

DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



979

NICE du 20 au 24 MAI 1985

LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
FACE AUX EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ; UN PASSE,
UN AVENIR, DES ELEMENTS CONSTANTS

Patrick LAIDET

SINTRA - 1 Avenue Aristide Briand 94117 ARCUEIL CEDEX

RESUME

Comme de nombreux autres domaines, l'acoustique sous-marine profite largement des évolutions technologiques. Chaque année apporte son lot de nouveautés et les "nouvelles possibilités" y sont fréquentes. Néanmoins, il faut distinguer les éléments qui permettent une évolution significative au niveau d'un système global, de ceux qui ne sont que trop ponctuels pour entraîner un gain appréciable ou qui induisent de nouvelles contraintes fort difficiles à maîtriser.

En partant d'un produit, aujourd'hui disponible, qui permet de réaliser des systèmes de traitement du signal et des informations associés, sur des exemples empruntés à l'acoustique sous-marine, on peut déduire les conséquences des diverses évolutions des composants.

Cette approche à partir d'éléments concrets permet pour chacune des évolutions envisagées d'en déduire son impact sur le système global et ainsi on peut mesurer l'intérêt relatif de ces nouveautés technologiques et leurs conséquences à long terme.

SUMMARY

To many other fields, submarine acoustics are widely submitted to technological evolutions. Each year brings its part of innovation, and "new possibilities" are frequently discovered. Nevertheless, the elements allowing a significant evolution at the level of a whole system, must be distinguished from those which are only too temporal to bring a valuable progress or which lead to new requirements, difficult to master.

Studying a product, nowadays available, allowing the development of signal and associated data processing systems, from examples choosen in submarine acoustics, consequences of the various component evolutions can be inferred.

This approach, based on concrete elements, allows, for each of the concerned evolutions, to infer its influence on the whole system and then, the relative interest of the technological innovations and their long-dated consequences can be estimated.



LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
FACE AUX EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ; UN PASSE,
UN AVENIR, DES ELEMENTS CONSTANTS

1. UN EXEMPLE DE PRODUIT EVOLUTIF, LE PPS

Le produit PPS (1) a été conçu comme une structure d'accueil totalement programmable et fortement modulaire pouvant, par la richesse des architectures possibles, être utilisée dans une grande variété d'applications. Il ne met pas en oeuvre une architecture "idéale", mais des structures locales (notion d'opérateurs) bien adaptées à tel ou tel type de problème et utilisant des services communs (horloge, mémoires, etc...).

Aujourd'hui, ce produit est entièrement industrialisé, à jour vis à vis des composants disponibles sur le marché, et prêt à mettre en oeuvre les futurs circuits. Les premières machines industrielles ont été livrées début 85.

Le produit PPS comporte :

- un ensemble de 25 types de cartes 1/2 ATR (monotension) qui représentent l'unité centrale, les mémoires, les divers opérateurs arithmétiques, les outils de test et de localisation d'avarie,
- un ensemble de modules de liaison vers l'extérieur (riche aujourd'hui de 25 types de cartes, 1/2 ATR également) allant depuis de simples interfaces électriques jusqu'à des canaux intelligents multiplexés commandés par microprocesseurs (68000 + bus LIPS, GAMT102),
- tous les outils industriels de production et de test (carte à carte, par sous-ensemble et global),
- un ensemble de logiciels de génération (assembleur, édition de liens, LTR V2.5 avec générateur d'application, des générateurs de tables et les divers modules de chargement),
- le moniteur temps permettant l'exécution du LTR V2.5,
- une bibliothèque de programmes (traitement du signal, de l'information, éléments arithmétiques, divers logiciels de test, chargeurs, et autres fonctions de service, ...)
- des outils de déverminage du logiciel en temps réel en structure multi-processeurs.

Ce produit profite en permanence d'études technologiques et d'architecture, celles-ci étant guidées par les évolutions prévisibles des composants ainsi que les besoins des futures applications envisagées.

En général, une évolution enrichit la liste des constituants du produit (nouvelle fonctionnalité). Parfois, celle-ci provoque une remise en cause de quelques uns des constituants mais elle profite immédiatement de l'apport de tous les autres éléments qui n'ont pas été affectés par cette évolution.

2. QUELQUES UTILISATIONS CARACTERISTIQUES

Le PPS est donc un ensemble de cartes électroniques, d'outils et de logiciels qui permettent de construire des machines dont les domaines d'application ainsi que les performances sont très variés.

Si l'on cherche à identifier les diverses machines ainsi réalisables, on peut actuellement

en distinguer quatre grandes classes :

- * Les automates de calcul
- * Les processeurs vectoriels (SIMD* et MIMD*)
- * Les processeurs de traitement du signal à opérateur interne
- * Les machines langage.

Ces diverses configurations permettent, avec la même logistique, de répondre pratiquement à tous les besoins qui demandent des machines programmables à hautes performances.

Typiquement, les automates de calcul se trouvent près des capteurs, sur les boucles d'asservissement, dans les organes de visualisation (génération d'image). Les processeurs vectoriels sont sur les étages où les traitements sont les plus systématiques et ont peu d'intelligence (filtrage, formation des voies, FFT). Les machines de traitement du signal assurent les traitements variés, souvent fortement paramétrables, elles sont généralement situées en aval des processeurs vectoriels et en amont du traitement de l'information. Enfin les machines langage assurent la partie intelligente des systèmes en gérant les données, en assurant les traitements de "regroupement", en communiquant avec l'environnement par l'intermédiaire d'une grande variété de coupleurs d'entrée-sortie.

Des associations de PPS, (réalisables sans les freinages habituels dus aux échanges, ceci grâce aux mémoires en multiaccès à partage temporel), permettent de multiplier la puissance disponible par le facteur nécessaire à l'application.

L'expérience a montré qu'à caractéristiques égales, le volume, la consommation et le prix du matériel qui résultent de telles associations sont tout à fait comparables à ceux des solutions dites dédiées, mais évitent le "patch-work" des ensembles de ce type.

2.1. Les automates de calcul

Construits à partir de cartes PPS pour piloter des organes spécifiques (coupleurs, organes de calcul, mémoire d'image, ...) de tels ensembles permettent de mettre en oeuvre les mêmes cartes, les mêmes outils et les mêmes logiciels que les autres matériels du système.

L'architecture d'un automate est propre à l'application qui l'utilise.

La mise au point des systèmes utilisant ces automates se fait avec tout l'environnement PPS, c'est-à-dire, avec des outils complets testés et performants qui ne demandent pas de développement particulier.

La taille de ces automates est très variable. Sans les mémoires ni les coupleurs, ils peuvent varier de deux cartes 1/2 ATR à plus d'une vingtaine.

2.2. Les PPS avec opérateur interne

Dans ce cas, le coeur de la machine s'aide d'une unité arithmétique ou logique particulière (opérateur) pour traiter un algorithme donné. Les performances sont typiquement multipliées par 5 à 20 sur cet algorithme

*SIMD = Single Instruction Multiple Data

*MIMD = Multiple Instructions Multiple Data



LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
FACE AUX EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ; UN PASSE,
UN AVENIR, DES ELEMENTS CONSTANTS

et ceci sans recours au parallélisme ou autre artifice équivalent.

2.3. Les PPS processeurs vectoriels

Un coeur de PPS avec son environnement, participe aux échanges, synchronise les tâches sur les données, reconfigure des opérateurs et assure les traitements scalaires.

Dans ce type de configuration, on rencontre des machines SIMD, par exemple 2 à n opérateurs sur un même PPS permettant de traiter des informations en parallèle, et des machines MIMD par exemple, plusieurs opérateurs (tel que FV formation de voies "sigma de $Ai \cdot Xi$ " avec loi d'adressage non triviale) qui sont eux-mêmes des machines élémentaires SIMD et qui travaillent sans freinage de la ressource coeur PPS.

La taille de ces machines est très variable. Cela va de 20 à 30 cartes si on inclut les mémoires, les coupleurs etc... à 70 cartes qui est la limite actuelle fixée pour une configuration PPS (sans les coupleurs). Leur puissance disponible est de 2 à 20 fois supérieure à celle des machines à opérateur interne.

2.4. Les PPS machines langages

Il s'agit des machines d'usage général adaptées au traitement de l'information tant numérique que non numérique. Grâce aux diverses extensions que ces machines peuvent recevoir, leur domaine d'application dépasse largement celui des machines informatiques classiques.

Leur originalité est qu'elles sont programmables en LTR V2.5 et qu'elles disposent de divers artifices permettant une exécution rapide de ce langage (interprétation logicielle avec aide câblée du code intermédiaire de la souche V2.5 ; par exemple, l'introduction $LTR A = B + C$ demande 1,76 micro-sec pour des entiers 16 bits).

Equipé d'une mémoire 1 Méga/octets, des opérateurs LTR et flottant câblé, du moniteur temps réel, un tel processeur représente actuellement 50 cartes 1/2 ATR sans ses coupleurs. La puissance de ces machines les place largement au-dessus de tous les ordinateurs militaires aujourd'hui disponibles sur le marché français et ceci dans un volume souvent inférieur.

3. EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Un organe de traitement numérique est constitué de trois types de composants :

- les mémoires
- les unités de calculs
- les interfaces, buffers, registres, ...

Pour le concepteur de systèmes, l'évolution technologique des composants possède deux axes principaux, la réduction de consommation et l'augmentation de vitesses. Grâce à la réduction de consommation, la complexité des circuits

peut croître et ainsi rendre réalisables des fonctionnalités qui ne l'étaient pas auparavant, compte tenu des diverses contraintes pesant sur le système.

Rôle primordial des mémoires

Si l'on prend comme exemple les systèmes réalisés à l'aide du produit PPS, on constate que, pour un même ensemble de traitements, sur une période de 4 années, la capacité de cartes mémoire a été multipliée par 4 et le nombre de ces cartes est passé de 43% à 55% du volume des systèmes réalisés. Donc, l'évolution technologique a été plus lente que celle des besoins. Sur une période plus longue que 8 années, la capacité des composants est multipliée par 16 et aucun revirement de la tendance (augmentation du nombre de cartes mémoire plus rapide que les autres types) n'est en vue.

Certaines applications sont en attente des futurs composants : 1 M bits Mos dynamique et 256 K bits Mos statistique, qui ne seront produits industriellement qu'en 86 et 87 respectivement. L'importance des mémoires dans le volume des systèmes rend particulièrement sensible l'évolution de ce type de composants. Donc si l'on veut facilement suivre cette voie comme cela est fait avec le produit PPS, il faut remplir deux conditions :

- isoler physiquement la fonction mémoire de telle sorte que le changement de composant affecte un nombre très réduit de type de cartes,
- avoir des voies d'adressage assez larges pour supporter plusieurs générations de composants ou du moins, pouvoir élargir ces voies (sur le PPS, on élargit pour 2 générations, rapport 16 ou 4 bits, tous les 6 à 7 ans).

Ainsi, on peut en modifiant un à deux types de cartes tous les 3 à 4 ans, faire une mise à niveau technologique de plus de 50% de cartes d'un système.

Les opérateurs arithmétiques

L'effort fait par les fabricants de composants pour réduire la consommation et augmenter la vitesse se retrouve en particulier sur ce type de composants. Ceci leur permet de proposer des unités arithmétiques plus intégrées (passage du "bit slide" ou "word slide"), plus rapides et ayant une arithmétique plus riche (flottant, multi-longueur, etc ...).

Pendant plusieurs années, les problèmes de nombre de pattes ont gêné cette évolution, il semble que grâce au "Pin Grid - Array" et au "Chip carrier" cette difficulté soit en train d'être contournée avec toutes les conséquences importantes sur les architectures des systèmes et la fabrication des matériels.

L'augmentation de vitesse des composants ne permet pas un gain proportionnel du fait qu'entre autre, il s'agit d'une évolution non homogène sur l'ensemble des constituants.

Si l'on prend par exemple l'algorithme de filtrage transversal, ou celui de formation des voies qui se réduit à la même expression (à la



LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
FACE AUX EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ; UN PASSE,
UN AVENIR, DES ELEMENTS CONSTANTS

taille des mémoires près et des lois d'adressage qui sont plus complexes), on constate qu'entre 1980 et fin 84 on a vu les évolutions suivantes (gamme militaire) :

- le multiplieur accumulateur est passé de 200 ns à 100 ns
- la mémoire avec son environnement, de 100 ns à 70 ns
- la logique d'adressage est restée à 2 x 100 ns ; 100 ns de calcul de l'adresse, 100 ns de limitation du domaine d'accès (modulo, borne, etc...). L'évolution des composants dans ce domaine est nettement plus lente que pour les autres constituants (évolution prévue 85-86).

En conséquence, l'exploitation actuelle de ces multiplieurs-accumulateurs 100 ns obligent à doubler la logique d'adressage et à améliorer de 50% le parallélisme d'accès à la mémoire. Tout ceci fait qu'au niveau d'un système global, le gain n'est pas très significatif bien que localement au niveau d'un opérateur il puisse être judicieux d'utiliser un tel composant.

Une autre limitation à l'accroissement de la vitesse vient de la relation qui existe entre la performance arithmétique et la surface mémoire. Par exemple, en FFT 1024 complexe, il faut 4 K éléments réels (1 K complexe et buffers basculants) pour effectuer un traitement conjoint, hors zones de travail. Donc, si la fréquence d'échantillonnage ne change pas, augmenter par n les performances d'un opérateur conduit à faire de même sur les mémoires. Dans le contexte ci-dessus avec une fréquence d'échantillonnage de 4 kHz, un opérateur FFT 1024 à 5 ms induit 400 K éléments de mémoire. Passer cet opérateur à 0,5 ms, ce qui est réalisable élémentairement aujourd'hui même en flottant, entraîne une mémoire de 4 Méga-éléments et un cycle de 10 ns par élément. Or ceci ne peut être obtenu, surtout dans ces capacités, que par un effort de parallélisation donc une augmentation du nombre de voies d'adressage. Le volume du système final qui en résulte, est loin d'être dans le rapport des performances.

L'intégration des composants arithmétiques est elle aussi une incitation à l'augmentation de la surface des mémoires. En effet, l'apparition de composants travaillant sur un plus grand nombre de bits (flottant, accumulateurs 32, 40, etc... bits) conduit à manipuler des mots plus longs avec tous les avantages que cela apporte sur la qualité des traitements arithmétiques, mais induit des mémoires et des voies d'accès plus larges.

En conclusion, l'évolution des performances des composants arithmétiques demande une augmentation de la surface des mémoires et une multiplication des voies d'adressage. Ceci à pour conséquence que pour une même fonctionnalité le volume final d'un système n'est pas proportionnel aux performances de ces constituants arithmétiques.

Les composants de service

Sous ce terme, on entend les buffers, registres, multiplexeurs et autres interfaces ainsi que les logiques de commande.

À leurs niveaux, pour des raisons de nombre de points d'accès, il y a peu d'évolution d'intégration, leurs principales améliorations étant l'augmentation de la vitesse et la réduction de la consommation.

L'augmentation de la vitesse est nécessaire pour rester cohérente avec les mémoires et les unités arithmétiques. La réduction de consommation permet d'envisager des techniques d'intégration au niveau du système qui devraient dans les années à venir compenser l'élargissement des bus.

L'intégration de la logique de commande (PAL, ...) ne parvient pas, pour des raisons de performances, à rattraper l'augmentation de complexité due au plus grand parallélisme des systèmes.

Tous ces éléments qui représentent actuellement 50 à 60% des composants des systèmes ne devraient pas voir leur proportion réduire ; donc leur impact très significatif sur le volume des matériels futurs ne pourra être limité que par des techniques de densification sur les cartes.

CONCLUSION

Dans les systèmes de traitement du signal à haut débit de calcul, les mémoires jouent un rôle prépondérant, peut être encore plus important que dans les systèmes classiques.

Leur nombre de cycles effectifs par seconde est la première limitation des performances opérationnelles des diverses unités arithmétiques.

L'accroissement du débit d'opérations par seconde entraîne une augmentation de la surface des mémoires.

En conséquence, le niveau technologique d'un matériel est très lié à celui de ses mémoires d'autant plus que celles-ci représentent plus de 50% des cartés des systèmes.

Les systèmes des années à venir auront des unités arithmétiques de plus en plus importantes tant par la surface qu'elles occupent avec leur environnement que par le débit de traitement offert. L'évolution de la qualité arithmétique (flottant) sera plus spectaculaire que l'évolution de la vitesse (gain de 2 à 3 d'ici la fin de la décennie au niveau de la fonction élémentaire : addition, multiplication). L'approvisionnement en informations de ces unités sera fait par des mémoires locales où le parallélisme sera de rigueur (mono ou multi-adresses) afin d'offrir un débit suffisant. En conséquence, la surface de matériel dédiée aux mémoires restera importante et finalement variera assez peu par rapport aux systèmes actuels.

Les algorithmes qui ne permettent pas le parallélisme seront abandonnés principalement pour des raisons d'accès aux mémoires. En conséquence, il faudra disposer de nouveaux algorithmes ou dispositifs pour assurer ces fonctions.

LE TRAITEMENT DU SIGNAL EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
FACE AUX EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ; UN PASSE,
UN AVENIR, DES ELEMENTS CONSTANTS

- (1) PPS = Pré-Processeur du Signal, nom venant des origines de ce produit, aujourd'hui, il couvre la totalité des traitements depuis le capteur jusqu'à l'organe de visualisation inclus. Ce produit a été décrit lors du colloque GRETSI de 1979 et pour la version industrialisée dans le numéro de Septembre-Octobre 1984 de l'Onde Electrique.

