

Traitement numérique des signaux

MIC4220

Génie Microélectronique **Traitement numérique des signaux**

MIC4220, Automne 2014

Professeur : Mounir Boukadoum
Téléphone : 514-987-3000 #4565
Bureau: PK-4540
Courriel: boukadoum.mounir@uqam.ca

Auxiliaire:
Courriel:

Mardi, de 13h30 à 16h30, local SH-3580 (cours)

Mercredi, de 9h00 à 12h00, local PK-4765 / PK-4770 (laboratoires)

Plan première séance

- Description et objectifs du cours
- Contenu
- Évaluation
- Introduction

Objectif

- Initier l'étudiant à l'étude, l'usage et la conception de systèmes numériques de traitement des signaux.
 - Concepts fondamentaux et outils mathématiques
 - Échantillonnage temporel et quantification de l'amplitude (quantization) d'un signal en temps continu
 - Transformé discrète de Fourier, Z
 - Conceptions de filtres
 - Types de filtres et réalisation
 - Réponse finie et infinie, algorithmiques
 - Concepts avancés (filtres adaptatifs, multi-vitesse, Δ - Σ)
 - Applications et implémentations
 - Laboratoires

Références

- Li Tan et Jean Jiang, *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications 2nd Edition*, Academic Press, 2013
 - Livre à jour qui contient beaucoup d'exemples rédigés en Matlab ainsi qu'un chapitre sur les DSP de Texas Instruments
- Recueil de transparents (disponibles sur le site www.info2.uqam.ca/~boukadoum_m)
- Rulph Chassaing et Donald Reay, *Digital signal processing and applications with the C6713 and C6416 DSK*. Wiley-Interscience, 2008, disponible en version électronique sur le site de la bibliothèque

Évaluation

- | | |
|----------------|------|
| • Laboratoires | 30 % |
| • Examen intra | 35 % |
| • Examen final | 35 % |

- Il sera tenu compte de la qualité du français à raison de 10% par devoir ou examen.
- Barème des notes : A : $\geq 86.7\%$, B : $\geq 76.7\%$, C : $\geq 66.7\%$, D : $\geq 60\%$, E : $< 60\%$
- Il n'y a pas de reprise d'examen en cas d'absence ; la note zéro est attribuée sauf sur présentation d'une justification médicale moins de deux semaines après. L'attestation du médecin doit être complétée sur le formulaire du département d'informatique.

INTRODUCTION

Objectifs d'apprentissage

Après cette section vous serez en mesure:

- D'expliquer ce qu'est le traitement numérique des signaux et comment c'est fait.
- De donner des exemples d'utilisation du traitement numérique des signaux
- D'expliquer les avantages et les contraintes du traitement numérique vs. l'analogique
- D'identifier différentes implémentations physiques et leur avantages

Traitement de signaux

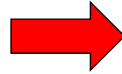
- Traitement de quoi?
 - **Son** (voix, musique)
 - **Image** (photo, vidéo)
 - **Mesure de capteurs** (température, luminosité, pression, accélération)
 - **Transmission de données** (signaux RF, transmission cablée, etc.)

Dans quel but?

- Filtrage et résistance aux interférences
- Modulation/démodulation
- Codage/décodage
- Compression de l'information
- Extraction d'information (analyse)
- Calcul haute performance (ex. réseaux de neurones artificiels, liens sériels haut-débit, traitement d'images, etc.)

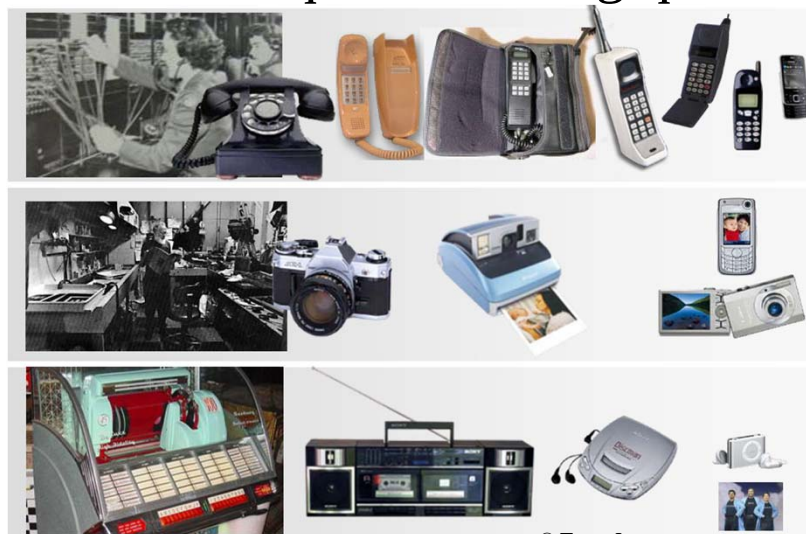
Numérique vs. analogique

- Le traitement analogique utilise:
 - Résistances
 - Condensateurs
 - Inducteurs
 - Transistors opérant dans leur région linéaire
- Sensible à :
 - La tolérance des composants
 - Les variations de température
 - Les variations de tension d'alimentation
 - Le vieillissement
 - Le bruit



+ design statique
+ multitude de paramètres à considérer

Numérique vs. analogique



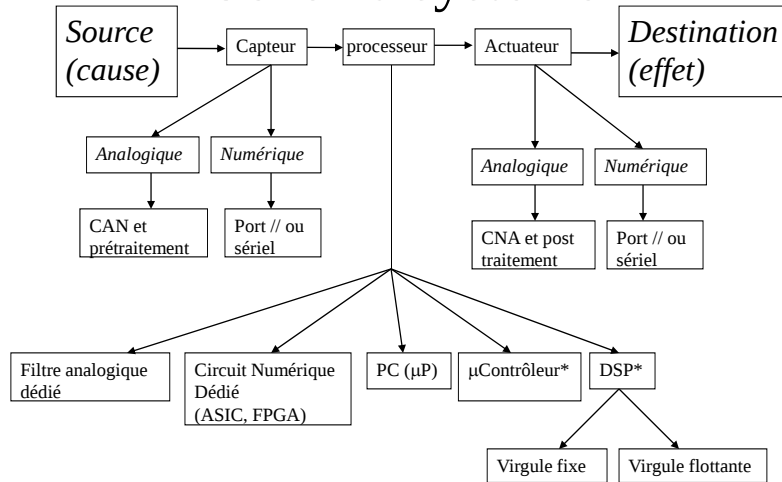
Numérique vs. analogique

- Le numérique permet de réaliser des tâches qu'on ne peut réaliser par des moyens analogiques:
 - Filtres avec réponse en phase linéaire
 - Filtres adaptatifs
 - Codage
 - Traitement procédural

Exemples d'applications

Video/ Imaging	 Video Security	 Video Conferencing	 Video Phones	 IP Set-Top Box
Medical	 Portable Ultrasound	 Personal Medical Devices	 Bionics	 Automated External Defibrillator
Infrastructure	 Femto/Pico Base Station	 WiMAX Base Station	 Cellular Radio Network	 Video Transcoding
Industrial	 AC Drives & Servos	 Hybrid Vehicles	 Solar & Wind Inverters	 Uninterruptible Power Supplies
Automotive	 Lane Detection	 Electronic Power Steering	 Blind Spot	 Automotive Infotainment

Schéma système

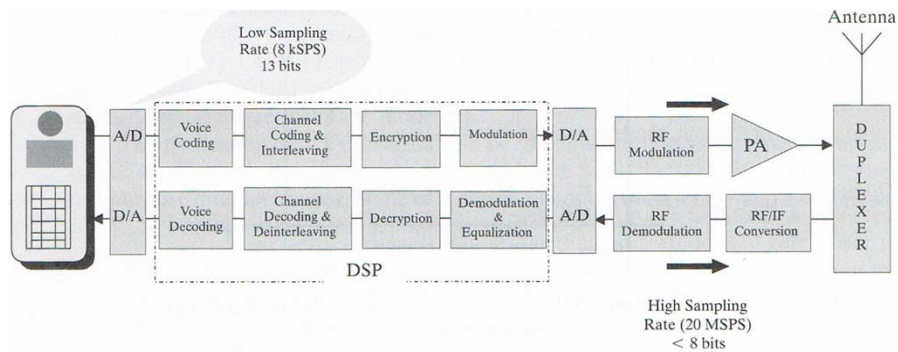


* Comprend aussi des ports d'e/s et des mécanismes de gestion de la mémoire

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

15

Exemple: téléphone cellulaire

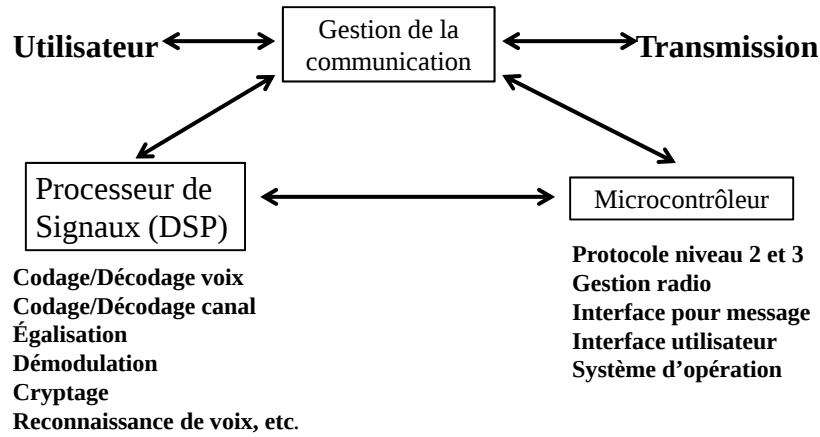


Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

16

Exemple: téléphone cellulaire

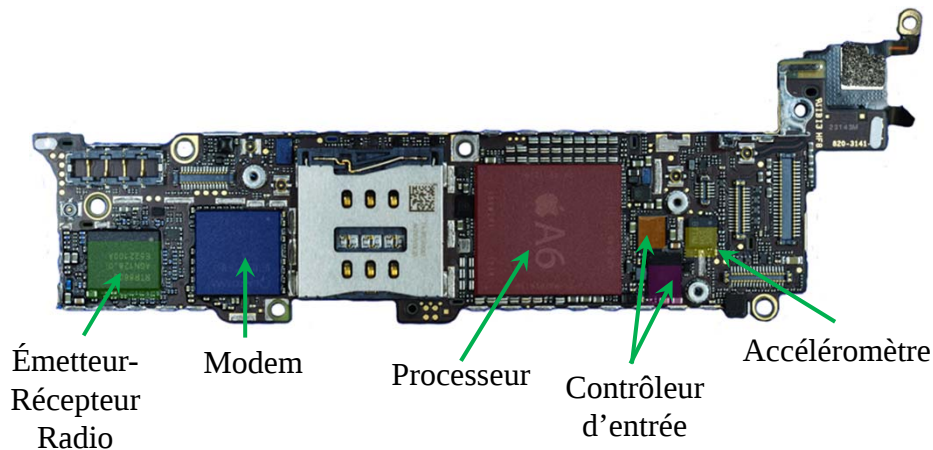
- Découpage des fonctions



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

17

Exemple: iPhone 5

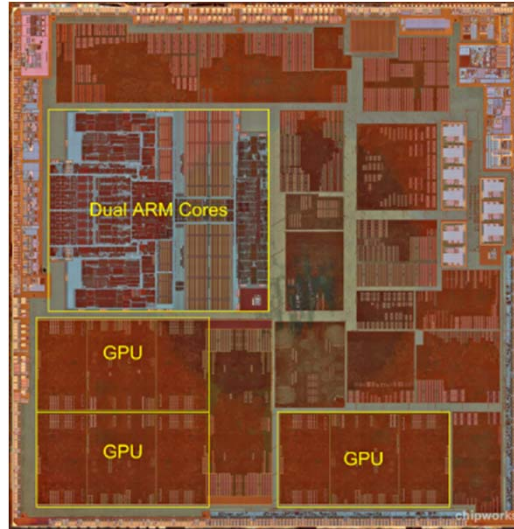


© Techinsights

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

18

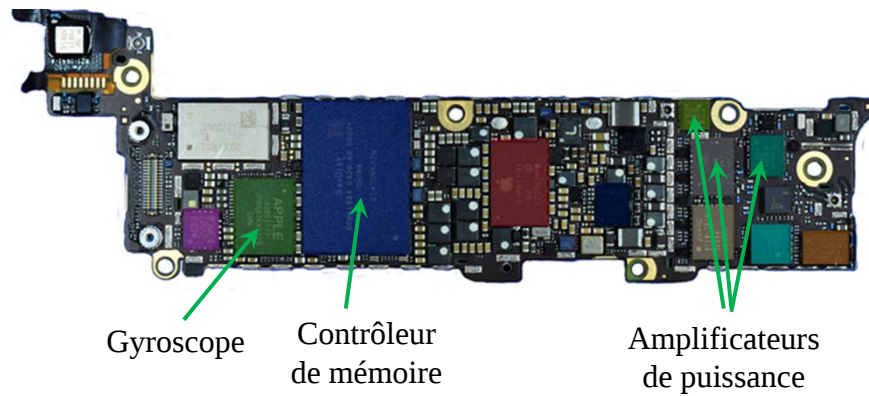
Exemple: iPhone 5



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

19

Exemple: iPhone 5

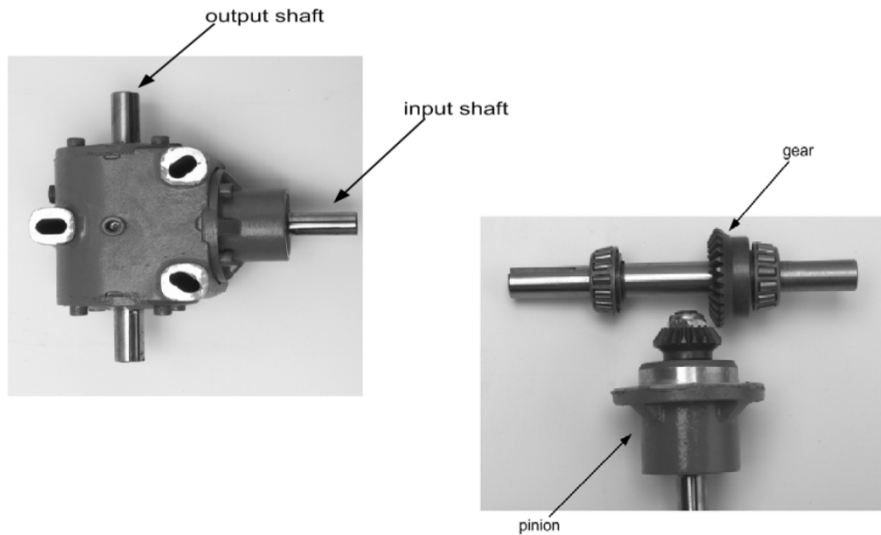


© Techinsights

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

20

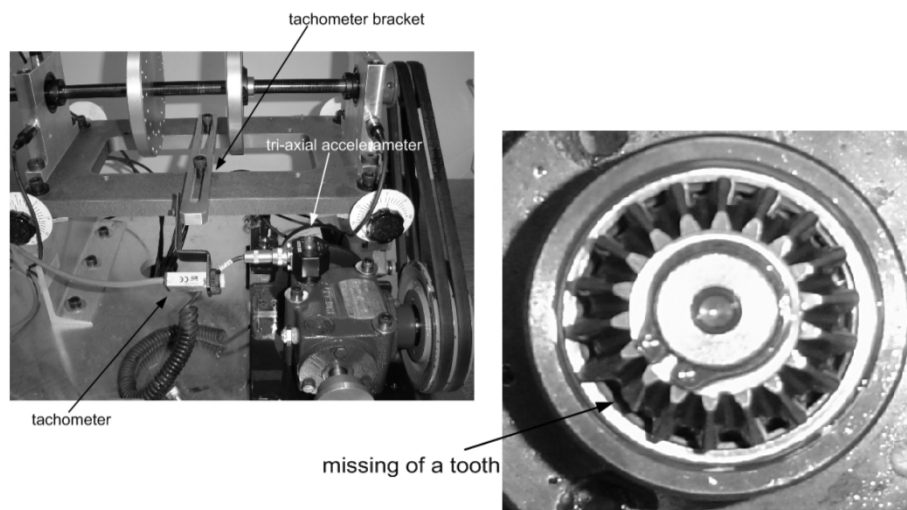
Exemple: maintenance préventive



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

21

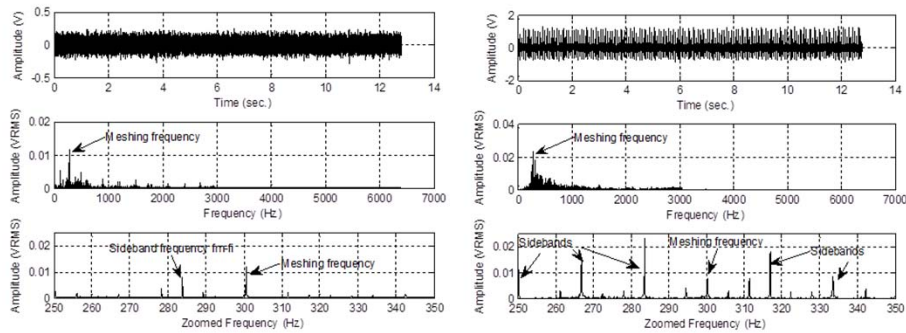
Exemple: maintenance préventive



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

22

Exemple: maintenance préventive



Condition normale

Endommagé

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

23

Connaissances requises

Vous devrez maîtriser des techniques et concepts tels:

- Signal, signal numérique, formats
- Numérisation : échantillonnage et quantification,
- Spectre, spectrogramme, transformée de Fourier, FFT,
- Découpage temporel d'un signal
- Filtrage
- Sous-échantillonnage et sur-échantillonnage
- Taux de compression
- Rapport signal sur bruit, ...

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

24

Algorithmes

Linéaire invariant
dans le temps (LIT)
Ex : équations diff.
Linéaires à paramètres
constants

- Convolution
- Transformée de Fourier
- Filtres linéaires

Linéaire variant dans
le temps (LVT)
Ex : équations diff.
linéaires à paramètres
dépendant du temps ;
LIT + vieillissement

- Filtres linéaires adaptatifs

Non-linéaire
(NL)
Ex : modulation-
démodulation

- Filtres d'ordres supérieurs
- Solutions *ad hoc*

Procédural
Ex : Compression –
décompression ;
encryptage

- Procédures *ad hoc*

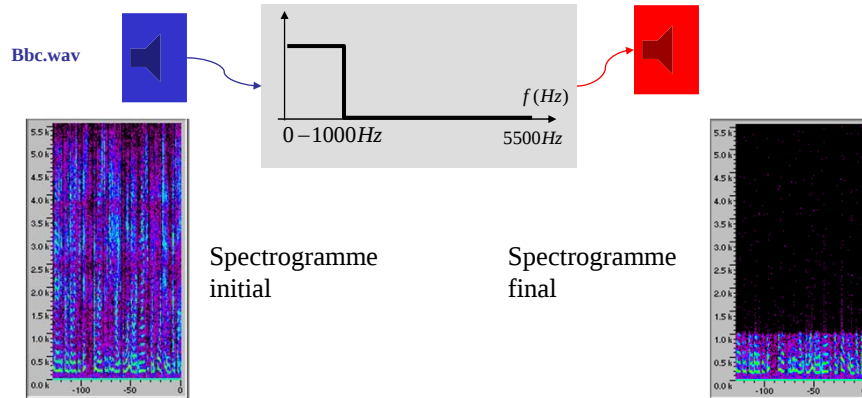
Algorithmes linéaires communs

Convolution	$y(n) = \sum_{k=0}^N h(k)x(n-k)$
Transformée de Fourier discrète	$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$
Filtre linéaire	$y(n) = \sum_{k=0}^M a_k x(n-k) + \sum_{k=0}^N b_k y(n-k)$
Produits matriciels	$y(i, j) = \sum_{k=0}^M w_{i,k} x(k, j)$

Tous des sommes de produits !

Exemple: Filtre passe-bas

- Effet d'un filtre «rectangulaire» passe-bas de bande passante 1 kHz, appliqué à une trame sonore échantillonnée à 11.1 kHz

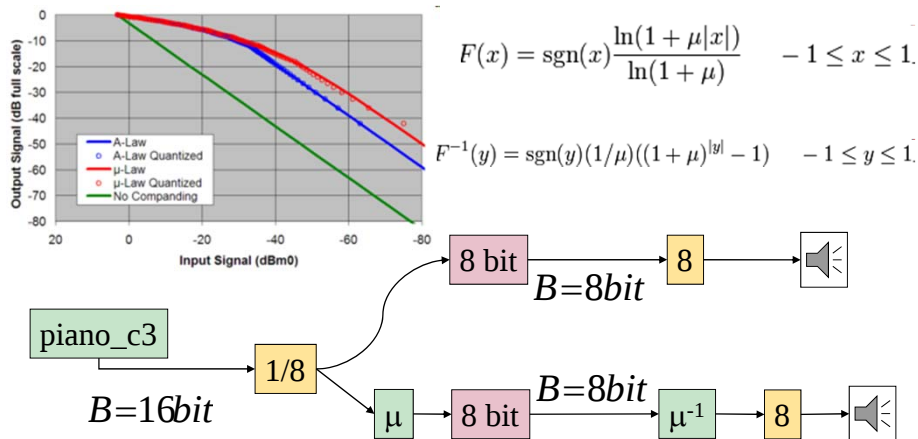


Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

27

Exemple: μ -Law

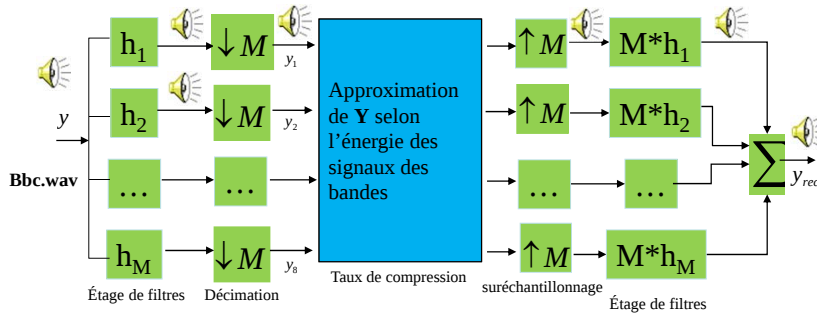
Le Codec μ -Law diminue le bruit de quantification et accroît le rapport signal sur bruit :



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

28

Exemple: compression MPEG



- Une **flèche** représente un signal et un bloc un traitement.
- Le spectre **du signal** est décomposé en bandes de fréquence.
- Les signaux des bandes peuvent être sous-échantillonnés dans un rapport M .
- On comprime le signal en **négligeant** les bandes de faible énergie.
- Les bandes sont sur-échantillonnées et lissées et le signal y est reconstitué.

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

29

Rappel: Avantages du numérique

- Robuste
 - Résistance au bruits
 - Tolérance des composantes
- Flexible
 - Peut créer des filtres impossibles à réaliser de façon analogique
- Coût
 - Complexité
 - Tolérance des composantes

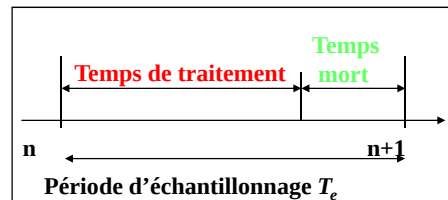
Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

30

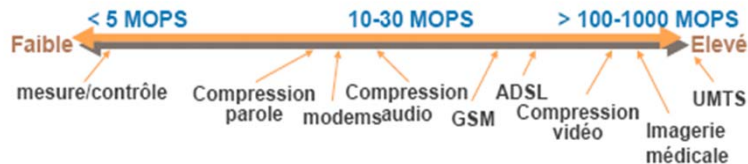
Limites du numérique

- Signaux de très haute fréquence
- Nécessité de compléter les opération en dedans de T_e (calcul en temps réel)
 - Exemple: le calcul de $y(n)$ doit être complété avant l'avènement de chaque nouvel échantillon de $x(k)$:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{99} a(k)x(n-k)$$



Contrainte du temps réel



Application	T_e typique	Taille des données
Instrumentation	1 Hz – 10 MHz	6-16 bits
Automatique	1 Hz – 10 kHz	8-12 bits
Voix	8 kHz	8-14 bits
Audio	44.1 kHz	16-24 bits
Imagerie/Vidéo	1-14 MHz	8-32 bits

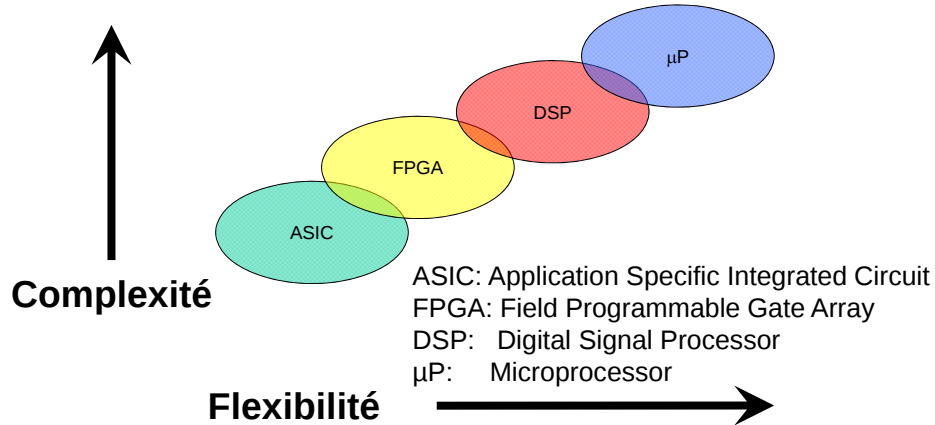
Analogique nécessaire quand

- Signaux de haute fréquence
- Traitement trop compliqué en temps réel
- Signaux de basse fréquence et traitement de faible complexité (coût plus faible)
- Effets secondaires trop importants
 - Alias
 - Reconstruction
 - Bruit de quantification

Toujours analogique

- Circuits d'entrée avant le CAN
- Circuits de sortie après le CNA.
- Amplificateurs et conditionneurs de capteurs et actuateurs analogiques

Implémentation physique



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

35

Microcontrôleur vs. DSP

Microcontrollers			ARM-Based		DSP
16-bit	32-bit Real-time	32-bit ARM	ARM+	ARM + DSP	DSP
MSP430 Ultra-Low Power Up to 25 MHz Flash 1 KB to 256 KB Analog I/O, ADC, LCD, USB, RF Measurement, Sensing, General Purpose \$0.49 to \$9.00	C2000™ Fixed & Floating Point Up to 150 MHz Flash 32 KB to 512 KB PWM, ADC, CAN, SPI, I ² C Motor Control, Digital Power, Lighting \$1.50 to \$20.00	Stellaris M3 Industry Std Low Power Up to 100 MHz Flash 8kB to 256kB USB (H/D/OTG), ENET(PHY, 1588), ADC, PWM, QVGA Host Control \$2.00 to \$8.00	ARM9 Cortex A-8 Industry-Std Core, High-Perf GPP Accelerators MMU USB, LCD, MMC, EMAC Linux/WinCE User Apps \$8.00 to \$35.00	C64x+ plus ARM9/Cortex A-8 Industry-Std Core + DSP for Signal Proc. 4800 MMACS/1.07 DMIPS/MHz MMU, Cache VPSS, USB, EMAC, MMC Linux/Win + Video, Imaging, Multimedia \$12.00 to \$65.00	C647x, C64x+, C55x Leadership DSP Performance 24,000 MMACS Up to 3 MB L2 Cache 1G EMAC, SRIO, DDR2, PCI-66 Comm, WiMAX, Industrial/Medical Imaging \$4.00 to \$99.00+

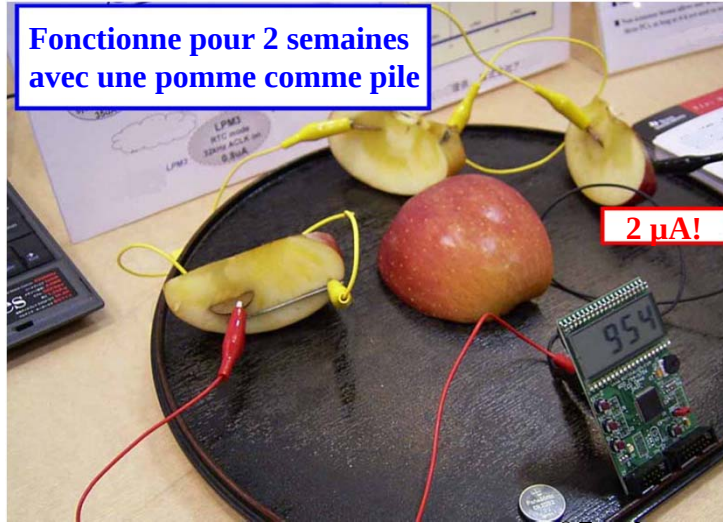
© Texas Instruments

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

36

Microcontrôleur basse puissance

Fonctionne pour 2 semaines
avec une pomme comme pile



© Texas Instruments

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

37

Faut-il absolument un DSP?

- Pourquoi pas un microprocesseur à usage général (ex. Intel)
 - Consommation d'énergie
 - Dissipation de chaleur
 - Coût
 - Performance pour certaines applications
- Pourquoi pas un microcontrôleur (ex. 68HC12)?
 - Oui si l'application traite des signaux de basse fréquence.
 - Sinon, le microcontrôleur n'est pas assez rapide.

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

38

Faut-il absolument un DSP?

- Les « Application Specific Integrated Circuits » (ASIC) sont conçus pour des applications spécifiques
- Les « Field Programmable Gate Array » peuvent être programmés pour réaliser des fonctions de DSP en matériel.

	Avantages	Désavantages
ASIC	• Grande capacité potentielle • Moins de silicium • Consommation plus faible • Plus grande fiabilité • S/B plus faible • Coût global plus faible	• Investissement initial plus grand • Pas de flexibilité • Délai emportant entre la conception et la mise en marché
FPGA	• Grande flexibilité matérielle • Peut réutiliser des blocs matériels déjà faits et testés • Peut être plus performant	• Consommation plus grande • Coût plus élevé • Surtout utilisé pour des applications en virgule fixe • Apprentissage plus long

DSP vs. microprocesseur

- Utiliser un DSP ou microcontrôleur pour des gains en:
 - Coût
 - Dimensions physiques
 - Consommation de courant
 - Traitement de plusieurs signaux de haute fréquence en temps réel (DSP seulement)
- Utiliser un processeur à usage général lorsqu'on veut :
 - Beaucoup de mémoire
 - Un système d'exploitation avancé
 - Des applications pas en temps-réel

Hardware vs. microcode

- La conception des DSP est optimisée pour les opérations de multiplication et d'addition.
- La multiplication et l'addition sont réalisées en matériel à l'intérieur d'un seul cycle d'horloge.
- Exemple: multiplication 4-bit (non signé).

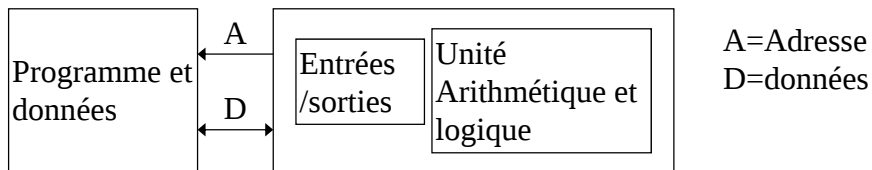
Hardware	Microcode
$\begin{array}{r} 1011 \\ \times 1110 \\ \hline 10011010 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1011 \\ \times 1110 \\ \hline 0000 \\ 1011. \\ 1011.. \\ 1011... \\ \hline 10011010 \end{array}$
	Cycle 1
	Cycle 2
	Cycle 3
	Cycle 4
	Cycle 5

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

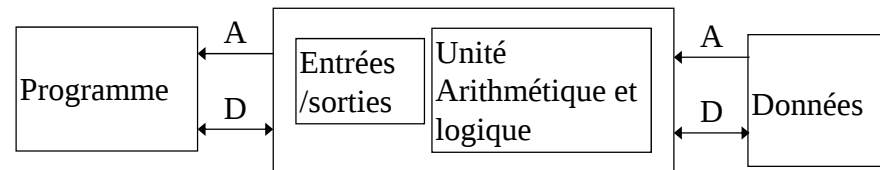
41

Von Neuman contre Harvard

Machine de Von Neuman



Architecture de Harvard



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

42

Virgule fixe vs. flottante

- Avantages d'un DSP à virgule flottante :
 - Meilleure précision (en mode 64-bit)
 - Gamme dynamique plus grande
 - Rapport signal-sur-bruit plus élevé
 - Programmation plus facile menant à un cycle de design plus court
 - Délai conception-mise en marché plus court
- Désavantages :
 - Consommation de courant pouvant être plus grande
 - Peut être plus lent qu'un DSP à virgule fixe comparable
 - Coût généralement plus élevé (pas pour les dernières générations)

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

43

Virgule fixe vs. flottante

- C'est l'application qui décide en fonction de :
 - Performance
 - Consommation
 - Coût*
- En général, on utilise des DSP à virgule fixe dans les applications à gros volume et faible coût (ex. décodeurs mp3 portables)
- Pour les besoins éducationnels, on utilise un DSP à virgule flottante (qu'on peut aussi utiliser en DSP à virgule fixe), par exemple le TMS320C6713 de TI.

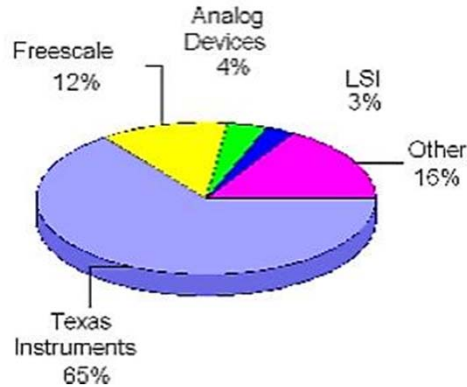
Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

44

Fabricants

Part de marché (2008)

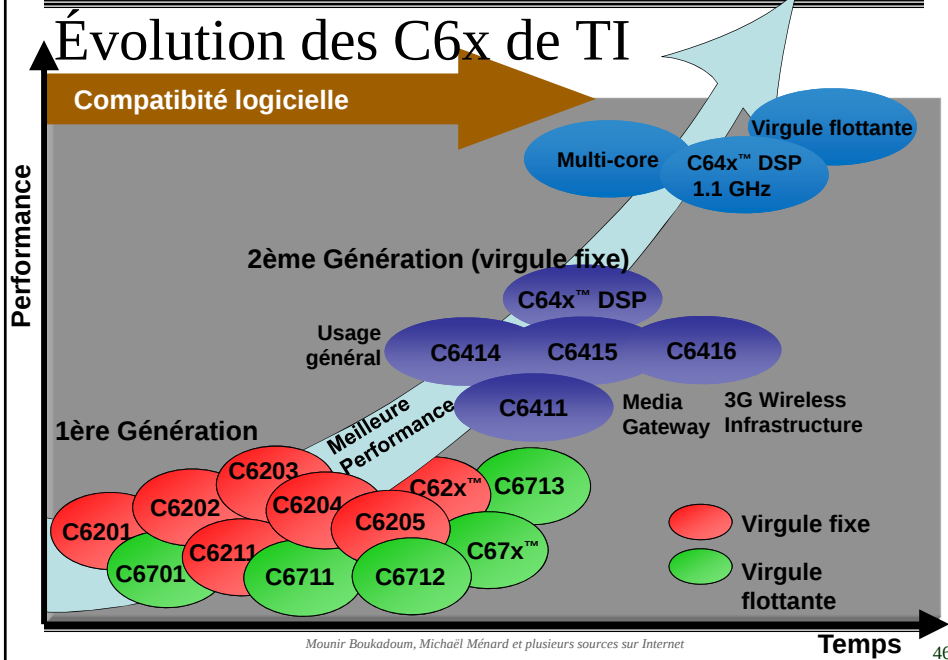
CY 2008: \$6.5 Billion



DSP-FPGA.com

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

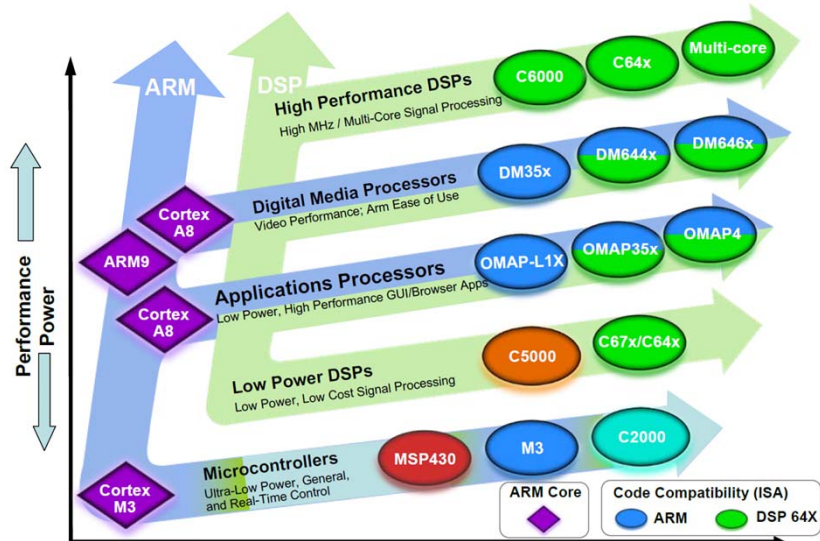
45



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

46

Les DSP de TI



Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

47

Sommaire

- Traitement des signaux nécessaire:
 - Compression
 - Transmission
 - Extraire information
- Utilise approche numérique:
 - Flexible (fonctions impossible en analogique)
 - Réduit les coûts
- Limitation principale: vitesse

Mounir Boukadoum, Michaël Ménard et plusieurs sources sur Internet

48

Sommaire

- Majorité des algorithmes sont des sommes de produits
- Implémentation peut prendre plusieurs formes (ASIC, FPGA, DSP, μ P, hardware vs. logiciel).
- Choisie l'approche selon les besoins
- Texas Instruments domine le marché des DSP

Prochain cours

- Préparation pour les labs
 - Architecture d'un DSP
- Lire
 - Chapitres 1 et 9 de Tan
 - Chapitres 1 et 3 de Chassaing