

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

817



NICE du 16 au 20 MAI 1983

CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT

M. Jalal ALMHANA - M. Jean PAILLE

LABORATOIRE DE TRAITEMENT DU SIGNAL NUMERIQUE - E.N.S.P.M. - R. Henri Poincaré - 13397 MARSEILLE CEDEX 13

RESUME

On décrit une carte programmable (CP) qui joue un rôle intermédiaire entre l'unité centrale d'un miniordinateur de type PDP 11/10 et d'un opérateur flottant (OF) couplé à ce dernier. Cette carte permet la mise en pipeline des opérations arithmétiques exécutées par l'OF et par la suite la diminution du temps d'exécution global d'une opération arithmétique. Le fonctionnement de l'ensemble sera représenté à l'aide des réseaux de Pétri (RdP).

SUMMARY

We describe a programmable board (PB) that plays a intermidaita part betwen central unit (C.U.) of minicomputer PDP 11/10 and floating point operator (FO) connected to it. This board allows to pipeline operations. Therefore, the global time execution of one arithmetic operation reduced. Execution procedure by FO will be represented by Petri nets.



CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT

I - INTRODUCTION :

La vitesse d'exécution d'un ordinateur constitue un élément important et décisif dans le traitement du signal numérique en général et plus particulièrement dans les problèmes temps réel. Cette vitesse est fortement liée à celle de l'exécution des quatre opérations de base, addition/soustraction et multiplication/division, en virgule flottante. Il est alors fondamental d'améliorer le temps d'exécution de ces opérations afin d'augmenter les performances du système.

Le temps d'exécution d'une opération arithmétique en virgule flottante est composé de deux parties. La première représente le temps de transfert des données (opérandes) et des résultats. La seconde est relative au temps d'exécution proprement dit dans l'unité de traitement utilisée. Lors de l'utilisation d'une unité spécialisée, opérateur flottant par exemple, le temps de la première partie est, souvent, relativement important par rapport à celui demandé par l'unité de traitement elle-même.

Afin d'améliorer le temps de transfert de données et de résultats, et par conséquent le temps d'exécution global d'une opération arithmétique, nous avons conçu une carte programmable. Cette carte, associée à un opérateur flottant couplé, à travers un Unibus, à miniordinateur PDP 11/10, a permis de diminuer considérablement le temps total de l'exécution des quatre opérations arithmétiques en virgule flottante. nous allons étudier la structure de cette carte et son rôle de liaison entre l'ordinateur et l'opérateur flottant.

II - OPERATEUR FLOTTANT (OF) [1]

L'ordinateur PDP 11/10 est un miniordinateur de bas de gamme. Il ne comporte pas dans son jeu d'instructions des instructions propres à l'exécution des quatre opérations arithmétiques fondamentales en virgule flottante. Ces opérations sont réalisées en mode programmé qui est souvent lent. Afin d'améliorer les performances, on a réalisé un opérateur flottant, en logique cablée. Les performances de cet opérateur sont de l'ordre de 8.5 μ s pour la multiplication/division et 660 ns pour l'addition/soustraction (simple précision 25 bits mantisse, 8 bits exposant).

1- Couplage avec l'ordinateur

Deux possibilités principales d'échanges de données entre ordinateur et périphériques sont disponibles dans notre cas.

L'accès direct mémoire et l'accès par interruption.

- Accès direct mémoire. Il permet le transfert bidirectionnel entre la mémoire et n'importe quel périphérique branché sur l'Unibus*. Ce transfert est très rapide mais nous n'avons pas adopté cette solution pour deux raisons. La première provient du fait que ce mode de transfert n'est valable que lorsqu'on veut assurer le transfert d'une quantité importante de données et que nous voulons être à même de réaliser plusieurs opérations, portant sur des variables uniques, isolées à l'intérieur d'un programme.

* Trade mark Digital Eq. Corp.

La seconde provient du fait que le transfert ne peut être effectué que vers ou depuis un endroit précis au départ de la mémoire centrale, contrainte qui peut impliquer une perte de temps ultérieure dans l'exploitation de ces données.

- Accès par interruption. Il s'effectue sous le contrôle de l'unité centrale dès que celle-ci a reçu le signal d'interruption du périphérique concerné. Cette méthode qui est de mise en oeuvre très simple permet une souplesse importante dans la programmation. Nous l'avons adoptée lors de la réception du message d'erreur, le transfert des données étant assuré par programme.

Du point de vue matériel le couplage est réalisé à l'aide d'une carte DR11C Digital Equipment. La figure 1 montre un schéma synoptique du couplage de l'opérateur flottant avec le PDP 11/10.

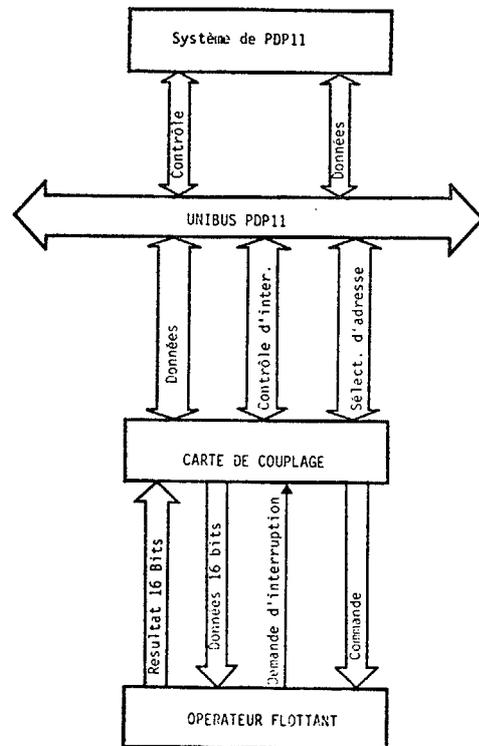


Figure.1 - Couplage ordinateur - opérateur flottant.

2- Temps d'exécution d'une opération

L'exécution d'une opération élémentaire par l'OF nécessite les transferts suivants :

- * chargement du mot d'état (un mot de 16 bits)
- * transfert des opérandes vers l'OF (4 mots de 16 bits)
- * récupération du résultat (2 mots de 16 bits)

CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT

Le transfert d'un mot nécessite 9 μ s en moyenne. En définitive, compte-tenu de la durée des instructions nécessaires pour assurer les transferts en mode programmé, le temps pris pour une opération complète compte-tenu du dialogue avec l'ordinateur est de 7X9=63 maximum. En effet le temps de calcul dans l'OF est transparente car le calcul dans ce dernier s'effectue en parallèle avec le dialogue nécessaire pour la récupération du résultat.

Le temps d'exécution est donc négligeable par rapport au temps nécessité par les échanges avec l'ordinateur. Il est alors inutile d'envisager une structure ultra-rapide pour l'opérateur flottant car on ne peut exploiter au mieux ses performances au niveau vitesse.

III - CARTE PROGRAMMABLE

Nous venons de voir qu'une part importante du temps global nécessaire à la réalisation d'une opération par l'opérateur flottant était perdu pendant les échanges, ceci étant lié à la nature de l'unité centrale utilisée.

Pour gagner du temps on est conduit à diminuer le nombre de transfert et donc de ne pas renvoyer vers l'ordinateur les résultats intermédiaires concernant un ensemble d'opérations dans des expressions de type (A+B)D+C.

Une telle procédure est rendue possible par l'utilisation d'une carte dite programmable placée entre l'opérateur flottant et la carte de couplage figure (2).

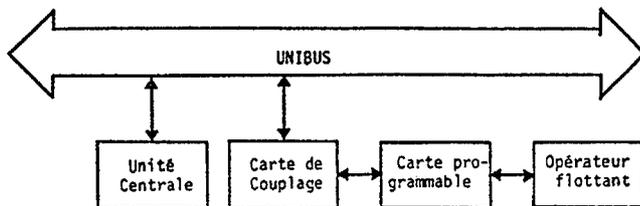


Figure.2.. Position de la carte programmable

1- Fonctions et structure de la carte programmable

Cette carte permet le groupement d'un certain nombre d'opérations et le seul transfert du résultat final. Elle est placée dans une position intermédiaire entre la carte de couplage et l'opérateur Figure 2. Elle doit être compatible avec le fonctionnement de celui-ci et avec l'ordinateur. Elle permet l'exécution des instructions en assumant, à la fois, la responsabilité du contrôle des opérations élémentaires et le chargement de nouvelles données issues de l'ordinateur pendant l'exécution de ces opérations élémentaires.

L'ensemble des fonctions est assuré par trois éléments principaux figure 3.

- Les registres de liaison
- le contrôle et la commande
- les multiplexeurs

Les registres de liaison sont au nombre de trois, un registre d'état et deux registres de données qui assurent la mémorisation temporaire pendant l'exécution préalable d'une opération élémentaire dans l'opérateur.

Le registre d'état est utilisé pour le chargement du mot d'état qui indique le nombre et le type d'opérations élémentaires à exécuter.

La partie contrôle et commandes assure trois fonctions principales :

* Commande de l'attente du début de l'exécution d'une nouvelle opérations élémentaire jusqu'à ce que l'on soit sûr que les données correspondantes soient arrivées.

* Commande de la mémorisation de nouvelles données issues de l'ordinateur pendant l'exécution d'autres opérations. On assure aussi le chargement du mot d'état au départ de l'exécution d'un ensemble d'opérations.

* Commande du chargement des données dans l'opérateur.

Une rangée de multiplexeurs assure le choix entre le résultat d'une opération intermédiaire, les données reçues directement de l'ordinateur et les données chargées dans les registres tampons de la carte programmable.

2- Programmation de la carte

Le programme qui gère les calculs effectués par l'intermédiaire de la carte programmable assure les fonctions suivantes :

- validation de l'interruption
- chargement du mot d'état
- transfert des données
- récupération du résultat final

L'exécution d'un tel programme correspondant à six opérations élémentaires, transferts compris, nécessite une durée de 144 μ s avec la carte programmable. Le gain obtenu par rapport au cas d'une opération directement programmé est environ de 2,5.

On doit ce gain à trois causes :

- Les opérations sont exécutées pendant le transfert de nouvelles données.
- Les résultats intermédiaires ne sont pas transmis.
- Les codes des diverses opérations ne sont transmis qu'une seule fois.

On notera enfin que l'avantage d'un tel système ne réside pas seulement dans la rapidité d'exécution du calcul mais aussi dans sa conception très simplifiée qui entraîne un coût de réalisation minimal.

3- Rendement

On peut définir le rendement de l'opérateur flottant comme suit :



CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT

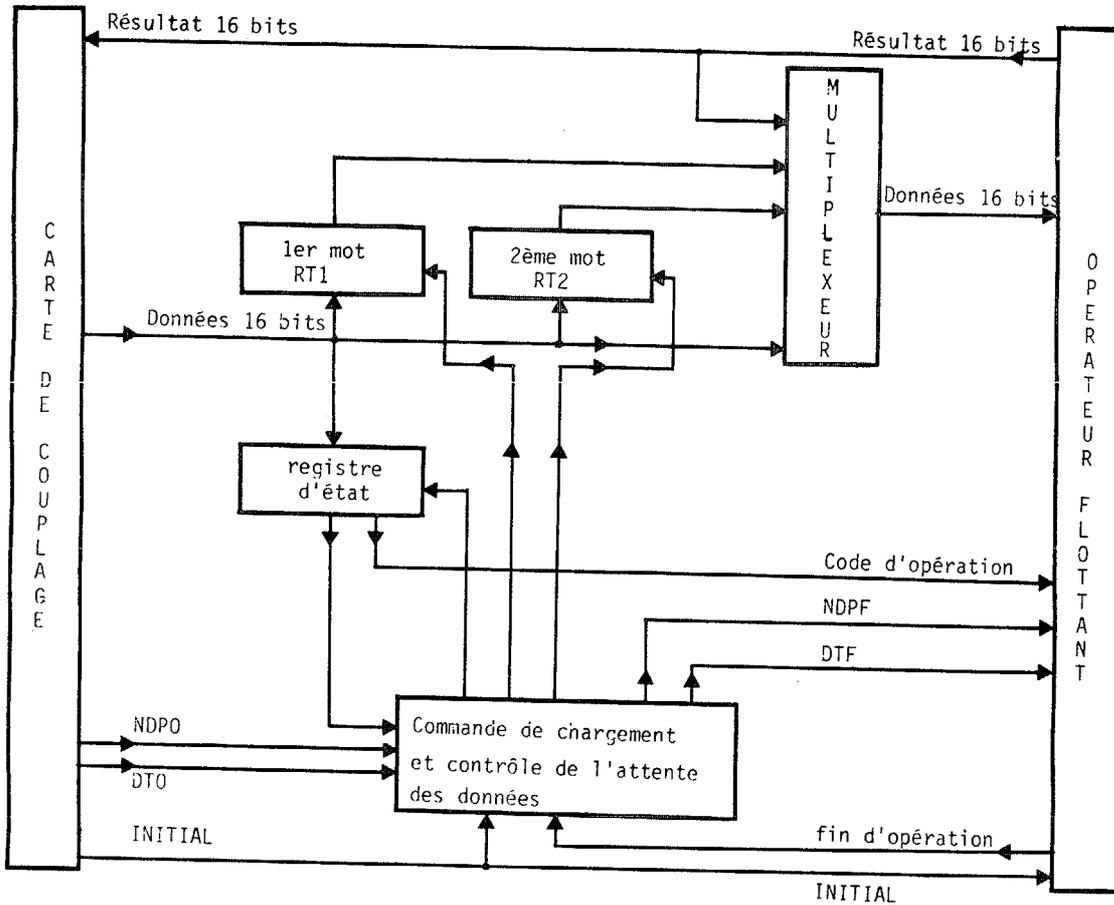


Figure . 3 . Carte programmable

Le rendement avant l'utilisation de la carte programmable est :

$$R_1\% = \frac{(N_1 \cdot 0,66 + N_2 \cdot 8,5) \cdot 100}{(N_1 + N_2) \cdot 63}$$

$$G = \frac{6 \cdot 63}{18 \cdot 8,5} = \frac{63}{25,5} = 2,48$$

Le rendement après l'utilisation de la carte programmable est :

$$R_2\% = \frac{(N_1 \cdot 0,66 + N_2 \cdot 8,5) \cdot 100}{18 \cdot (N_1 + N_2 + 3)}$$

Le maximum du rendement est réalisé quand $N_1 = 0$ et $N_2 = 6$. Dans ce cas on a :

ou N_1 nombre d'opérations d'addition et soustraction dans l'expression calculée

$$R_1 = \frac{(6 \cdot 8,5) \cdot 100}{6 \cdot 63} = \frac{5100}{378} \approx 13,5\%$$

N_2 nombre d'opérations de multiplication et de division

Le gain en temps réalisé par l'utilisation de la carte programmable est donné par :

$$R_2 = \frac{(6 \cdot 8,5) \cdot 100}{18 \cdot 9} = \frac{8500}{27} \approx 31,3\%$$

$$G = \frac{(N_1 + N_2) \cdot 63}{18 \cdot (N_1 + N_2 + 3)}$$

Le gain maximum est réalisé quand $N_1 + N_2 = 6$ (limite maximum du nombre d'opérations dans une expression admis par la carte)

CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT

IV - REPRESENTATION PAR RESEAUX DE PETRI DE LA PROCEDURE D'EXECUTION PAR L'OPERATEUR FLOTTANT

La procédure d'exécution des opérations arithmétiques fondamentales par l'opérateur flottant avant et après la mise en oeuvre de la carte programmable est représentée par les réseaux temporisés figure 4-a et 4-b respectivement. Les tableaux 1 et 2 sont relatifs à ces réseaux.

Place Temporisations (μ s) Interprétation

1	0	mémoire centrale PDP11/10. Zone de données
2	9	opérateur de transfert de données
3	0	registre associé aux codes d'opérations
4	0	registre tampon (données)
5	8,5 ou 0.66	opérateur flottant (OF)
6	0	registre tampon (résultats)
7	9	opérateur de transfert des résultats
8	0	mémoire centrale. Zone de résultats

Tableau 1

Transition	Condition associée
1	-
2	a
3	\bar{a}
4	-
5	\bar{b}
6	-
7	b

Tableau 2

NOTATIONS

N : nombre d'opérations dans l'expression calculée.

La valeur de pondération d'un arc est considéré égale à un si elle n'est pas indiquée.

Un opérateur est considéré non réentrant, il ne peut être réactivé s'il est déjà activé, autrement dit il ne peut contenir plus qu'une marque.

a : représente l'envoi de la première marque (un mot de 16 bits) dans l'opérateur de transfert des données.

b : résultats intermédiaires
 \bar{b} : résultat final

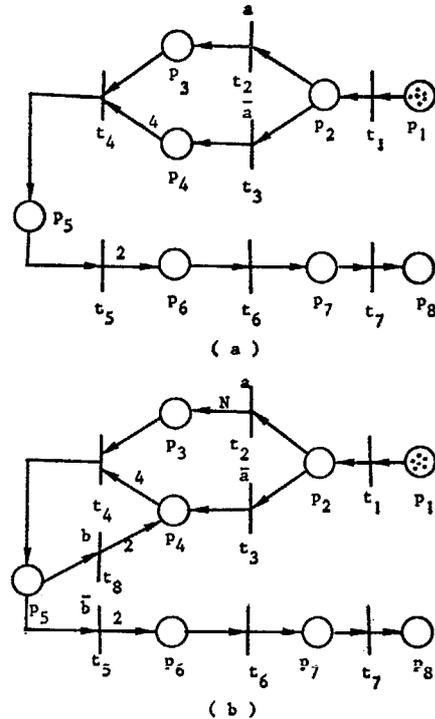


Figure-4 - Rdp qui représente la procédure d'exécution par l'O.F :
 a-avant la mise en oeuvre de la C.P.
 b-après la mise en oeuvre de la C.P.

CONCLUSION

La réalisation d'une unité de calcul (ensemble opérateur flottant plus carte programmable), couplée à un miniordinateur de type PDP11/10, a permis d'améliorer notablement les performances de celui-ci. Ces améliorations se sont traduites par les avantages suivants :

1°) Au niveau de la rapidité d'exécution une opération d'addition/soustraction, et multiplication/division, transferts compris, est exécutée en 63 μ s.

Dans ces mêmes conditions la mise en oeuvre d'une carte programmable réduit ces temps d'exécution à une durée moyenne de 24,2 μ s pour les quatre types d'opérations. Compte-tenu que celles-ci sont exécutées dans des temps de l'ordre de 650 μ s et 1000 μ s respectivement par programmation on gagne un facteur d'environ 27 pour l'addition/soustraction et 41 pour la multiplication/division.

A titre d'application nous avons mis en oeuvre un filtre numérique du second ordre. Le vecteur d'entrée de ce filtre contenait 1024 points. Le temps de calcul pour obtenir le vecteur de sortie a été de 6 s par la méthode programmée, 650 ms en utilisant l'opérateur flottant de manière directe et 350 ms en utilisant la carte programmable.

**CARTE PROGRAMMABLE POUR OPERATEUR FLOTTANT**

2°) Le remplacement des sous-programmes de la bibliothèque par ceux relatifs à notre unité de calcul qui assurent la compatibilité avec l'ancienne procédure d'appel, a permis aux différents programmes utilisant la bibliothèque de profiter de la rapidité inhérente à notre unité de calcul tout en gagnant 1K mot mémoire environ.

3°) La souplesse d'utilisation de l'unité de calcul laquelle permet une programmation en virgule flottante très aisée.

Nous pensons que dans les années à venir et avec les progrès rapides de la technologie les unités de calcul en virgule flottante auront une structure combinatoire et seront programmables et capables d'exécuter des opérations en virgule flottante plus complexes. Ceci évitera des transferts intermédiaires inutiles avec l'unité centrale ce qui la déchargera d'une partie des tâches d'organisation. Par ailleurs elles pourront fonctionner de manière totalement indépendante de l'unité centrale ou converser avec elle en mode asynchrone ce qui augmentera la vitesse de fonctionnement générale de l'ordinateur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - ALMHANA J. "Conception et réalisation d'une unité de calcul rapide en virgule flottante" Thèse de Docteur-Ingénieur 1978.
- [2] - BOUHO J.P. "Micro-informatique repartir la fin de l'économie de l'échelle" L'informatique Mai 1974.
- [3] - BOZZO C. "Informatique et traitement du signal" colloque national sur le traitement du signal et ses applications 75 PP 559-575.
- [4] - DEC. Peripherals hand-book, PDP 11 system 1976.
- [5] - FPMP 11 User manual, Digital Equipment Corporation.
- [6] - BOULAYE GUY G. "Logique et organes des calculatrices numériques 1970".
- [7] - PAILLE J. "Cours de traitement du signal numérique" E.N.S.P.M.
- [8] - MOALLA M. "Rapport de recherche" ENSIMAG n° 138 oct. 78.