



Metodologia de HW/ SW Co-design

Edna Barros (ensb@cin.ufpe.br)


 Centro de Informática – UFPE

Sistemas Embarcados – Visão Geral

- Sistemas computacionais estão em quase todos os equipamentos
- Geralmente pensamos em computadores pessoais (“desktop”) ...
 - PCs 
 - Laptops 
 - Mainframes
 - Servidores
- Mas existem outros tipos de sistemas computacionais...
 - Bem mais comum...

Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 4

Tópicos


- Componentes de um sistema embarcado
- Desafios de Projeto:
 - Otimização das métricas
 - Custo
 - Time-to-market
- Tecnologias Essenciais
 - Processadores
 - IC
 - Projeto

Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 2

Sistemas Embarcados – Visão Geral

- Sistemas Computacionais Embarcados
 - Sistemas computacionais dentro de equipamentos eletrônicos
 - Difícil definição: semelhança com computadores pessoais
 - Milhões de unidades produzidas anualmente
 - Estimativa: 50 unidades por residência e por automóvel

Computadores estão aqui...
E aqui...
E mesmo aqui...



Tais processadores possuem alto volume de produção e baixo custo.


Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 5

Tópicos

- Técnicas de Projeto
 - Necessidade
 - Gap de Produtividade
 - Evolução
 - Técnicas de hardware e de software
 - Técnicas atuais de Projeto de Hardware

Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 3

Uma pequena lista de Sistemas Embarcados

<ul style="list-style-type: none"> Freios ABS Cameras auto-foco Lavadoras automáticas Briquetes Sistemas de Transmissão Eletrônica de avião Carregadores de bateria Filmadoras Telefones celulares Telefones sem fio Sistema de navegação Cameras digitais Disk drives Leitoras de cartão Instrumentos eletrônicos Controle de Fábricas Máquinas de Fax Identificadores de digitais Sistemas de segurança Instrumentos médicos 	<ul style="list-style-type: none"> Modems Decodificadores MPEG Cartões de rede Roteadores Pagers Copiadoras Pontos de venda Video games Impressoras Telefones via satélite Scanners Forno de micro-ondas Reconhecedores de voz Sistemas de som Sistemas de teleconferência Televisores Controladores de temperatura TV set-top boxes Video cassette e DVD's Lavadoras e secadoras 	
--	---	---

Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 6

Algumas características dos Sistemas Embarcados

- Funcionalidade definida
 - Executa um único programa repetitivamente
- Restrições mais rígidas
 - Baixo custo, baixo consumo de potência, pequenos, rápidos, etc.
- Reativos e de tempo real...
 - Atua continuamente com o ambiente e reage a suas mudanças
 - Deve computar alguns resultados em tempo real (sem atrasos)



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 7

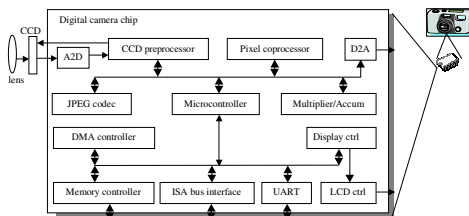
Desafios de Projeto: Otimização das Métricas de Projeto

- Métricas mais usadas:
 - Custo unitário: custo para produzir cada unidade do sistema (excluindo os custos de projeto – não recorrentes)
 - Custo NRE (Non-Recurring Engineering cost): custo de projeto do sistema
 - Tamanho
 - Desempenho: tempo de execução ou taxa de processamento do sistema
 - Potência
 - Flexibilidade: a habilidade de mudar a funcionalidade sem grande aumento do custo NRE



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 10

Exemplo de um Sistema Embarcado



- Funcionalidade única
- Restrições de projeto críticas
- Reativa e de tempo real



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 8

Desafios de Projeto: Otimização das Métricas de Projeto

- Métricas mais usadas:
 - Tempo de prototipação
 - Time-to-market
 - Mantabilidade: a habilidade de modificar o sistema após início da produção
 - Corretude, segurança, etc...



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 11

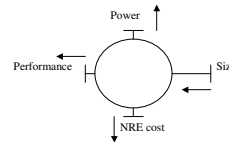
Desafios de Projeto

- Objetivo principal:
 - Desenvolver uma implementação com a desejada funcionalidade
- Desafios de projeto:
 - Otimização “simultânea” das diferentes métricas de projeto
- Métrica de Projeto:
 - Uma característica mensurável de uma implementação

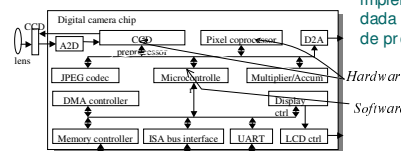


Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 9

Otimização das Métricas de Projeto: Conflito



- Conhecimento de **software and hardware** é necessário para a otimização das métricas
 - O projetista deve conhecer as várias tecnologias para escolher a melhor implementação para uma dada aplicação e restrições de projeto.



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 12

Time-to-market: uma métrica crítica

- Area = $1/2 * \text{base} * \text{height}$
 - Sem atraso = $1/2 * 2W * W$
 - Com atraso = $1/2 * (W-D+W) * (W-D)$
- Percentual de perda nos lucros = $(D(3W-D)/2W^2) * 100\%$
- Alguns exemplos:
 - Lifetime $2W=52$ wks, delay $D=4$ wks
 $(4^2(3*26-4)/2*26^2) = 22\%$
 - Lifetime $2W=52$ wks, delay $D=10$ wks
 $(10^2(3*26-10)/2*26^2) = 50\%$

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 13

Tecnologias Essenciais para a Sistemas Embarcados

- Tecnologia
 - A maneira de realizar uma tarefa, especialmente usando processos, métodos ou conhecimento
- Tecnologias essenciais para a sistemas embarcados
 - Tecnologia dos Processadores
 - Tecnologia para I C
 - Tecnologia de Projeto

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 16

Custo Unitário de NRE

- Custos:
 - $\text{Custo total} = \text{custo NRE} + \text{custo unit.} * \# \text{ de unids.}$
 - $\text{Custo por prod.} = \text{custo total} / \# \text{ de unids.}$
 - $= (\text{custo NRE} / \# \text{ de unids}) + \text{custo unit.}$
- Exemplo
 - NRE=\$2000, unit.=\$100
 - Para 10 unidades
 - Custo total = $2000 + 10*100 = 3000$
 - Custo por produto = $2000/10 + 100 = 300$

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 14

Tecnologia dos Processadores

- Arquitetura do componente de computação que implementa a funcionalidade desejada
- Não precisam ser programáveis

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 17

Custo Unitário de NRE

- Comparando diferentes tecnologias
 - Tecnologia A: NRE=\$2,000, unit.=\$100
 - Tecnologia B: NRE=\$30,000, unit.=\$30
 - Tecnologia C: NRE=\$100,000, unit.=\$2

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 15

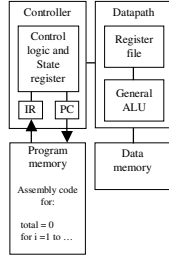
Tecnologia de Processadores

- Processadores podem variar na adequação ao problema

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 18

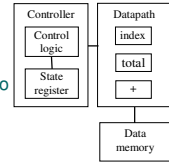
Processadores de uso geral

- Programados via software
- Memória para dados e programa
- Vantagens
 - Pequenos *time-to-market* e custo não recorrente
 - Alta flexibilidade
- Desvantagens
 - Necessidade de adicionar dispositivos
 - Alto consumo
 - Baixo desempenho
- Ex: PowerPC, Pentium, Z80



Processadores de propósito único

- Circuito digital projetado para executar um único algoritmo
- Características
 - Contém apenas o necessário ao algoritmo
 - Não tem memória de programa
- Vantagens
 - Projeto sob encomenda pode obter o melhor do tamanho, potência, velocidade, mas perde em flexibilidade
- Ex: co-processadores e periféricos



Processadores

- Processadores embarcados (embedded)
 - Proc. de uso geral adaptados para sistemas embarcados:
 - Dispositivos internos
 - Menor potência
 - Facilidade para desenvolver software

Produto	Clock (MHz)	No. I/O	Portas Seriais	Timers/Contad.	Canais DMA	WDT	Controle Interrupção	Refresh DRAM
80386DX	16,20,25,33	0	Não	0	0	Não	Não	Não
80386EX	25	24	3	3	2	Sim	Sim (8259A)	Sim

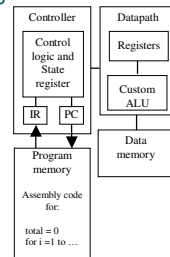
Seleção de Processadores

Processor	Clock speed	Periph.	Bus Width	MIPS	Power	Trans.	Price
General Purpose Processors							
Intel PIII	1GHz	2x16 K I.L, 256K L2, M8X	32	~900	97W	~7M	\$900
IBM PowerPC 750X	550 MHz	2x32 K I.L, 256K L2	32/64	~1300	5W	~7M	\$900
MIPS R5000	250 MHz	2x32 K I.L, 256K L2, 2 way set assoc.	32/64	NA	NA	3.6M	NA
StrongARM SA-110	233 MHz	None	32	268	1W	2.1M	NA
Microcontroller							
Intel 8051	12 MHz	4K ROM, 128 RAM, 32 I/O, Timer, UART	8	-1	~0.2W	~10K	\$7
Motorola 68HC811	3 MHz	4K ROM, 192 RAM, 32 I/O, Timer, WDT, SPI	8	-5	~0.1W	~10K	\$5
Digital Signal Processors							
TI C5416	160 MHz	128K SRAM, 3 TI Ports, DMA, 13 ADC, 9 DAC	16/32	~600	NA	NA	\$34
Lucint DSP32C	90 MHz	1.5K Inst., 2K Data, Serial Ports, DMA	32	46	NA	NA	\$75

Source: Intel, Motorola, MIPS, ARM, TI, and IBM Website Datasheet; Embedded Systems Programming, Nov. 1998

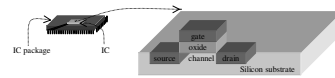
Processadores de Aplicação Específica (ASIPs)

- Processador programável otimizado para uma classe de problema
- Características
 - Memória de programa
 - U.E. otimizada
 - Periféricos especiais
- Vantagem
 - Bom compromisso entre flexibilidade, velocidade, tamanho e potência
- Ex: Microcontroladores (ex. Nitron, 8051) DSPs



Tecnologia de IC

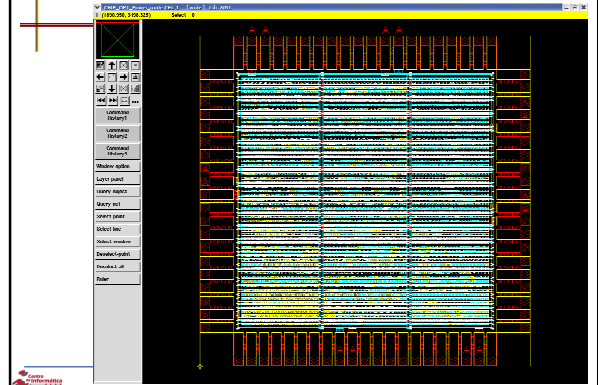
- Maneira de mapear uma implementação digital (gate-level) em um circuito integrado
 - IC: Integrated circuit, ou "chip"
 - Tecnologias de IC diferem no nível de especialização do projeto
 - IC's possuem inúmeros níveis
 - Tecnologias de IC diferem com respeito a quem constrói os níveis e quando



Tecnologia de IC

- Tipos de tecnologias
 - Full-custo m/ VLSI
 - Semi-custo m ASIC (gate array and standard cell)
 - PLD (Programmable Logic Device)

Semi-custo m: IP-core e do 8051



Full-custo m/ VLSI

- Todos os níveis são otimizados para uma implementação particular de um sistema embarcado
 - Posicionamento dos transistores
 - Dimensionamento dos transistores
 - Roteamento dos fios
- Vantagens
 - Excelente desempenho, pequeno tamanho, baixa potência
- Desvantagens
 - Custo NRE alto (e.g., \$300k), time-to-market bastante longo

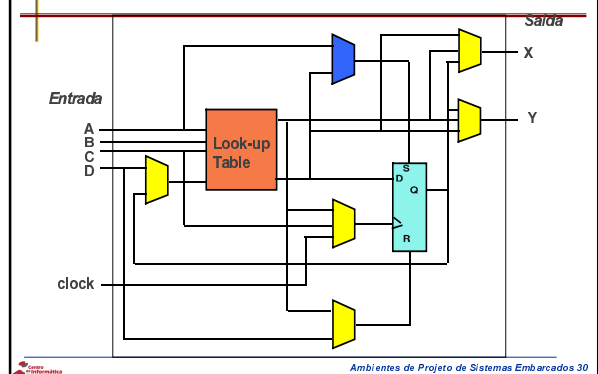
PLD (Programmable Logic Device)

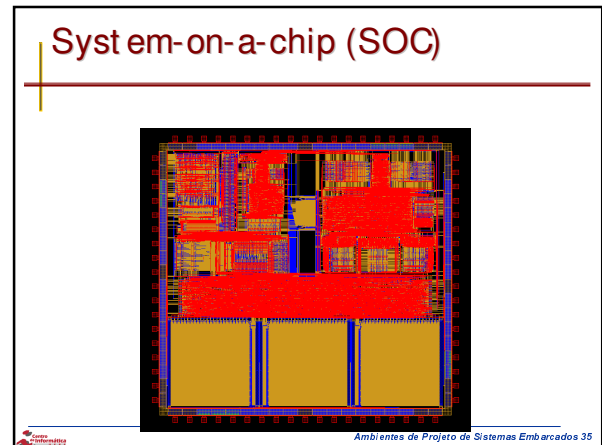
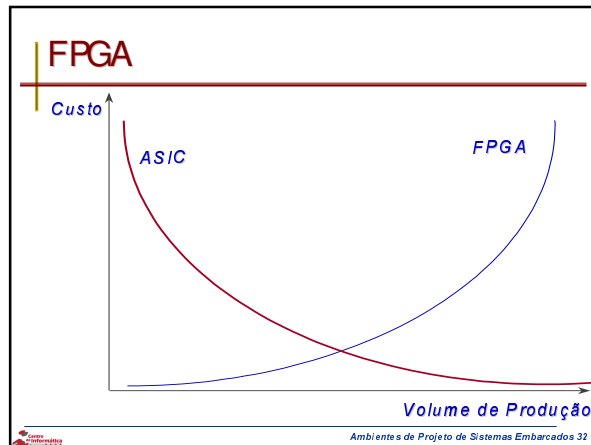
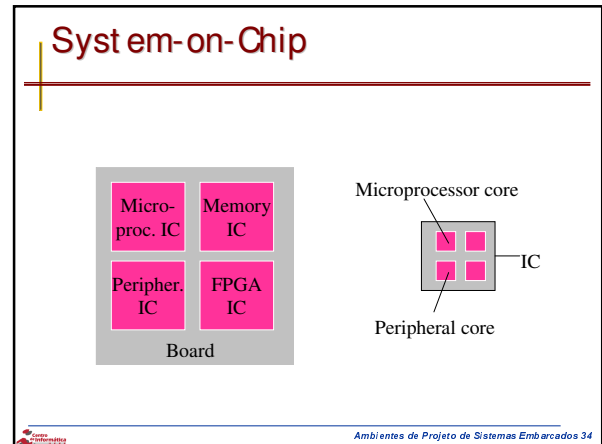
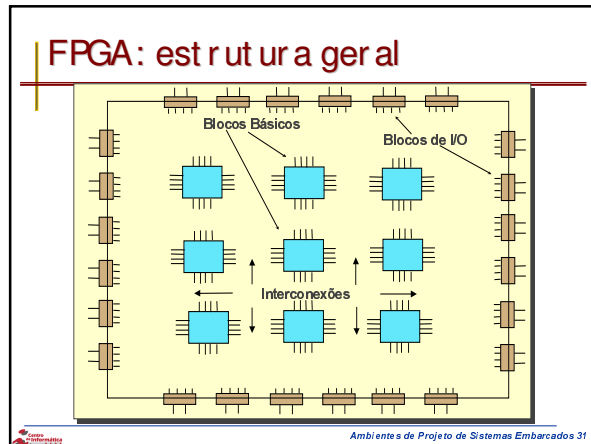
- Todos os níveis já existem
 - Projetistas podem comprar como IC
 - Conexões são criadas ou destruídas para implementar funcionalidade desejada.
 - Field-Programmable Gate Array (FPGA) são os mais populares
- Vantagens
 - Baixo custo NRE
- Desvantagens
 - Grandes, caros (\$30 por unidade), alto consumo de potência, lentos

Semi-custo m

- Níveis inferiores são completa ou parcialmente construídos
 - Projetistas devem rotear os fios ou posicionar alguns blocos
- Vantagens
 - Bom desempenho, bom tamanho, custo NRE menor que full-custo m (de \$10k a \$100k)
- Desvantagens
 - Ainda requer semanas ou meses de desenvolvimento

FPGA: bloco básico





- ### System-On-A-Chip
- Uso de núcleos de processadores (cores)
 - Baixo custo de fabricação em série
 - Alta qualidade
 - Diminuição de defeitos de montagem e fabricação em geral
 - Baixa potência consumida
 - Pequeno tamanho
 - Alta velocidade
- Universidade Federal de Pernambuco Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 33

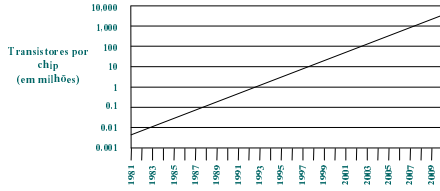
Tecnologias de Projeto

Motivação

Lei de Moore

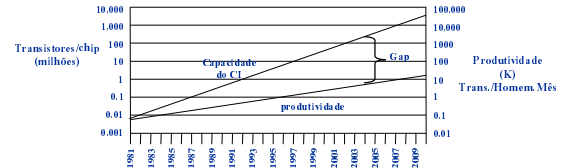
- Uma tendência que se mantém e foi prevista em 1965 por Gordon Moore

Número de transistores praticamente dobra a cada 18 meses

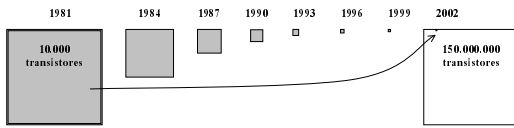


Produtividade de Projeto X Tam. Chip

- O número de transistores por chip aumentou muito mais que a capacidade de projeto
- Maior chip em 1981 requeria 100 homem.mês
 - 10.000 transistores / 100 transistores / mês
- Maior chip em 2002 requeria 30.000 homem.mês
 - 150.000.000 / 5.000 transistores / mês
- Custo aumentou de \$1M para \$300M



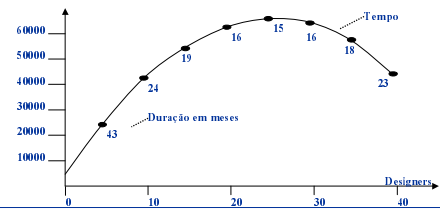
Lei de Moore: Ilustração Gráfica



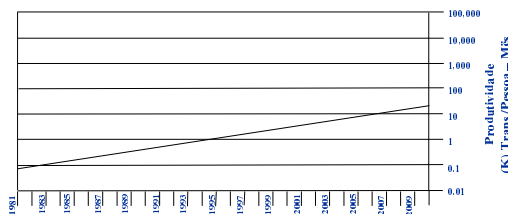
Um chip de 2002 pode conter 15.000 chips de 1981

The mythical man-month

- O problema é pior na realidade
- O aumento da equipe pode, em algum momento, tornar o projeto mais lento, devido a complexidade de gerenciamento e comunicação
- Esse efeito é conhecido na comunidade de software como "the mythical man-month" (Brooks 1975)

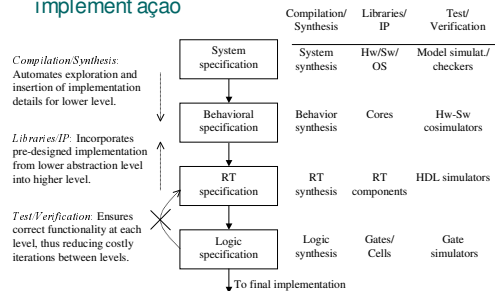


Produtividade de Projeto



Tecnologia de Projeto

- A maneira de converter uma funcionalidade em implementação



Tecnologia de Projeto

- Projeto de sistemas embarcados
 - Definição da funcionalidade
 - Conversão da funcionalidade em implementação enquanto:
 - Satisfazendo restrições de projeto
 - Otimizando outras métricas
- Dificuldades
 - Complexidade da Funcionalidade
 - Milhões de possíveis implementações
 - Métricas relacionadas e que competem
 - Gap de Produtividade
 - Menos que 10 linhas de código ou 100 transistores produzidos por dia

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 43

Independência de Tecnologias

- Compromisso básico
 - Geral vs. customizado
 - Tecnologia do processador vs. Tecnologia de implementação

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 46

Melhorando a Produtividade

- Tecnologias de Projeto
- Foco em tecnologias com visão unificada de hardware e software
 - Automação
 - Programas substituem projeto manual
 - Compilação / Síntese
 - Reuso
 - Componentes pré-definidos
 - IP-córces
 - Processadores de propósito geral e de propósito único em um mesmo IC
 - Verificação
 - Garantir correção e completude de cada etapa de projeto
 - Co-simulação Hardware/software

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 44

Resumo

- Desafios de Projeto:
 - Otimização das métricas
 - Custo
 - Time-to-market
- Tecnologias Essenciais
 - Processadores:
 - Propósito geral
 - Domínio Específico
 - Propósito único
 - IC
 - Projeto

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 47

Compilação / Síntese

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 45

Resumo

- Técnicas de Projeto
 - Lei de Moore e Gap de Produtividade
 - As técnicas de hardware e de software suportam o mesmo nível de abstração
 - Técnicas atuais de Projeto de Hardware
 - Síntese
 - Reuso
 - Uso de plataformas pré-definidas

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 48

Programa do Curso

- Introdução
- Processadores de Aplicação Específica: Hardware
- Processadores de propósito Geral: Software
- Periféricos
- Memória
- Interfaces
- Ferramentas de Apoio a Projetos



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 49

Avaliação

- Unidade 1:
 - prova
 - lista de exercício
 - seminários
- Unidade 2
 - prova
 - projeto
 - seminários



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 50

Bibliografia

- Embedded System Design: A Unified Hardware/ Software Introduction
 - Frank Vahid and Tony Givargis, John Wiley and Sons, 2002



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 51