

SIMULATION D'UNE CELLULE FLEXIBLE D'ASSEMBLAGE PILOTE PAR UN SYSTEME MULTI-AGENTS

Nguyen Dinh Hoa

College of Natural Sciences - VNU

INTRODUCTION.

La gestion des différents moyens de production est une activité primordiale puisque elle conditionne la productivité. Elle est cependant très difficile à réaliser puisque dans le système de production un grand nombre de produits de types variés ayant chacun des gammes et des délais différents à respecter. Le principal aspect de l'organisation des activités de production concerne l'ordonnancement, qui est une fonction réalisée par un service de l'entreprise pour résoudre d'éventuels problèmes de l'exploitation du système. Pour des raisons pratiques l'organisation des activités de production est décomposée en plusieurs niveaux, à commencer par le calcul du programme de fabrication à long terme jusqu'à l'ordonnancement du processus de production à la cellule.

L'ordonnancement de la production a pour rôle d'organiser l'exécution des opérations manufacturières sur les machines dans chaque cellule. Il est un problème difficile, une solution globale et complète n'a pas encore été trouvée et il est toujours souhaitable de tenter d'étudier ce problème avec une approche différente.

Ce travail a pour objet de simuler une cellule flexible d'assemblage afin d'appréhender son fonctionnement et son comportement. Il vise à mettre en évidence les caractéristiques dynamiques d'un système multi-agents de pilotage qui réalise l'affectation automatique des charges en temps réel par la collaboration et la concurrence entre les agents concernés. La cellule est structurée en un job shop constitué de plusieurs machines polyvalentes pour assurer la flexibilité de la procédure de production. Chaque machine est contrôlée par un agent-contrôleur. Chaque opération manufacturière est gérée aussi par un autre agent-contrôleur. Au moment où une machine se libère, le contrôleur de la prochaine opération à faire effectuer par cette machine se fait par un dialogue entre le contrôleur de machine avec des contrôleurs d'opération. Il paraît que cette procédure décentralisée d'affectation des charges à première vue chaotique est faisable et même capable d'accomplir la tâche d'un système pilote flexible et réactif.

Nous choisissons l'approche orientée objet pour l'analyse et la modélisation du système de production de la cellule aussi bien pour la réalisation de logiciel parce qu'il existe une forte analogie entre le développement par objet d'un logiciel et la réalisation d'un modèle de simulation. Un système logiciel développé en utilisant les concepts de l'approche orientée objet peut être considéré comme un système d'objets communiquant par messages, chaque objet étant responsable de l'accomplissement de certaines tâches qui dépendent de son état. Cette vue d'un système logiciel est similaire à celle que l'on utilise avec la simulation à événements discrets d'un système réel comportant différentes entités pour décrire leurs interactions au cours de la simulation. C'est l'objet du présent travail.

Le langage de programmation choisi est C++, un langage orienté objet. Nous utiliserons le logiciel M_TTASK Professionnel MTTC 3.2 pour l'exécution concurrente (en parallèle) des processus de simulation. Dans la première partie nous présentons la notion d'usine intégrée et analysons des traits spécifiques d'un atelier d'assemblage. Nous parlons ensuite de différentes difficultés à surmonter lorsque on se met à concevoir

e d'assemblage automatisé et flexible.

analyse et la conception d'un modèle objet pour but de simuler une cellule flexible d'assemblage automatisé seront exposées dans deuxième partie. En visant mettre au jour les principes fondamentaux d'un système multi-agents travaillant en coopération concurrente, nous détaillons des caractéristiques principales des objet-agents et ses interactions dans la troisième partie.

Le jeu de test et des résultats avec des brèves discussions constituent le contenu de ce cinquième chapitre. Nous voulons porter l'attention sur quelques facettes de la performance du système conçu. Nous construisons séparément des exemples de test avec l'intention de mettre en évidence les différentes qualités du système. Jugé selon des résultats obtenus, le système d'ordonnancement testé répond aux demandes formulées. Le système est flexible et réactif.

I. ATELIER FLEXIBLE D'ASSEMBLAGE

Atelier flexible ou CIM - Computer Integrated Manufacturing.

Les tendances du marché ont considérablement évolué au cours des vingt dernières années. Avec la mondialisation des échanges, la demande se diversifie, les commandes sont de plus en plus petites, les délais d'exécution sont de plus en plus courts, les produits commandés deviennent plus variés et souvent en petites quantités. Le haut temps de production de masse des produits standardisés sur des chaînes de production est passé.

Cette évolution de l'environnement économique a conduit les entreprises des pays industrialisés vers des productions en petites ou moyennes séries, très diversifiées, avec des délais d'exécution courts. D'où vient la nécessité de réorganisation du système de production pour répondre à ce changement. Il n'est plus concevable aujourd'hui de concevoir le système de production à partir du produit fini. Pour faire face à cette évolution dans de bonnes conditions de compétitivité, l'industrie a besoin des systèmes de production plus adaptatifs et automatisés. L'atelier doit s'adapter facilement et le plus vite possible aux nouvelles productions ou bien intégrer la fabrication parallèle de différents produits. On parle alors de la flexibilité et la réactivité du système de production. D'où est apparue la notion d'atelier flexible ou FMS - Flexible Manufacturing Systems.

On dit que un atelier est flexible s'il est capable de produire des pièces différentes de façon aléatoire, sans respecter un ordre logique pré-défini et de plus s'il est dans une certaine mesure capable de s'adapter à une évolution plus ou moins imprévue de son environnement. Donc, un atelier flexible doit être réactif. Pour garantir la flexibilité et la réactivité du système de production, il est nécessaire de maîtriser tous les flux de production: produits, ressources, informations et contrôle. C'est l'intégration du système de production ou le concept d'usine intégrée - CIM en anglais.

Spécificité des ateliers d'assemblage.

Un atelier d'assemblage fonctionne dans un contexte essentiellement différent de celui d'un atelier de fabrication en ce qui concerne les flux, les temps, les coûts, les gammes et les aléas.

Un atelier réalisant le montage de n produits reçoit de multiples flux d'entrée qu'il doit combiner et organiser pour élaborer les n flux de sortie. Ces flux de composants doivent être strictement synchronisés pour assurer la convergence de deux flux de composants impliqués.

Une opération d'assemblage proprement dite est généralement brève, ce qui implique une réaction vite du côté de système de pilotage.

La rentabilité d'un système d'assemblage n'est généralement atteinte que si le coût d'assemblage représente une part mineure dans le prix total du produit. Ceci implique une rationalisation des investissements et la maximalisation de charge des machines.

Il existe souvent de nombreuses variantes possibles, concernant l'ordre dans lequel il faut établir les liaisons né

cessaires entre les composants d'un produit. Ce nombre de gammes parfois grand, due à la combinaison de plusieurs possibilités, rend problème d'ordonnancement très difficile. En conclusion, les problèmes spécifiques de l'assemblage peuvent se résoudre de la façon suivante:

- grande complexité, due à la variété des gammes, à la multiplicité des opérations, des outils...
- cadence élevée de production,
- vulnérabilité du système de production aux perturbations extérieures.

1.3 Automatisation flexible.

Dans le cas de grandes séries et de produits standard comportant assez peu de variantes, l'automatisation est généralement la solution la plus efficace mais, dans le cas de petites séries ou de produits à grand nombre de variantes devant répondre à des spécifications particulières des clients, l'automatisation tout court n'est plus suffisante et il y a lieu d'envisager une automatisation flexible.

Le choix en temps réel d'une gamme particulière entre les gammes admises en fonction de l'état instantané d'atelier constitue l'aspect dynamique du problème d'assemblage. Pour réaliser ce choix dynamique, il est nécessaire d'avoir:

- un modèle d'information capable de représenter toutes les solutions concevables;
- un système de traitement d'information capable d'intégrer toutes ces données et de naviguer entre multiples solutions;
- un système de prise de décision capable d'arrêter en temps réel un choix selon les conditions instantanées du système.

Les difficultés potentielles, qui nous vont à l'encontre, seront peut-être liées à:

- le volume important d'information;
- la complexité du système, qui parfois apparaît excessive pour développer un logiciel exploitable;
- l'exigence de la robustesse et de la fiabilité du système à l'encontre des conditions de fonctionnement diverses.

II. LE MODELE OBJET D'UNE CELLULE FLEXIBLE D'ASSEMBLAGE

2.1 Configuration de la cellule.

La cellule est structurée en un job shop constitué de plusieurs machines polyvalentes ou plutôt de plusieurs postes de charge regroupant quelques machines, pour assurer la flexibilité du processus de production. Dans cette configuration, les machines sont regroupées en ensembles de moyens répondant à des fonctions (jobs) analogues et le système est flexible dans le sens qu'une machine peut enchaîner des opérations différentes. Le trajet des pièces n'est pas déterminé à l'avance. Le job-shop est plus adapté aux petites séries et aux pièces nécessitant des processus différents. On suppose que :

- le temps de réglage, de préparation d'une machine à une nouvelle opération est négligeable;
- une machine exécute au plus une opération à la fois (contrainte d'exclusion mutuelle);
- une opération commencée sur une machine doit être terminée sans interruption sur la même machine (contrainte de non-préemption);
- la fabrication d'une pièce nécessite un ensemble d'opérations et elles doivent être exécutées dans un ordre spécifique (contrainte d'antériorité);
- une machine peut de temps en temps tomber en panne. Cependant, il faut que $\text{durées des opérations} \ll \text{durées moyennes de fonctionnement normal et de réparation} \ll \text{horizon d'ordonnancement}$.

D'après cette hypothèse, des machines tombent en panne et sont réparées plusieurs fois au cours du temps de fabrication. Par conséquent, nous ne prenons pas en compte

importantes. Cette hypothèse est justifiée par le fait que les pannes importantes ne peuvent pas être absorbées par la gestion à court terme.

Partie statique du modèle - les objets.

En laissant de côté le sous-système de manutention-transport, les objets physiques traités sont liés au fonctionnement d'une cellule d'assemblage que l'on doit prendre en compte. Ils sont :

- Composants élémentaires et intermédiaires;
- Produits finis;
- Opération d'assemblage;
- Postes de charge (machine ou groupe de machines);
- Ordres de fabrication;
- Gestionnaire de cellule;

Dans ce qui suit, nous analysons ci-dessous quelques objets importants du modèle.

Opération manufacturière.

Une opération d'assemblage consiste à fabriquer un composant nouveau (ou un produit fini) à partir des composants constitutifs. Dans notre modèle, l'objet "opération manufacturière" est un objet intelligent. Il veille sur l'état des composants entrants et sur son état de l'attente au prêt-à-travailler une fois toutes conditions nécessaires et le déroulement de l'opération réunies. Il sait proprement commencer son travail par l'attente des composants entrants comme étant "consommés" et proprement le terminer en annonçant la naissance du composant résultant avant de se supprimer. Par conséquent, les attributs et méthodes principales à retenir sont :

les numéros des composants entrants et résultants et les pointeurs à eux pour consulter permanentement des informations actualisées,

l'état qui prend 4 valeurs : attente, prêt-à-travailler, en travail ou occupé et mort, une méthode pour mettre à jour son état,

des méthodes qui effectuent le lancement et l'achèvement du travail.

Poste de charge ou machine.

Chaque machine tient une liste des opérations qu'elle est capable d'effectuer. Elle fait figurer dans la liste d'attente, vérifie que l'opération est réalisable avant de la lancer. L'état d'une machine, en bonne marche ou en panne, est une fonction stochastique du temps de travail continue. L'objet "machine" possède donc :

une liste des opérations qu'elle est en mesure de réaliser,

des données concernant la probabilité de panne, le temps de réparation,

un état de deux valeurs : en bonne marche, en panne,

une méthode qui effectue la vérification de sa capacité.

Partie dynamique du modèle - Pilotage par un système multi-agents

L'idée de piloter un processus d'assemblage par un système multi-agents a été proposée dans [5]. Nous développons ci-dessous le rôle de chaque agent-contrôleur dans le système.

Le pilotage d'une cellule consiste à gérer le lancement en fabrication des pièces et le séquencement des pièces dans le système afin de réaliser le plan de fabrication tout en optimisant le processus de fabrication selon un critère choisi. Un système d'assemblage automatisé dynamique possède obligatoirement un sous-système pilote, qui fonctionne d'une façon autonome et est capable de prendre dynamiquement des décisions selon des règles bien définies. Nous bâtirons ce système de pilotage autour d'un ensemble d'agent-contrôleurs.

On peut considérer un objet qui possède l'intelligence comme un agent. Il représente une entité physique ou abstraite qui sait réagir devant chaque changement du monde extérieur. Il détient un volume d'information concernant l'environnement et a l'habileté de percevoir, d'analyser des données, de communiquer avec les autres et de réagir d'une

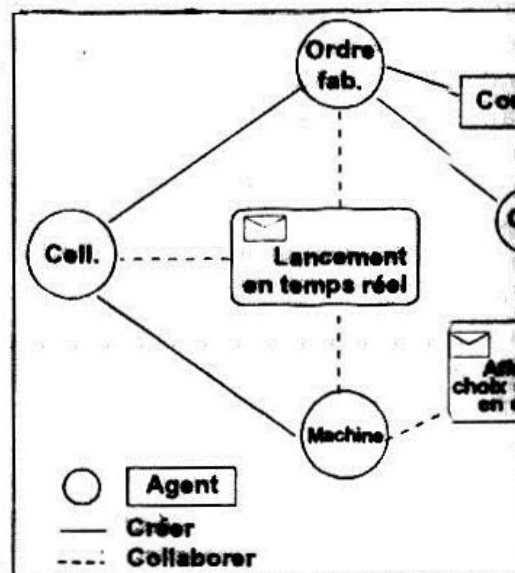
façon convenable. Dans notre modèle, les candidats naturels pour le rôle d'un sont les objets "machine" et "opération manufacturière". L'affectation dynamique des charges sera réalisée par la collaboration entre eux. Le lancement de fabrication suivi du processus sont sous le contrôle des agents "ordre de fabrication" et "gestion de cellule".

Lorsqu'un nouvel ordre d'assemblage arrive à l'atelier, l'agent d'ordre de fabrication crée tous les objets potentiellement liés au processus d'assemblage : les composants, tous les composants intermédiaires possibles ainsi que les contrôleurs d'opération susceptibles de participer au processus. Une fois que tous les éléments nécessaires ont été créés, le processus d'assemblage peut démarrer et évoluer selon plusieurs scénarios possibles. L'agent de machine choisit l'opération à réaliser entre celles prêtes au moment où la machine vient d'être libérée. Les opérations non réalisées restent en attente et se tuent en dépendant de l'état du stock de composants. On ne peut pas déterminer à l'avance quelles sont les opérations prêtes lorsqu'une machine se libère. Le processus d'assemblage ne suit pas un chemin rigide, tracé à l'avance mais évolue d'une façon à fait flexible. La procédure de prise de décision est donc de nature dynamique. La gamme de fabrication est choisie dynamiquement selon la situation réelle.

Pour mener à bien une collaboration telle que nous venons de présenter ci-dessus les contrôleurs doivent avoir des caractéristiques suivantes :

- Ils gèrent l'ensemble d'information sur son état et sur l'environnement local;
- Ils fonctionnent d'une façon autonome et remplissent ses tâches en communiquant, en concurrence avec les autres. Nous pouvons maintenant tracer des actions principales des agents. Chaque agent réalise un travail répétitif bien défini. Il est donc tout à fait naturel de simuler son fonctionnement par une tâche dans notre logiciel.

Figure 2.1: Collaboration entre les agents



III. DESCRIPTION DETAILLE DES TACHES

3.1 Tâche "opération manufacturière".

Un agent d'opération commence son travail par remise à jour l'état de l'opération selon la situation actuelle des composants entrants. S'ils sont tous en existence, la tâche écrit l'état de l'opération comme prêt-à-travailler. Si au moins un de composants entrants est déjà consommé (par une autre opération manufacturière, bien sûr) la tâche se tue à mort après avoir libéré l'espace mémoire réservé à l'objet d'opération correspondant. Dans le dernier cas, c'est-à-dire il y a au moins un des composants entrants qui n'est encore créé, l'état de l'opération reste toujours en attente. La tâche répète son travail au prochain tour de rôle.

TACHE operation-assemblage

BOUCLE : Mettre à jour l'état de l'opération;

SELON l'état FAIRE

CAS mort : libère mémoire alloué; se tue;

CAS prêt à travailler :

SI enregistrement de demande encours

ALORS faire inscription;

FIN-SI;

ETRES ne rien faire; reposer;
EN-BOUCLE;
EN-TACHE;

Figure 3.1 : Algorithme de tâche d'agent d'opération

che "machine".

Une machine ou un poste de charge - groupe de machines - peut réaliser des opérations manufacturières spécifiques. Elle peut de temps en temps tomber en panne.

Une machine est en état d'être occupé s'il y a une opération se passe chez elle. Le contrôleur n'est active que dans le cas où la machine n'est pas occupée. Le contrôleur de machine commence toujours son travail par la vérification de l'état de la machine. Si la machine est en panne, le contrôleur se repose. Dans le cas la machine est en bonne marche, le contrôleur lance une offre de service en commençant par vider une liste d'opérations prêtes-à-travailler, mettre le drapeau d' "enregistrement de demandes de services en cours" à TRUE. Elle se met en suite en attente pour que la liste d'opérations prêtes- à-travailler se renouvelle. Après la pause, la tâche inverse le drapeau d'enregistrement à FALSE et commence la procédure de sélection d'opération à servir. Il est à noter que le drapeau d' "enregistrement de demandes de service en cours" est conçu comme une ressource critique pour éviter l'accès de plus d'une tâche de charge à la liste d'opérations prêtes en même temps. Cela exclut la possibilité qu'une même opération soit sélectionnée par deux postes de charge.

Une fois la sélection réussie, le contrôleur de machine déclenche l'opération manufacturière, se met en attente pendant le temps de l'opération et termine ensuite le service par le passage au contrôleur de l'ordre de fabrication. L'état de machine, en bonne marche ou en panne, sera réexaminé après chaque opération. Il est une variable aléatoire prenant deux valeurs : 1- en bonne marche et 0- en panne. Cette variable prend telle ou autre valeur selon le résultat de l'appel de la fonction *random()* qui reçoit comme l'argument le nombre moyen des opérations effectuées entre deux pannes consécutives : *average-num-op-random()* retourne 0, la machine sera considérée comme en panne. Dans le cas contraire, c'est-à-dire que *random()* retourne une valeur de 1 à *average-num-op - 1*, la machine est en bonne marche. La probabilité pour qu'une panne survienne après une opération manufacturière est donc égale à $1/average-num-op$. Par conséquent, en moyenne une machine tombra en panne une fois après un nombre de *average-num-op* opérations consécutives.

EN-TACHE Agent-machine

EN-BOUCLE : Consulter l'état de machine;

 en-panne

LORS Attendre un délais = temps de réparation;

 mettre l'état = en-bonne-marche;

NON Poser le drapeau = TRUE; Initialiser la liste d'attente; Reposer;

 renverser le drapeau = FALSE;

 liste non vide

LORS Choisir une opération;

 Choix réussi

LORS Déclencher l'opération;

 attendre un délais = temps de manufacture;

 terminer l'opération; Faire Compte-rendu;

 mettre à jour l'état par l'appel de *random()*;

NON Reposer; FIN-SI;

NON Reposer; FIN-SI;

FIN-SI;

FIN-BOUCLE.