

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

PROPAL 2 UNE NOUVELLE ARCHITECTURE DE CALCULATEUR ADAPTÉE AU TRAITEMENT DE SIGNAL *

C. TIMSIT ET R. BOUDAREL

ADERSA/GERBIOS Vélizy - Yvelines

Groupement des Applications Militaires de la CII Vélizy - Yvelines

RESUME

Le traitement de signal rapide par ordinateur numérique implique l'utilisation de systèmes informatiques possédant des vitesses d'entrée/sortie et des possibilités de calcul très grandes. Les données traitées par ce type de systèmes sont très souvent parallélisables, et PROPAL 2 permet de satisfaire en grande partie ces besoins.

Le calculateur PROPAL 2 est constitué d'un processeur parallèle à parallélisme vrai et d'une unité de gestion.

Le processeur parallèle est divisé en processeurs élémentaires. Chaque processeur élémentaire est constitué d'une mémoire, d'un système d'entrées-sorties et d'une unité de calcul. Le nombre de processeurs élémentaires peut varier de 8 à 2 048.

Chaque processeur élémentaire est capable de réaliser toute opération booléenne ou arithmétique, et ceci sur des données de longueurs essentiellement variables. Les différents processeurs élémentaires sont munis de moyens d'intercommunication et d'entrées-sorties permettant des débits très élevés.

L'unité de gestion d'un processeur parallèle est constituée par un micro-ordinateur de la gamme MITRA permettant de programmer PROPAL 2 avec un jeu d'instructions compatibles avec celui de MITRA.

SUMMARY

Fast signal processing by digital computer implies "informatics" with rapid input/output and computation facilities. Data processed by this type of system are very often parallelizable and PROPAL 2 meets most of these needs.

The PROPAL 2 computer is composed of a truly parallel processor and a control unit.

The parallel processor is divided, in turn, into elementary processors. Each elementary processor has a memory, an input/output system, and an arithmetic/logic unit. Number of elementary processors can vary from 8 to 2048.

Each elementary processor is capable of executing any Boolean or Arithmetic operation on essentially variable-length data. The various elementary processors are equipped with intercommunication and input/output facilities for high throughput.

The control unit of a parallel processor is composed of a MITRA-range micro-computer that allows the PROPAL 2 programmer to use an instruction set compatible with the MITRA set.

* PROPAL 2 a été développé par l'ADERSA/GERBIOS avec la collaboration de CII/GAM au titre de la Convention DRME N° 76/34 155.

* PROPAL 2 has been developed by ADERSA/GERBIOS in collaboration with CII/GAM under agreement DRME No. 76/34 155.



PROPAL 2 UNE NOUVELLE ARCHITECTURE DE CALCULATEUR ADAPTEE AU TRAITEMENT DE SIGNAL

PROPAL 2 est un calculateur parallèle et associatif permettant de répondre aux besoins croissants de traitements en temps-réel de masses d'informations volumineuses, et sans pour cela recourir à des structures complexes et onéreuses.

PRINCIPES GENERAUX

Le calculateur PROPAL 2 est constitué d'une micro-machine très rapide gérant en parallèle un grand nombre (8 à 2 048) de "processeurs élémentaires" très simplifiés dans leur structure.

Chaque processeur comporte une mémoire d'au moins 256 bits, une unité de calcul, un système d'entrées-sorties et différents registres de travail. Toutes les opérations (arithmétiques ou booléennes) s'effectuent simultanément dans tous les processeurs sur des données de longueur variable ; il en est de même des entrées-sorties qui s'effectuent sur un "canal" dont la largeur est égale au nombre de processeurs élémentaires. Ces derniers peuvent également communiquer entre eux par un système dit "ascenseur" servant aussi au chargement des données par un canal de 16 bits.

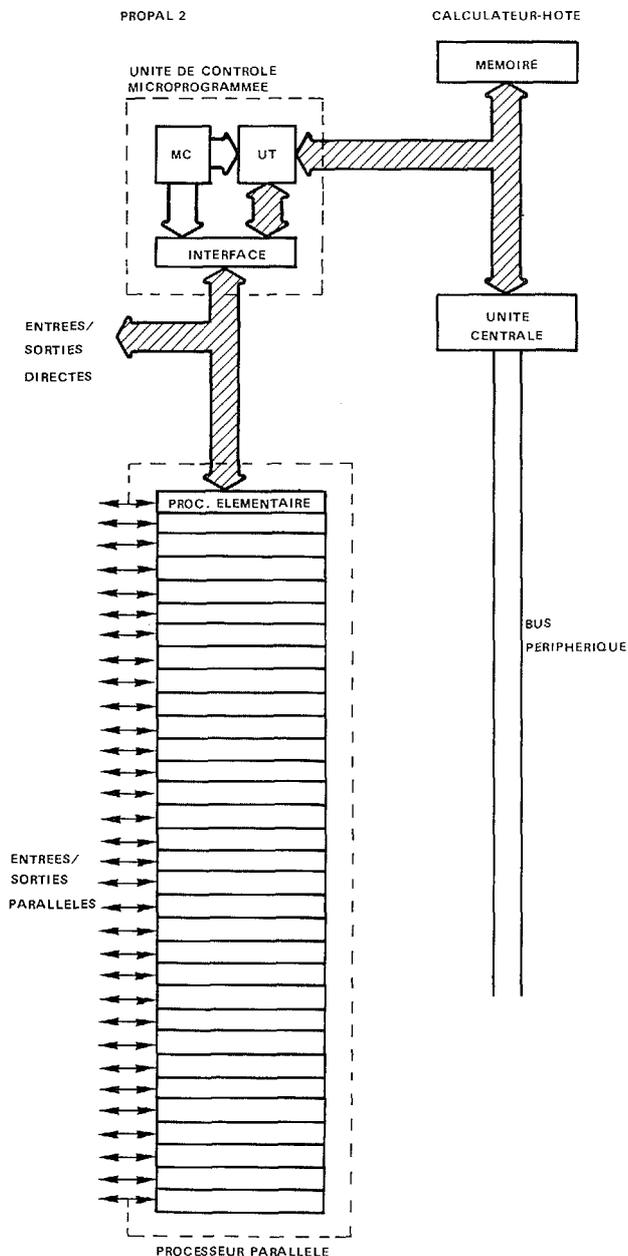


Figure 1 - ARCHITECTURE GENERALE

Cette structure présente un grand nombre d'avantages par rapport à des structures "classiques" :

- Possibilité de calculs plus rapides avec la même quantité et la même vitesse de mémoire, l'accès étant simultané sur toutes les données de calcul.

- Débit d'entrées-sorties pratiquement sans limites d'autant plus élevé que le nombre de processeurs est grand, du fait de l'accès en simultanéité sur un bus "parallèle".

- Possibilité de traitement des données avec la précision exactement nécessaire, l'élément de calcul n'étant pas un mot de longueur fixe, mais le bit, ce qui permet de définir des données de longueur quelconque. Ceci entraîne à la fois un gain de place et un gain de temps de calcul importants.

La micro-machine utilisée comme unité de contrôle des processeurs parallèles est un micro-ordinateur compatible MITRA doté de performances élevées (une micro-instruction standard dure 150 ns) et exécutant des micro-programmes de commande pour le compte de tous les processeurs élémentaires simultanément.

Un grand avantage de l'utilisation de ce micro-ordinateur est la possibilité de programmation du système PROPAL 2 par un jeu d'instructions directement compatibles avec le code MITRA, ce qui permet l'utilisation de tout le logiciel développé pour cette gamme. Un autre avantage est la possibilité de se connecter à la mémoire d'un "calculateur-Hôte", MITRA 125 par exemple, grâce à la compatibilité des interfaces de ces différents ordinateurs.

PERFORMANCES

Les performances du calculateur PROPAL 2 sont d'autant meilleures que le nombre de processeurs élémentaires est élevé. Par ailleurs, la possibilité de traiter des grandeurs de longueur variable (1 à 256 bits) permet de n'utiliser que les bits "utiles" et d'accélérer d'autant les calculs.

A titre d'exemple, sur un calculateur PROPAL 2 constitué d'un châssis de base (128 processeurs élémentaires), on a les performances suivantes :

- Addition -ADM- de deux "mots" de 16 bits réalisée en 2,5 μ s en parallèle sur chacun des 128 processeurs, soit une moyenne de 20 ns par addition.
- Entrées-Sorties sur un canal 16 bits (ascenseur) :
 - . 100 M bits/sec avec horloge interne
 - . 200 M bits/sec avec horloge externe
- Entrées-Sorties parallèles (128 bits) :
 - . 760 M bits/sec.

DESCRIPTION

Le calculateur PROPAL 2 comprend deux éléments principaux (voir figure 1) :

- Un processeur parallèle et associatif,
- Une Unité de Contrôle micro-programmée.

Cette dernière peut assurer les liaisons avec le "calculateur-Hôte" au profit duquel les traitements sont effectués.

PROCESSEUR PARALLELE

Le processeur parallèle de PROPAL 2 est constitué de processeurs élémentaires exécutant simultanément les mêmes opérations ; leur nombre P est compris entre 8 (1 carte PROPAL 2) et 2.048 (16 châssis de 16 cartes).

Un processeur élémentaire comprend (voir figure 2) :

- Une Mémoire (M) composée de N bits,
- Une Mémoire de travail (A) - l' "ascenseur" - de 16 bits (chaque bit peut-être considéré comme un registre de travail), servant aussi d'élément de communication entre les processeurs élémentaires,
- Une bascule de 1 bit (D) servant à la fois d'accumulateur et de bascule de condition,
- Une unité de calcul (OP) composée d'opérateurs booléens et arithmétiques capables de réaliser des opérations bit à bit sur des tranches de mémoire ou d'ascenseur ; on peut ainsi travailler sur des "mots" de longueur quelconque (1 à N bits dans le cas de la mémoire, 1 à 16 bits dans le cas de l'ascenseur),
- Un système d'entrées/sorties "parallèles" (EP/SP) sur des chemins de données de 1 bit.

Mémoire

L'ensemble des mémoires des P processeurs élémentaires constitue une mémoire matricielle de P lignes et N colonnes (P lignes de N bits ou N colonnes de P bits). Un ensemble de n colonnes ($n \leq N$) constitue une "zone" ; chaque processeur élémentaire travaille alors sur un "mot" de n bits.

Le système d'adressage de la mémoire permet d'effectuer une lecture et une écriture à la même adresse de bit lors d'une instruction PROPAL.

La mémoire est de type semi-conducteur avec un temps d'accès de 60 ns (1), sa capacité est de 256 bits. Il est possible d'augmenter cette mémoire jusqu'à une capacité de 16 Kbits par processeur élémentaire, en technologie MOS.

(1) boîtiers RAM 256 bits Technologie TTL L.S.

PROPAL 2 UNE NOUVELLE ARCHITECTURE DE CALCULATEUR ADAPTEE AU TRAITEMENT DE SIGNAL

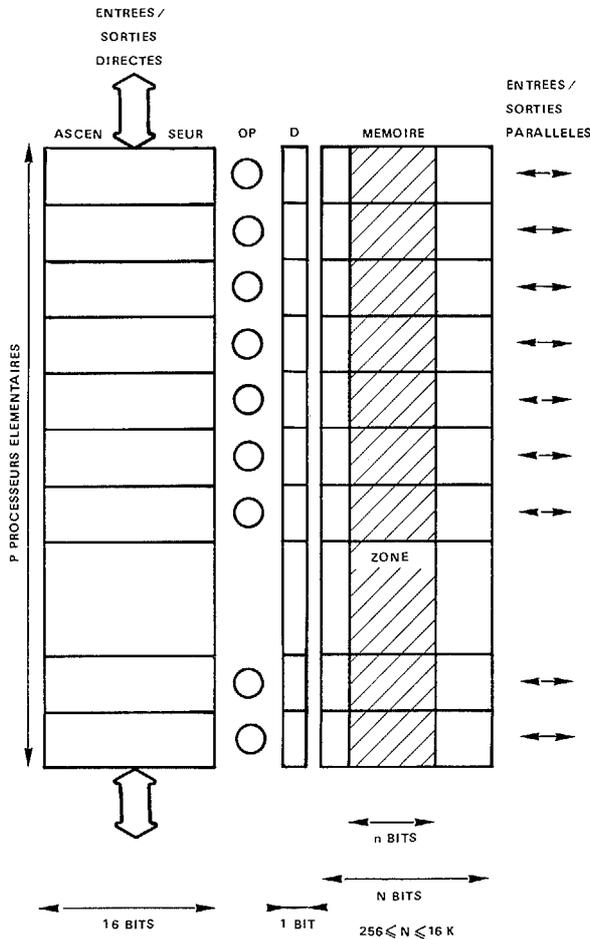


Figure 2 - SCHEMA FONCTIONNEL DU PROCESSEUR PARALLELE

Ascenseur

L'ascenseur constitue une mémoire de travail organisée en P blocs de 16 registres de 1 bit. Il peut être considéré comme une matrice de P lignes et 16 colonnes (P lignes de 16 bits ou 16 colonnes de P bits). Chaque colonne possède deux adresses (au niveau du bit) : une adresse de lecture et une adresse d'écriture.

Outre son utilisation en tant qu'opérande de l'unité de calcul, l'ascenseur permet d'assurer des échanges d'informations entre les différents processeurs élémentaires. Pour cela chaque colonne peut se comporter comme un registre à décalage de N bits ; chaque étage de l'ascenseur peut ainsi transférer des informations à ses voisins par blocs de 1 à 16 bits. De plus, un système de rebouclage permet l'entrée dans l'ascenseur de valeurs issues de l'étage le plus bas, de l'unité de contrôle micro-programmée ou de l'extérieur.

Entrées-Sorties

Un système d'entrées/sorties "parallèles" permet de lire/écrire des informations simultanément sur tous les processeurs élémentaires.

L'entrée parallèle (EP) peut être utilisée en tant qu'opérande lors de l'exécution d'une fonction booléenne ou arithmétique par l'unité de calcul ; de même le résultat de la fonction peut être aiguillé vers la sortie parallèle (SP) associée.

Ce système permet d'obtenir des débits d'entrée/sortie d'autant plus élevés que le nombre de processeurs élémentaires est grand.

Par ailleurs le système de rebouclage de l'ascenseur permet l'Entrée/Sortie d'informations lors de chaque décalage.

Ceci permet la lecture/écriture de données de 16 bits depuis/vers un périphérique ou la mémoire de l'unité de contrôle micro-programmée.

Unité de calcul (voir figure 3)

Dans la version minimale de PROPAL 2 l'unité de calcul associée à chaque processeur élémentaire comprend un opérateur permettant d'effectuer 16 fonctions booléennes de deux variables ; en option, des opérateurs supplémentaires permettent de réaliser un certain nombre de fonctions arithmétiques et logiques : addition et multiplication rapides, décalages, . . .

Une bascule (D) est associée aux opérateurs ; elle sert à la fois d'accumulateur (stockage du résultat d'une opération) et de bascule de condition ; dans ce cas le résultat d'une fonction ne sera transmis que si D est positionné à 1 ; D joue alors le rôle d'un "sémaphore" qui sera particulièrement utilisé dans toutes les opérations associatives.

Les diverses opérations arithmétiques et booléennes sont réalisées simultanément dans tous les processeurs élémentaires ; on peut donc effectuer des traitements en parallèle sur des zones de mémoire de largeur variable ($1 \leq n \leq N$) et de hauteur égale au nombre de processeurs élémentaires (P).

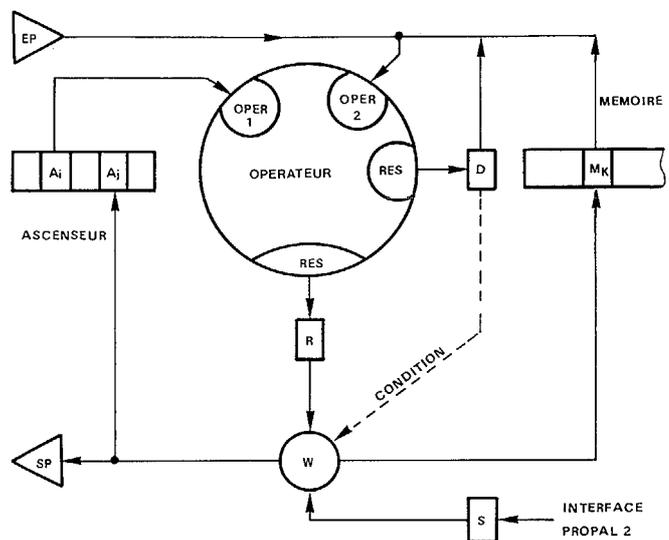


Figure 3 - OPERATIONS ELEMENTAIRES

UNITE DE CONTROLE MICROPROGRAMMEE

L'unité de contrôle micro-programmée de PROPAL 2 est constituée autour d'un micro-ordinateur compatible MITRA, à la fois micro-programmable et programmable ; dans ce dernier cas il peut exécuter le jeu d'instructions MITRA et ainsi bénéficier de tout un logiciel performant, en particulier des compilateurs de langage tel que le FORTRAN.

L'unité de contrôle comporte principalement (voir figure 1) :

- Le micro-ordinateur et sa mémoire de commande dans laquelle sont rangés les micro-programmes permettant le séquençage et la commande du processeur parallèle ; ce micro-ordinateur peut être doté d'un "accès bus mémoire" lui permettant d'accéder à la mémoire principale d'un calculateur - Hôte (MITRA 15 ou 125) ; il peut également posséder une mémoire principale propre.
- L' "Interface PROPAL 2" sur laquelle sont générés les différents signaux nécessaires au fonctionnement du processeur parallèle, en particulier les adresses de la mémoire et de l'ascenseur ainsi que des "états" permettant au micro-ordinateur de contrôler les résultats.

UTILISATION

Niveau micro-instruction

Le calculateur PROPAL 2 est commandé à l'aide de micro-instructions rangées dans la mémoire de commande du micro-ordinateur. Ces micro-instructions comportent deux parties :

- 48 bits d'exécutifs "Micro-ordinateur" réalisant les opérations de séquençage,
- 48 bits d'exécutifs "PROPAL 2" réalisant les opérations propres aux processeurs parallèles.

L'utilisateur a la possibilité d'écrire ses propres micro-programmes de traitement, dont la réalisation est particulièrement aisée grâce notamment à la simplicité du micro-code et également aux outils logiciels de production et de mise au point de micro-programmes.



Niveau macro-code PROPAL 2

Le PROPAL 2 peut être doté d'un jeu de microprogrammes standards (*MACRO CODE*) qui comporte toutes les "instructions" MITRA 15 auxquelles ont été ajoutées un certain nombre de fonctions propres destinées à la commande du processeur parallèle. Ces "instructions" mises en œuvre par des codes "utilisateur" (*FFxx*), réalisent pour la plupart des opérations entre "zones" de mémoire (*une zone mémoire est définie par l'adresse M de sa colonne la plus à droite et sa largeur n ; voir figure 2*) ; l'ascenseur est alors "transparent" pour l'utilisateur. On dispose en particulier :

- Décalage d'une zone vers le bas ou le haut, avec rebouclage ou remplissage par une constante.
- Opérations sémantiques sur une zone, entre deux zones ou entre une zone et une constante, conditionnellement à D et avec positionnement de D si la recherche aboutit :
 - . Recherche du maximum d'une zone,
 - . Recherche du minimum d'une zone,
 - . Recherche si supérieur ou égal,
 - . Recherche si inférieur ou égal,
 - . Recherche si égal,
 - . Recherche du premier répondant d'une opération sémantique,
 - . Calcul du nombre de répondants.

Un simulateur du macro-code PROPAL 2 permet de mettre au point les algorithmes des traitements destinés à être exécutés à l'aide du Processeur parallèle. Ce simulateur est écrit en FORTRAN IV et peut donc être utilisé sur tout ordinateur "centre de calcul" possédant un compilateur de ce langage.

APPLICATIONS

Le calculateur PROPAL 2 est une machine à fonctionnement à la fois parallèle et associatif dont les domaines d'application peuvent se classer en trois catégories :

- Les applications où le nombre d'informations à traiter est extrêmement élevé et où les résultats doivent être obtenus très rapidement ; le **parallélisme** présente alors un très grand intérêt. C'est le cas de toutes les applications de **traitement du signal** :
 - . Electro-magnétique et acoustique,
 - . Images Vidéo,
 - . Scanners médicaux . . .
- Les applications utilisant des fichiers à grande capacité dont l'adressage par leur contenu permet de faire des recherches très rapides ; c'est le cas de toutes les applications de **recherche associative** sur des fiches :
 - . Renseignements,
 - . Contrôle de la circulation aérienne,
 - . Fichiers de Sécurité . . .
- Les applications où les possibilités de calcul parallèle et l'adressage associatif peuvent être utilisées avec un grand profit ; c'est le cas du **Calcul Scientifique** et de la **Recherche** :
 - . Convolutions F F T,
 - . Opérations sur filtres adaptés,
 - . Recherche opérationnelle,
 - . Intelligence artificielle,
 - . Calculs matriciels,
 - . Equations aux dérivées partielles . . .