




Prototipação de Circuitos integrados (introdução)

Manoel Eusebio de Lima (mel@cin.ufpe.br)
Centro de Informática - UFPE





Programa

- 1º Módulo
 - *Motivação*
 - *Metodologia do curso*
 - *Metodologia de projetos*
 - *Síntese*
 - *Síntese de alto-nível*
 - *Síntese RTL*
 - *Síntese Lógica*
 - *Síntese de Layout*
 - *Estilos de projetos*
 - *Full-custom*
 - *Standard-Cell*
 - *Macrocell*
 - *Gate array*
 - *Dispositivos programáveis*




Grupo de Engenharia da Computação - Cin / UFPE




Programa

- 2º Módulo
 - *Tecnologia de circuitos Integrados*
 - *MOS*
 - *CMOS Projetos da disciplina*
 - *Projetos de layout*
- 3º Módulo (projeto - FPGA)
 - *OpenCL*
 - *Nallatech*
- 4º *Seminários*




Grupo de Engenharia da Computação - Cin / UFPE




Introdução

- Sistemas Embarcados e Novas tecnologias de Implementação
- Tecnologias de Projeto
- System Level Design
- Conclusões




Grupo de Engenharia da Computação - Cin / UFPE




Por que estudar projetos de circuitos integrados digitais?

- Conhecer dispositivos que integram processadores de informação em nosso cotidiano.
- Entender porque a informação digital é mais eficiente na manipulação de técnicas para processar e utilizar informação.
- Conhecer e utilizar técnicas modernas que permitam desenvolver sistemas de tratamento de informação em problemas reais.
 - Metodologias de projetos
 - Ferramentas de CAD para desenvolver projetos
 - Linguagem para descrição de hardware (VHDL, Verilog, handel-C, OpenCL)
 - Linguagem p/ descrição de sistemas (SystemC)
- Entender como é possível desenvolver sistemas digitais em plataformas profissionais.
- Entender fluxo de projetos de circuitos digitais para uso em aplicações específicas.
- Desenvolver projetos de "circuitos integrados" voltados para "Sistemas embarcados"(Embedded systems) e implementá-los em uma plataforma de prototipação rápida.




Grupo de Engenharia da Computação - Cin / UFPE




Sistemas embarcados

- Um sistema é dito embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores.
- Características
 - Possui componente programável
 - Funcionalidade única e fixa
 - Modo reativo - responde a entradas externas
 - E/S Intensivo
 - Restrições de projeto mais rígidas:
 - custo, tamanho, desempenho, potência dissipada, etc.
 - Sistemas de tempo real:
 - fornecer resultados em tempo real
 - Eficiência (estruturação, tamanho e velocidade) do código produzido (software).



Grupo de Engenharia da Computação - Cin / UFPE



Sistemas Embarcados

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informatica

Sistemas Embarcados: Tecnologias

Comunicação

Computação

Tecnologia

Novos Dispositivos

Funcionalidades Integradas

- Telefone Celular
- Video, email, MP3
- Mensagens, Browser, m-commerce
- E-book, Games...

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informatica

Casa Inteligente

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informatica

Mobile sensor network architecture

Mobile intelligent network

Wireless communication

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informatica

O que é suficiente para desenvolver circuitos integrados?

IC package

1993: ~ 1 milhão de transistores

1996: ~ 5-8 milhões de transistores

1999: ~ 10-50 milhões de transistores

2005: ~ 100-500 milhões de transistores

Frank Vahid - UC Riverside

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informatica

O que é suficiente?

1993: 1 M

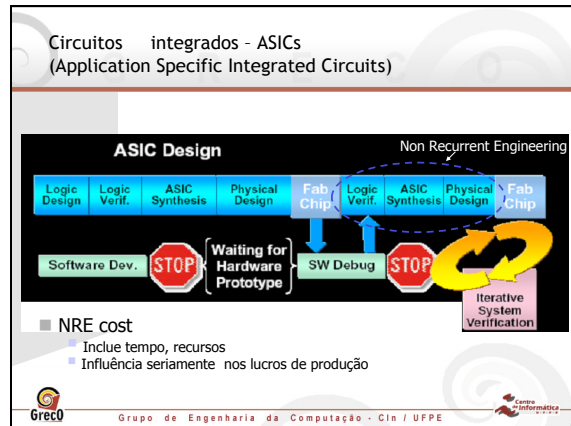
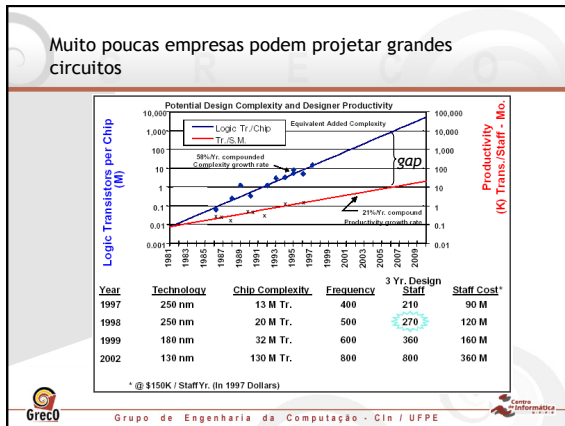
2008: >1 bilhão de transistores

Exemplos:

- 8-bit uC: ~15K
- 32-bit ARM: ~30K
- MPEG dcd: ~1M
- 100M bastante for audio/vídeo/etc.?

Talvez poucas pessoas possam projetar isto

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Frank Vahid - UC Riverside

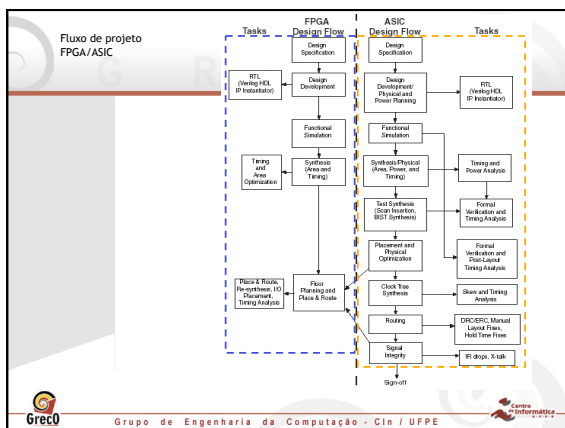
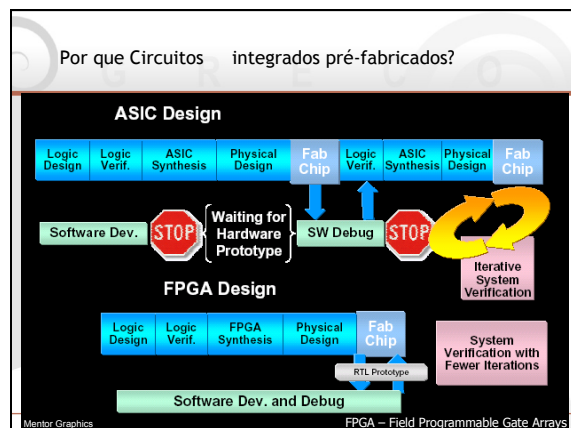


O que fazer p/ implementar meu sistema?

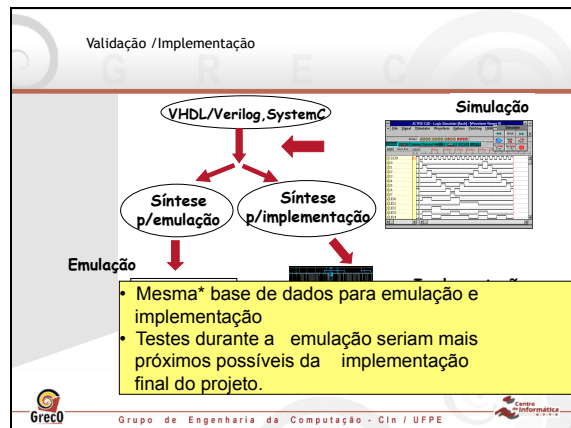
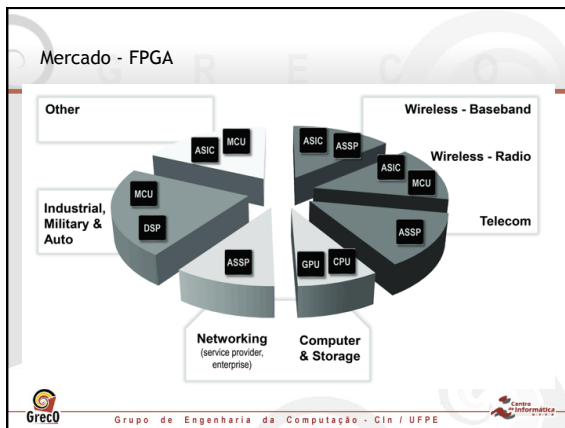
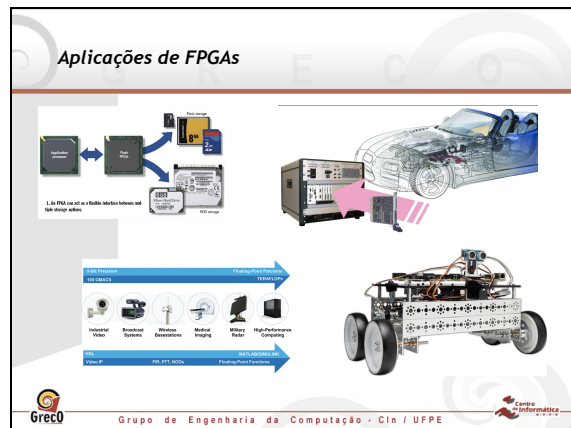
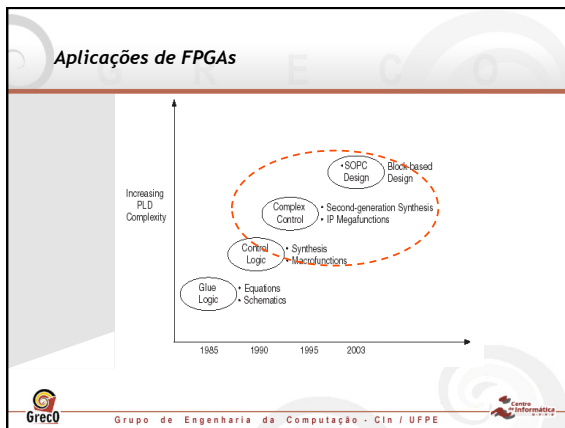
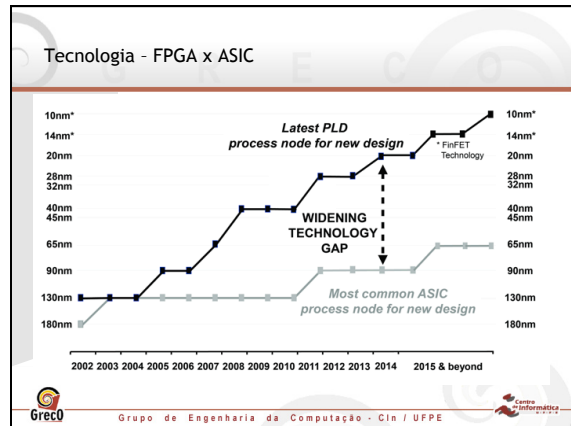
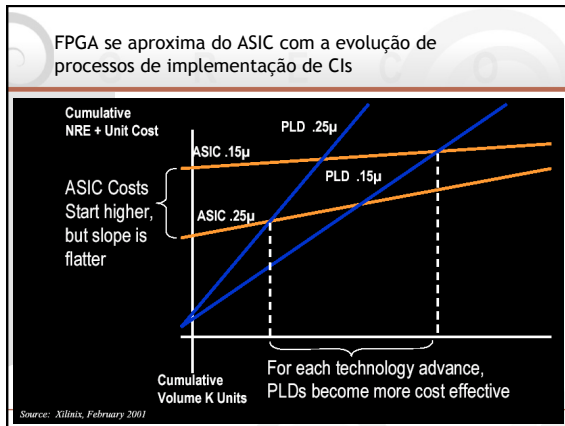
Transistores são abundantes

- Circuitos são grandes o bastante e rápidos
- Circuitos custom caro e requerem muito tempo para fabricação
- Time-to-market cada vez menor

Comprar Circuitos integrados pré-fabricados que permitem integrar sistemas mais facilmente em plataformas



- ### Lógica programável x ASICs
- **FPGAs**
 - hardware mais lento
 - menos gates p/chip
 - mais consumo de potência
 - alto custo p/gate
 - fácil mudança de processos
 - sem layout e projeto físico
 - rapidez na correção de falhas: minutos
 - pode adicionar novas funções facilmente
 - customização no campo
 - mudança on-the-fly
 - **ASICs**
 - hardware mais rápido
 - mais gates p/chip
 - lower power
 - baixo custo p/chip
 - difícil mudança de processos
 - layout e projeto físico
 - correção lenta de falhas: semanas, alto custo
 - hardware permanente, mudanças requer novo projeto





Prototipação de Circuitos integrados (Plataformas)

Manoel Eusebio de Lima (mel@cin.ufpe.br)
Centro de Informática - UFPE



Tendência na direção de plataformas pré-fabricadas: ASSPs

- ASSP: Application Specific Standard product
 - IC de domínio específico - e.g., digital camera IC
- ASIC: Application Specific IC
- Atualização do ASSP > ASIC
- Novos projetos com ASSP > ASIC
 - Único circuito p/ projetos
 - Ignora quantidade de circuitos
 - Novos projetos com ASIC diminuem
- Lucro ASIC e ASSP em 2005 aumentará 7.5 %, \$76.3 bilhões. Previsão de \$116.5 billion in 2010.

Worldwide Revenue (Billions of Dollars)

Thousands of Designs

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Mesma plataforma pré-fabricada

L2 cache	Periféricos
L1 cache	JPEG dcd
uP	DSP
FPGA	

IC

Características:

- Deve ser programável para múltiplas aplicações
- Idealmente também reconfigurável
- Custo razoável
- Usa transistores extras para configurabilidade

Plataforma pré-fabricada

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tecnologia: System-on-Chip

Micro-proc. IC	Memory IC
Peripher. IC	FPGA IC

Board

➔

Microprocessor core

Peripheral core

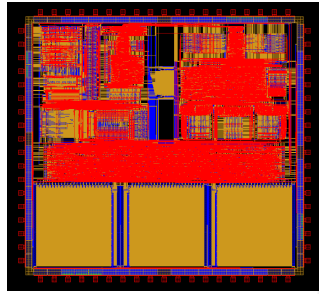
Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

System-On-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

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

System-on-chip (SOC)



Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tecnologia: SoC's (System on Chip)

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tecnologia: SoC's (System on Chip)

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tecnologias de Projeto

A maneira de converter uma funcionalidade em implementação

UFPE

Muito poucas empresas podem projetar grandes circuitos

Year	Technology	Chio Complexity	Frequency	3 Yr. Design Staff	Staff Cost*
1997	250 nm	13 M Tr.	400	210	90 M
1998	250 nm	20 M Tr.	500	270	120 M
1999	180 nm	32 M Tr.	600	360	160 M
2002	130 nm	130 M Tr.	800	800	360 M

* @ \$150K / StaffYr. (in 1997 Dollars)

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Melhorando a Produtividade

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

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

IP-cores Reuso e Crescimento de Mercado

(C) Synopsys Raul Camposano

Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tecnologia de Projeto: Síntese

- Ferramentas de Síntese
 - Especificação da funcionalidade
 - Conversão da funcionalidade em implementação enquanto:
 - Satisfazendo restrições de projeto
 - Otimizando outras métricas
- Desafios
 - Complexidade da Funcionalidade
 - Milhões de possíveis implementações
 - Métricas relacionadas e que competem
 - Desempenho vs. Área vs. Potência
 - Gap de Produtividade
 - Menos que 10 linhas de código ou 100 transistores produzidos por dia
 - Necessidade de especificação em alto nível de abstração

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Síntese de layout Prototipação

Comp. Alg. Estr. RT. Geom.

Layout ASIC

Comportamento

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Evolução de projeto digital (metodologia)

Transistor Netlist 1970's

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE by Maszjar Gudarzy

Evolução de projeto digital (metodologia)

RT level, Schematic 1980's

RT level: Register Transfer level

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE by Maszjar Gudarzy

Evolução de projeto digital (metodologia)

HDL 1990's

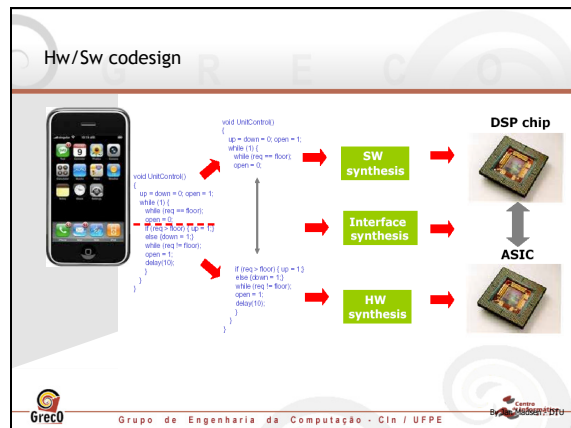
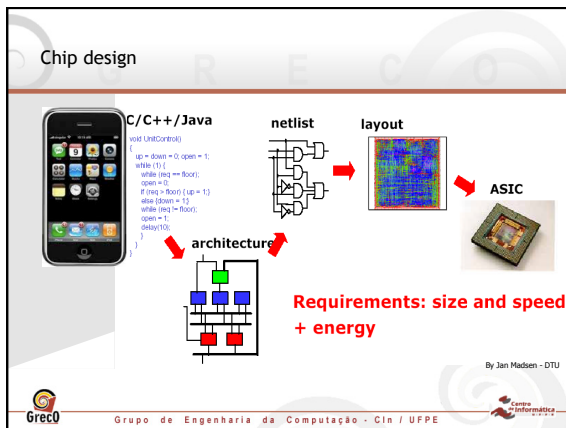
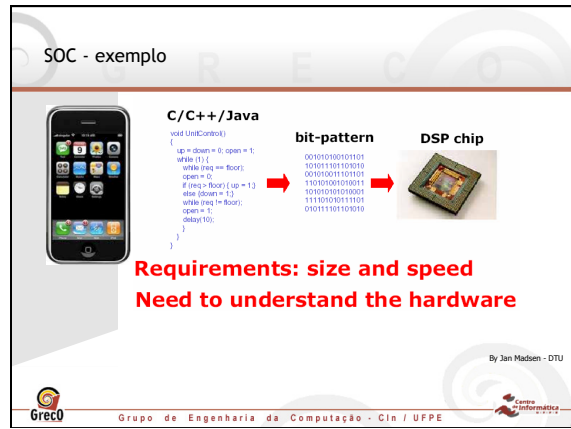
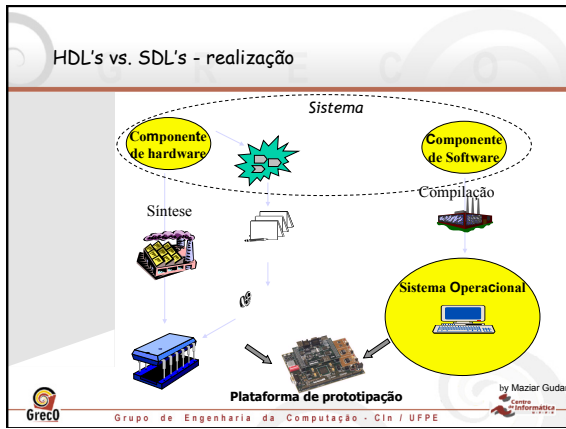
HDL: Hardware Description Language

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE by Maszjar Gudarzy

HDL's vs. SDL's: Requisitos

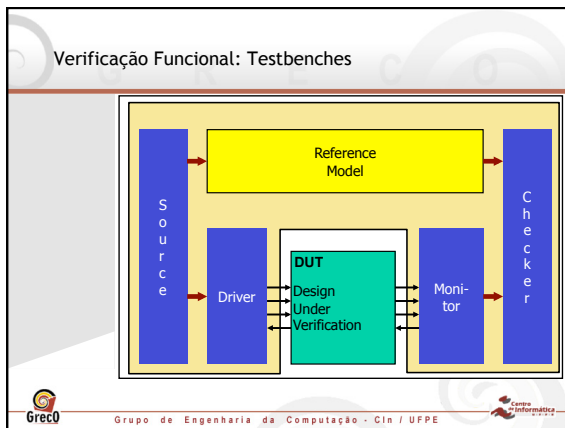
HDL's	HardwareC	Verilog	AHDL	VHDL
SDL's	C	Pascal	ADA	C++
	SystemC	OpenCL		

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE by Maszjar Gudarzy

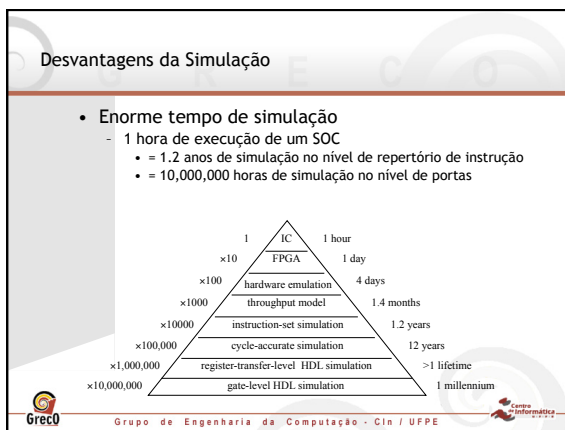


- ### Tecnologias de projeto: Verificação Funcional
- Garantia que um projeto está correto e completo
 - Correto
 - Implementa a especificação corretamente
 - Completo
 - Descreve a saída para todas as entradas relevantes
 - Verificação Formal
 - Difícil
 - Para projetos pequenos ou apenas algumas propriedades são verificadas
 - Simulação
 - Técnica mais usada
- Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

- ### Verificação Funcional: Simulação
- Criação de um modelo computacional do projeto
 - Fornecer valores para entrada
 - Verificar se os valores das saídas estão ok
 - Exemplo de Corretude
 - ALU
 - Fornecer todas as possíveis combinações para as entradas
 - Verificar se as saídas estão corretas
 - Exemplo de Completude
 - Porta do Elevador Fechada em Movimento
 - Fornecer todas as possíveis sequencias de entrada
 - Verifique que a porta está sempre fechada quando o elevador está em movimento
- Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE



- ### Vantagens da Simulação
- **Controlabilidade**
 - Simulação pode ser interrompida/re-iniciada a qualquer momento
 - Controle dos Valores
 - Entradas e Valores internos
 - **Observabilidade**
 - Exame do sistema/ambiente a qualquer momento
 - **Depuração**
 - Pode parar a simulação em qualquer ponto e:
 - Observar valores internos
 - Modificar valores do sistema/ambiente antes de reinício
 - Considerar pequenos intervalos de tempo(ex: 500 nanosegundos)
- Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

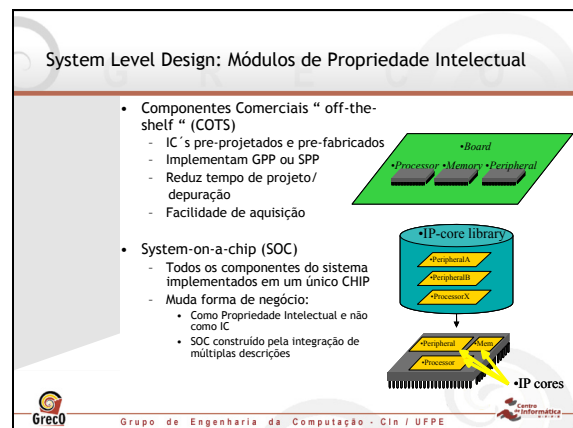


- ### Tendências e Necessidades:
- Modelos de Simulação que permitam simulação rápida
 - Modelos descritos em níveis mais abstratos
 - Análise de Cobertura de Testes
- Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

System Level Design

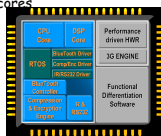
Tendências e Oportunidades

UFPE Centro de Informática



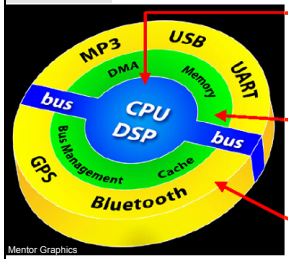
Projetos de sistemas baseado em plataformas

- Projeto a nível de sistema
 - descreve um sistema sobre componentes de hw/sw e os implementar automaticamente.
 - Aspectos importantes
 - Linguagem de sistemas (SystemC, ADA, handel-C?)
- Projeto baseado em plataforma
 - projeto baseado na agregação de IP-cores
 - solução viável no momento



Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

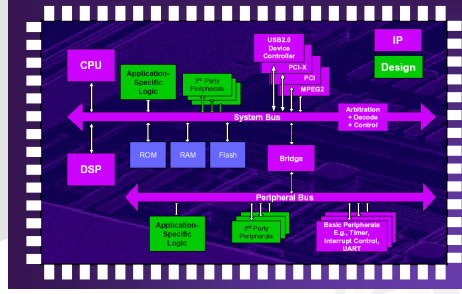
Plataforma de projeto baseada em IP



- Plataforma contém:
 - Núcleo
 - CPU e DSP
 - Hardware é fixo
 - Software Programável
- Periféricos:
 - Próximos do núcleo da CPU:
 - IP para completar o núcleo
 - Parametrizável, configurável
 - Não depende de um barramento (bus) genérico
 - Distantes do núcleo da CPU:
 - Blocos de funções compatíveis com um barramento específico

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

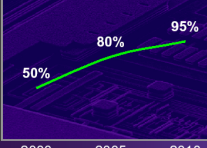
Projetos Baseados em Plataforma e IP-cores



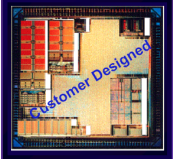
Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Projetos Baseados em Plataforma e IP-cores

Percentual de reuso



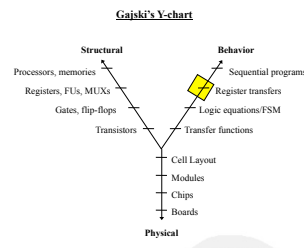
Crescimento de IP-cores, Memória e SW



Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tipos de IP-cores

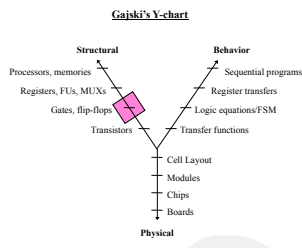
- Soft core**
 - Descrição Comportamental sintetizável (HDL)
 - Independente da tecnologia
 - Pode ser otimizado para a aplicação
 - Requer mais esforço de projeto
 - Pode não funcionar em tecnologia não testada
 - Não é otimizado



Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tipos de IP-cores

- Soft core**
 - Descrição Comportamental sintetizável (HDL)
 - Independente da tecnologia
 - Otimizado para a aplicação
 - Requer mais esforço de projeto
 - Pode não funcionar em tecnologia não testada
 - Não é otimizado
- Firm core**
 - Descrição estrutural (HDL)
 - Alguns reconfigurabilidade
 - Otimização limitada
 - Melhor previsibilidade e facilidade de uso



Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE

Tipos de IP-cores

- Soft core**
 - Descrição Comportamental sintetizável (HDL)
 - Independente da tecnologia
 - Otimizado para a aplicação
 - Requer mais esforço de projeto
 - Pode não funcionar em tecnologia não testada
 - Não é otimizado
- Firm core**
 - Descrição estrutural (HDL)
 - Alguma reconfigurabilidade
 - Otimização limitada
 - Melhor desempenho e facilidade de uso
- Hard core**
 - Descrição Física
 - Fornecido em variedade de formatos de layout
 - Facilidade de Uso
 - Previsibilidade
 - Depende da tecnologia

Gaiski's Y-chart

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Reuso de IP-cores: Desafios

- Padronização de Interfaces e de Documentação
 - VSIA / OCP-IP
- Métricas para Certificação e Qualificação dos IP's
 - RMM e VSIA
- Padronização para Transferência (Classificação)
 - Spirit

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Metodologia para o Projeto de IP-cores

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Mercado de IP-cores: Desafios

- Novo modelo de Negócio
 - Passado
 - Vendedores vendem IC aos projetistas
 - Projetistas tem que adquirir cópias adicionais
 - Não era possível copiar do original
 - Presente
 - Vendedores podem comercializar IP's
 - Projetistas podem usar tantas cópias quanto necessário
- Modelos de Preços
 - Modelo baseado em Royalty
 - Similar ao modelo de IC
 - Projetista paga por cada modelo adicional
 - Modelo de Preço Fixo
 - Um preço por IP independente do número de cópias
 - Outros modelos

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Proteção de IP

- Passado
 - Cópia ilegal muito difícil
 - Engenharia reversa requeria esforço enorme
 - Cópia acidental não era possível
- Presente
 - IP-cores são vendidos em formato eletrônico
 - Cópia deliberada/acidental facilitada
 - Proteção se faz necessária
 - Contratos para cópia/distribuição
 - Técnicas para proteção da Propriedade

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

Novos desafios para usuários de IPs

- Licença
 - Mais difícil do que comprar um IC
 - Muitos contratos estabelecem modelo de preço e proteção
 - Assistência jurídica
- Esforço extra de projeto
 - Especialmente para soft cores
 - Devem ser sintetizados e testados
 - Diferenças mínimas pode causar problemas
- Verificação é mais difícil
 - Teste extensivo para soft cores sintetizados e soft/firm cores mapeados a tecnologia particular
 - Tempo e potência pode variar entre implementações
 - Verificação é crítica
 - IP-cores produzidos como IC
 - Não se pode substituir IP-core ruim

Grupo de Engenharia da Computação - CIN / UFPE

System Level Design: Projetos Baseados em Plataforma

- Projetista inicia com modelo referência de plataforma (modelo de simulação)
- Projetista desenvolve aplicação
- Mapeamento da aplicação na arquitetura
- Análise de métricas
- Ajustes:
 - mapeamento
 - aplicação
 - Arquitetura
- Ajustes na Plataforma
 - Maturidade das ferramentas de síntese/compiladores
 - IP's podem ser ajustados
- Refinamento continua até que implementação desejada seja obtida

The diagram shows a central cycle of four boxes: Platform, Applications, Mapping, and Numbers. Arrows indicate a clockwise flow between them. A stick figure is shown interacting with the Platform and Applications boxes, and another stick figure is shown interacting with the Mapping and Numbers boxes.

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informático

Projetos Baseados em Plataforma: Desafios

The diagram shows a mobile phone and a PXA270 processor connected to a block diagram with several red question marks, indicating challenges in the design process.

- Desafios
 1. Seleção de plataformas
 2. Ajuste da plataforma
 3. Projeto de plataforma
- Necessidades
 1. Biblioteca de modelos de processadores, barramentos, memórias
 2. Mecanismo de especificação de plataformas
 3. Ambiente de simulação
 4. Benchmarks

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informático

Projetos Baseados em Plataforma: Desafios

The diagram shows a mobile phone and a PXA270 processor connected to a detailed PXA270 Block Diagram, illustrating the hardware components and their interconnections.

- Desafios
 1. Selecionar plataforma
 2. Ajuste da Plataforma
 3. Projeto de plataforma
- Necessidades
 1. Mecanismos de especificação de componentes
 2. Mecanismos de geração automática de simuladores
 3. Geração de Ferramentas de compilação
 4. Mecanismos de análise

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informático

Projetos Baseados em Plataforma: Desafios

The diagram shows a mobile phone and a PXA270 processor connected to a detailed PXA270 Block Diagram, illustrating the hardware components and their interconnections.

- Desafios
 1. Selecionar plataforma
 2. Ajuste da plataforma
 3. Projeto de plataforma
- Problemas
 1. Biblioteca de IP-cores dos componentes validados
 2. Ferramentas de síntese e simulação

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informático

Conclusões

- Tendências na área de Sistemas Embarcados
 - Projetos Nível de Sistema
 - Desenvolvimento de IP-cores de qualidade
 - Aplicação específica
 - Agregação de valor
 - Outsourcing
 - Desenvolvimento de plataformas de simulação
 - Modelos em alto nível de abstração
 - Mecanismos de análise
 - Suporte a software embarcado
 - Desenvolvimento de soluções
 - Plataformas
 - Software embarcado

Greco Grupo de Engenharia da Computação - CIn / UFPE Centro Informático