

## Chapitre 1 : Généralités sur les processeurs DSP

(1 semaine)

### 1. Définition : Processeur de signal numérique DSP

Le traitement du signal signifie l'analyse et la manipulation du signal. Il est effectué pour obtenir un signal clair et pur. Il est exécuté par l'ordinateur ou des circuits intégrés, comme: **ASCI** (application specific integrated circuits), **FPGA** (Field Programmable Gate Array) ou **DSP** (Digital Signal Processing).

Processeur de signal numérique **DSP** est un **microprocesseur optimisé** pour exécuter des applications de **traitement numérique du signal** (filtrage, extraction de signaux, etc.) le plus rapidement possible.

### 2. Présentation des différentes familles de DSP

Le marché est partagé entre quatre constructeurs principaux :

1. Texas Instruments,
2. Analog Devices,
3. Freescale (Motorola), et
4. Lucent.

Les DSP se différencient par :

1. Le format de calcul (fixe ou entier),
2. La taille du bus de données (16, 24 ou 32 bits),
3. La puissance en millions d'instructions par secondes (MIPS) et
4. Les fonctionnalités spécifiques directement intégrées (traitement du son, de l'image, etc.)

Il est impossible d'effectuer une classification «définitive» des DSP, car chaque constructeur met sur le marché tous les ans un nouveau composant qui surclasse les anciens ou les concurrents par la puissance de calcul, la rapidité (gestion du pipeline et fréquence d'horloge), le nombre de registres, de ports série

Un point essentiel des DSP est la représentation des nombres (les données) qu'ils peuvent manipuler. Il est possible de distinguer deux grandes familles. Les *premiers sont* les processeurs à virgule fixe: le programmeur doit rester concentré à chaque étape d'un calcul. Ces DSP sont plus difficiles à programmer. Et *les seconds sont* les processeurs à virgule flottante. Les DSP à virgule flottante fournissent une très grande dynamique et sont plus chers et consomment plus d'énergie.

En termes de rapidité, les DSP à virgule fixe se placent d'ordinaire devant leurs homologues à virgule flottante, ce qui constitue un critère de choix important.

### 3. Classification des DSP

Voyons le cas des DSP fabriqués par Texas Instruments (désignés par TMS) et Analog Devices (désignés par ADSP). Le classement du **tableau 1** est effectué selon le nombre de

bits du bus de données et le temps d'exécution d'un cycle, puis d'une opération complexe, comme la transformée de Fourier rapide à 1024 points de calcul.

**Tableau 1 : Comparaison entre diverses catégories de DSP**

| Nom       | Critère de choix  | Virgule fixe ou flottante | Durée d'une instruction [ns] | Durée du calcul FFT [ $\mu$ s] |
|-----------|-------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| ADSP2105  | Faible coût       | 16 bits – Fixe            | 100                          | 3.46                           |
| TMS320C2x | Faible coût       | 16 bits – Fixe            | 80                           | 9.01                           |
| ADSP2101  | Haute performance | 16 bits – Fixe            | 60                           | 2.07                           |
| TMS320C5x | Haute performance | 16 bits – Fixe            | 35                           | 2.97                           |
| ADSP2199x | Haute performance | 16 bits – Fixe            | 6                            | 0.4                            |
| ADSP21010 | Faible coût       | 32 bits - Flottante       | 80                           | 1.54                           |
| TMS320C3x | Faible coût       | 32 bits - Flottante       | 50                           | 3.08                           |
| ADSP21020 | Haute performance | 32 bits - Flottante       | 40                           | 0.77                           |
| TMS320C4x | Haute performance | 32 bits - Flottante       | 40                           | 1.55                           |

- ✓ Les TMS320Clx sont à 16 bits à virgule fixe et sont utilisés pour le contrôle des disques durs dans les ordinateurs.
- ✓ Les **TMS320C2x** ou **ADSP-2105** servent au fonctionnement des fax.
- ✓ Les **TMS320C5x** ou **ADSP-2101** sont utilisés dans les modems.
- ✓ Les **TMS320C3x** ou **ADSP-21010** sont utilisés pour les systèmes Hi-Fi, à synthèse vocale, et dans les processeurs graphiques à 3 dimensions.
- ✓ Les **TMS320C4x**, TMS320C6x ou **ADSP-21020** sont conçus pour le fonctionnement en parallèle, avec d'autres systèmes processeurs (applications : la «réalité virtuelle» et la reconnaissance d'images).

#### 4. Domaines d'applications des DSP

Les domaines d'applications du traitement numérique du signal sont nombreux et variés (traitements du son, de l'image, synthèse et reconnaissance vocale, analyse, compression de données, télécommunications, automatisme, etc.). Chacun de ces domaines nécessite un système de traitement numérique, dont le cœur est un (parfois plusieurs) DSP ayant une puissance de traitement adaptée, pour un coût économique approprié.

- **Communication homme-machine**, synthèse, transformation texte-parole et inverse, reconnaissance de parole, identification et vérification du locuteur
- **Télécommunications**, codage et restauration de la parole, courrier vocal, télécopie, audionumérique (CD, DAB), TV numérique, compression et transmission d'images,

cryptage et protection, transmission de données, télé informatique, annulation d'écho, codage à débit réduit, télé et visioconférence, téléphonie cellulaire, ...

- **Défense**, systèmes d'armes, surveillance, guidage, navigation
- **Biophysique**, génie biomédical, EEG, ECG, radiographie, tomographie, scintigraphie, gammagraphie, échographie, aide aux handicapés, ...
- **Acoustique**, aérienne, sous-marine, sonar, ultrasons, nuisances
- **Géophysique**, sismique, de surface, océanographique, télédétection
- **Electromagnétisme**, radar, radionavigation, optique, astrophysique
- **Automobile**, injection électronique, ABS, positionnement global, commande d'assiette adaptative
- **Musique**, numérique, MIDI, échantillonneurs (sampleurs), synthétiseurs, mélangeurs, réverbération et écho, effets spéciaux, filtrage, enregistrement (DAT)
- **Instrumentation**, capteurs, métrologie, analyse spectrale, génération de signaux, analyses de transitoires, DPLL
- **Graphisme et imagerie**, rotation 3D, vision, reconnaissance de formes, restauration d'images, stations de travail, animation, cartographie

## 5. Principaux algorithmes traités

On peut citer quelques algorithmes typiques comme:

- **Finite Impulse Response Filter (FIR)**

$$y(i) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) x(i - k) = h(n) * x(n) \quad (1.1)$$

Où

- x est la séquence d'entrée
- y est la séquence de sortie
- h est la réponse impulsionnelle (coefficients de filtre)
- N est le nombre de prises (coefficients) dans le filtre
- La séquence de sortie dépend uniquement de la séquence d'entrée et de la réponse impulsionnelle.

- **Infinite Impulse Response Filter(IIR)**

$$y(i) = \sum_{k=1}^{M-1} a(k) y(i - k) + \sum_{k=0}^{N-1} b(k) x(i - k) \quad (1.2)$$

- **Convolution**

$$y(n) = \sum_{k=0}^N x(k) * h(n - k) \quad (1.3)$$

- **Discrete Fourier Transform (DFT)**

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp^{-jnk\left(\frac{2\pi}{N}\right)} \quad (1.4)$$

## 6. Processeurs DSP et autres approches

Le traitement numérique permet facilement de:

- ✓ Changer les applications.
- ✓ Corriger les applications.

- ✓ La mise à jour des applications.

Il permet également de réduire:

- ✓ Les erreurs des calculs.
- ✓ Le temps de développement.
- ✓ Le cout de traitement.
- ✓ La consommation d'énergie.

Les autres solutions numériques qui concurrencent les DSP sont :

- ✓ Les ASIC (Application Specific Integrated Circuits), qui sont des circuits intégrés pour application spécifique, ont longtemps été la technologie la mieux adaptée pour réaliser des applications nécessitant des performances élevées.
- ✓ Les FPGA (Field Programmable Gate Array), qui sont des composants électroniques qui comportent un grand nombre de fonctions logiques de base (ET, OU, etc.) que l'utilisateur peut combiner entre elles en fonction des besoins de l'application.

**Tableau 2: Les DSP face aux ASIC et aux FPGA**

|                 | ASIC             | FPGA           | DSP                 |
|-----------------|------------------|----------------|---------------------|
| Performances    | Très élevée      | Elevée         | Faible              |
| Taille et poids | Faibles          | Moyens         | Elevée              |
| Consommation    | Faible           | Modéré         | Très élevée         |
| Intégration     | sur puce         | sur puce       | Composants associés |
| Souplesse       | Fonctions figées | Reconfigurable | Programmable        |