

## Chapitre 1 : Généralités sur les processeurs DSP

### **1.1 Introduction**

Dans les années 1960, il était prédit que l'intelligence artificielle allait révolutionner la façon dont les humains interagissent avec les ordinateurs et autres machines. On pensait que d'ici la fin du siècle, nous aurions des robots nettoyant nos maisons, des ordinateurs conduisant nos voitures et des interfaces vocales contrôlant le stockage et la récupération des informations. Cela ne s'est pas produit; ces tâches abstraites sont beaucoup plus compliquées que prévu et très difficiles à réaliser avec la logique pas à pas fournie par les ordinateurs numériques.

Cependant, les quarante dernières années ont montré que les ordinateurs sont extrêmement capables dans deux grands domaines, (1) la manipulation de données, comme le traitement de texte et la gestion de bases de données, et (2) le calcul mathématique, utilisé en science, en ingénierie et en traitement numérique du signal. Tous les microprocesseurs peuvent effectuer les deux tâches.

Un système embarqué est situé dans un environnement extérieur. On a souvent besoin de mesurer des signaux, les traiter puis décider et agir en conséquence. Vu que le traitement se fait numériquement, on a besoin alors de représenter les signaux comme des séquences échantillonnées, puis traiter par des contrôleur numériques appelés DSP( de l'anglais : **Digital Signal Processor** ou **DSP**).

Parmi la famille des processeurs spécialisés une nouvelle branche est apparue vers 1982 avec pour principale fonction de traiter numériquement et rapidement les signaux issus de la parole. Le premier processeur ou calculateur spécialisé en traitement du signal (TS ou SP pour Signal Processing), le "**DSP**" (Digital Signal Processor), était né et depuis, cette famille n'a cessé de s'agrandir. Les processeurs DSP diffèrent des microprocesseurs ordinaires par le fait qu'ils ont été conçus spécialement pour effectuer de manière très rapide, car câblée, les opérations de somme et de produit qui sont présents dans tout algorithme de traitement du signal. Sur un DSP on peut en un cycle effectuer une multiplication et une accumulation. Si au début ils effectuaient 5 millions d'instructions par seconde (MIPS) sur des entiers de 16 bits pour un prix de 600\$, ils peuvent aujourd'hui, en version standard, effectuer 50 MFLOPS sur des entiers ou des flottants (MFLOP: million Floating Operation per Second) pour un prix inférieur à 40\$. Des DSP de nouvelle génération, tournés vers des applications vidéos, effectuent 2000 MIPS.

### **1.2 Présentation des différentes familles de DS**

La famille de processeurs la plus répandue actuellement est sans conteste celle des DSP de Texas Instruments qui détient environ 70 % du marché, les 30 % restant étant partagés entre Motorola, Analog Devices, Lucent Technologies, Nec et Oki.

L'avantage des DSP tient :

- A leur faible prix par rapport aux circuits analogiques réalisant la même fonction.
- Leur facilité d'intégration sur des cartes numériques
- Leur possibilité de résoudre par la programmation, dont la complexité n'est pas limitée, toutes sortes de problèmes linéaires ou non linéaires
- Leur robustesse car ils sont insensibles aux variations de température, aux dérives et au vieillissement
- Leur flexibilité et leur souplesse de modification, car il suffit de changer le programme sans modifications matérielles.

### **1.3 Classification des DSP**

Les DSP sont classés en fonction de l'amplitude et le type de données qui sont capables de traiter: on parle, par exemple, le DSP 32, 24 ou 16-bit; point fixe ou variable.

Chaque DSP est donc adapté pour des applications spécifiques: par exemple, le DSP 16 bits à virgule fixe sont utilisés pour le conditionnement de signaux vocaux et de trouver leur principal domaine d'application téléphonie (Fixe et mobile), tandis que le DSP virgule flottante de 32 bits ayant une dynamique beaucoup plus élevée, sont principalement utilisés dans le traitement de l'image et en graphique tridimensionnel.

### **1.4 Domaines d'applications des DSP**

Les principales applications se trouvent dans :

- Les télécommunications : téléphone filaire et cellulaire, modem, fax, transcodeurs, interpolateurs, répondeurs, routeurs, codec ...
- Le traitement de la parole: reconnaissance, compression, synthèse.
- La commande de procédés : asservissement, contrôle flou, diagnostique automatique, automobile (ABS) ...
- L'instrumentation : analyse spectrale, oscilloscope, générateur de signaux, ...
- Le traitement d'image : Image par Résonance Magnétique, image ultrasonore, reconnaissance, compression, transmission, animation ...

### **1.5 Principaux algorithmes traités**

Grace à son architecture hardware, le DSP fait de lui un composant numérique pour les spécialistes du signal et les électroniciens. L'utilisateur retrouve les filtres, avec amplification, atténuation, mais aussi le traitement numérique du signal toutes ces applications faisant appel à des algorithmes.

Parmi les principaux algorithmes traités par les contrôleurs numériques des signaux (DSPs), on trouve :

1. Les Filtres :
  - a. *RIF* (Réponse Impulsionnelle Finie)
  - b. *RII* (Réponse Impulsionnelle Infinie)

2. Les Transformations
  - a. Transformation *Temps-Fréquence*
  - b. *FFT*
3. La Convolution et la Corrélation.
4. Codage et décodage des données

A noter que les DSPs doivent avoir le hardware adéquat pour implémenter ces algorithmes.

Les difficultés qui attendent les utilisateurs de ces processeurs sont au nombre de trois :

1. la première est liée à l'architecture du DSP, qui tout en étant proche de celle du microprocesseur, est fortement spécialisée pour les algorithmes du traitement du signal,
2. la deuxième difficulté, et ce n'est pas la moindre, concerne la technique du traitement numérique du signal laquelle nécessite la maîtrise d'outils mathématiques adaptés,
3. Enfin, la dernière difficulté se rapporte à l'implantation de l'algorithme ou la manière de programmer le DSP de façon à utiliser au mieux les ressources de son architecture. On parle d'ailleurs de plus en plus souvent d'adéquation algorithme-architecture qui suppose une relation très étroite dans le développement du logiciel et du matériel.

Ces processeurs sont programmés principalement en langage C (via un compilateur croisé) avec une phase d'optimisation si nécessaire en assembleur.

### ***1.6 Processeurs DSP et autres approches***

Le DSP peut être comparé au microprocesseur et au microcontrôleur. De fait, certains DSP, comme les TMS320F240x de Texas Instruments utilisé pour des commandes de moteurs électriques, ou les Z89323/373/ ... /473 de Zilog sont des processeurs où l'on a optimisé les avantages du DSP et ceux du microcontrôleur. D'autres, comme les DSP 56000 de Motorola sont issus de la technologie du microprocesseur 68000.

Dans la commande et le contrôle de systèmes complexes, le DSP joue à la fois le rôle du microcontrôleur, et celui du calculateur rapide en temps réel pour obtenir tous les signaux nécessaires à la commande. C'est le cas du DSP Texas TMS320F240x qui permet la commande des moteurs asynchrones en contrôle vectoriel ou en flux orienté, ainsi que celle des moteurs synchrones et des moteurs pas-à-pas.

Mais une autre approche possible consiste à considérer un « noyau DSP » à l'intérieur d'un circuit intégré comportant de nombreuses opérations. La société Hewlett Packard propose la vente des logiciels permettant la création puis l'intégration d'un noyau DSP dans un ASIC (Applied Specific Integrated Circuit). Il peut servir, à l'intérieur du composant intégré, en « parallélisme » à un processeur RISC (Reduced Instruction Set Computer). Citons, par exemple, le DSP TMS320C54x associé au cœur ARM7, ou bien le MPC823 de Motorola qui réunit à la fois un DSP56800, un cœurPower PC et un module RISC.

Le DSP peut aussi être associé à d'autres processeurs par l'intermédiaire du port hôte. Il peut servir en « parallélisme » à un microprocesseur.

La Figure 2.1 montre la vitesse d'un composant en fonction de sa « performance », c'est-à-dire de l'adaptation à des besoins spécifiques de l'électronique. On voit la place privilégiée du DSP par opposition à celle du microprocesseur, d'usage plus général.

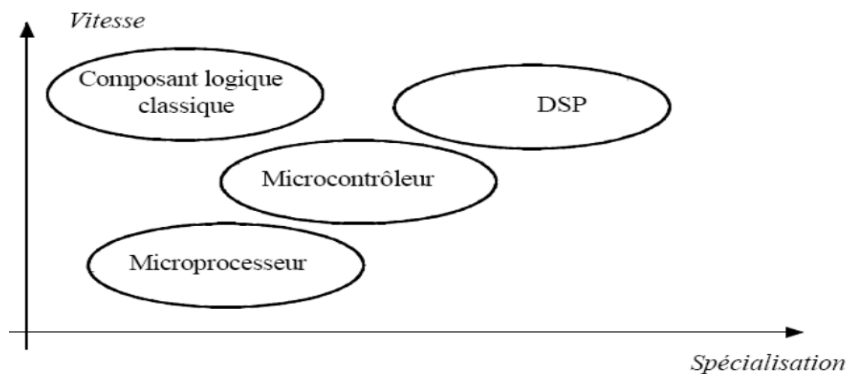


Figure 1.1: Place du DSP vis-à-vis des autres processeurs

Parallèlement aux DSP à usage général ou à spectre large, les constructeurs commercialisent aussi des DSP réservés à des secteurs d'activités ciblés. Ainsi, ces DSP sont optimisés pour un type d'application de par leur parfaite adéquation entre leur architecture et l'algorithme utilisé. Par exemple, les séries DSP568xxx de Motorola et TMS320C54x de Texas Instruments ont été développées spécialement pour l'exécution rapide des algorithmes exploités dans les téléphones sans fil. C'est le cas également pour la famille de processeur TMS320F/C240 de Texas Instruments qui est spécialisée dans le domaine de la commande industrielle, en particulier pour le contrôle de la conversion d'énergie et la commande de moteur électrique (commande vectorielle).

### 1.7. Historique et évolutions récentes

Les circuits spécialisés en traitement du signal ont profité de l'évolution technologique mais sont globalement restés « à la traîne » par rapport aux microprocesseurs et microcontrôleurs, qui sont les moteurs de l'industrie de l'époque. Les quelques circuits implémentant des fonctions DSP sont des blocs câblés non programmables réalisant des traitements simples de type Filtre ou Transformée de Fourier.

Il faut attendre le milieu des années 80 pour voir apparaître les premiers processeurs programmables spécialisés dans le traitement du signal (DSP). L'architecture de ces processeurs reste alors relativement basique et découle directement de la structure des filtres numériques.

La véritable révolution survient au début des années 90 avec l'émergence des applications multimédias, de l'Internet et de la téléphonie mobile. La complexité de ces applications et les fortes contraintes en terme de performance liées à ces domaines obligent les concepteurs de circuits spécialisés DSP à envisager de nouvelles solutions matérielles et logicielles. C'est ainsi qu'on a vu apparaître dans les processeurs de traitement du signal des techniques architecturales modernes tels les jeux d'instructions VLIW, les architectures superscalaires et fortement pipelinées, les architectures multiprocesseurs, etc. Dans le même temps, les microprocesseurs généraux se sont dotés d'extensions matérielles spécialisées pour le multimédia (ex : l'extension MMX du Pentium) et les fabricants de FPGA ont commencé à proposer des bibliothèques de macrocellules orientées DSP. Les coprocesseurs de type ASIC (Application Specific Integrated

Circuit) ne sont cependant pas en reste puisqu'ils restent incontournables pour implémenter les fonctions complexes qui ne peuvent se satisfaire d'une solution partiellement logicielle.

Aujourd'hui, les domaines d'application dans lesquels intervient le traitement du signal sont très nombreux, et la diversité des solutions matérielles d'implémentation est elle aussi très grande. Ce rapport présente le « domaine traitement du signal » et fait le point sur les différentes solutions d'implémentation.

Parmi les fabricants des circuits intégrés les plus fervents dans le marché, on trouve Microchip. En effet, Microchip annonce le lancement de la nouvelle famille de contrôleurs de signal numérique 16 bits dsPIC33CK, qui offre aux développeurs système la puissance d'un DSP associée à la simplicité de conception d'un microcontrôleur.

Conçu pour fournir des performances déterministes plus rapides sur les applications de commande soumises à des contraintes de temps, les dsPIC33CK possèdent davantage de jeux de registres pour réduire les latences d'interruptions, ainsi qu'une nouvelle exécution des instructions, plus rapide, visant à accélérer les routines du processeur de signal numérique (ou DSP, pour Digital Signal Processor). La famille dsPIC33CK à simple cœur complète la famille double cœur dsPIC33CH récemment présentée, basée sur le même noyau.

Avec une vitesse de 100 MIPS, le cœur du dsPIC33CK atteint des performances quasiment deux fois plus rapides que les DSC dsPIC à simple cœur de la génération précédente, les rendant particulièrement adaptés pour la commande de moteur, les alimentations numériques et les autres applications requérant des algorithmes complexes, comme les capteurs automobiles et les automates industriels. Il est spécialement conçu pour commander plusieurs moteurs sans balais et sans capteurs, en faisant tourner des algorithmes de contrôle de flux (FOC, Field-Oriented Control) et la correction du facteur de puissance.

## ***1.8 Conclusion***

Dans ce chapitre, on a présenté les définitions et la présentation des différentes familles de DSP, qui est défini comme un système électronique qui traite les signaux numériques, la classification des DSP, les domaines d'application des DSP et principaux algorithmes traitant les signaux numériques. On a pu aussi comparer Le DSP au microprocesseur et au microcontrôleur et évoquer l'historique et les évolutions récentes. Nous terminons par dire que Parallèlement aux microprocesseurs et aux microcontrôleurs, les processeurs de traitement numérique du signal, ou DSP (*Digital Signal Processor*), ont bénéficié d'énormes progrès en rapidité (grâce au faible temps de commutation) et en puissance de calculs (grâce au nombre de bits des bus internes) des composants logiques intégrés programmables.