

FR 8000333

SERVICES D'ELECTRONIQUE DE SACLAY

Service d'Instrumentation pour la Recherche

2ème Congrès AFCET/IRIA de reconnaissance des formes
et d'intelligence artificielle.
Toulouse, France, 12 - 14 Septembre 1979.
CEA - CONF 4755

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE
CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION COMMANDE EN APL
EN TEMPS REEL

par

Benoit DUPEYRAT, Marie José LIABOT*, Jean VERTUT**

* stagiaire
** Chef de la Section d'Equipement pour le Milieu Hostile
Département de Protection

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

I - INTRODUCTION

La conduite du robot d'inspection des cuves du réacteur SUPERPHENIX se heurte à des impératifs matériels particuliers : la distance entre le robot et le calculateur chargé de sa gestion est importante car le poste de pilotage est situé à l'extérieur de l'enceinte de sécurité.

C'est ce qui nous a conduit à séparer les fonctions d'asservissement et d'alarme d'une part, des fonctions de stratégie et de recalage d'autre part.

Le système que nous allons décrire dans ce papier se compose donc :

- d'un mini-ordinateur chargé de la gestion du poste de pilotage,
- d'un microprocesseur qui, installé le plus près possible de l'engin assure les fonctions d'asservissement et de sécurité.

Cette solution présente l'avantage de limiter le volume d'entrées/sorties du mini-ordinateur ce qui permet d'envisager la programmation de ce dernier en APL, langage particulièrement efficace et adapté au problème.

II - PRESENTATION DU PROBLEME

L'univers d'évolution du robot

Les cuves principales et de sécurité du réacteur SUPERPHENIX I sont constituées par assemblage de tôles soudées entre elles au moment de la construction. Ces cuves sont concentriques et la cuve de sécurité enveloppe la cuve principale à une distance de 70 cm (figure 1).

Pour des raisons de sécurité, le constructeur et l'exploitant doivent réaliser des campagnes d'inspection des soudures des cuves. Ces inspections ont lieu pendant les périodes d'arrêt du réacteur.

Les caractéristiques du réacteur (réacteur intégré à fluide sodium) imposent que l'inspection se fasse à partir de l'intercuve, c'est-à-dire l'espace contenu entre la cuve de sécurité et la cuve principale.

Les conditions de température et de rayonnement pendant les périodes d'arrêt sont telles qu'elles nécessitent l'emploi d'un engin télécommandé (250°C, 7510² Rem/h). Celui-ci doit être automate et pouvoir déplacer une sonde à ultra-sons le long des soudures de chaque cuve de même qu'une caméra de télévision pour permettre l'inspection visuelle. L'engin est relié à l'extérieur par un câble de sécurité qui contient les gaines de fluides, les câbles de transmission, et permet en cas de panne de faire sortir le robot de l'intercuve.

L'engin et son câble sont introduits par des trous traversant la dalle fermant les parties supérieures des cuves. Le câble est fixé à un treuil situé au dessus du trou, ce treuil peut être piloté par le système informatique.

Le robot

Deux modèles de faisabilité ont été réalisés : MAM et MERITE (figures 2 et 3). L'objectif de ces deux engins est de se maintenir dans l'intercuve quelque soit la partie de la cuve observée.

Le MAM (Monte Au Mur) se maintient à l'aide de trois boogies de ventouses ; il peut se maintenir sur deux de ces boogies pendant que le troisième se déplace. Le pivot central permet de faire tourner cet engin (6,7 m/h < vitesse < 35 m/h)

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

Le MERITE (Module d'Entrée de Réparation et d'Intervention dans les Tuyauteries d'Echangeur) est appuyé par des bras sur la paroi opposée de l'intercuve. Il roule sur deux roues à direction indépendantes (cet engin a été réalisé à l'origine pour circuler dans des tuyaux) (10 m/h \leq vitesse \leq 230 m/h)

Pour des raisons tenant à la sécurité (attitude en cas de chute) c'est une solution MERITE modifiée qui a été retenue. Dans cette solution ou MIR, les bras d'appui sont actionnés par des ressorts ce qui garantit le système contre une chute brutale.

Les capteurs du robot

La réalisation précise du contrôle des soudures nécessite un moyen de repérer le robot par rapport à son univers d'évolution. L'intégration du mouvement des roues n'est pas suffisante puisque ce mouvement peut être affecté par des glissements.

Actuellement trois types de senseurs sont prévus :

- 1) une roue suiveuse et un inclinomètre,
- 2) une caméra de TV qui voit par un jeu de miroir l'horizon avant et arrière de l'engin avec une certaine parallaxe par rapport à la soudure. Cette caméra voit des repères qui ont été déposés sur la cuve à la construction parallèlement à toutes les soudures. Elle permet à l'aide d'un autre miroir d'observer le passage au dessus de ces repères (figure 4),
- 3) des informations provenant du système de mesure associé à la sonde à ultra-sons qui peuvent indiquer le franchissement d'un bord de la soudure (la gestion du signal US est réalisée indépendamment par le système STADUS/PRODUS à qui l'on doit seulement fournir des informations de positionnement).

Poste de pilotage de l'engin

Les informations suivantes sont mises à la disposition de l'opérateur :

- la situation prévisionnelle résultant des calculs du programme de contrôle,
- les images provenant des caméras de télévision,
- les alarmes résultant de la détection d'anomalies de fonctionnement.

L'opérateur fournit les informations suivantes :

- la position initiale de l'engin (au moment de l'introduction),
- les ordres concernant les opérations à effectuer,
- les informations permettant de recalibrer l'engin en cas de glissement et d'assurer l'exactitude de positionnement,
- des ordres permettant le cas échéant d'abandonner la tâche en cours pour en déclencher une nouvelle, etc.

Un système graphique interactif permet de visualiser toute ou partie de la cuve, des soudures et la position prévisionnelle de l'engin. Les alarmes sont représentées sur cet écran.

Le recalage de l'engin sur les repères déposés sur la cuve nécessite de confronter une image prévisionnelle et une image réelle.

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

Le système informatique superpose à l'image réelle TV des curseurs qui représentent la position prévue des repères ou les lignes joignant les positions des repères d'horizon. L'opérateur dispose d'un manche à balai pour déplacer ces curseurs et recaler l'image prévisionnelle à l'aide de l'image réelle.

Pour l'instant les informations provenant de la caméra de télévision sont traitées par l'opérateur au niveau du poste de pilotage. Une solution automatique par reconnaissance d'image sera envisagée plus tard.

III - TACHES CONFIEES AU SYSTEME

Tâches

Quatre tâches doivent s'exécuter en parallèle (figure 5)

- la gestion du poste de pilotage

Cette tâche gère toutes les fonctions de dialogue avec l'opérateur : d'une part, les informations fournies par l'opérateur (les consignes à exécuter, les directives permettant de recaler l'engin et les renseignements divers) d'autre part, les informations mises à la disposition de l'opérateur (les informations prévisionnelles et visuelles ainsi que les alarmes).

- le pilotage du robot

Cette tâche assure la navigation de l'engin dans son univers. Elle gère l'asservissement du robot et le contrôle de sa trajectoire.

- les alarmes

Cette tâche met en oeuvre automatiquement des procédures de secours en cas de détection d'anomalies.

- le contrôle des soudures

Cette tâche effectue et traite les enregistrements de contrôle des soudures de la cuve. La vitesse du robot est alors fixée à 10 m/h. Cette tâche nécessite des informations de positionnement. Elle est réalisée sur un système indépendant.

Architecture du système

a) solution proposée

Les impératifs techniques signalés en I et II, en particulier la distance du robot au poste de pilotage, nous ont conduit à choisir une solution informatique décentralisée.

Un mini-ordinateur MP 105 APLIXI est chargé de la gestion du poste de pilotage : il est muni des périphériques habituels : disque, imprimante, d'un système de visualisation graphique couleur, d'un système spécial assurant la liaison avec les écrans de télévision reliés aux caméras de l'engin.

Un microprocesseur 8085 INTEL est installé dans la baie d'électronique contenant les alimentations des moteurs du robot.

.../...

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

Cette baie est installée sur la passerelle circulaire située au dessus des bouchons de l'intercuve à l'intérieur du dôme du réacteur. Ce microprocesseur assure l'asservissement des moteurs, la détection des anomalies de fonctionnement et les procédures de premier secours.

Les échanges entre le mini-ordinateur et le microprocesseur sont dans un sens des consignes de position ou de vitesse pour les moteurs, dans l'autre des comptes rendus d'exécution et des alarmes éventuelles.

Une telle solution est avantageuse à plusieurs titres :

- matériel : elle libère le mini-ordinateur de la gestion de très nombreuses entrées/sorties qu'il faudrait réaliser dans le cas d'une commande directe et qui pourraient saturer le système. Elle limite les problèmes posés par la longueur des câbles entre le mini-ordinateur et l'engin.
- logiciel : La modification du programme d'asservissement au niveau du microprocesseur paraît très aisée et est rigoureusement indépendante du reste du traitement. Par ailleurs, un télé chargement du microprocesseur par le mini-ordinateur peut être envisagé.
L'utilisation d'un langage évolué sur le mini-ordinateur permet une simulation plus aisée de l'ensemble du système, une mise au point plus facile des programmes.

b) Implantation des différentes tâches (figure 6)

La gestion du poste de pilotage est réalisée par des programmes écrits en APL et en assembleur sur APLIXI.

Le microprocesseur se charge de l'asservissement du robot et le mini-ordinateur du contrôle de sa trajectoire.

Le microprocesseur détecte les anomalies de fonctionnement et envoie dans ce cas une interruption au mini-ordinateur. La lenteur de la prise en compte des alarmes par l'interpréteur APL a entraîné leur traitement sur le mini-ordinateur en deux temps.

- le programme d'interruption enregistre les messages du microprocesseur et réalise les interventions de première urgence,
- le programme APL, après avoir détecté l'alarme, la visualise et demande éventuellement une intervention de l'opérateur.

Des outils particuliers ont été développés au niveau de l'interpréteur APLIXI de façon à le rendre capable de gérer des processus temps réel.

Par ailleurs, APLIXI est étendu au graphique et il est très facile de réaliser le logiciel graphique tridimensionnel nécessaire à la visualisation des cuves. (figure 1).

IV - OUTILS DEVELOPPES AU NIVEAU DE L'INTERPRETEUR APL

Pour réaliser le système que nous venons de décrire, il faut que l'APL permette la gestion de processus temps réel et la synchronisation des tâches.

.../...

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

L'interpréteur APL fonctionne en parallèle avec des programmes d'interruption écrits en assembleur qui permettent :

- . d'enregistrer dans des tampons les messages envoyés par le microprocesseur et d'effectuer un premier traitement des alarmes,
- . de signaler une demande d'intervention de la part de l'opérateur.

Un dialogue doit donc pouvoir s'établir entre l'interpréteur APL et ces programmes d'interruption. On a réalisé (4) une primitive APL \square CI pour pouvoir appeler à partir d'APL, des programmes écrits dans un autre langage (ici l'assembleur) et pour pouvoir échanger des données entre APL et ces autres programmes. Elle assure aussi la gestion de la mémoire virtuelle du mini-ordinateur. L'interpréteur APL par l'intermédiaire des programmes assembleurs lancés par cette primitive peut :

- . lire dans les tampons les messages du microprocesseur,
- . envoyer des messages au microprocesseur.

Le problème de la prise en compte par l'interpréteur APL des interruptions prioritaires s'est posé. Actuellement, on intercale entre chaque instruction du programme APL de stratégie, un appel à une fonction APL. Celle-ci se charge, par l'intermédiaire de la primitive \square CI de scruter les événements 'interruption prochaine' à savoir, l'arrivée d'alarmes ou de demande d'intervention de la part des opérateurs. Cette solution, assez lente, est provisoire. Elle sera remplacée au niveau de l'interpréteur par un test analogue à celui effectué pour la touche BREAK.

Les premiers essais du système APLIXI-MICROPROCESSEUR ont montré que la solution était réaliste. Un programme de stratégie et de contrôle du poste de pilotage a été écrit. Il assure le dialogue avec l'opérateur pour la navigation de l'engin, les échanges des informations avec le microprocesseur ainsi que la visualisation des alarmes et des interventions de l'opérateur.

V - L'APL, UN LANGAGE ADAPTE A L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Le choix du langage APL comme support de la programmation de l'ensemble du système se justifie par sa capacité à décrire et à résoudre des problèmes d'intelligence artificielle.

Nous avons pu montrer que la description de l'univers d'évolution de l'engin est extrêmement aisée (ceci est dû à la nuissance des opérateurs APL travaillant sur les tableaux) et qu'il est très facile de définir la position des soudures. La description des deux cuves de la position des repères et la visualisation de l'ensemble nécessitent une cinquantaine de lignes APL.

L'APL permet une formalisation aisée des axiomes définissant le fonctionnement du robot grâce, en particulier, à la récursivité.

Enfin, la description des tâches à réaliser se fait sans difficultés. La grammaire permettant de décrire la stratégie de l'inspection est en cours d'étude. Le type d'ordres envisagés serait le suivant :

CALER ROBOT, TRANCHE N
DEPLACER ROBOT, SOUDURE M,N
INSPECTER TRANCHE N

.../...

ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DECENTRALISE DE CONDUITE DE ROBOT D'INSPECTION REALISE EN APL

Chacun de ces mots représenterait une fonction APL. Nous étudions le niveau supérieur de cette grammaire de façon qu'elle soit adaptée aux habitudes des opérateurs. Le choix des ordres se fera par un clavier à touches de fonction ou par un menu.

D'un autre côté, l'APL est un langage très adapté à la simulation et il est intéressant, notamment dans l'étude sur les algorithmes de chemins optimaux de simuler le fonctionnement du robot. Ceci permet de décrire toutes les phases de fonctionnement de l'engin et d'arriver à une solution optimale. Le module graphique permet de visualiser la progression du robot pendant la simulation de l'inspection.

L'aspect interactif d'APL constitue un avantage intéressant en particulier au niveau de la mise au point. Cet aspect, lié à l'extension au temps réel, en fait un outil très efficace dans ce type de problème (1).

V - CONCLUSION

Compte tenu de l'horizon prévu pour la réalisation de l'ensemble de ce système, la première partie des travaux consiste à valider par simulation le programme d'intelligence artificiel pilotant le robot d'après les consignes de l'opérateur.

Une maquette grandeur réelle d'une tranche de l'intercuve sera disponible début 1980 et permettra de réaliser des essais de fonctionnement en condition quasi-réelle.

La réalisation de ces travaux a commencé aux deux extrémités du traitement :

- . connexion mini-ordinateur/microprocesseur,
- . connexion microprocesseur/robot,
- . programmes de stratégies et contrôle du poste de pilotage.

Nous pensons que l'utilisation de l'APL comme langage de simulation et de programmation permettra de réaliser le système dans de très bonnes conditions.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) - Congrès AFCET/IRIA TTI - 13-15 novembre 1978 - table ronde sur le temps réel

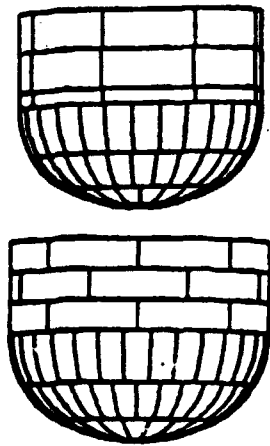


Figure 1



Figure 2 Le M.A.M.



Figure 3 Le M.E.R.I.T.E.

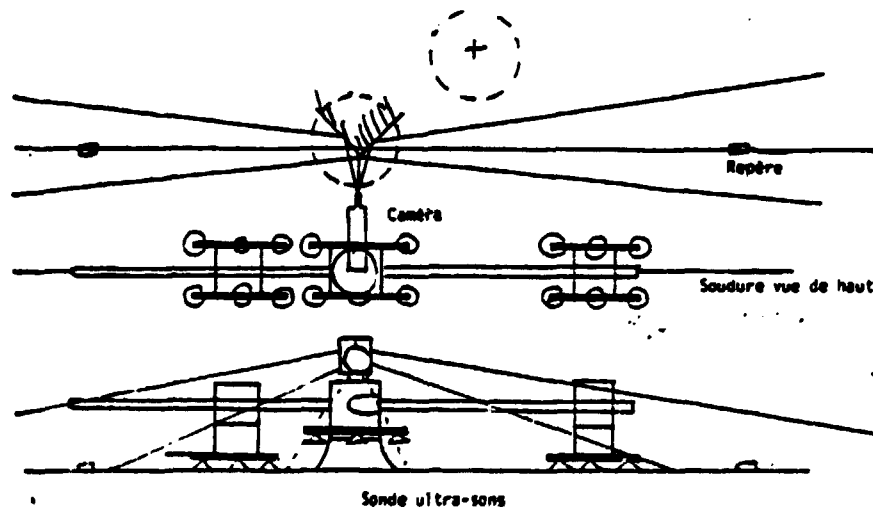


Figure 4 Disposition des repères et des caméras de TV

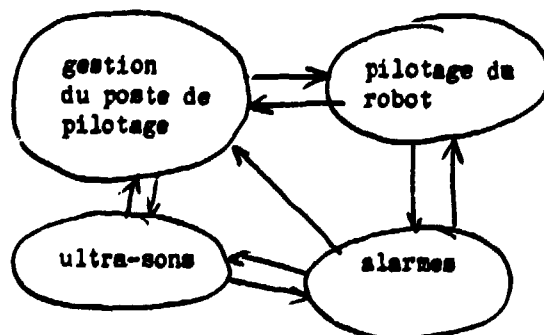


Figure 5
Liens entre les différentes tâches.

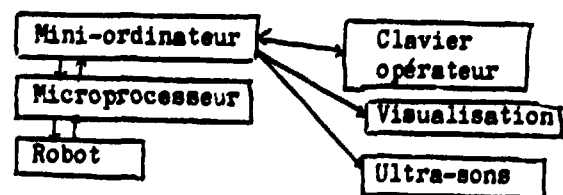


Figure 6
Description du matériel.