

Conception de systèmes embarqués complexes

Master 2004

Antoine Fraboulet, Tanguy Risset

antoine.fraboulet@insa-lyon.fr, tanguy.risset@ens-lyon.fr

Lab CITI, INSA de Lyon, Lab LIP, ENS de Lyon

Présentation du cours

introduction

● Présentation du cours

● References

● Sources d'information

● Plan du cours

● Cours 1

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

■ Enseignants:

- ◆ Antoine Fraboulet (MCF, Insa) Lab. Citi, Insa (bureau 230). <http://citi.insa-lyon.fr/~afraboul/>
- ◆ Tanguy Risset (CR, Inria), Lab. Lip, ENS-Lyon, (bureau 340) <http://perso.ens-lyon.fr/tanguy.risset>

■ Équipe Compsys:

- ◆ Compilation et systèmes enfouis.
<http://www.ens-lyon.fr/COMPSYS>

■ Déroulement du cours:

- ◆ \simeq 14h de cours
- ◆ \simeq 6h d'exposés d'étudiants (contrôle continu)

■ Site web:

<http://citi.insa-lyon.fr/~afraboul/master>

References



introduction

● Présentation du cours

● **References**

● Sources d'information

● Plan du cours

● Cours 1

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

■ livres:

- ◆ « Computers as Components: Principles of Embedded Computing System" Design Wayne Wolf Morgan Kaufman
- ◆ « Computer Organization & Design: The Hardware/Software Interface » David A. Patterson & John L. Hennessy Morgan Kaufman

■ et aussi:

- ◆ « Surviving the SOC Revolution » A Guide to Platform-Based Design Henry Chang, Larry Cooke, Merrill Hunt, Grant Martin, Andrew McNelly, Lee Todd Kluwer Academic Publisher
- ◆ « Code Optimization Techniques for Embedded Processors: Methods, Algorithms, and Tools » Rainer Leupers, Kluwer Academic Publisher
- ◆ « Memory Issues in Embedded Systems-On-Chip », Preeti Ranjan Panda and Nikil Dutt and Alexandru Nicolau, Kluwer Academic Publisher
- ◆ « Application-Specific Integrated Circuits », Michael John Sebastian Smith, Addison Wesley

Sources d'information

introduction

● Présentation du cours

● References

● Sources d'information

● Plan du cours

● Cours 1

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

- Cours préparé à partir de:
 - ◆ Cours donné à l'ENST (DESSIN)
 - ◆ Les cours de Frank Vahid et Tony Givargis
 - ◆ Le cours de Mikael Wolf
 - ◆ Beaucoup d'autre sources (Jim Turley, embedded.com)
- Autre cours sur les systèmes embarqués:
 - ◆ http://www.cs.lth.se/home/Krzysztof_Kuchcinski/DES/
 - ◆ <http://www-cad.eecs.berkeley.edu/Respep/Research/hsc/class/>
 - ◆ <http://www.idlab.dal.ca/Products/Courses/EmbeddedSystemsDesign/>
- Sites:
 - ◆ Soclib: <http://soclib.lip6.fr/>
 - ◆ embedded.com: <http://www.embedded.com/>
 - ◆ Jim Turley: <http://www.jimturley.com/>



Plan du cours

introduction

- Présentation du cours
- References
- Sources d'information
- Plan du cours
- Cours 1

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

- Introduction aux systèmes embarqués (2h: T.R)
- Présentation des *System on Chip* (SoC) (2h: A.F)
- Processeurs embarqués (4h, T.R.)
- Optimisation de la mémoire (2h A.F)
- Circuits spécialisés (2h, T.R)
- Communication sur puce (2h, A.F.)



Cours 1

introduction

- Présentation du cours
- References
- Sources d'information
- Plan du cours
- Cours 1

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

Introduction aux systèmes embarqués

Un peu d'histoire

introduction

Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Économie des
semi-conducteurs

● semi-conducteurs: répartition
mondiale

● importance des CPUs
embarqués

● Les CPUs utilisés pour
l'embarqué

● Catégories de systèmes
embarqués

● En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

- Fin du XIXème siècle : démonstration du potentiel des technologies électroniques pour les transmissions sans fil.
- Seconde guerre mondiale
 - ◆ Application au calcul (décryptage)
 - ◆ Premiers ordinateurs (ENIAC)
- 1947-1954
 - ◆ Invention puis commercialisation des transistors à semi-conducteurs
 - ◆ Les « transistors » remplacent les postes radio à tubes
- Années 60 et 70: premiers circuits intégrés, LSI

Un peu d'histoire

introduction

Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Économie des
semi-conducteurs

● semi-conducteurs: répartition
mondiale

● importance des CPUs
embarqués

● Les CPUs utilisés pour
l'embarqué

● Catégories de systèmes
embarqués

● En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

■ 1960-2002

- ◆ Réduction des tailles de transistors ($\simeq 10000$)
- ◆ Évolution anticipée (loi de Moore)
- ◆ Industrie au coeur de la croissance économique des 50 dernières années

■ Aujourd'hui

- ◆ Circuits mixtes analogique/digital (télécommunications)
- ◆ Micro-systèmes (capteurs, actionneurs intégrés)
- ◆ Nano-technologies (horizon 5 à 10 ans)
- ◆ Taille de gravure: 90 nm
- ◆ Coûts de R&D de plus en plus élevés
- ◆ La demande (ordinateurs, téléphones mobiles, etc.) stagne
- ◆ Peu de produits vraiment nouveaux (VHS => DVD, caméscopes => numériques, téléphones fixes => mobiles)
- ◆ Crise financière et économique des TIC

Économie des semi-conducteurs



introduction

Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● **Économie des
semi-conducteurs**

● semi-conducteurs: répartition
mondiale

● importance des CPUS
embarqués

● Les CPUs utilisés pour
l'embarqué

● Catégories de systèmes
embarqués

● En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

Un poids croissant dans l'économie

- Rapport de coût exponentiellement décroissant depuis 40 ans :
 - ◆ 1 Mbit de mémoire en 1973 : 75000 Euros
 - ◆ 1 Mbit de mémoire aujourd'hui : 0,05 Euros
- Extension prévisible
 - ◆ Marchés émergents (Asie)
 - ◆ Technologie pervasive
 - 1/20ème de la valeur d'un téléviseur en 1960,
 - 1/6ème aujourd'hui
 - 15% de la valeur d'un PC en 1990,
 - 40% aujourd'hui

Économie des semi-conducteurs



introduction

Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● Un peu d'histoire

● **Économie des semi-conducteurs**

● semi-conducteurs: répartition mondiale

● importance des CPUs embarqués

● Les CPUs utilisés pour l'embarqué

● Catégories de systèmes embarqués

● En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

croissance depuis 1970		
PNB mondial	Electronique	Semi-conducteurs
2,7 %	10 %	66 %

chiffre d'affaire mondial de l'industrie du semi-conducteur				
1965	1985	1995	2000	2005
1,5 G\$	25 G\$	144 G\$	200 G\$	300 G\$

effet d'entraînement		
Achat semi-conducteurs	CA ventes mobiles	CA opérateurs
30 G\$	200 G\$	500 G\$

consommation annuelle (transistor par habitants)		
2002	2005	2010
50 M	200 M	1 G

semi-conducteurs: répartition mondiale



introduction

Un peu d'histoire

- Un peu d'histoire
- Un peu d'histoire
- Économie des semi-conducteurs
- semi-conducteurs: répartition mondiale
- importance des CPUS embarqués
- Les CPUs utilisés pour l'embarqué
- Catégories de systèmes embarqués
- En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

Origine		Entreprise	Ventes 2001	part de marché 2001 (%)
US	1	Intel	24927	16,10
JP	2	Toshiba	6783	4,38
EU	3	STMicroelectronics	6360	4,11
AS	4	Samsung	6303	4,07
US	5	Texas Instruments	6060	3,91
JP	6	NEC	5389	3,48
US	7	Motorola	4828	3,12
JP	8	Hitachi	4724	3,05
EU	9	Infineon Technologies	4512	2,91
EU	10	Philips Semiconductors	4402	2,84
US	11	IBM Microelectronics	3892	2,51
JP	12	Mitsubishi	3876	2,50



importance des CPUS embarqués

introduction

Un peu d'histoire

- Un peu d'histoire
- Un peu d'histoire
- Économie des semi-conducteurs
- semi-conducteurs: répartition mondiale
- importance des CPUS embarqués
- Les CPUs utilisés pour l'embarqué
- Catégories de systèmes embarqués
- En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

Chip Category	Number Sold
Embedded 4-bit	2000 million
Embedded 8-bit	4700 million
Embedded 16-bit	700 million
Embedded 32-bit	400 million
DSP	600 million
Desktop 32/64-bit	150 million

Source: David Tennenhouse (Intel Director of Research).
Keynote Speech at the 20th IEEE Real-Time Systems
Symposium (RTSS'99), December 1999



Les CPUs utilisés pour l'embarqué

introduction

Un peu d'histoire

- Un peu d'histoire
- Un peu d'histoire
- Économie des semi-conducteurs
- semi-conducteurs: répartition mondiale
- importance des CPUs embarqués
- Les CPUs utilisés pour l'embarqué
- Catégories de systèmes embarqués
- En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

32-bit Family	Number Sold
ARM	151 million
Motorola 68k	94 million
MIPS	57 million
Hitachi SuperH	33 million
x86	29 million
PowerPC	10 million
Intel i960	8 million
SPARC	3 million
AMD 29k	2 million
Motorola M-Core	1 million

source: T. R. Halfhill. Embedded Market Breaks New Ground. Microprocessor Report, January 2000

Catégories de systèmes embarqués



introduction

Un peu d'histoire

- Un peu d'histoire
- Un peu d'histoire
- Économie des semi-conducteurs
- semi-conducteurs: répartition mondiale
- importance des CPUs embarqués
- Les CPUs utilisés pour l'embarqué
- Catégories de systèmes embarqués
- En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

- Systèmes orientés contrôle (aussi appelés systèmes temps réel dur, systèmes critiques, *signal world systems*):
 - ◆ Automobile,
 - ◆ Avionique,
 - ◆ Centrales nucléaires
- Systèmes orientés calcul, traitement du signal, (*information world systems*)
 - ◆ Télécommunications,
 - ◆ Multimédia,
 - ◆ Radio logicielle,
 - ◆ TV numérique
 - ◆ ⇒ ce que l'on appelle **systèmes embarqués complexes** dans ce cours.

En résumé



introduction

Un peu d'histoire

- Un peu d'histoire
- Un peu d'histoire
- Économie des semi-conducteurs
- semi-conducteurs: répartition mondiale
- importance des CPUS embarqués
- Les CPUs utilisés pour l'embarqué
- Catégories de systèmes embarqués
- En résumé

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

- Secteur très important économiquement, spécialement en Rhône Alpes avec ST-microelectronics, le CEA, Minatech etc.
- La loi de Moore est toujours vraie (bien qu'en ralentissement progressif)

Évolution des circuits intégrés	1970	2000
prix 10^6 transistors	10 000\$	1\$
Taille d'un masque	12 mm ²	200 mm ²
taille de gravure	10 μm	0.15 μm
nombre de couche de métal	1	8
Transistors par puces	2 300	64 000 000

- Aujourd'hui: conception de *systems on chip* (SOC)
- Demain:
 - ◆ MPSoC (100 processeurs sur une puce)
 - ◆ Nanotechnologies(électronique moléculaire)



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

Présentation des SoC

Qu'est ce qu'un SoC



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

● Qu'est ce qu'un SoC

- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

- "System" : une collection d'éléments en interaction.
- "On Chip" : sur un seul circuit.
- Mais tous les circuits intégrés ne sont pas des SOC, Un SOC implémente une fonction "complète"
 - ◆ Décodeur MPEG2 vidéo + audio + système + transport + graphique + interface utilisateur
 - ◆ Terminal GSM : tout sauf la RF

Q'est ce qu'un SoC



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

● Q'est ce qu'un SoC

● Exemple SoC: appareil photo numérique

● Autre exemple: iPaQ H5500

● Architecture carte iPaQ H5500

● Architecture S3CA400A01 (companion chip)

● Critères de qualité de conception d'un SOC

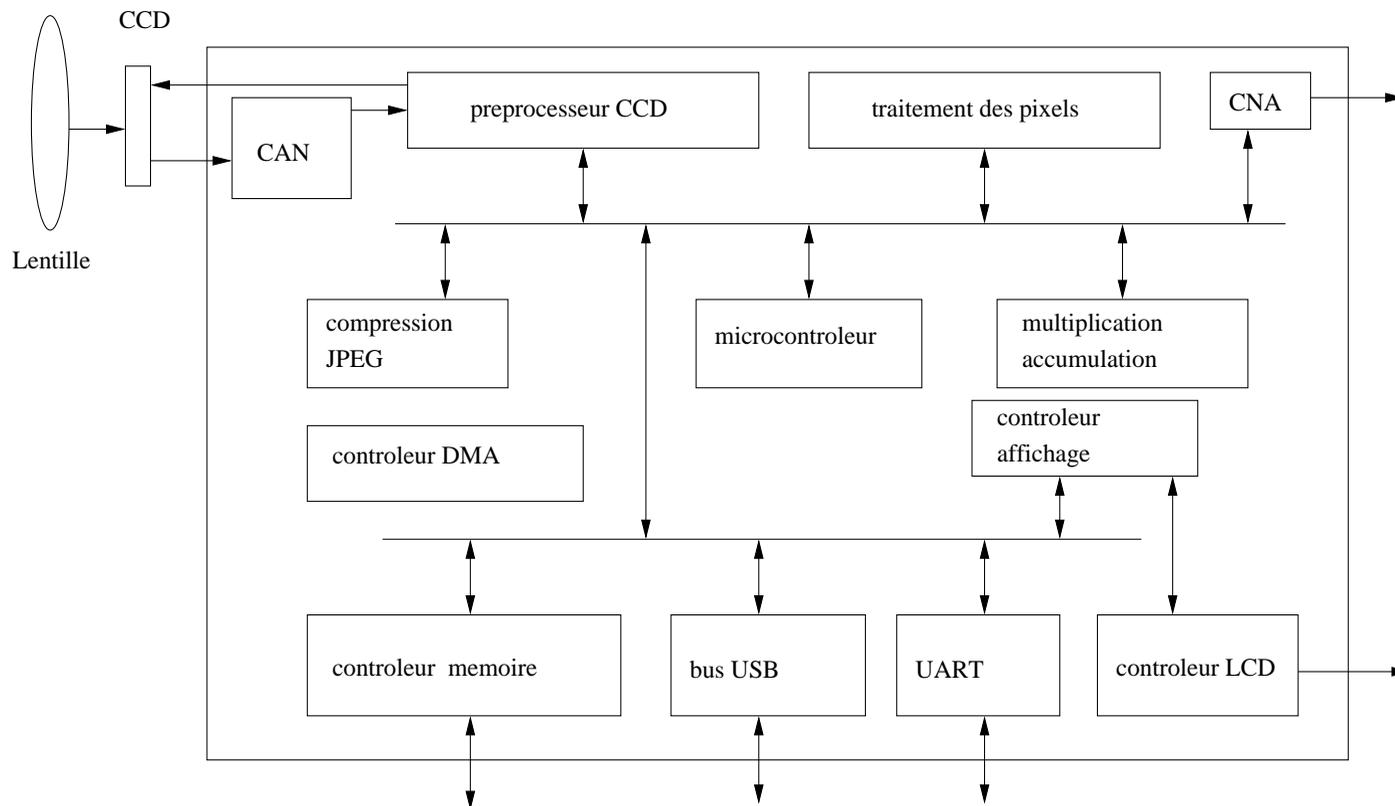
● Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

- Une seule fonction
un seul programme, exécuté en boucle
- Contraintes importantes
coût, consommation, taille, performance, . . .
- Prise en compte de l'environnement
doivent réagir en fonction de nombreux paramètres
souvent associé à des contraintes de temps-réel
- Les éléments constitutifs d'un SOC sont "complexes", réutilisables et de nature variée :
 - ◆ Fonctions analogiques (convertisseurs A/N, filtres, etc.)
 - ◆ Fonctions numériques câblées (décodeur de Viterbi)
 - ◆ Fonctions logicielles (sur micro-contrôleur, DSP, RISC)
 - ◆ Composants de base (mémoires)

Exemple SoC: appareil photo numérique



- Une seule fonction : prendre des photos
- Contraintes : taille, poids, consommation

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

● Qu'est ce qu'un SoC

● Exemple SoC: appareil photo numérique

● Autre exemple: iPaQ H5500

● Architecture carte iPaQ H5500

● Architecture S3CA400A01 (companion chip)

● Critères de qualité de conception d'un SOC

● Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

Autre exemple: iPaQ H5500

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

- Site <http://www.handhelds.org/>: "encourage and facilitate the creation of open source software for use on handheld and wearable computers"
- Adaptation de linux pour PDA



iPaQ H5500, une fois démonté



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

Architecture carte iPaQ H5500

introduction

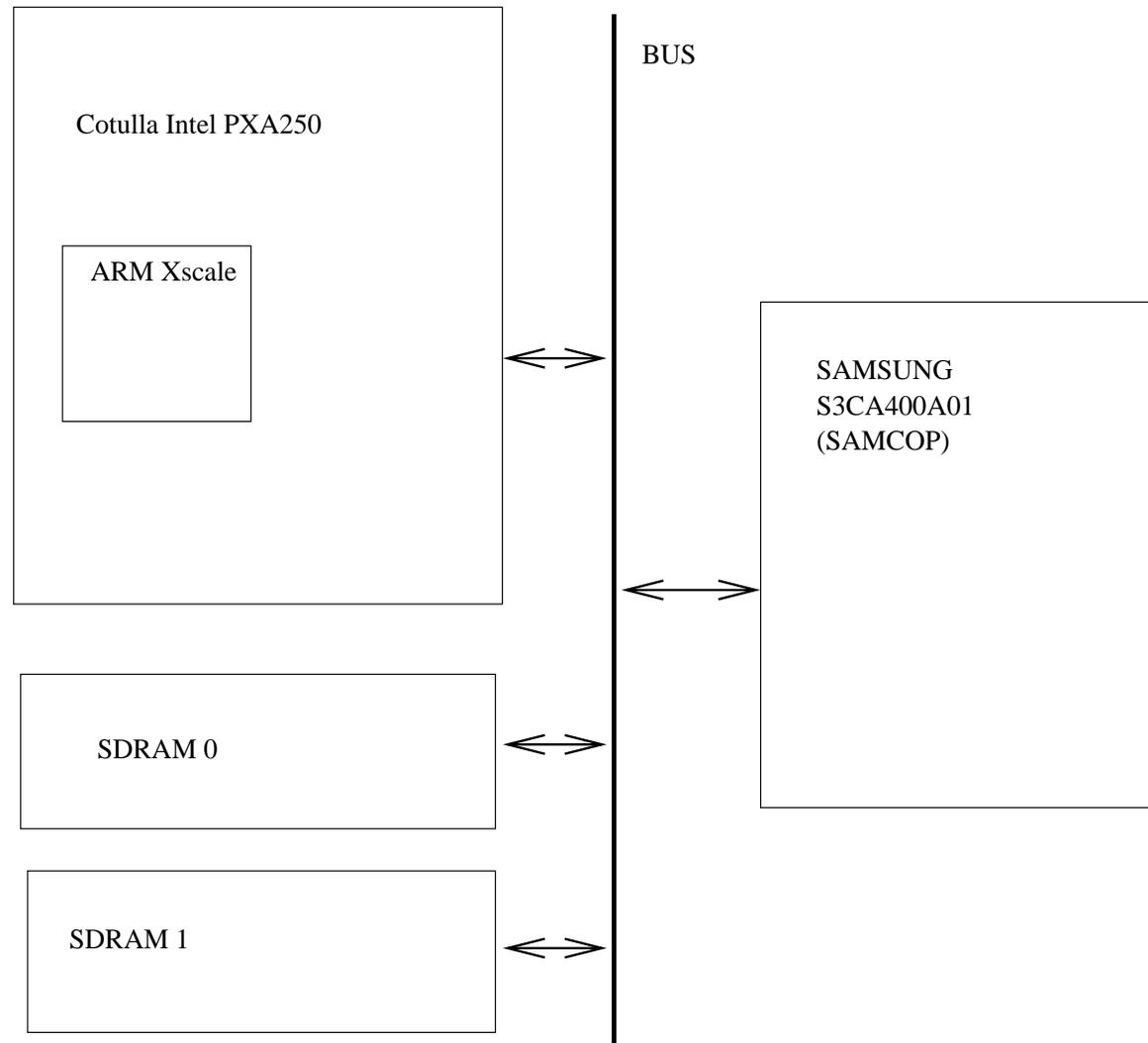
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion



Architecture S3CA400A01 (companion chip)

introduction

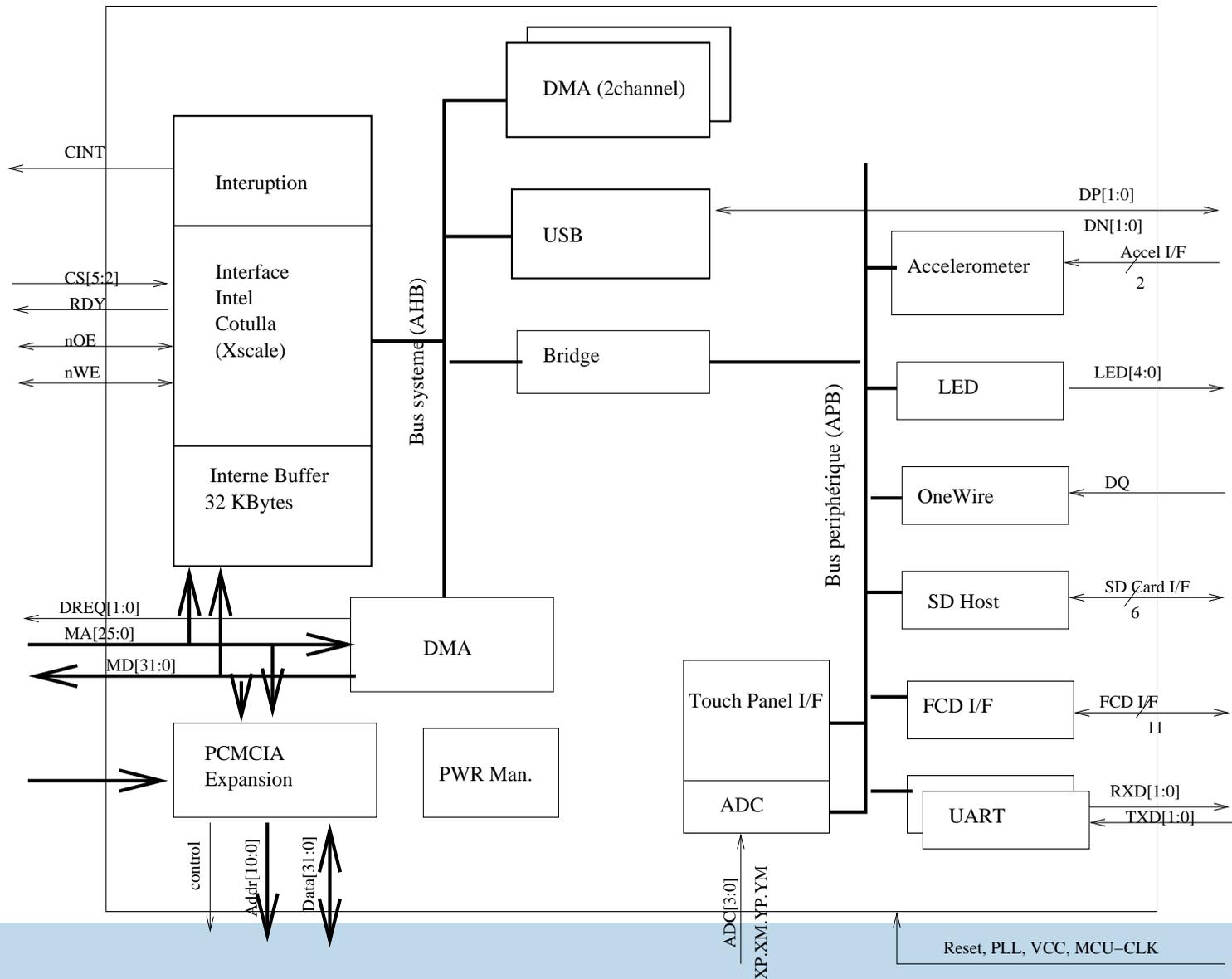
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion



Critères de qualité de conception d'un SOC



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

■ Métriques usuelles

- ◆ Coût à l'unité: coût de fabrication d'une unité sans inclure les coût non récurrents
- ◆ Coûts non récurrents: coût de conception d'un système (coût de mise en place de la première pièce).
- ◆ Taille
- ◆ Performance
- ◆ Consommation
- ◆ Évolutivité: possibilité de faire évoluer le système pour en avoir des versions dérivées.

Critères de qualité de conception d'un SOC



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

■ Métriques usuelles (suite)

- ◆ Temps de prototypage : temps de mise en place d'un premier système fonctionnel
- ◆ Temps de mise sur le marché : système suffisamment fiable pour être commercialisé
- ◆ Maintenance : possibilité de modifications du système par rapport à sa première version
- ◆ Fiabilité, sûreté de fonctionnement, ...

Choix en fonction des contraintes

introduction

Un peu d'histoire

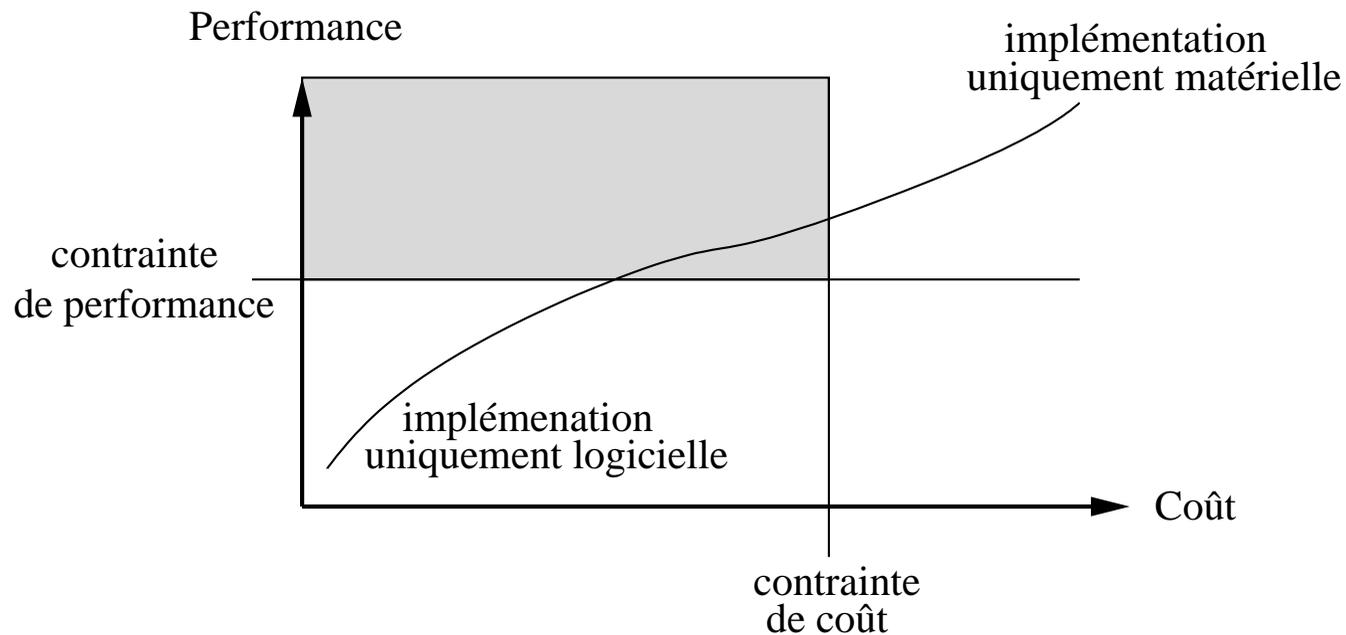
Présentation des SoC

- Qu'est ce qu'un SoC
- Exemple SoC: appareil photo numérique
- Autre exemple: iPaQ H5500
- Architecture carte iPaQ H5500
- Architecture S3CA400A01 (companion chip)
- Critères de qualité de conception d'un SOC
- Choix en fonction des contraintes

Les technologies employées

Conclusion

- Une grande souplesse de réalisation est possible
 - ◆ Il n'y a pas de solution unique





introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

Les technologies employées

Les technologies employées



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

● Les technologies employées

● Technologie clé: Processeurs

● Processeurs à usage général

● Processeurs dédiés

● Processeurs spécifiques

● technologie clé: circuits
intégrés

● Technologie CMOS

● Circuits numériques

● Circuits intégrés: choix
possibles

● Circuits VLSI dédiés

● Principe des architectures
reconfigurables

● Xilinx série 4000: vue logique

● technologie clé: conception

● Synthèse de matériel

● Conception conjointe
matériel-logiciel

● Démarche générale de
conception

● Conception : Les points durs

● Conception de haut niveau

● Langages pour la conception
de circuits

● Technologies clé: logiciel

- Technologie: une façon d'accomplir un tâche en utilisant des procédés techniques, des méthodes ou de la connaissance.
- Quatre technologies clés pour les systèmes embarqués:
 - ◆ Processeurs
 - ◆ Circuits intégrés
 - ◆ Conception
 - ◆ Logiciel (programmation, compilation, OS)

Technologie clé: Processeurs

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

● Les technologies employées

● Technologie clé: Processeurs

● Processeurs à usage général

● Processeurs dédiés

● Processeurs spécifiques

● technologie clé: circuits intégrés

● Technologie CMOS

● Circuits numériques

● Circuits intégrés: choix possibles

● Circuits VLSI dédiés

● Principe des architectures reconfigurables

● Xilinx série 4000: vue logique

● technologie clé: conception

● Synthèse de matériel

● Conception conjointe matériel-logiciel

● Démarche générale de conception

● Conception : Les points durs

● Conception de haut niveau

● Langages pour la conception de circuits

● Technologies clé: logiciel

- Grande variété d'architecture de processeurs
- Un processeur n'est pas nécessairement programmable
- On distingue généralement
 - ◆ Les processeurs à usage généraux (GPP)
 - ◆ Les processeurs spécifiques à certaines applications (Application Specific Processor, ex: DSP)
 - ◆ les processeurs dédiés à une tâche (single purpose processor, ASIC)

Processeurs à usage général

introduction

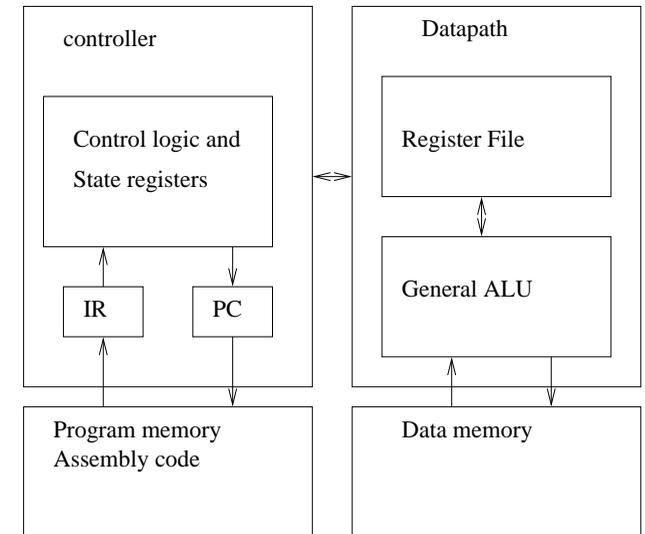
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- **Processeurs à usage général**
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Processeur programmable utilisé pour de nombreuses applications (aussi appelé microprocesseur)
- Caractéristiques
 - ◆ Une mémoire pour le programme
 - ◆ Un chemin de données (*datapath*) généraliste comprenant un unité arithmétique et logique (ALU) puissante et un gros ban de registre
- intérêt :
 - ◆ *Time to market* et coût
 - ◆ flexibilité
- Exemple: Pentium, PowerPC, ARM, MIPS, etc.



Processeurs dédiés

introduction

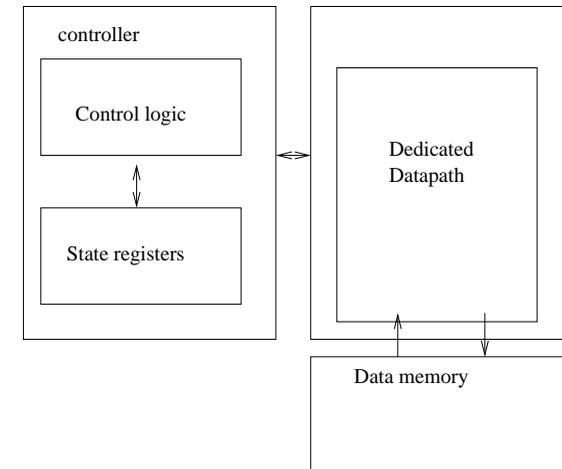
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- **Processeurs dédiés**
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Circuits intégrés destinés à exécuter exactement un programme: coprocesseur, accélérateur matériel ou périphérique.
- caractéristiques:
 - ◆ Contient seulement les composants nécessaires à l'exécution du programme concerné
 - ◆ en général pas de mémoire de programme
- Intérêt :
 - ◆ Rapidité
 - ◆ Faible consommation
 - ◆ Surface
- Exemple: unité de calcul flottant, contrôleur USB, PCMCIA, decoder MPEG, etc.



Processeurs spécifiques

introduction

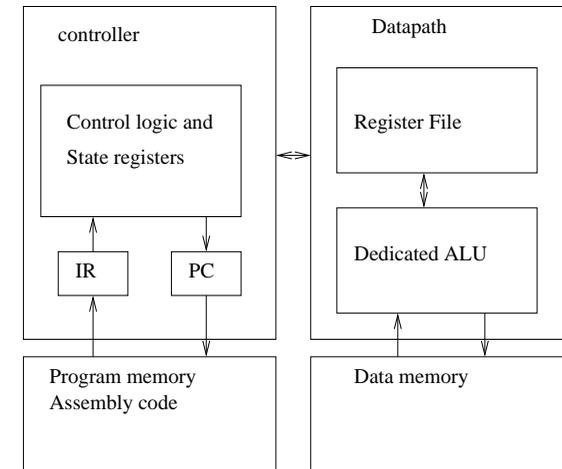
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- **Processeurs spécifiques**
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Processeur programmable optimisé pour une classe particulière d'applications (ASIP: Application Specific Integrated Processor).
- Caractéristiques:
 - ◆ Mémoire de programme
 - ◆ Chemin de donnée optimisé
 - ◆ Unités fonctionnelles spécifiques
- Intérêt :
 - ◆ Flexibilité
 - ◆ performances: surface, rapidité, consommation
- Exemple: DSP, micro-contrôleur (processeur 4bits, 8bits).



technologie clé: circuits intégrés

introduction

Un peu d'histoire

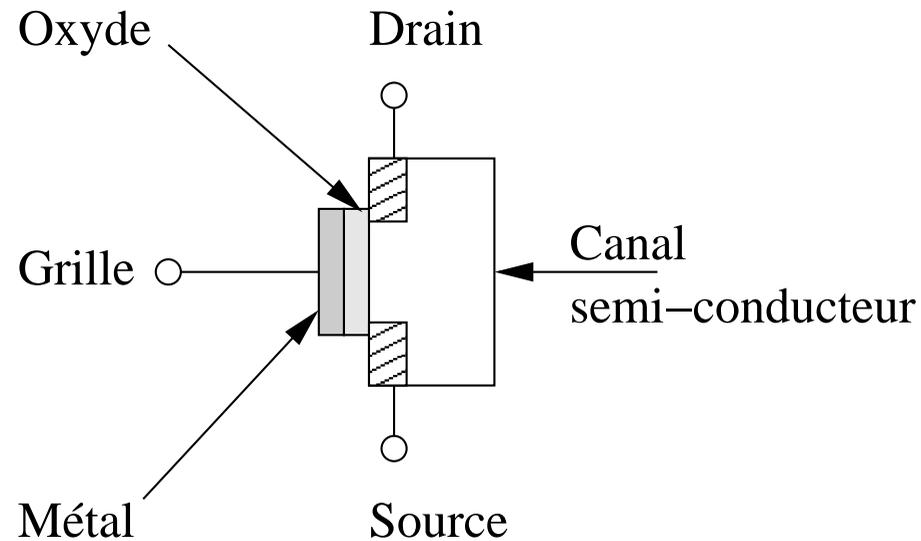
Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- **technologie clé: circuits intégrés**
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

■ Composant électronique de base

■ Portes logiques ON/OFF





Technologie CMOS

introduction

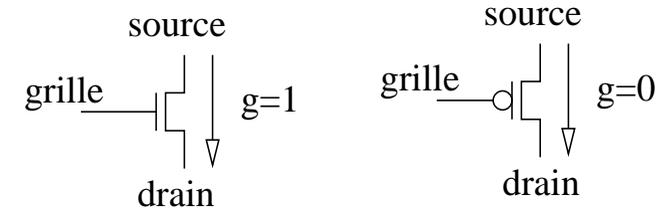
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

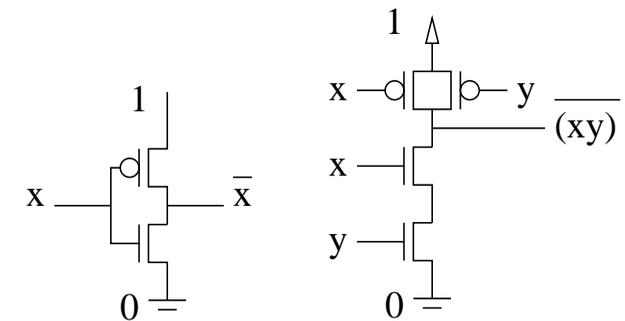
- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- **Technologie CMOS**
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Complementary Metal Oxide Semiconductor
- Niveaux logiques : 0 = 0V et 1 = 3V
- Deux types de portes
 - ◆ nMOS : conducteur si la grille=1
 - ◆ pMOS : conducteur si la grille=0
- Quelques portes de base
 - Inverseur, NAND, NOR



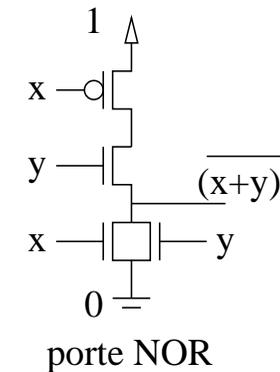
mMOS

pMOS



Inverseur

porte NAND



porte NOR

Circuits numériques

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

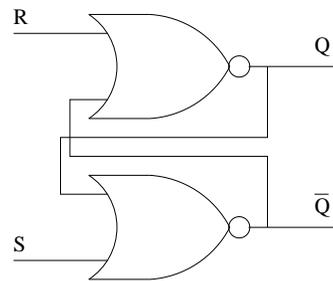
- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS

● Circuits numériques

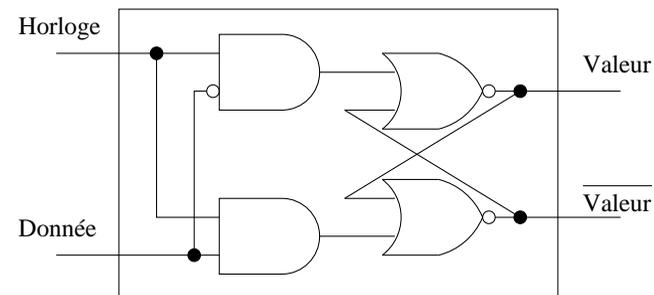
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Les portes logiques permettent de construire n'importe quel circuit par assemblage :

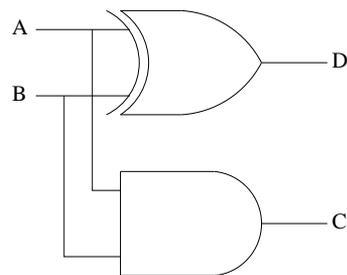
- ◆ mémorisation



Bascule RS



- ◆ logique combinatoire



Additionneur 1 bit

- Un circuit peut être construit comme une machine à états finie ou bien un circuit flot de données.

Circuits intégrés: choix possibles

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Choix de technologie cible
 - ◆ Circuits reconfigurables: PLD, FPGA
 - ◆ Implémentation VLSI dédiée
- Méthode de conception
 - ◆ Réutilisation de composants (composant virtuel, *intellectual property* , IP)
 - ◆ *Platform based design*
 - ◆ Conception complète

Circuits VLSI dédiés

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- **Circuits VLSI dédiés**
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- **Domaine scientifique et technique énorme**
 - ◆ Intersection entre physique, traitement du signal, électronique, micro-électronique, informatique.
 - ◆ Technologie socle de toutes les autres (FPGA, Processeurs, informatique, etc.)
- **Choix technologiques**
 - ◆ Taille de la gravure (entre $1 \mu m$ et $0.13 \mu m$) aujourd'hui
 - ◆ Nombre de couches de métal
- **Méthode de conception**
 - ◆ Circuits synchrones, asynchrones ou analogiques
 - ◆ Utilisation de bibliothèques pour les cellules de base (*standard cells*)
 - ◆ Masque dessiné complètement (*full custom*)

Principe des architectures reconfigurables



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- FPGA: *Field Programmable Gate Array*
- Collection de “portes” programmables insérées dans un réseau d’interconnexion programmable.
- Principaux constructeurs: Xilinx (Virtex, Spartan, Microblaze), Altera (Stratics, Excalibur), Actel
- Les notions de “porte”, “réseau”, “programmable” diffèrent mais le principe reste le même.
- Aujourd’hui on peut programmer plusieurs millions de portes sur un FPGA
- On peut inclure des *softcores*: processeur ou SoC complet
- la gamme VirtexPro inclue aussi des Pentium cablés sur le chip du FPGA

Xilinx série 4000: vue logique



introduction

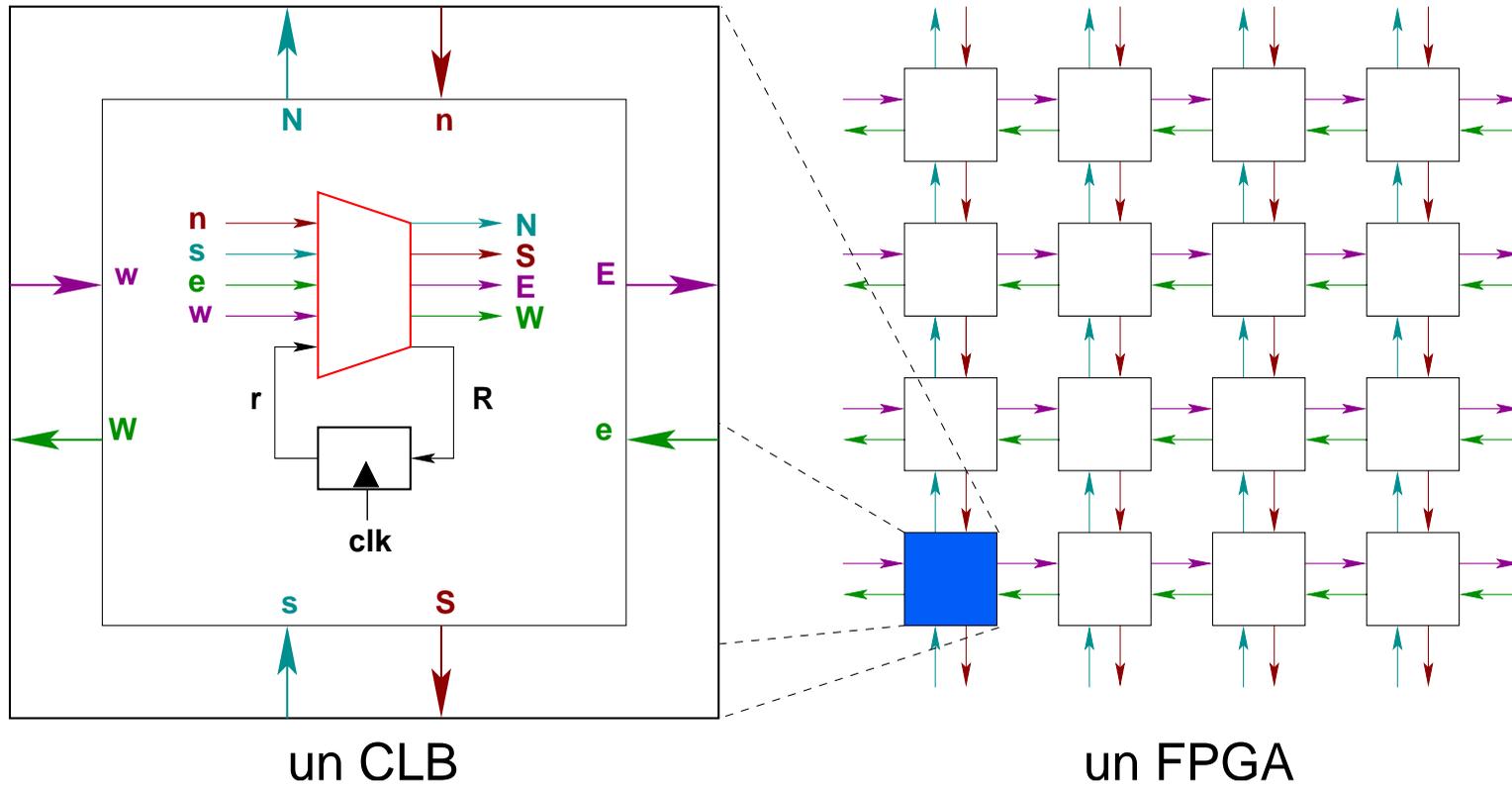
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique

- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel



technologie clé: conception



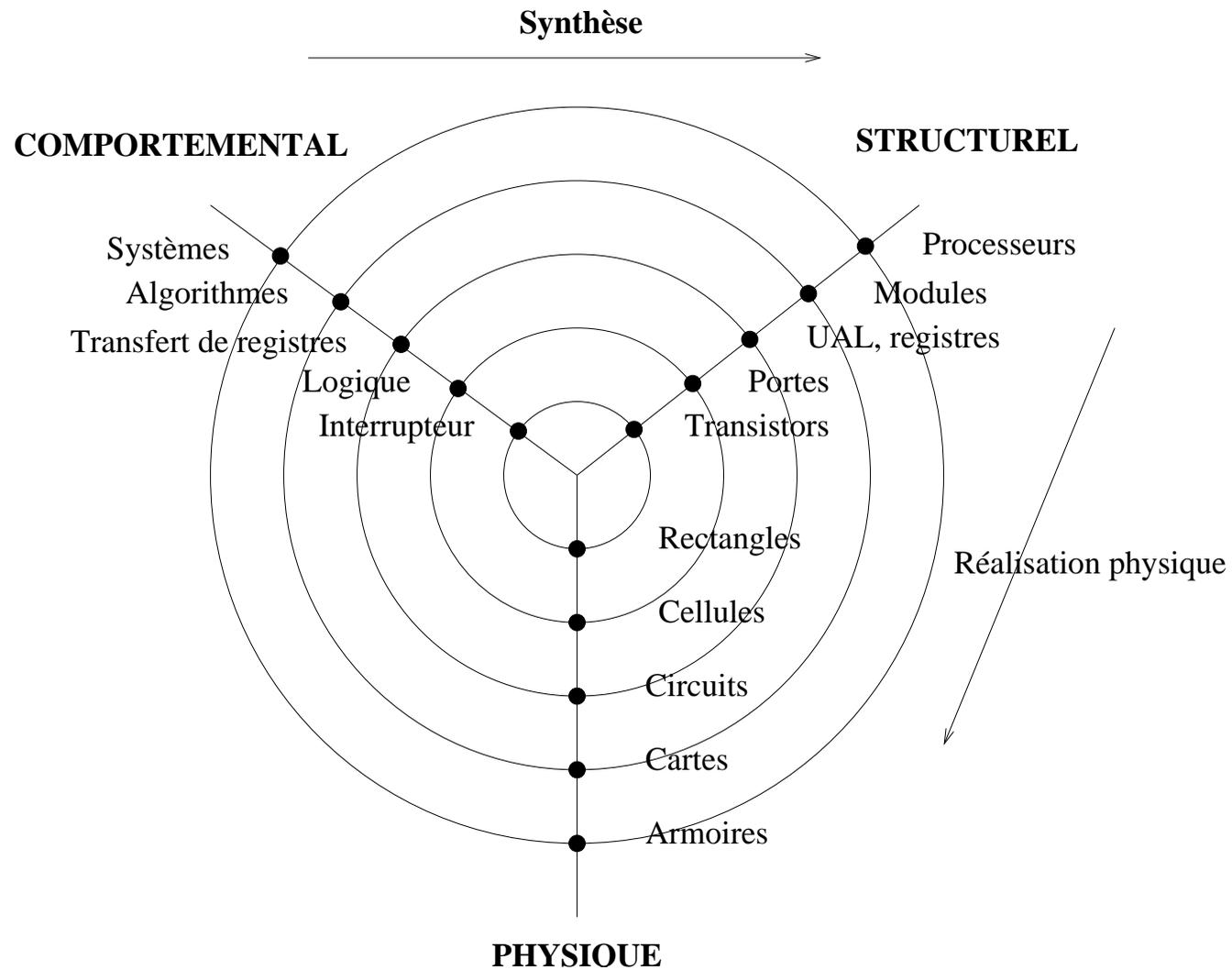
introduction

Un peu d'histoire

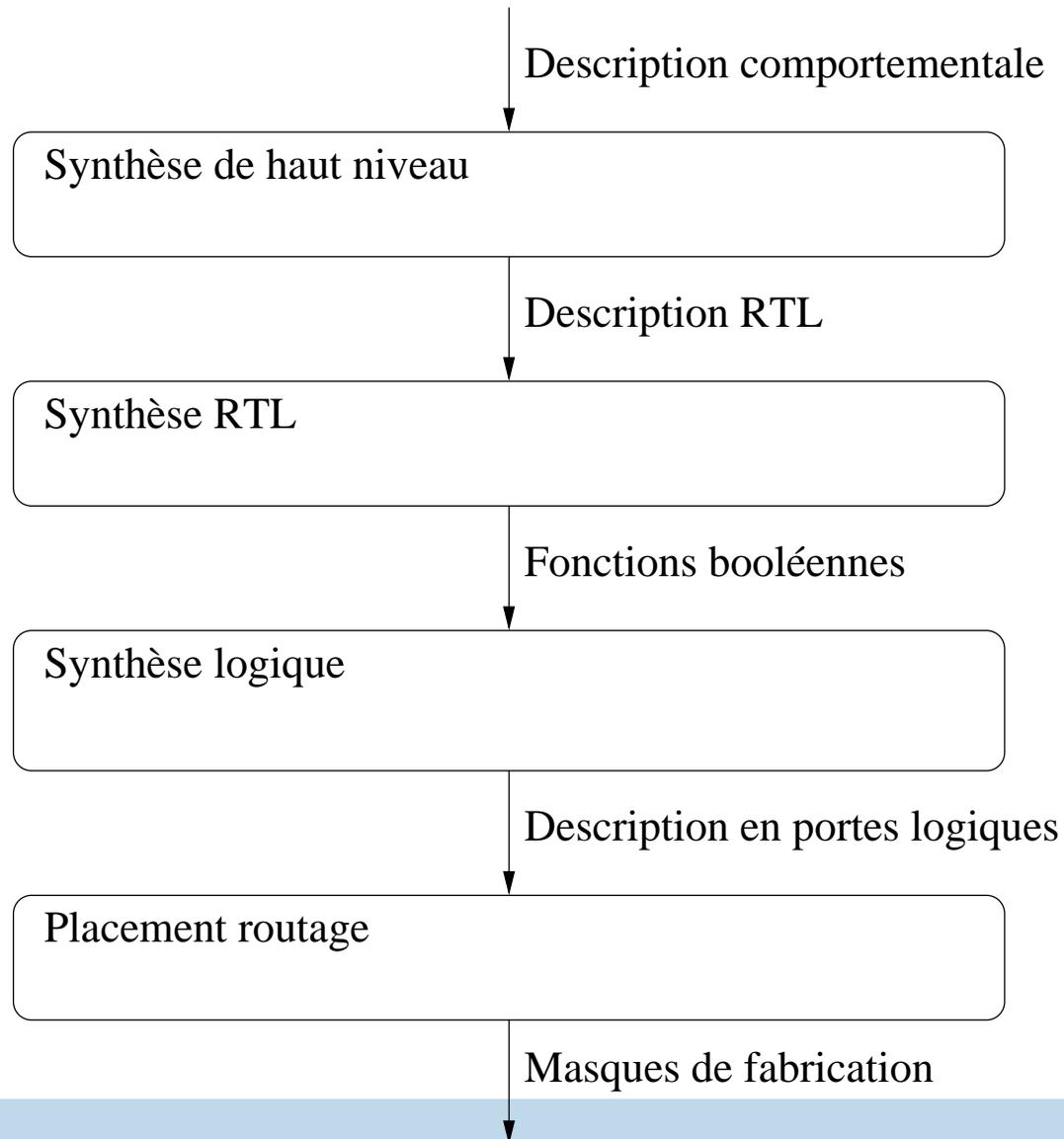
Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- **technologie clé: conception**
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel



Synthèse de matériel



introduction

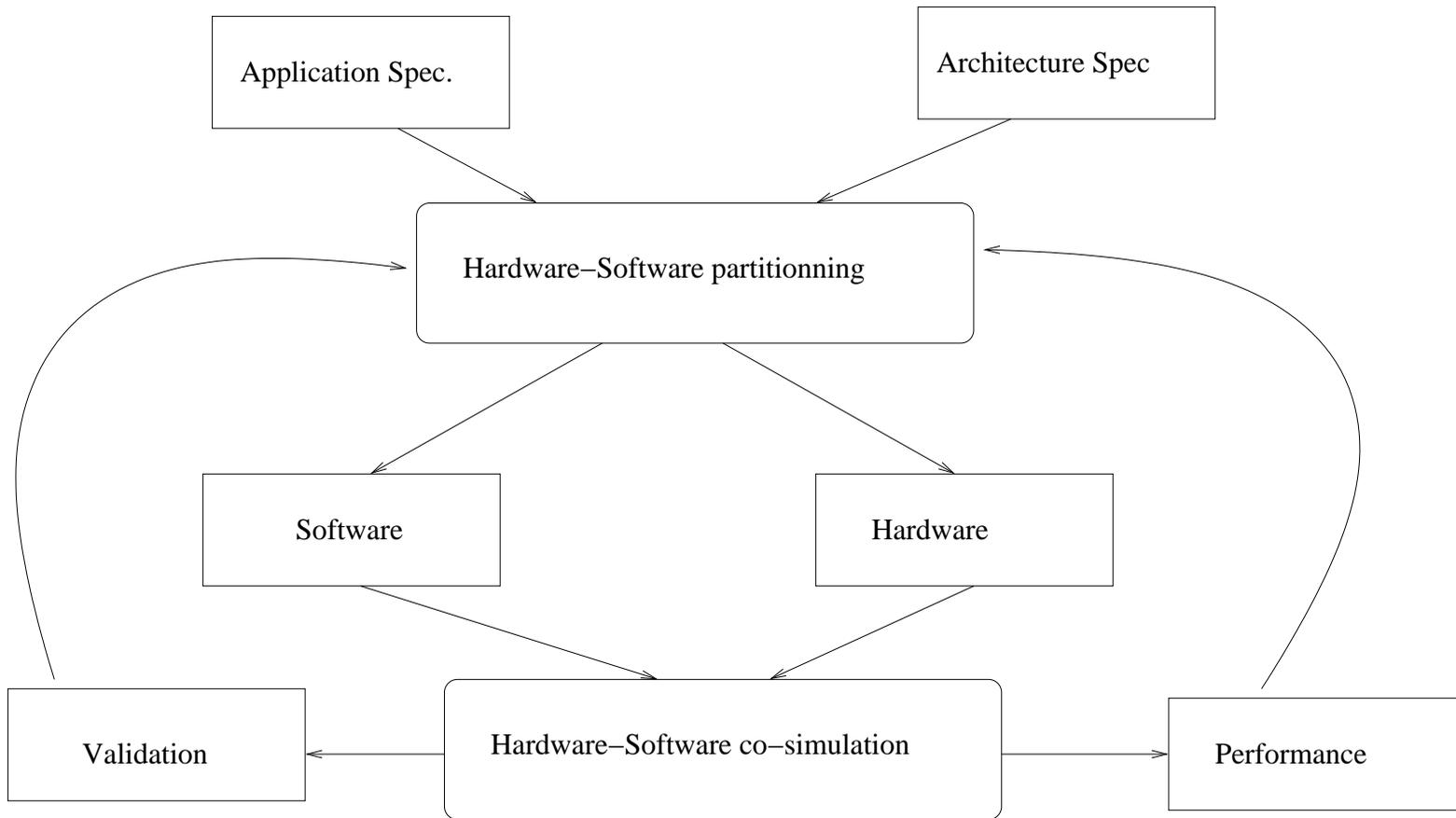
Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

Conception conjointe matériel-logiciel



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

Démarche générale de conception

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

1. Spécifications fonctionnelles. Simulation fonctionnelle. (en C, VHDL, etc...)
2. Choix des technologies, et partitionnement, à partir des résultats de la simulation, des contraintes de l'application, des technologies existantes, et des objectifs de l'architecture
3. Adaptation des algorithmes aux technologies choisies
4. Simulation des algorithmes (aussi proche du temps-réel que possible)
5. Conception détaillée des différents modules
6. Réalisation des modules, assemblage, test, etc...

Conception : Les points durs

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- **Conception : Les points durs**
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Un système spécialisé a souvent une durée de vie qui traverse plusieurs générations de technologies
- Les technologies cibles sont très nombreuses
- Les temps de simulation sont énormes (\Rightarrow émulateurs FPGA)
- Contraintes temps-réel et logiciel/OS
- Les contraintes de ressources sont interdépendantes:
 - ◆ Coût
 - ◆ Performances
 - ◆ Consommation

Conception de haut niveau

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Les algorithmes forment la partie la plus stable d'un système
⇒ Essayer de démarrer la conception à partir de spécifications algorithmiques, et non d'une description d'architecture
- Structure typique d'un système :
 - ◆ Parties régulières = spécifications simples, puissance de calcul demandée élevée
 - ◆ "glue" de contrôle = spécifications complexes, puissance de calcul demandée faible
- ⇒ Besoin de langages de haut niveau très flexibles :
 - ◆ Permettant la synthèse automatique
 - ◆ Permettant la vérification formelle
 - ◆ Interfaçables à des outils de conception standard
 - ◆ Permettant des simulations (pas trop in)efficaces
 - ◆ Acceptés par les concepteurs

Langages pour la conception de circuits



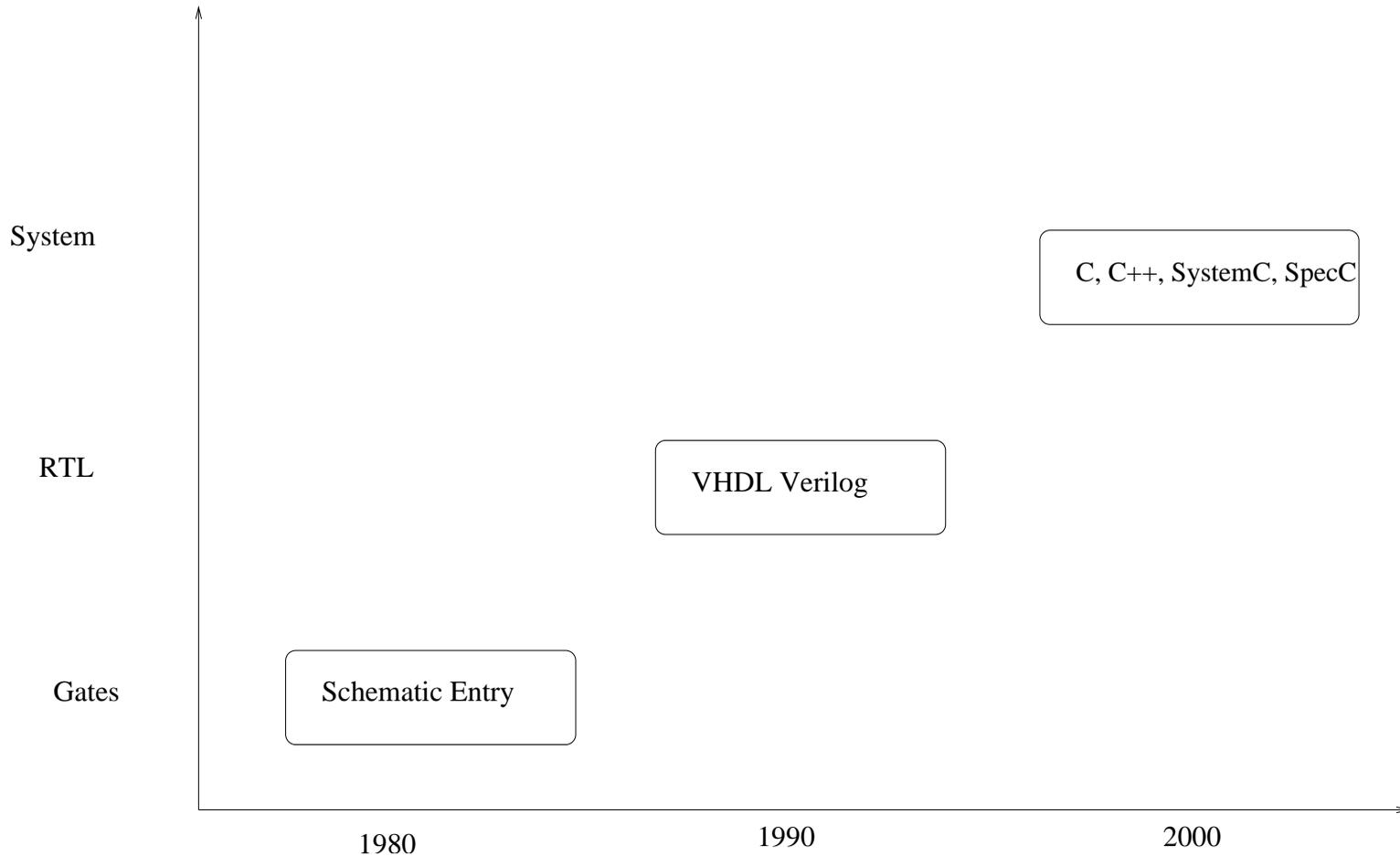
introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- **Langages pour la conception de circuits**
- Technologies clé: logiciel



Technologies clé: logiciel

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Logiciel embarqué: domaine en pleine explosion
 - ◆ Aujourd'hui le développement d'un SoC demande plus de travail logiciel que matériel
 - ◆ En Rhône-Alpes EmSOC : Embedded System On Chip. académiques-industriels vue de se positionner comme un des pôles de compétitivité français du domaine du logiciel embarqué.
 - ◆ Très faible standardisation (logiciel propriétaire, *firmware*)
- Systèmes d'exploitation embarqués
 - ◆ Contraintes spécifiques: petite taille, contrainte temps réel
 - ◆ Encore assez peu utilisés
- Compilation pour systèmes embarqués
 - ◆ Compilation très optimisée (code exécutable embarqué)
 - ◆ Contraintes spécifique: taille de code, accès mémoire

Le code embarqué

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Programmation d'architecture exotiques (DSP, VLIW, microcontroller)
- Programmation mixte langage haut niveau / assembleur
- Écriture de pilotes (*driver*)
- Code exécutable embarqué souvent non modifiable
- Durée de vie longue
- Compromis difficile entre ré-utilisabilité et performances

Les systèmes d'exploitation embarqués



introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- De nombreux systèmes d'exploitation intègrent des services temps réel (RTOS)
- La taille du système est un paramètre critique pour certaines applications (téléphonie mobile)
- L'utilisation de micro-noyau permet de s'adapter aux contraintes

La compilation pour systèmes embarqués

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

- Les technologies employées
- Technologie clé: Processeurs
- Processeurs à usage général
- Processeurs dédiés
- Processeurs spécifiques
- technologie clé: circuits intégrés
- Technologie CMOS
- Circuits numériques
- Circuits intégrés: choix possibles
- Circuits VLSI dédiés
- Principe des architectures reconfigurables
- Xilinx série 4000: vue logique
- technologie clé: conception
- Synthèse de matériel
- Conception conjointe matériel-logiciel
- Démarche générale de conception
- Conception : Les points durs
- Conception de haut niveau
- Langages pour la conception de circuits
- Technologies clé: logiciel

- Chaîne de compilateur produite par le concepteur du processeurs
- Critères d'optimisation différents que ceux de la compilation pour GPP:
 - ◆ Temps de compilation peu important (code exécutable embarqué)
 - ◆ Taille de code et accès mémoire critiques
 - ◆ Sûreté de fonctionnement (code non modifiable)
 - ◆ Contrainte avec l'environnement extérieur
- En général c'est la phase de back-end qui est différente des compilateurs habituels



Conclusion

introduction

Un peu d'histoire

Présentation des SoC

Les technologies employées

Conclusion

● Conclusion

- La conception de systèmes embarqués est en phase de développement active
- Les technologies les plus récentes sont chez les industriels
- La part du logiciel augmente très vite
- Les méthodes et langages sont peu normalisés
- La région Rhône-Alpes est un des pôles promis pour ce domaine
 - ◆ Acteurs industriels majeurs (ST-microelectronics, Crolles 2, etc)
 - ◆ Centre de R&D important: CEA Leti, Minatech, EmSoC, Imag, Inria.
 - ◆ Volonté politique de la région