POLYTECH
NICE-SOPHIA

# Systèmes à Microprocesseurs

*Cycle Ingénieur Troisième Année*

Sébastien Bilavarn

# Organisation du module µP

- 12 cours (1h) + 6 TDs (2h)
- http://users.polytech.unice.fr/~bilavarn/
  - login elec3, mdp nios2007
  - Cours, TDs, TPs, exercices complémentaires, bibliographie
  - TDs: environnement de développement (GCC ARM, Linux)

- Examen partiel (1h): mardi 24 mars
- Examen final (2h): vendredi 15 mai
  - **Final_CM_TD=(2*Exam_partiel+3*Exam_final)/5** **COEF 5**
- 5 séances TP notées (Compte rendus) + Examen TP
  - **Final_TP=(MOY_CR_TP + 2*Exam_TP ) / 3** **COEF 3**

# Plan

- Ch1 – Représentation de l'information
- Ch2 – ARM Instruction Set Architecture
- Ch3 – Accès aux données
- Ch4 – Programmation structurée
- Ch5 – Cycle d'exécution
- Ch6 – Codage binaire
- Ch7 – Microcontrôleur ARM Cortex-M

POLYTECH
NICE-SOPHIA

# Représentation de l'information

- Représentation de l'information
  - Opérations sur les données

# Représentation de l'information

- Types de données de base
  - Nombres entiers (0, -23, 10, 6, 65635)
  - Nombres réels (0.3, -3.2, 5, 10e3)
  - Booléens (true, false)
  - Caractères ('a', 'b', '?', '&', '0')
- Systèmes de numération
  - Décimal: 0 … 9, décomposition en puissances de 10
  - Hexadécimal: 0 à 9 et A…F, décomposition en puissances de 16
  - Binaire: 0 ou 1, décomposition en puissances de 2
- Décimal et hexadécimal sont utilisables pour l'être humain
- La représentation binaire est utilisable par l'ordinateur

# Représentation de l'information

- Mot binaire
  - Bit (Binary digit)
  - Quartet (nibble) 4 bits
  - Octet (byte) 8 bits
- Terminologie utilisée sur les processeurs 32-bit (y compris ARM)
  - Demi-mot (half-word) 16 bits
  - Mot (word) 32 bits
  - Double-mot (double word) 64 bits
- /!\ la terminologie peut changer d'une famille à l'autre
  - Motorola, Intel
    - word 16 bits, long word 32 bits, quad word 64 bits

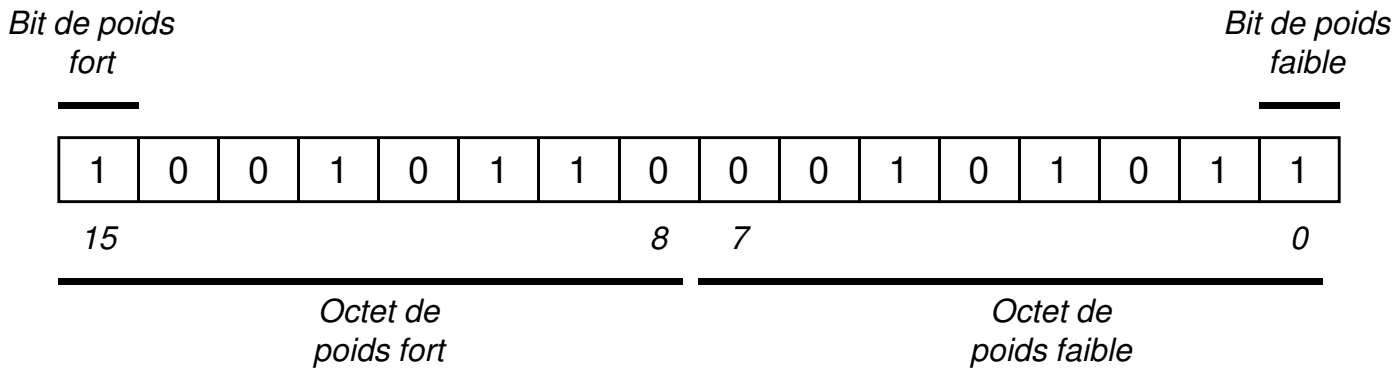
# Représentation des nombres entiers

- Binaire pur sur n bits
  - Représentation des entiers entre 0 et $2^n$-1

- Exemples (sur 8 bits):
  - $(00000000)_{bin} = (0)_{dec}$
  - $(11111111)_{bin} = (2^8\text{-}1)_{dec} = (255)_{dec}$
  - $(11001001)_{bin} = 1x\ 2^7 + 1x\ 2^6 + 0x\ 2^5 + 0x\ 2^4 + 1x\ 2^3 + 0x\ 2^2 + 0x\ 2^1 + 1x\ 2^0$
    $= (128 + 64 + 8 + 1\ )_{dec}$
    $= (201\ )_{dec}$

# Représentation des nombres entiers

- Vocabulaire
  - Bit de poids fort: bit le plus significatif (MSB, Most Significant Bit)
  - Bit de poids faible: bit le moins significatif (LSB, Least Significant Bit)



# Représentation des nombres entiers

- Complément à deux sur n bits
  - Représentation des entiers compris entre $-2^{n-1}$ et $2^{n-1}-1$
  - Conversion décimal vers complément à deux
    - Nombres positifs: correspondance directe avec le binaire pur
    - Nombres négatifs: convertir $2^n + x$ en binaire pur.

- Méthode pour prendre l'opposé d'un nombre en complément à deux
  - Complémenter bit à bit
  - Puis ajouter 1 au résultat

# Représentation des nombres entiers

- Complément à deux sur n bits
  - Exemples (sur 8 bits)
    - $(10000000)_{bin} = (-128)_{dec}$
    - $(11111111)_{bin} = (-1)_{dec}$
    - $(00000000)_{bin} = (0)_{dec}$
    - $(01111111)_{bin} = (127)_{dec}$
    - $(5)_{dec} = (00000101)_{bin}$
    - $(-5)_{dec} = \overline{(00000101)}_{bin} + 1 = (11111010)_{bin} + 1 = (11111011)_{bin}$

# Représentation des nombres entiers

| Décimal | Binaire pur | Complément à deux |
|---|---|---|
| 255 | 11111111 | |
| … | … | |
| 129 | 10000001 | |
| 128 | 10000000 | |
| 127 | 01111111 | **0**1111111 |
| … | … | … |
| 3 | 00000011 | **0**0000011 |
| 2 | 00000010 | **0**0000010 |
| 1 | 00000001 | **0**0000001 |
| 0 | 00000000 | **0**0000000 |
| -1 | | **1**1111111 |
| -2 | | **1**1111110 |
| -3 | | **1**1111101 |
| … | | … |
| -127 | | **1**0000001 |
| -128 | | **1**0000000 |

# Représentation des nombres entiers

- Correspondance entre binaire et hexadécimal
  - Un chiffre hexadécimal pour 4 bits
  - Exemples:
    - $(53)_{hex} = (0101\ 0011)_{bin}$
    - $(FF)_{hex} = (1111\ 1111)_{bin}$
  - Nombres négatifs
    - En décimal on fait figurer le signe –
    - En hexadécimal par convention, on traduit directement à partir du binaire
  - Exemple en complément à deux sur 8 bits
    - $(-1)_{dec} = (1111\ 1111)_{bin} = (FF)_{hex}$

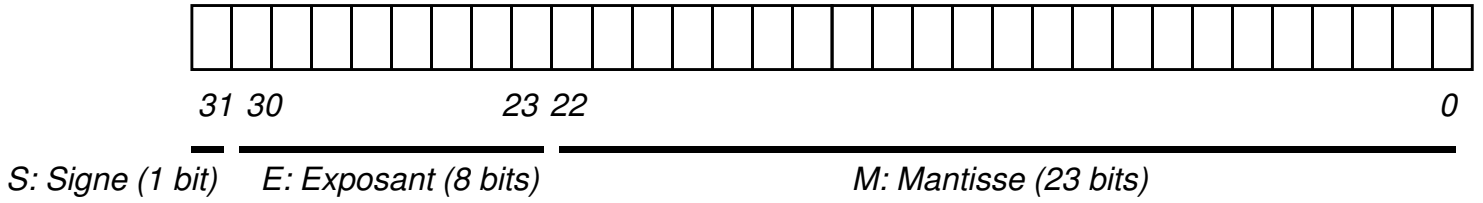
# Représentation des caractères

- Le code ASCII
  - American Standard Code for Information Interchange
  - 1 caractère = 1 octet
  - Exemples:

| Décimal | Caractère | Décimal | Caractère | Décimal | Caractère |
|---|---|---|---|---|---|
| 32 | ESPACE | 48 | 0 | 91 | [ |
| 33 | ! | 49 | 1 | 92 | \ |
| 34 | ‘’ | … | … | 63 | ] |
| 35 | # | 57 | 9 | … | |
| 36 | $ | … | … | … | |
| 37 | % | 65 | A | 97 | a |
| 38 | & | 66 | B | 98 | b |
| 39 | ’ | … | … | … | … |
| 40 | ( | 90 | Z | 122 | z |

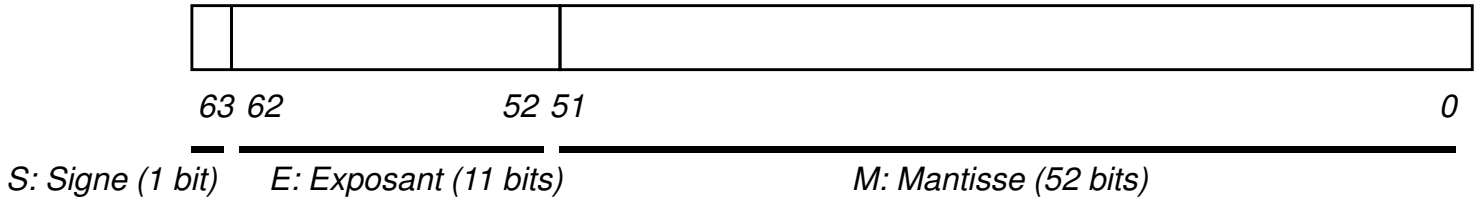
# Représentation des nombres réels

- Le standard IEEE 754 (32-bit, simple précision)




$$(-1)^{S}*(1 + M/2^{23}) * 2^{E-127}$$

- Le standard IEEE 754 (64-bit, double précision)




$$(-1)^{S}*(1 + M/2^{52}) * 2^{E-1023}$$

# Représentation des nombres réels

- Exemple:

01000100 01000001 01010100 01000101

- Signe: 0 positif
- Exposant: 10001000 = $(136)_{dec}$
- Mantisse: 1000001 01010100 01000101 = $(4281413)_{dec}$

- Résultat: $(1 + 4281413/2^{23}) * 2^{136-127} =$

$= 1.5103842 * 2^{9} = 773.31671$

POLYTECH
NICE-SOPHIA

# Représentation de l'information

- Représentation de l'information
  - Opérations sur les données

# Opérations arithmétiques

- Addition n bits
  - Exemple

```
    1 1 1   1 1
  1 0 0 1 1 0 0 1
+ 1 0 1 1 1 0 1 1
-----------------
1 0 1 0 1 0 1 0 0
```

- A chaque étape, on réalise la somme de trois bits
  - Un bit de chacun des deux opérandes
  - La retenue de l'étape précédente
- Indicateur d'état: C=1

# Opérations arithmétiques

- Addition de nombres signés
  - Utilisation du complément à deux

| | |
|---|---|
| | 1 1 1 1 1 1 1 |
| -5 | 1 1 1 1 1 0 1 1 |
| + 7 | + 0 0 0 0 0 1 1 1 |
| 2 | 1 0 0 0 0 0 0 1 0 |

- Indicateur d'état: C=1
  - La retenue sortant est ignorée dans le résultat
  - Risque de débordement

# Opérations arithmétiques

- Addition de nombres signés
  - Risque de débordement

| | | |
|---|---|---|
| | 1 1 1 1 1 | |
| | 70 | 0 1 0 0 0 1 1 0 |
| + | 95 | + 0 1 0 1 1 1 1 1 |
| | 165 | 0 1 0 1 0 0 1 0 1 |

- Indicateur d'état: C=0
  - La retenue sortant est ignorée dans le résultat
- Indicateur de débordement: V=1
  - $V = \overline{A_{n-1}}.\overline{B_{n-1}}.S_{n-1} + A_{n-1}.B_{n-1}.\overline{S_{n-1}}$

# Opérations arithmétiques

- Multiplication en binaire pur sur 8 bits

```
   110
x  102
-------
   220
  000
 110
-------
 11220
```

```
      0 1 1 0 1 1 1 0
    x 0 1 1 0 0 1 1 0
-----------------------
      0 0 0 0 0 0 0 0
    0 1 1 0 1 1 1 0
  0 1 1 0 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
  0 1 1 0 1 1 1 0
0 1 1 0 1 1 1 0
-----------------------
0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0
```

# Opérations arithmétiques

- Multiplication en binaire pur sur 8 bits
  - Résultat sur 2n bits
  - Combinaisons de décalages et d'additions
  - Opération coûteuse en temps de calcul

  - Si l'un des deux nombres contient beaucoup de 0 et peu de 1, l'algorithme de multiplication peut devenir très inefficace.

# Opérations arithmétiques

- Multiplication en complément à deux

```
  -5
x  7
-----
- 35
```

```
      1 0 1 1
    x 0 1 1 1
  -------------
      1 0 1 1
    1 0 1 1
  1 0 1 1
0 0 0 0
-------------------
1 0 0 1 1 0 1
```

# Opérations arithmétiques

- Multiplication en complément à deux
  - On obtient 77 !!
  - Conséquence: les circuits multiplieurs traitent différemment les opérations en binaire pur (nombres non signés) et les opérations en complément à deux (nombres signés).

# Opérations arithmétiques

- Décalages et rotations
  - Intérêt d'une opération de décalage
    - Multiplication ou division par des puissances de deux.
    - Multiplication par des nombres comprenant beaucoup de 0 et peu de 1.
    - Parcourir un par un les bits d'une donnée, par exemple dans le cadre d'une transmission série.
  - Deux types de décalage
    - Décalage logique
    - Décalage arithmétique

# Opérations arithmétiques

- Décalage logique
  - $(72)_{dec} >> 2 = (01001000)_{bin} >> 2 = (00010010)_{bin} = (18)_{dec}$
  - $(-4)_{dec} >> 2 = (11111100)_{bin} >> 2 = (00111111)_{bin} = (63)_{dec}$

- Décalage arithmétique
  - $(72)_{dec} >> 2 = (01001000)_{bin} >> 2 = (00010010)_{bin} = (18)_{dec}$
  - $(-4)_{dec} >> 2 = (11111100)_{bin} >> 2 = (11111111)_{bin} = (-1)_{dec}$

# Opérations de comparaison

- Les quatre indicateurs d'état:
  - C: Carry
  - V: oVerflow
  - Z: Zero
  - N: Negative

- Comment comparer deux nombres A et B ?
  - On calcule la différence A - B
  - On utilise les indicateurs N, Z, C, V
    - Z = 1, A = B
    - Z = 0, A ≠ B

# Opérations de comparaison

- Comparaison de nombres non signés
  - La soustraction génère une retenue lorsque A ≥ B.

| C | |
|---|---|
| 0 | A < B |
| 1 | A ≥ B |

| C | Z | |
|---|---|---|
| 0 | - | A ≤ B |
| - | 1 | |
| 1 | 0 | A > B |

# Opérations de comparaison

- Comparaison de nombres signés
  - On test le signe du résultat (N) en tenant compte d'un éventuel débordement (V).

| N | V | |
|---|---|---|
| 1 | 0 | A < B |
| 0 | 1 | |
| 1 | 1 | A ≥ B |
| 0 | 0 | |

| N | V | Z | |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | - | A ≤ B |
| 0 | 1 | - | |
| - | - | 1 | |
| 1 | 1 | 0 | A > B |
| 0 | 0 | 0 | |

# Opérations logiques

- AND
  - $(00000101)_{bin}$ AND $(00001111)_{bin}$ = $(00000101)_{bin}$
- OR
  - $(00000101)_{bin}$ AND $(00000111)_{bin}$ = $(00000111)_{bin}$
- Exclusive OR
  - $(00000101)_{bin}$ AND $(00000111)_{bin}$ = $(00000010)_{bin}$
- Bit clear
  - Mise à 0 de bits
  - $(00000101)_{bin}$ BIC $(00000111)_{bin}$ = $(00000000)_{bin}$