

Opção de Kit: MSP-EXP432P401R

- À venda por cerca de U\$20.00 (store.ti.com)
- Interface JTAG integrada (IAR, Keil, Code Composer)
- MSP432: ARM Cortex-M4F
- Vários BoosterPacks disponíveis
- Educational BoosterPack MKII à venda por cerca de U\$30.00 (store.ti.com)
- Frete: cerca de U\$7.00*
- Taxas: cerca de U\$2.50*



Laboratórios: Situação Ideal

- Cada equipe utiliza o seu próprio computador e possui o seu próprio kit (maior autonomia):
 - EK-TM4C1294XL (TMC4C1294) → U\$20.00
 - <http://www.ti.com/tool/EK-TM4C1294XL>
- ou**
- MSP-EXP432P401R (MSP432) → U\$20.00
- <http://www.ti.com/tool/MSP-EXP432P401R>

Laboratórios: Situação Ideal

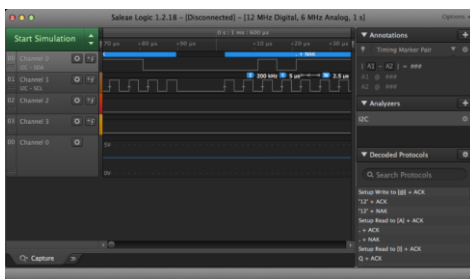
- Opcional, mas desejável:
 - BoosterPack do Prof. Peron
- ou**
- Educational BoosterPack MKII → U\$30.00
- <https://www.ti.com/tool/BOOSTXL-EDUMKII>

Laboratórios: Ferramenta Opcional

- Analisador lógico USB de 8 canais (24MHz)
- À venda por cerca de R\$40,00 (Mercado Livre)



Software do Analisador Lógico



Atividade Extraclasse

- Leitura do artigo:
 - ARM Cortex-M for Beginners (Joseph Yiu)
- Familiarização com a documentação:
 - Datasheet do microcontrolador TM4C1294NCPDT
 - Manual do kit EK-TM4C1294XL
 - Manual do Educational BoosterPack MKII
 - Esquemático do BoosterPack do Prof. Peron
- **Obs:** os links para os documentos acima estão disponíveis no website da disciplina

Atividade Extraclasse

- Responder por escrito (“cola”):
 - Que tipo de informação está disponível em cada manual (microcontrolador, placas)?
 - Quais recursos computacionais (memória, periféricos) estão integrados ao microcontrolador?
 - Quais recursos externos ao microcontrolador estão disponíveis no kit de desenvolvimento (externamente ao microcontrolador)?

Familiarização com o Kit e a IDE

- Objetivo: colocar em funcionamento o projeto “simple_io_main_sp” da área de trabalho “EK-TM4C1294_IAR8” (código-exemplo disponível no website da disciplina)
 - Configuração da compilação
 - Configuração da ligação
 - Ferramentas de depuração
- Explorar as funcionalidades da IDE

Familiarização com o Depurador

- Usar o depurador com simulador ou kit:
 - Configuração da conexão
 - Carregamento do código em memória flash
 - Execução controlada (passo-a-passo, breakpoints)
 - Execução do código em C e Disassembly
 - Inspeção de memória e de variáveis
 - Inspeção de registradores (CPU e periféricos)
 - Pilha, terminal de I/O, etc.