

INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Les composants FPGA s'invitent dans le traitement du signal

Le DSP (Digital Signal Processeur) a longtemps régné en maître absolu dans les applications de traitement numérique du signal. Depuis quelques années, il fait doit faire face à un nouveau concurrent : le FPGA (Field Programmable Gate Array). Celui-ci a déjà plus de 20 ans de carrière mais l'intégration de nouvelles fonctions (mémoires, processeurs, etc.) lui permet de sortir de ses applications classiques de traitement d'opérations de logique booléenne et d'accéder aux applications complexes de traitement du signal et d'images. On le trouve de plus en plus sur les cartes standards. Il est donc important de savoir de quoi il s'agit. C'est ce qu'explique ici Patrick Méchin de Techway.

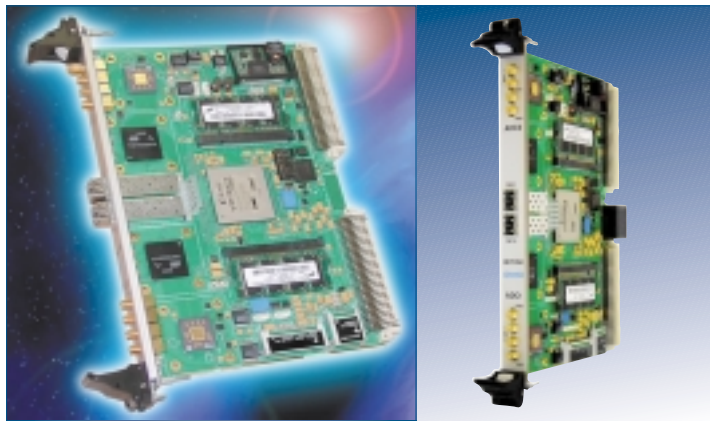
Strictu sensu, Field Programmable Gate Array (FPGA) signifie "réseau de portes programmables sur site". Les FPGA sont des composants électroniques qui comportent un grand nombre de fonctions logiques de base (ET, OU, etc.) que l'utilisateur peut combiner entre elles en fonction des besoins de l'application. Depuis une bonne vingtaine d'années, ils sont couramment utilisés sur les cartes électroniques pour assurer des fonctions traditionnelles de logique câblée. La technologie a beaucoup évolué ces derniers temps et les FPGA sont devenus aujourd'hui de véritables

L'essentiel

- ▶ Les FPGA sont devenus un composant incontournable sur les cartes de traitement du signal et d'images
- ▶ Ils combinent les avantages des ASIC (petite taille) et des processeurs programmables (souplesse d'utilisation, achat possible en très petites quantités)
- ▶ Ils ont bénéficié récemment d'une forte amélioration des performances
- ▶ Ils continuent d'évoluer : fréquences plus élevées, nouvelles fonctions (conversion A/N par exemple)

processeurs numériques des signaux, qui viennent concurrencer les composants DSP et ASIC.

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 dans un encombrement réduit. En



Cette carte d'acquisition au format VXI (VME) 6 U offre 2 voies à 2 Géchs/s et possède 8 liaisons série full duplex 2,5 Gbit/s. Elle est équipée d'un FPGA VirtexII Pro de Xilinx. (doc. Qinetiq)

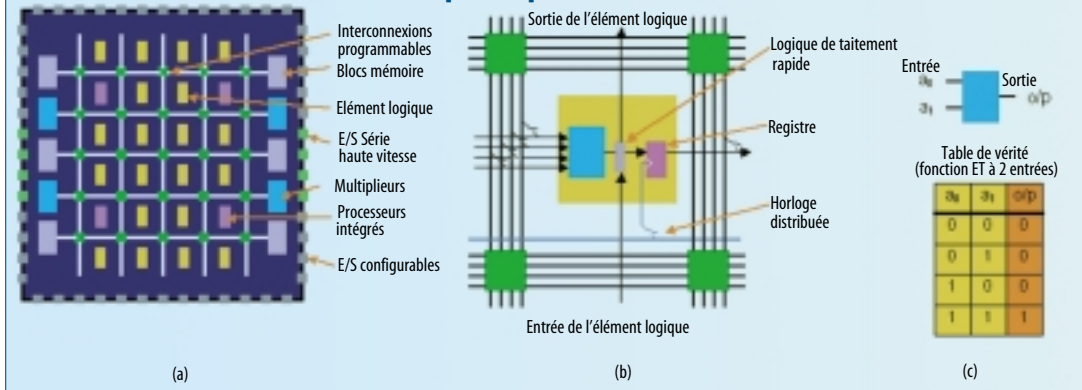
termes de puissance de calcul ramenée à la consommation électrique, au poids et au volume, les performances des ASICs excèdent de plusieurs ordres de grandeur celles des microprocesseurs et microcontrôleurs traditionnels.

Les ASICs souffrent cependant de quelques handicaps. Les coûts de conception et l'investissement initial en production sont énormes. Pour qu'un composant ASIC ait un prix abordable, il faut qu'il soit fabriqué en grande série, de façon à amortir ces investissements initiaux. Du coup, cette

technologie est inabordable dans beaucoup de projets.

Les FPGA sont par contre beaucoup plus accessibles. Il s'agit en effet de composants standard fabriqués en masse et les coûts initiaux sont répartis sur l'ensemble des utilisateurs. Comme tout composant standard, ils peuvent être achetés en petites quantités. Du fait qu'il s'agit de composants reprogrammables, les FPGA ne présentent pas le risque que l'on a avec les ASIC (où la programmation est "coulée" dans le silicium) et il est plus facile de faire des modifications et des mises à niveau. Leurs perfor-

Schéma de principe d'un circuit FPGA



Les circuits FPGA actuels ne se contentent pas de faire des combinaisons de fonctions logiques (ET, OU, NON, etc.) élémentaires. Ils comportent de la mémoire et des processeurs et peuvent réaliser de nombreuses fonctions de traitement du signal (filtrage numérique, FFT, etc.). A court terme, ils intégreront également des convertisseurs analogique/numérique et bien d'autres fonctions.

mances ramenées à la consommation, au volume et au poids s'approchent de plus en plus de celles des ASIC. Tout comme les ASIC, les FPGA peuvent remplacer les processeurs de calcul standard et permettent de gagner plusieurs ordres de grandeurs en volume et en poids. Ces arguments sont particulièrement intéressants dans les applications portables.

Des outils à améliorer

Malgré tout, les FPGA ne s'imposent pas si facilement dans les applications de traitement du signal. Il y a deux raisons à cela. La première, c'est que pour programmer efficacement un FPGA, il faut repenser

les algorithmes fondamentaux du traitement du signal. De plus, il ne suffit pas d'avoir des compétences en logiciel, il faut également des compétences en électronique numérique (au niveau "matériel"), et rares sont les ingénieurs à avoir cette double compétence "matériel/logiciel". La deuxième raison qui freine l'utilisation des FPGA, c'est que les outils de conception standard pour FPGA ne sont pas adaptés pour réaliser des applications de traitement du signal un peu complexes. Leurs fonctionnalités sont trop limitées lorsque l'on veut concevoir des systèmes complexes où de multiples FPGA doivent être associés avec

trouvait sur les cartes, les FPGA ont évolué vers des dispositifs à 10 000 000 portes capables de mettre en œuvre un sous-ensemble complet de traitement du signal sur un simple composant. Les FPGA actuels ont tous la même architecture de base, à laquelle s'ajoutent des fonctionnalités qui adressent des applications particulières.

Les fondements des FPGA

L'architecture de base des FPGA actuels se compose d'un réseau d'éléments logiques de base, complété par un réseau maillé d'interconnexions programmables, avec un grand nombre d'entrées/sorties (plus de 1 000 broches sur certains modèles). La sélection des fonctions logiques, la configuration des interconnexions et la définition des entrées/sorties sont réalisées en téléchargeant un fichier binaire de configuration à l'intérieur du FPGA. Sur certains FPGA, le fichier de configuration est stocké dans une mémoire non-volatile et il est ainsi conservé lorsque le système n'est pas sous tension. Sur d'autres, la configuration est stockée dans la mémoire volatile, et le circuit doit donc être réinitialiser à chaque mise sous tension. Chaque élément logique se compose typiquement d'une table de vérité qui implémente des fonctions logiques, d'un registre, et d'une logique dédiée pour permettre de réaliser les opérateurs arithmétiques comme par exemple des additionneurs. Les registres sont cadencés par des horloges qui se "propagent" dans le FPGA avec de très faibles variations temporelles.



Cette carte mezzanine au format PMC (elle peut se monter sur des cartes PCI, CompactPCI et VME) fait office de carte coprocesseur. Le cœur est constitué par un FPGA Virtex II de Xilinx. Elle comporte jusqu'à 16 Mo de SDRAM, 256 Mo de SDRAM et 32 Mo de flash. (doc. Alpha Data)

des processeurs conventionnels. De nouveaux outils arrivent, avec des fonctionnalités "traitement du signal" mais il existe toujours un pas important à franchir pour concevoir des systèmes comportant plusieurs circuits de traitement du signal.

Les FPGA n'ont cessé de se développer depuis une vingtaine d'années. Du petit composant conçu pour rassembler les nombreux circuits logiques élémentaires (ET, OU, NAND, NOR...) que l'on

Le FPGA face aux ASIC et aux DSP

	ASIC	FPGA	CPU et DSP
Performances	Très élevées	Elevées	Faible
Taille et poids	Faibles	Moyens	Elevés
Consommation	Faible	Modérée	Très élevée
Intégration	Système sur une puce	Système sur une puce	Composants associés nécessaires
Souplesse	Fonctions figées	Reconfigurable	Programmable
Expertise pour la mise en œuvre	Elevée	Moyenne	Moyenne
Investissement initial (vu de l'utilisateur)	Très élevé	Faible	Faible

Les FPGA actuels travaillent avec des horloges allant jusqu'à 400 MHz, mais pour les applications de traitement du signal, une horloge de 200 MHz fait généralement l'affaire.

Les innovations récentes de la technologie de FPGA ont permis d'améliorer la densité des éléments logiques et les possibilités d'entrées/sorties de données. On trouve couramment aujourd'hui des FPGA comportant des blocs mémoire de 20 Ko ; les plus gros FPGA peuvent intégrer jusqu'à 400 de ces blocs.

Les éléments logiques des FPGA peuvent également comporter des multiplieurs. Ceux-ci travaillent typiquement sur des mots de 18 bits de longueur et, comme pour les blocs mémoire, les plus gros FPGA peuvent comporter plus de 400 de ces multiplieurs. Ces FPGA sont conçus spécifiquement pour les applications de traitement du signal, et ils consomment en général 10 % de la puissance d'un multiplieur équivalent réalisé en utilisant des multiplieurs élémentaires.

Le plus beau reste à venir

Les FPGA les plus récents comportent également des microprocesseurs embarqués dans la logique. Ce sont des processeurs standard (type ARM ou PowerPC), qui permettent de concevoir des systèmes complets sur une puce (System on Chip). La programmation des processeurs embarqués se fait à l'aide des outils standard, tant au niveau des langages (le langage C par exemple) que des systèmes d'exploitation temps réel (de type Vxworks, Linux, etc.). Le FPGA permet de personnaliser les fonctionnalités du processeur embarqué, en y ajoutant par exemple des fonctions de calcul flottant accessibles depuis la programmation C.

La méthodologie de conception d'applications basées sur des FPGA fait appel à l'utilisation de "blocs fonctionnels" ou cœurs IP (IP pour "propriété intellectuelle"). La conception de ces blocs nécessite souvent plusieurs mois d'efforts, les qualifications nécessaires sont rares et les outils de conception courants sont tout à fait limités. Fort heureusement, de tels blocs sont disponibles en standard : ils sont génériques, paramétrables et réutilisables à volonté. Tous les fabricants de FPGA (Xilinx, Altera) proposent de tels blocs. C'est le cas aussi de sociétés spécialisées en traitement du signal, comme QinetiQ par exemple.

Les capacités de calcul massif des dernières générations de FPGA imposent un accès aux données à très haut débit. Pour ce faire, ils disposent d'interfaces série à haut débit, pouvant aller jusqu'à 3,125 Gbit/s. Ces interfaces supportent un certain nombre de protocoles de communication émergents, de type gigaEthernet, RapidIO, PCIExpress, Infiniband et offrent des capacités de bande passante inégales à ce jour sur des systèmes basés sur des microprocesseurs.

Les plans de développement des fournisseurs prévoient que les futures générations de FPGA incorporeront de la RAM dynamique ainsi que des convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique. Ces perfectionnements permettront de construire sur un seul composant des systèmes complets de traitement du signal des capteurs. Ceci simplifiera les architectures des systèmes et permettra de vulgariser l'usage des processeurs de signaux. Les capacités de traitement vont également considérablement augmenter. Les fréquences d'horloge sont prévues pour atteindre

prochainement 1,1 GHz, tandis que le nombre de portes va passer de 10 à 50 millions. Les systèmes de traitement du signal pourront être réalisés avec beaucoup moins de composants, ce qui permettra de réduire leur taille, leur poids et la puissance consommée ; le MTBF (temps de bon fonctionnement entre pannes) s'en trouvera évidemment amélioré.

Présents sur les cartes standard

L'utilisation de FPGA pour réaliser des systèmes de traitement du signal ou de traitement d'image n'est plus réservée aux concepteurs de cartes électroniques. On trouve aujourd'hui sur le marché de nombreuses cartes électroniques standard sur lesquelles des FPGA sont utilisés comme unité de calcul et de communication. Prenons quelques exemples, pris dans le portefeuille de Techway.

Il y a d'abord des cartes de type co-processeur FPGA. C'est le cas notamment des cartes à base de Virtex II Pro au format XMC (PCIExpress Mezzanine Card) proposées par Tekmicro ou celles au format PMC proposée par Alphadata. Ces cartes mettent en œuvre les liaisons série haut débit ainsi que le bus PCI pour transporter les données.

Il existe aussi des cartes de conversion analogique/numérique et numérique/analogique qui intègrent de puissants FPGA pour supporter les algorithmes de calcul : c'est le cas par exemple de la gamme Quixilica proposée par QinetiQ.

Les applications de vision ne sont pas en reste, en particulier les applications d'imagerie, qui nécessitent des processeurs de vision pour accélérer les traitements. Ainsi, Matrix Imaging fait évoluer ses produits dans ce sens et propose déjà sur les processeurs de vision Odyssey une extension de calcul à base de co-processeur FPGA.

La présence de FPGA sur ces cartes apporte trois évolutions significatives :

- plus de performance sur des fonctions existantes : le FPGA incorpore des fonctions jusqu'alors exécutées par les processeurs classiques.
- de nouveaux algorithmes : le FPGA, de par son architecture (en particulier le parallélisme), permet d'implémenter de toutes nouvelles fonctions de traitement d'image.
- possibilité de "personnalisation" : le FPGA permet aux utilisateurs de personnaliser le matériel en implémentant leurs propres algorithmes dans le calculateur.

Patrick Méchin
Directeur général de Techway