

Repères

Les progrès technologiques et leurs effets sur les indicateurs prix/performance des robots industriels

Dans son rapport annuel de l'année dernière, l'ONU et l'IFR ont demandé à Fanuc de faire la synthèse des évolutions de la robotique et de ses interactions avec des indicateurs économiques. En voici une traduction qui met en exergue le fait que la rentabilité d'un investissement robotique devient chaque jour meilleure.

L'ère de la robotique industrielle a été principalement caractérisée par l'avènement de nouveaux schémas économiques et par l'amélioration de la qualité de la fabrication. Bien que le prix des robots industriels ait continué à baisser, leurs performances, adaptabilité et fiabilité, ont continué à progresser à grands pas. Les systèmes de contrôle des robots ont peut-être vu les avancées les plus importantes. Les microprocesseurs mis en œuvre autorisent en effet l'addition de nouvelles fonctions et une amélioration des fonctions existantes. Les évolutions observées dans l'industrie électronique tant en termes de prix que de performances se sont donc répercutées sur les systèmes de commande des robots industriels.

Tous ces progrès technologiques réalisés en robotique industrielle durant la dernière décennie ont vu une importante baisse des prix.

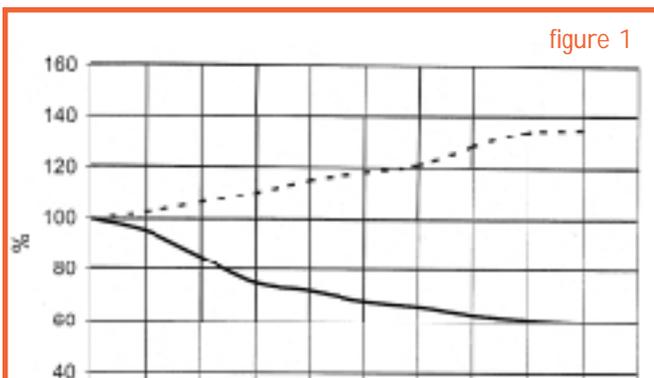
Des informations statistiques

tions et publie chaque année des rapports sur les tendances observées en matière de population et de prix. La **figure 1**, citée en mars 1999 dans la lettre de l'IFR, montre l'évolution des prix des robots industriels en comparaison du coût du travail aux Etats-Unis entre 1990 et 1999. La courbe indique que la moyenne des prix des robots industriels a baissé de 40% en une décennie alors que le prix du travail progressait d'autant.

La tendance est encore plus frappante si l'on s'arrête à quelques applications majeures de la robotique. La **figure 2** le démontre en affichant les tendances en matière de prix qui ont été relevées pour les domaines spécifiques du soudage par point et du soudage à l'arc. L'augmentation des fonctionnalités de la figure 2

dans un prix de base et une configuration fixés à 100% en 1999. Les données ne sont délivrées que pour 5 ans. Elles sont néanmoins significatives des tendances observées.

Cette baisse des prix dans un secteur phare de la robotique illustre comment les robots se sont eux-même appliqués les augmentations de productivité que l'on retrouve partout dans les industries de production. Cela confirme également comment l'industrie de la robotique a grossi au point de devenir un support incontournable dans le monde



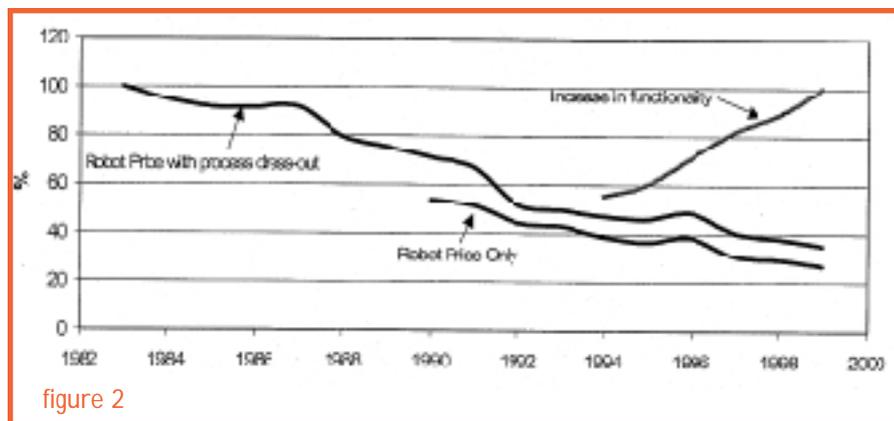
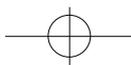


figure 2

de l'industrie lourde, à l'image de l'automobile. La réduction des coûts des robots a en effet engendré une demande sans précédent dans l'industrie, et l'année 2000 affiche de nouveaux records en termes de taux de croissance et de ventes.

La baisse des prix est rendue encore plus importante au regard de l'augmentation de nombreuses performances :

- la charge transportable pour un robot de soudage par point a augmenté de 80-100 kg en 1990 à 120-150 en 1999,
- augmentation du nombre de points par minute,
- amélioration de la précision et de la répétabilité en matière de positionnement et de déplacement,
- augmentation du nombre de fonctions exécutables par le système de commande,
- intégration de davantage d'équipements périphériques à l'image des protections anti-collision,
- augmentation en matière de sécurisation,
- simplification des méthodes de programmation.

(Si toutes ces fonctions étaient quantifiées avec des prix séparés, la partie mécanique serait presque gratuite, l'utilisateur ne payant que les fonctions de contrôle !)

De telles réductions de prix ont été réalisées en dépit de la croissance des coûts de fabrication, à l'image du coût du travail. De façon particulière, si l'on se réfère à la hausse des prix des dix dernières années, la baisse des prix a dépassé les 40 %.

robots, il est intéressant de faire un tour d'horizon des avancées technologiques qui ont amplifié l'impression de baisse des prix. Ces avancées concernent aussi bien la mécanique que le contrôle, les performances des fonctions ou les domaines d'applications. Retour sur ces principales innovations.

Les progrès mécaniques

Les nouvelles configurations mécaniques : Les dix dernières années ont vu l'introduction et la mise en œuvre de nombreux nouveaux types de mécanismes. Aux traditionnelles architectures articulées, cartésiennes, sphériques et cylindriques, l'industrie a ajouté le pendulaire et les mécaniques parallèles. Ces nouvelles mécaniques sont destinées à des applications particulières qui bénéficient de caractéristiques spécifiques comme l'extension du volume de travail, la vitesse ou la rigidité.

Les robots pour salles blanches : Un des domaines dans lesquels les robots ont le plus évolué est celui des salles blanches. Traditionnellement équipés d'un ou de deux axes programmables et non classifiés comme robots industriels, les équipements désormais mis en place dans les salles blanches disposent de plus de deux articulations et sont considérés comme des robots industriels. Bien que la plupart des machines utilisées dans les salles blanches soient de type cylindrique, certaines disposent de plusieurs axes et sont adaptés aux applications avec l'utilisation de préhenseurs spécifiques peu rencontrés dans l'indus-

production - classe 1) impose une grande rigueur en matière de design, des mécanismes et notamment des articulations afin de ne pas contaminer l'univers dans lequel ils travaillent.

Les composants modulaires :

Dans la conquête de la réduction des coûts, les fabricants de robots ont dû recourir à utiliser des composants de plus en plus modulaires, ces derniers pouvant être mis en place sur plusieurs familles d'équipements. Les fournisseurs ont également contribué à cette baisse et participé à l'amélioration de la fiabilité. Les réducteurs de vitesse sont de parfaits exemples de ces améliorations. Réducteurs de vitesse, Harmoniques, Cycloïd intègrent désormais des roulements du même type que ceux utilisés dans les articulations de robots. La synergie observée ici entre les réducteurs de vitesse et les roulements, qui aboutit à des économies d'échelle, est le fruit d'un bénéfice tiré d'une expertise commune en matière de production.

Intégration des équipements de Process

Les poignets creux : Traditionnellement, les applications utilisant un poignet creux afin de laisser passer les câbles n'ont concerné que les robots de peinture. Néanmoins, il s'avère que des applications du type du soudage par point peuvent bénéficier de ces avancées pour la protection des câbles et autres tubes. Il semble donc que les technologies "Poignet creux" voient leurs champs d'application s'élargir.

Les fonctions de Process : Dans le début des années 90, les contrôleurs utilisés en robotique se limitaient à la gestion des fonctions de déplacements et de contrôle de fonctionnement. L'évolution des performances des composants électroniques permet désormais aux contrôleurs utilisés d'ajouter de nombreuses autres fonctions. Notons que pour des applications particulières en matière de robots de peinture (changement de couleur...),



Repères

requis. Il est, à ce sujet, important de signaler que les nouvelles générations de contrôleurs ont permis aux utilisateurs de résoudre de nombreux problèmes, et ont également participé à la baisse des coûts tout en augmentant les performances.

Les évolutions de performances

Les robots industriels ont affiché des évolutions très importantes en matière de performances. Ces avancées résultent particulièrement des progrès de la microélectronique et des microcontrôleurs utilisés, des améliorations en terme d'algorithmes pour le contrôle des déplacements et de l'analyse des structures et du design mécanique. Tous ces progrès ont permis d'accroître les performances des paramètres suivants :

- **Vitesse** : La vitesse de déplacement des robots a environ doublée, passant d'une vitesse typique de 750 mm/s en 1990 à plus de 1500 mm/s en 1999.

- **Répétabilité** : La répétabilité des "meilleurs" robots atteignait 0,5 mm en 1990. En 2000, une répétabilité de 0,1 mm est chose commune pour un robot, même avec une charge notable.

- **Charge** : En 1990, la charge maximale que pouvaient atteindre les plus importants robots industriels se montait à 150 kg. Plus de 300 kg est désormais une charge commune dans les industries telle l'automobile.

- **Précision** : En 1990, la précision était un souhait pour les utilisateurs et un rêve très cher pour les fabricants. Les technologies à utiliser n'étaient pas compatibles avec des coûts acceptables. La puissance des contrôleurs, l'amélioration des algorithmes de simulation, les progrès en matière de design mécanique permettent désormais de pouvoir se fier aux précisions de déplacement et aux résultats des programmations hors lignes. De ce fait, des économies appréciables de temps et d'argent peuvent être réalisées.

soient toujours protégées des robots par des barrières et autres équipements de sécurité, la puissance des contrôleurs a permis d'accroître la fiabilité, réduisant les risques et les probabilités d'incidents. L'analyse des risques, nécessaire à la mise en place des niveaux de sécurité, s'appuie aujourd'hui sur une fiabilité accrue permettant de réduire l'intensité des protections et des coûts induits.

- **Champs d'applications** : Contrairement aux robots des années 90, les robots les plus récents sont dotés de nombreuses fonctions complémentaires telles le contrôle de process, la gestion du système, le contrôle des équipements périphériques, les systèmes de guidage. Toutes ces évolutions sont les fruits de l'intégration de plus en plus importante des contrôleurs.

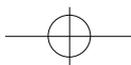
- **Fiabilité** : Les robots ont toujours démontré une remarquable fiabilité. Malgré cela, des progrès importants ont été enregistrés dans ce domaine. Dans le début des années 1990, l'espérance de vie des robots industriels, pour l'automobile par exemple, était de 5 ans ou de 10 000 heures. Il est aujourd'hui habituel que l'on demande le double. Il est également souhaité de nouvelles améliorations en matière de MTBR (Mean Time To Repair) qui inclut les temps de réparation, d'entretien, de remplacement de composants... L'interchangeabilité des composants et des programmes a été également considérablement améliorée avec des possibilités de remplacement, alors que l'équipement est en fonction. L'évolution de la fiabilité provient aussi de l'augmentation du MTBF (Mean Time Between Failure) qui dépasse aujourd'hui 50 000 heures pour les meilleures marques. Ces évolutions permettent d'affirmer que dans la grande majorité des cas, en utilisation normale, le robot industriel est l'équipement de production qui présente la fiabilité la plus performante.

Evolution des contrôleurs

utilisés, ces derniers bénéficiant des avancées générales observées dans ce domaine.

La Semiconductor Industry Association, SIA (www.semichips.org), vient de publier ses prévisions en matière de progrès technologiques dans le domaine des circuits intégrés. Les prévisions de l'association consistent à estimer les évolutions de quelques paramètres représentatifs comme la densité de transistors, la taille de géométries (des pistes), la consommation, le coût, etc. Le **tableau 1** indique les prévisions en terme de performances des mémoires DRAM et des microprocesseurs pour les 13 prochaines années. Les conséquences induites sur les contrôleurs utilisés dans le secteur de la robotique industrielle seront proportionnelles. Elles concerneront bien sûr la vitesse et la puissance. Néanmoins, il faut prendre en compte que les composants utilisés dans l'industrie doivent rester stables plusieurs années et qu'un délai existe avec l'évolution des microprocesseurs. Les tendances affichées n'en sont pas moins un bon indicateur de ce qui évoluera au cours des 13 prochaines années.

Depuis les années 1990, les capacités des contrôleurs utilisés en robotique ont été multipliées par 200. Cela a conduit notamment à deux types d'améliorations. La première réside dans le nombre de points de mesure de mouvement que les robots sont capables de prendre en compte par seconde, avec évidemment des conséquences importantes en matière de précision, particulièrement en ce qui concerne les courbes. La seconde s'applique aux algorithmes et à leur complexité. La possibilité de calcul accrue entre deux points, permet aux contrôleurs de prévoir et d'anticiper les trajectoires, et de calculer les opérations à mettre en œuvre pour optimiser les performances, tout en coordonnant ces déplacements avec les autres articulations et autres systèmes de déplacement, l'ensemble en prenant en compte les compensations en termes de gravité, de fléchissement et d'erreurs de production.



Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2008	2011	2014
Technology Node										
DRAM 1/2 Pitch, nm	180	165	150	130	120	110	100	70	50	35
Mega Transistors/cm2 At introduction	7	-	14	-	26	-	47	115	284	701
Number of package pins Microprocessor/controller	700	-	-	957	-	-	1309	1791	2449	3350
Package cost'/pin	0,78- 2,71	0,78- 2,71	-	0,6- 2,16	-	-	0,51- 0,85	0,44- 0,59	0,38- 1,36	0,33- 1,17
On-Chip frequency, local clock, MHz	1250	-	-	2100	-	-	3500	6000	10000	16903
Memory generation @production ramp (bits)	256M			1G			4G	16G	64G	256G

Tableau 1 : Paramètres représentatifs de l'évolution des technologies dans les microprocesseurs

90, disposait d'environ 68 000 transistors et nécessitait plusieurs cartes pour supporter les composants indispensables au fonctionnement du robot. Les composants actuellement utilisés rassemblent 23 fois plus de transistors et ce dans 12 % du volume auparavant nécessaire. Alors qu'il était fréquent de placer le système de commande du robot dans une armoire de la taille du robot lui-même, désormais une petite boîte sise à l'arrière du robot suffit dans la plupart des cas.

Les avancées extraordinaires en matière d'affichage et de graphisme ont considérablement impacté l'interface et la communication entre l'homme et la machine. En 1990, les robots étaient programmés par l'intermédiaires de 4 lignes de LED de 40 caractères qui transmettaient toutes les informations nécessaires. Les liens avec les autres équipements s'effectuaient en série à une vitesse de 9600 bauds. Aujourd'hui, les systèmes intègrent une carte 10/100 mégabits Ethernet, qui permet à l'utilisateur, depuis son bureau, en manipulant des icônes relatives au fonctionnement du robot, de délivrer ses instructions sur le réseau approprié.

Mais certainement la plus frappante et la plus conséquente des évolutions

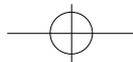
du robot. Au début des années 1990, entre 50 et 60% du temps d'engineering, lié au bon fonctionnement du robot, étaient consacrés au management des interfaces entre les différents éléments qui composaient la cellule. Le robot, l'automate programmable pour le contrôle des entrées-sorties, le système de vision, le contrôleur de process, les passerelles de communication, tous avaient des systèmes d'interfaces et de communication distincts. La réduction de la taille des composants a permis aux robots modernes d'intégrer un réseau de processeurs internes qui gèrent toutes les fonctions de communication et d'interface dans un environnement simplifié en matière de programmation et de maintenance.

Le temps de mise en place d'un système de robotique était principalement consacré au montage et à la programmation. La simulation consistait à prévoir l'exact comportement du robot en production. Les trajets obtenus différaient de façon significative des chemins prévus. Les équipements actuels disposent d'un module intégrant un système de contrôle embarqué connecté à un système moderne de simulation qui permet de prédire la trajectoire des robots avec une précision supérieure à 2%.

chaines années une autre croissance de 200 % des capacités de calcul des contrôleurs. Les impacts seront de nouveau très importants. Il sera possible par exemple aux robots de contrôler plusieurs cinématiques, à l'image de deux robots distincts, dans la mesure ou l'interaction entre les deux robots est lente. Grâce à l'augmentation des capacités de calcul, le nombre d'axes contrôlés pourra commencer à simuler les fonctionnalités d'un bras humain. La combinaison des capacités de stockage et des vitesses des processeurs conduira à élargir le spectre des données qui pourront être embarquées dans les équipements de commande et de contrôle des robots. Les progrès concernant la programmation permettront la compatibilité en temps réel des programmes issus des différentes sources, en préservant la fiabilité et la sécurité. Toutes ces caractéristiques combinées conduiront à une accélération de l'accroissement des performances des robots industriels.

Ce que nous réserve le futur

L'impressionnante révolution de la microélectronique s'est répercutée sur une multitude de produits, technologies et procédés. Les robots, qui dépendent



bénéficier de ces avancées. Les progrès affichés par les circuits intégrés en matière de puissance, de taille mémoire, de vitesse d'horloge, de communication, d'intégration logicielle participeront à la propulsion de la robotique industrielle sur de nouvelles orbites en matière d'efficacité. Plusieurs évolutions ne sont pas encore industriellement abordées par les fabricants en raison des limitations économiques des processeurs courants. Les avancées attendues, tant technologiques qu'au niveau des prix, devraient permettre aux professionnels de la robotique d'investir ces champs et d'élargir les applications des robots. Plusieurs voies sont possibles.

Capteurs et robots intelligents :

La voie d'évolution la plus attendue est celle du robot intelligent. Le coût relativement élevé des capteurs, associé au coût de leur intégration tant matérielle que logicielle, a freiné l'évolution de tels équipements. Les progrès réalisés dans le domaine des microtechnologies, la production de masse des microsystèmes, la compatibilité de ces systèmes et le faible coût espéré, devraient permettre d'intégrer de tels capteurs. Si l'on met en parallèle l'évolution des processeurs et leur capacité à gérer nombre de ces capteurs, il est alors possible d'envisager un robot reconnaissant son environnement. De telles caractéristiques pourraient permettre au robot de répondre aux changements d'environnements sans l'aide d'un opérateur, une évolution de l'intelligence de la machine de première importance dans le monde de la production. En outre, grâce à ces capteurs, il deviendrait possible au robot d'intégrer des fonctions d'autoapprentissage. La programmation ne se limiterait pas à la définition d'un trajet mais à de nombreuses autres fonctions liées aux équipements périphériques, aux commandes d'entrées-sorties, à la gestion des alarmes, aux fonctions de sécurité...

La mobilité : L'intelligence et la disponibilité des capteurs permettront également au robot de se départir à la fois de l'image de composant statique et de sor-

dans lequel il a été placé. Déplacer les robots pourrait devenir une action commune dans les usines s'il s'avère possible de les positionner précisément sur le sol. Les robots ne devront pas nécessairement être fixés à leurs supports.

Tendance à la baisse des coûts :

L'impact des capteurs sur le futur de la robotique lié à une augmentation des fonctions intelligentes impactera la performance, la souplesse et les coûts de production. Avec des capteurs terminaux adaptés, il ne sera par exemple plus indispensable d'utiliser des structures et des articulations de haute précision. La diminution de la précision dans le domaine mécanique deviendra possible sans sacrifier la fiabilité et la performance. Le robot sera capable de se positionner seul, de façon précise, sans avoir recours à une plate forme de référence comme c'est souvent le cas actuellement sans les capteurs. La réduction de la précision au niveau des mécanismes permettra d'utiliser des matériaux et des outils de moindre coût, une baisse qui se répercutera sur les coûts de production.

La commande intégrée : Les paramètres de compacité et de puissance observés au niveau de l'électronique pourraient éventuellement conduire l'intégration du système de commande au cœur même de l'infrastructure du robot. Une armoire séparée ne serait alors plus nécessaire.

La sûreté améliorée : Le développement des capteurs autorisera le travail des robots dans le cadre d'un haut niveau de sécurité avec comme objectif ultime l'élimination des zones de sécurité. Avec une évaluation des risques appropriée, les robots en opération détecteraient les diverses intrusions et reviendraient à l'état le plus sûr.

La fiabilité des différents logiciels devra être suffisamment éprouvée pour permettre de se substituer à certains éléments de hardware coûteux et source de panne. Les robots pourront devenir intrinsèquement sûrs et des réductions de coût pourront ainsi être réali-

Commande vocale : Bien que la programmation graphique ait démontré son efficacité pour des générations de robots industriels, elle nécessite un haut niveau de compétence de la part de l'opérateur. Les robots des générations futures deviendront plus facilement utilisables et nécessiteront de ce fait des opérateurs moins compétents. La programmation grâce à la commande vocale conduira également à une utilisation des robots par davantage d'utilisateurs qu'aujourd'hui.

Pour conclure

Les tendances observées, démontrant une forte augmentation des performances et une baisse des prix des équipements, ont été impressionnantes dans le monde de l'industrie de la robotique. Ces progrès ont été réalisés avec une amplitude sans précédent alors même que les coûts de production augmentaient. Le futur nous promet d'être une continuation des évolutions actuelles et passées avec de nouvelles augmentations de performances, des baisses de prix, des améliorations en terme de sécurité et une utilisation simplifiée.

Mr Hadi A. Akeel, Ph.D., Senior Vice President and Chief Engineer (retired), Fanuc Robotics NA Inc and Technical Adviser, Fanuc Ltd, Japan

Mr. Gary J. Rutledge, Vice President, Product Development, Fanuc Robotics NA Inc.