

La vision en Productique

De gauche à droite sur la photo :

- M. Laurgeau** : Professeur des Universités ; Chef du département productique à l'Agence de l'Informatique ; Co-Auteur de l'ouvrage «Les machines de vision en Productique».
- M. Petit** : Prestataire de services, expert auprès de l'Adi pour la recherche sur les laboratoires publics dans le domaine de la vision.
- M. Bris** : Spécialiste vision inspection et vision robot, au sein de Syspro-filiale de Pont-à-Mousson S.A.
- M. Salesse** : Direction des affaires scientifiques et techniques du groupe Renault ; spécialiste du contrôle automatique de production.

Axes : Qu'appellez-vous un système de vision et, quels en sont les éléments indispensables ?

Salesse : Un système de vision n'est, pour moi, qu'un périphérique d'un élément plus important : d'un automate programmable par exemple, même si ce dernier coûte deux fois moins cher.

Une «machine de vision», doit obligatoirement comprendre un ensemble d'éclairage, au moins une caméra, un système de numérisation avec ou sans traitement temps réel et un système de traitement informatique ou micro-informatique.

Laurgeau : Je ne suis pas d'accord pour dire qu'un système de vision est un périphérique de quelque chose, notamment d'un automate programmable. En effet, cette industrie naissante se trouve dans le même cas que les automates programmables, il y a une quinzaine d'années. Une machine de vision peut très bien fonctionner en autonome, sans être forcément le périphérique d'autre chose.

Je tenterais une autre définition en disant qu'une machine de vision est un processus informatique dédié, composé d'une caméra, d'un système de numérisation, d'une machine informatique et d'un

ensemble de logiciels, dont la fonction est de substituer à l'homme dans l'une de ses tâches où il utilise son acuité visuelle.

Salesse : En vivant la réalité des usines, je constate que pour contrôler des pièces, il faut les amener, les éjecter, les présenter, etc... Actuellement, dans les entreprises, ce sont des réseaux d'automates programmables qui font la synchronisation de ces systèmes ; la machine de vision reste «un super capteur».

La machine de vision reste un super-capteur

Axes : Les systèmes actuels sont-ils conçus principalement pour le contrôle, avec des réponses simplement binaires ?

Laurgeau : La décision finale d'une machine de vision n'est pas forcément binaire. Il y a trois grandes classes d'applications dans l'industrie :

1) l'inspection qu'il faut diviser en deux parties, l'inspection quantitative (contrôle dimensionnel), l'inspection qualitative (contrôle d'état de surface, défaut) ; pour ces 2 classes, la décision finale est du type binaire.

2) la reconnaissance et le tri des pièces ; dans ce cas la décision sera du même degré que le nombre de pièces qu'il faut reconnaître.

3) le guidage où la décision finale est infiniment complexe, car il s'agit de générer une trajectoire, (pour suivre un joint par exemple).

Axes : A propos de la reconnaissance et du tri, n'est-ce pas un faux problème de vouloir trier des pièces en vrac ; et ne peut-on pas s'arranger pour éviter ce «vrac» ?

Salesse : Je vais vous citer un exemple concret pour lequel la seule possibilité reste le vrac : dans la fabrication des arbres à cames en fonderie, nous avons quatre arbres dans le moule et nous voulons une trempe localisée des pièces. Dans le sable nous déposons des refroidisseurs en métal. Le moule comprend donc quatre arbres et douze refroidisseurs.

Après coulage et refroidissement du métal, le tout passe dans une machine à vibrer ; le sable s'en va et il reste sur le tapis à écailler les arbres à cames et les refroidisseurs.

Le problème est de séparer en temps réel les pièces : pour le moment ce sont huit personnes qui assurent cette fonction.

Cette application est du vrac réel avec 7 200 pièces par heure et je n'ai encore trouvé personne pour résoudre ce problème ; mais il reste vrai que ce type d'application ne représente qu'un faible pourcentage.

Axes : Une partie des systèmes de vision est utilisée pour guider des robots. Quelle est l'ampleur du marché et quels domaines touchent-ils ?

Laurgeau : Dans les statistiques, il y a à peu près 60 à 70 % des systèmes pour l'inspection ; 20 à 25 % pour le tri et la reconnaissance de forme ; 5% pour le guidage. Ce guidage ne se retrouve pratiquement que pour des applications de suivi de joint de soudage.

La localisation d'une pièce en position et en orientation en vue de la prendre ne rentre pas dans la catégorie du guidage. Après le suivi de joint, viendront les robots mobiles avec bientôt les premières applications. Dans ce cas le système de vision est bien étudié pour générer la trajectoire.

Salesse : Il faudra encore que les systèmes de vision répondent en temps réel, ce qui n'est pas le cas de tous les produits.

Il faudra que les systèmes de vision répondent en temps réel

Axes : Certains constructeurs pensent que l'éclairage est un faux problème ?

Salesse : En général, ce sont des entreprises qui ne restent pas longtemps sur le marché ; je crois que ce qui différencie les constructeurs, c'est leur aptitude à résoudre toute la chaîne et non pas à écrire seulement des équations de vision ; or, cette chaîne commence par l'éclairage.

Bris : Cet éclairage va mettre en «relief» le défaut à trouver, il existe un autre moyen que l'éclairage classique, comme la trioscopie, pour visionner des bulles dans le verre par exemple.

Axes : La France a, pour le moment, une place prépondérante du marché avec un nombre important de sociétés ; ne craignez-vous pas que l'arrivée massive de constructeurs étrangers lui porte préjudice ?

Salesse : A mon avis, actuellement l'une des meilleures machines est américaine : elle permet de mettre en cascade plusieurs opérateurs temps réel et en pipe-line... mais il n'est pas besoin d'utiliser une Rolls pour toutes les applications !

La France, quant à elle, produit des machines bien étudiées.

Laurgeau : La différence est d'environ trois ans entre les deux pays. Dès les années 79, les USA ont commencé à générer des entreprises qui se sont spécialisées dans les machines de vision ; en 1982, un inventaire donnait 400 machines installées et 60 à 70 offreurs. Il a fallu atten-

dre l'année 85 pour que la même étude soit faite en France, aboutissant à 26 offreurs et environ 300 systèmes installés (en comptant les produits clés en main et développés en interne).

Les premières sociétés qui se sont placées, en France, le créneau de la vision ont commencé à offrir des produits commercialisables vers 83-84 : donc, un décalage de 3 à 4 ans par rapport aux USA.

Dès les années 78, il existait en France une trentaine de laboratoires qui étaient équipés en machine de vision et qui avaient le niveau technique des systèmes actuels ; nous ne pouvons que regretter un retard de cinq à six ans entre la maîtrise d'une technique dans un laboratoire et son avènement sur le marché.

Salesse : Je rejoins M. Laurgeau pour constater un certain retard. Par exemple, le rapport entre l'équipement en vision des industries automobiles françaises et américaines reste important.

Axes : Alors ne croyez-vous pas que contrairement à la robotique, la pénétration de la vision risque de ne pas passer par l'automobile ?

Salesse : Il faudra quand même un encadrement suffisant pour utiliser les systèmes de vision.

Axes : Est-ce que la vision française s'exporte bien ?

Salesse : Je reviens d'Hanovre : les français y étaient les seuls (à part Automatix) à exposer du matériel de vision. Est-ce réaliste ? Je ne suis pas persuadé que leurs systèmes soient facilement exportables à cause des logiciels et de la mise en œuvre. On en revient toujours au problème de portabilité de l'exploitation. Certains pourront exporter, par exemple, une partie de leurs systèmes comme périphérique d'un ordinateur.

Laurgeau : Il faut aussi avoir la volonté et les moyens d'aller attaquer les USA.

Axes : Les étrangers n'ont-ils pas le même problème ?

Salesse : Si, bien sûr, et c'est sûrement ce qui permet à la France de bien tenir son marché. Le premier qui sortira un système performant et convivial pourra l'exporter.

De plus les étrangers devront s'implanter et mettre sur place des interlocuteurs locaux : sinon ils ne vendront rien.

On en revient toujours au problème de portabilité de l'exploitation

Laurgeau : D'où l'importance pour nos constructeurs nationaux de s'accrocher ! Si l'on compare avec d'autres technologies ? nous détenons 80 à 90 % de notre marché pour les automates programmables et seulement 10 % pour la CAO.

Il faut donc essayer de conserver cet avantage sur le marché de la vision, car le jour où les américains ou les japonais arriveront, ce sera en force.

Axes : Y a-t-il une volonté des Pouvoirs Publics de créer un programme coordonné en vision comme ARA en robotique ?

Laurgeau : Il existe bien un plan Image au sein des Pouvoirs Publics mais celui-ci est plutôt orienté vers la synthèse d'image et vers des applications, type bureautique, imagerie animée pour la bande dessinée, le cinéma synthétique, etc... Le programme est très peu orienté vers les applications industrielles. Nous avons cependant financé à l'Adi plusieurs projets en vision mais il existe peu de monde pour promouvoir la recherche vision orientée vers l'industrie.

Axes : Existe-t-il une synergie entre laboratoires, où est-ce du «chacun pour soi» ?

Petit : Nombreuses sont les équipes qui travaillent en commun sur des sujets de pointe. Dans l'ensemble on peut dire qu'il existe une sorte de communauté de recherche en vision, et que la compétition reste saine.

(suite page 15)



(suite de la page 11)

Axes : Ne faudrait-il pas pour favoriser la pénétration de la vision, un moyen de programmation très facile (type Mac Intoch) ?

Salesse : Je me bats actuellement avec les constructeurs pour qu'ils déportent la programmation sur un micro du commerce type IBM PC. Mis à part les avantages de coût, la programmation, les sociétés passant par un langage convivial, vendront beaucoup plus de machines. Cette attitude leur permettra de trouver des équipementiers locaux qui favorisant les applications, comme pour les automates programmables par exemple.

Laurgeau : Le succès des machines de vision se gagne sur le terrain de la convivialité et de l'interaction homme-machine.

Axes : Quel niveau de formation faut-il pour programmer un système de vision ?

Salesse : Je suis très optimiste à ce sujet. Il existe dans nos entreprises des capacités insoupçonnées : certains systèmes se programment en Basic et les opérateurs apprennent très rapidement.

Bris : Chez nous, le client a une formation sur l'installation livrée, et nous essayons toujours d'y faire un travail le plus transparent possible. Le personnel de niveau BTS doit pouvoir suivre sans difficulté majeure.

Axes : Nous avons soulevé l'une des lacunes des systèmes existants. Quels sont les progrès qui doivent faire les constructeurs ?

Bris : Il faudrait s'attacher à la résolution des capteurs actuels en dépassant les 512 x 512, mais aussi penser aux capteurs couleurs et au 3 D.

Laurgeau : Pour le 3 D, 20 à 30 machines sont actuellement sur le marché américain ; en France, 4 ou 5 existent à l'état de prototype au sein de laboratoires ; c'est le tout début de l'offre industrielle.

Petit : Pour le moment un nombre égal de recherches sont effectués sur la stéréovision et sur l'utilisation de la lumière structurée, certaines équipes explorent les deux voies ; d'après ce que j'ai pu voir le laser apporte des solutions plus convaincantes, la stéréo, pêche encore par la difficulté qu'il y a à trouver de bons algorithmes de correspondance entre les images.

L'Inria a développé un système qui donne de très bons résultats à partir d'une caméra barrette et d'un laser, mais le temps de calcul pour des pièces très complexes peut atteindre 30 minutes pour 2 000 points et 4 000 facettes par exemple.

Salesse : Une autre lacune : les cartes opérateurs temps réel microprogrammable. Des traitements en temps de trame permettront de gagner du temps. La tendance actuelle des constructeurs est de tout faire en soft.

La tendance actuelle des constructeurs est de tout faire en soft

Laurgeau : Nous venons de voir les progrès à faire en capteur et en temps de traitement, mais le principal reste la modélisation de la connaissance.

On sait mal appréhender des scènes complexes dans lesquelles les objets sont tridimensionnels, en couleurs, en mouvement ou en chevauchement. Or, actuellement, les systèmes fonctionnent avec des algorithmes aussi simples que reconnaissance et localisation de pièces à partir de calcul d'attributs comme les centres de gravité, moments d'inertie etc... Il reste beaucoup à faire sur la modélisation géométrique de scènes et plus généralement sur la représentation de la connaissance.

Axes : Vous parliez de lacunes des capteurs ; actuellement il existe deux grandes classes de capteurs, les linéaires et les matriciels : que choisir ?

Salesse : Certaines applications se font très bien en linéaire et non en matriciel. A mon avis ce sont deux marchés différents qui ne sont pas très concurrents.

Bris : Nous préférons quant à nous travailler avec du matriciel, celui-ci présentant une plus grande facilité de développement, ce qui entraîne une diminution des coûts de faisabilité.

Petit : Il existe à Toulouse, un prototype de caméra matricielle à senseur linéaire ; c'est une barrette qui se déplace, asservie par un moteur pas à pas et qui donne une résolution jusqu'à 2 048 x 2 048 pixels. Le temps de saisie est actuellement d'environ trois secondes et devrait atteindre prochainement moins d'une seconde ; la caméra se trouve dans un boîtier peu encombrant.

Axes : En robotique d'assemblage, certains spécialistes préconisent les capteurs tactiles, d'autres les capteurs de vision. Qu'en pensez-vous ?

Laurgeau : Il existe une place pour les deux, comme pour l'humain : la vision va être utilisée pour cadrer dans un champ assez large, et le tactile pour l'approche finale.

Pour utiliser un retour sensitif, il faut quand même se trouver assez proche de l'objet.

Axes : Comment pour choisir tel ou tel système pour une application déterminée ?

Salesse : Mise à part la question de prix, à caractéristiques de matériel égales, c'est celui qui présente la solution technique la plus astucieuse qui l'emporte ; pour les problèmes d'éclairage par exemple. Le moyen de programmation compte également beaucoup.

Bris : Nous avons chez nous testé et essayé quatre systèmes. Il existe entre eux des divergences, dans les capteurs proposés (vidicon ou CCD) et dans la possibilité de lier le système de vision à un robot.

Notre choix tiendra compte de ces critères ainsi que du temps de traitement, mais le prix reste d'une grande importance.

Salesse : A la RNUR, nous essayons dans diverses unités des systèmes différents pour tester les matériels et les constructeurs. Toutes ces données sont ensuite centralisées.

Axes : Quelle est la fourchette de prix à envisager pour une première application ?

Salesse : A Cléon, le système installé dans la chaîne existante a coûté 200 KF ; pour nous, le prix moyen d'une machine de vision, avec la mécanique et l'ingénierie, se situe aux alentours de 800 KF. Le système de vision n'en représente même pas la moitié.

Bris : Un système de vision revient en moyenne à 300 KF ; chez nous les installations vision ont tourné autour de 600 KF.

Axes : Quels sont d'après vous les principaux critères de rentabilité d'un système de vision ? La qualité, le gain en personnel ?

On trouve déjà sur des micro-ordinateurs des systèmes de vision pour quelques milliers de francs

Salesse : C'est une question que nous nous posons en permanence. Le critère de rentabilité dépend des conditions existant, à un moment donné, dans une entreprise.

Le premier reste le critère comptable, c'est-à-dire le gain en personnel, mais ce qu'il faut chiffrer c'est le fait que le système de vision permet d'éviter d'une part de déclarer mauvaises des pièces bonnes et, d'autre part, de laisser passer des pièces mauvaises. Ce facteur est aussi important que le gain en personnel.

Il reste l'aspect qualité, qu'il est très difficile de chiffrer mathématiquement.

Axes : Y a-t-il des débouchés pour les systèmes de vision grand public ?

Laurgeau : On trouve déjà sur des micro-ordinateurs des périphériques de vision pour quelques milliers de francs. Il faut faire descendre à 3 ou 4 000 francs le package capteur-chaîne de numérisation et disquette logiciel, après quoi cette vision se vendra sans problème et progressera en bénéficiant des travaux de ces innombrables utilisateurs... comme cela s'est passé pour la micro-informatique les 5 ou 6 dernières années.

La vision en productique

Pour aborder ce sujet, nous tenterons d'éviter deux pièges qui consisteraient à tomber dans le triomphalisme ou dans une étude prospective à long terme.

Où en est-elle en 1985, cette nouvelle technique, développé il y a plus de vingt ans pour des cas particuliers dans les laboratoires de recherche ? c'est la question que nous poserons, car «la machine universelle de reconnaissance de forme de faible coût et capable de s'adapter à toutes les situations», cela n'existe pas sur le marché, bien que les constructeurs tentent de le faire croire.

Nous avons fait un vaste recensement des applications existantes en France, en utilisant la même méthode de travail que celle employée pour les robots. Nous avons mené à bien ce travail en collaboration avec l'Adi et l'Afri.

Après une première partie consacrée à l'analyse des chiffres, nous détaillerons les principaux éléments d'un système de vision que l'utilisateur potentiel que vous êtes doit connaître pour se retrouver dans cette faune de produits de 70 à 500 KF. Contrairement aux robots, il est en effet difficile de choisir un système de vision à partir de quelques éléments simples.

L'exposé de quelques applications vous aidera ensuite à mieux situer votre cas particulier.

Enfin, un tableau récapitulatif, avec les principaux critères des systèmes commercialisés en France, et leur prix de base respectif conclura le dossier.

Recensement exclusif

Premier enseignement, le schéma de pénétration de la vision rejoint celui de la robotique de la fin des années 70 : presque autant de machines vendues clés en main par les offreurs que de systèmes conçus en interne au sein des sociétés utilisatrices.

- a) **141 systèmes «d'offreurs»**, dont 107 implantés dans des entreprises et 34 dans des laboratoires de recherche-développement.

- b) **136 systèmes développés en interne** : les entreprises en ont acquis une partie auprès des fournisseurs de cartes spécialisés (standard VME, par exemple) et ont appliqué ces modules à leur cas particuliers ; c'est souvent la seule méthode envisageable, à cause du manque de choix des produits constructeurs.

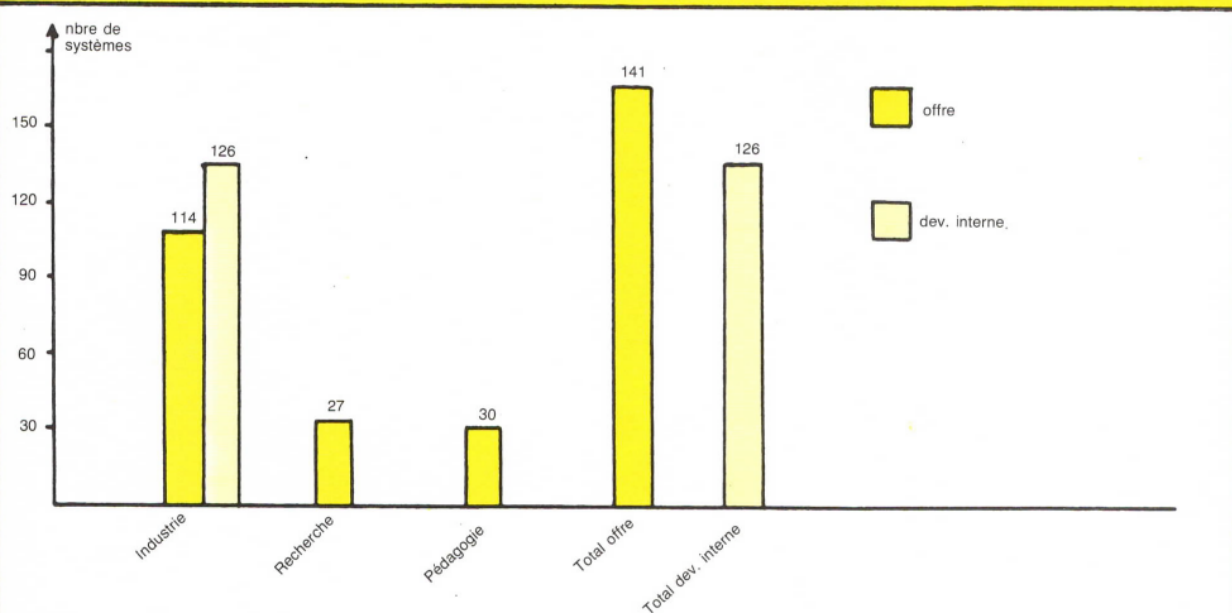
- c) **30 systèmes vendus à des fins pédagogiques.**

Cette tendance va, comme en robotique, s'inverser, puisque le nombre d'offreurs et de systèmes va croissant. Nous avons recensé 45 produits correspondant à 25 sociétés présentes sur le marché français.

Tous les résultats analysés ci-après ont été établis uniquement à partir des chiffres correspondant aux machines des offreurs ; systèmes livrés en clés en main et prêts à fonctionner sur une application définie, soit 141 systèmes.

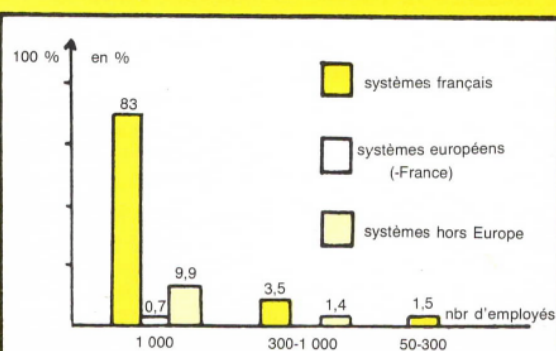
Ces résultats généraux nous autorisent à un fier «cocorico», puisque près de 90 % des systèmes installés sont français. Même tendance que pour les automates programmables mais inverse à celle de la robotique ou de la CAO : les machines étrangères font là pâle figure, avec 26 appareils sur les 141 installés ! Une réserve cependant : 6 constructeurs étrangers seulement sur les 25 ; alors que près de 40 firmes se bousculent aux USA, dont General Motors, au travers de cinq sociétés (une seule étant représentée en

Répartition Offres/Développement interne des systèmes de vision (1985)



1985	Système français	Système européen	système hors Europe	Total
+ 1 000 emp.	117	1	14	132
300-1 000	5	/	2	7
50-300	2	/	/	2
- 50	/	/	/	/
Total	124	1	16	141

Répartition selon la taille de l'entreprise utilisatrice



France). Or, l'arrivée massive, sur le marché français, de ces matériels étrangers risquerait d'inverser les résultats ; nos constructeurs doivent rester très vigilants.

Autre motif de satisfaction : les systèmes installés le sont dans des domaines d'activité très divers : cela va de la mécanique à l'électronique, au contraire de la robotique dont 50 % de l'activité concerne un seul secteur d'activité. Aucun des constructeurs automobiles ne propose d'ailleurs de système de vision, comme ACMA pour la robotique.

Si les acheteurs viennent de secteurs très divers, l'utilisation qu'ils font des produits de vision l'est encore davantage. Nous avons distingué quatre grandes familles :

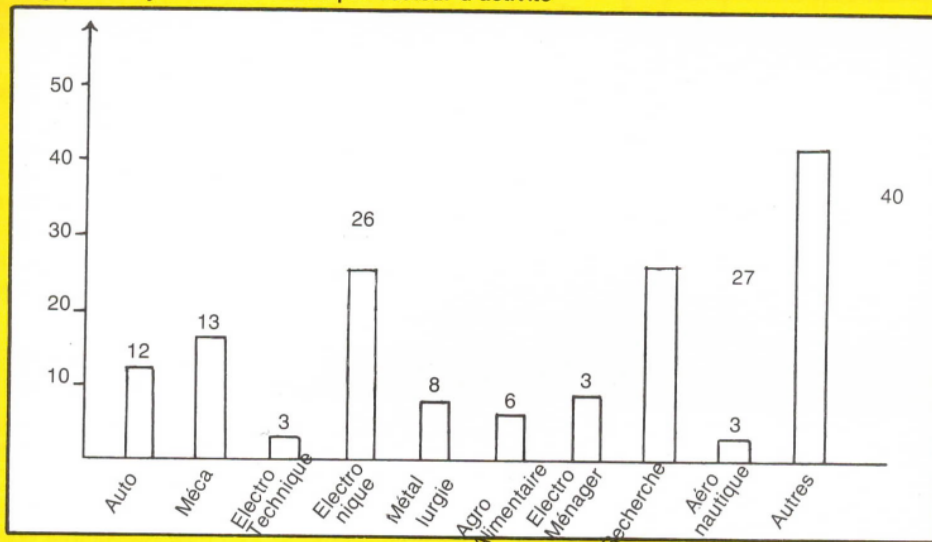
- 1) la localisation de pièces avec reconnaissance et commande de robots ou de machines à plusieurs axes ;
- 2) l'inspection qualitative (contrôle qualité) et quantitative (contrôle dimensionnel) ;
- 3) la digitalisation de formes et la reconnaissance de caractères ;
- 4) la recherche.

Mais cet essai de répartition en 4 groupes ne règle pas toujours les difficiles problèmes de classification : par exemple, il arrive fréquemment qu'un système de reconnaissance de formes pour commander un robot soit aussi utilisé à des fins d'inspection.

Néanmoins on note une nette prépondérance de l'inspection avec plus de 60 % des systèmes vendus sans compter les machines utilisées dans la recherche. Hors recherche, l'inspection atteint 77 % contre 20 % pour la commande de robots.

Par ailleurs, la pénétration dans le tissu industriel indique une domination des entreprises de plus de 1 000 employés 95 % des produits de vision. Le chiffre parle de lui-même : les PMI sont sans doute intéressées par la vision mais il leur est difficile de faire un choix et surtout de s'assurer de la rentabilité de l'acquisition.

Origine des systèmes de vision par secteur d'activité



Origine des systèmes de vision par secteur d'activité

1985	Automobile	Mécanique	Electro-technique	Electro-nique	Métallurgie	Agro-alim.	Electro-ménager	Recherche Enseign	Aéronautique	Autres	Total
France	10	11	2	25	8	2	1	24	3	38	124
Hors France	2	2	1	1	/	4	2	3	/	2	17
Total	12	13	3	26	8	6	3	27	3	40	141

Répartition en fonction des coûts des systèmes de base

1985	Localisation avec Cde robot	Inspection contrôle	Digitalisation de formes	Recherche Pédagogie	total
- 150 KF	10	61	/	/	71
150 à 250 kF	3	17	3	12	35
250 à 350 kF	5	1	/	10	16
+ 350 kF	4	7	/	8	19
Total	22	86	3	30	141

Deux phases distinctes

Pour obtenir les informations qui entraîneront un résultat sous forme de conformité de pièces ou de mouvement de robots, nous traiterons deux phases distinctes : la perception et le traitement numérique.

Ce découpage correspond à l'œil et au cerveau ; l'un est associé à l'autre et toute défaillance de l'une quelconque des deux parties entraîne une erreur au niveau de l'ensemble.

Ce lien est important : une caméra mal adaptée avec un traitement numérique performant ne pourra donner que de médiocres résultats. Certains constructeurs régénèrent l'image perçue pour la rendre plus facile à travailler ; il reste néanmoins impossible de créer une image n'ayant pas été correctement enregistrée ; ou d'obtenir de bons résultats qualitatifs avec un capteur de faible résolution (par exemple 32 x 32 pixels). L'éclairage restant aussi un des facteurs les plus importants.

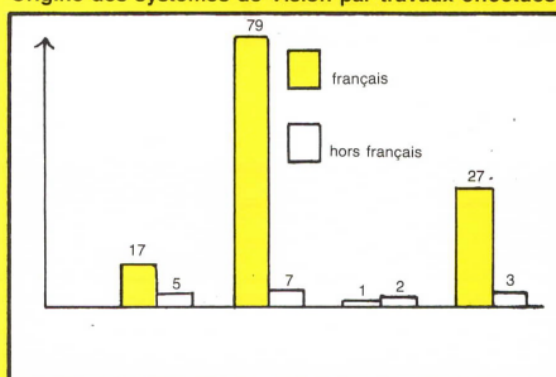
La perception

En productique, deux types de capteurs à distance sont plus couramment utilisés : les tubes et les transferts de charge.

Origine des systèmes de vision par travaux effectués

1985	Localisation Cde Robot	Inspection contrôle	Digitalisation de formes	Recherche Pédagogie	Total
France	17	79	1	27	124
hors France	5	7	2	3	17
Total	22	86	3	30	141

Origine des systèmes de Vision par travaux effectués



Nous ne parlerons donc pas ici des capteurs à infrarouge ou à ultrasons.

Les capteurs à tube

Ils restent pour longtemps encore les plus répandus. Important marché dans le grand public (magnétoscope, etc...) et par conséquent, prix peu élevé.

Le principe consiste à analyser une scène passée par un objectif et projetée sur une surface photosensible.

Type de capteurs utilisés suivant l'application

1985	Localisation avec Cde robot	Inspection contrôle	Digitalisation de formes	Recherche Pédagogie	Total
Matriciel	12	66	3	22	103
Linéaire	10	20	/	8	38
Total	22	86	3	30	141

Chaque point qui vient frapper cette cible prend une charge électrique d'intensité proportionnelle à l'éclairement. La charge en chaque point est alors traduite en un signal électrique proportionnel à l'intensité lumineuse de ce point de l'image.

Une image complète au standard 625 lignes est réalisée par la fusion de deux images de 312 et 313 lignes.

Ce type de capteur qui a une bonne résolution et un prix abordable possède néanmoins quelques inconvénients : une déformation géométrique due aux défauts du système de balayage et une fragilité inhérente au capteur.

Une réduction de ces défauts ne peut être envisagée sans une augmentation importante du prix des capteurs ce qui les rendraient moins accessibles au grand public.

Les capteurs à transfert de charges

Les concurrents des tubes sont les capteurs à transfert de charges qui, bien que plus chers pour le moment, sont moins limités par les progrès techniques.

Mis au point il y a une dizaine d'années, ces détecteurs sont en perpétuelle amélioration. Les plus rencontrés sont les CCD (charge coupled device).

Leur principe consiste à transférer des charges entre des puits de potentiel. Ces charges sont provoquées par l'énergie lumineuse acheminée par les photons.

Ces capteurs sont commercialisés sous deux formes :

- l'alignement de plusieurs photodiodes en barrettes : certains produits proposés début 85 vont jusqu'à 3 456 points ;
- l'adjonction de plusieurs lignes pour former une matrice de photodiodes ; les possibilités actuelles permettent de loger jusqu'à 640 x 480 points ou 512 x 512 (chaque point a une surface d'environ 50 μm).

Du choix entre les deux types de capteurs dépend la suite du système de vision : à ce stade encore, deux possibilités :

- les systèmes à capteur linéaire ;
- les systèmes à capteur matriciel ;

Les premiers ont l'avantage d'être plus précis sur une ligne, mais pour obtenir deux dimensions, il faut déplacer soit l'objet soit la caméra : par exemple, pour analyser une largeur de tissu lors d'un défilement grande vitesse, une seule dimension suffit : le capteur linéaire est alors parfaitement adapté.

Pour concurrencer cette très bonne précision, quelques constructeurs proposent déjà des caméras équipées de plusieurs matrices montées en série. Ceci permet d'obtenir à la fois la précision en ligne et en colonne, mais les recoupements des points restent une opération délicate et la quantité des informations à traiter est très importante.

En conclusion, si la connaissance d'une seule ligne suffit, le linéaire est bien adapté. Pour analyser une surface, il faut s'en tenir à l'alternative suivante : le linéaire + mouvement, ou le matriciel.

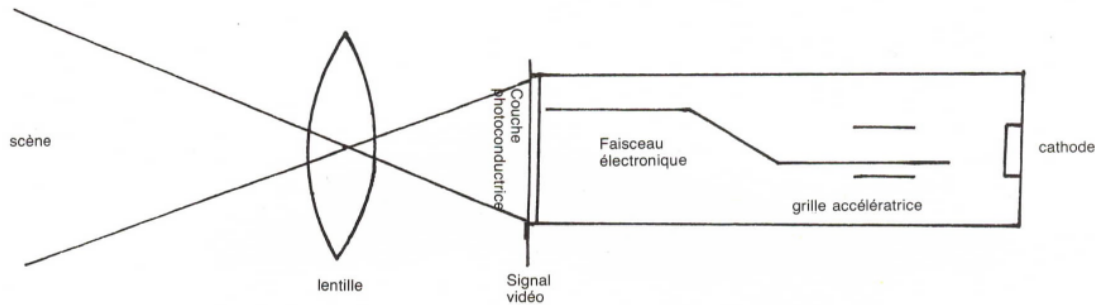
Ce type de capteur à transfert de charges devrait bientôt concurrencer sur son propre terrain, le grand public, le capteur à tube, mais pour arriver à ce stade, il faudra résoudre les problèmes de la couleur. On parle déjà de matrices spécifiques. Celles-ci utilisent des filtres quadrillés spécifiques aux couleurs fondamentales.

Une fois, cette phase achevée, il sera difficile d'enrayer la progression exponentielle de la vente de ces caméras qui déjà sont proposées à des tailles voisines de celles d'un paquet de cigarettes.

Les informations capteurs

Il faut garder à l'esprit qu'un système de vision industriel est un vaste entonnoir dans lequel sont déversées des milliers d'informations. A la sortie on récupère une donnée de position, ou une réponse binaire sur un objet en ou hors tolé-

Principe de tube vidicon



rance. C'est cette information qui importe. Le passage dans l'entonnoir doit donc se faire le plus rapidement possible.

(Dans le cas d'un capteur matriciel de 512 lignes par 512 colonnes, le nombre de points atteint 262 000 ; dans de nombreux cas, l'image n'est pas binaire et comporte plusieurs étapes entre le noir et le blanc ; appelés niveaux de gris, ces découpages de la zone peuvent être de 16 (2^4), 64 (2^6), voire 256 (2^8) niveaux de gris par point ; soit dans le dernier cas un total de 2 M bits ($262\,000 \times 8$).

Il n'est évidemment pas question de traîner ce boulet de données très longtemps, car, sur les 2 M bits, peu d'entre eux sont effectivement intéressants ; par conséquent, plus les informations descendront vers la base de l'entonnoir, plus elles auront tendance à devenir binaires.

Le prétraitement

Avant tout, les informations capteurs doivent souvent être prétraitées pour reconstituer l'image la plus idéale possible à partir d'une image déformée et parasitée.

De nombreux procédés existent que nous ne détaillerons pas ici, mais dont vous avez à connaître l'existence :

- la correction géométrique, pour pallier aux distorsions dues aux caractéristiques mécaniques du capteur ;
- la modification des niveaux de gris, ou des histogrammes de gris, soit pour les aplanir, soit pour réduire le nombre de valeurs d'intensité de l'image digitalisée ;
- l'amélioration des contrastes (le but est d'améliorer les images troubles) ;
- le lissage (pour atténuer les changements brusques en certains points de l'image) ;

Tous ces procédés de prétraitement peuvent être effectués avant ou pendant la segmentation de l'image.

Dans le premier cas, c'est la descente vers la base de l'entonnoir par étapes successives ; dans l'autre cas, il s'agit d'un traitement en parallèle permettant de revenir à tout moment à l'image d'origine en cas de dilemne.

Certains constructeurs proposent aussi ces « primitives » de traitement intégrées aux têtes de prise de vues.

La segmentation

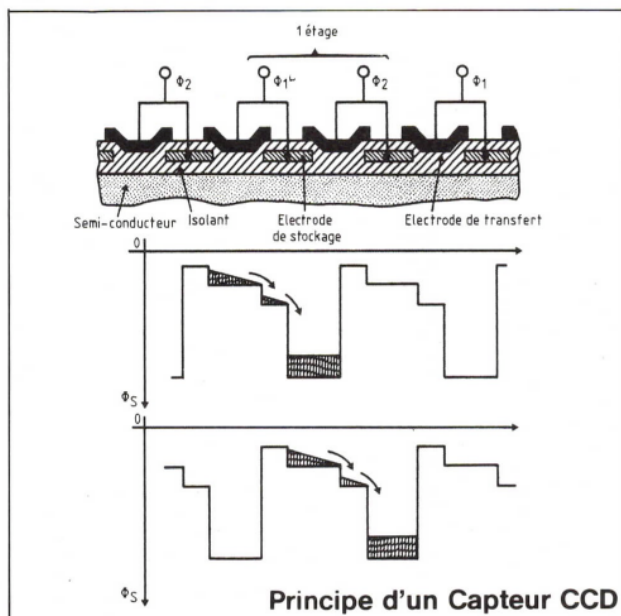
Le processus de binarisation continu, dans le but de réduire la masse d'informations ; maintenant que celles-ci ont été épurées des principaux parasites, l'image va être segmentée en un certain nombre de zones d'intensité équivalente.

La méthode la plus fréquemment rencontrée consiste à créer un histogramme des intensités en déterminant des seuils à partir desquels les points prendront une certaine valeur.

En segmentation binaire, tous les points en-dessous du seuil prendront la valeur 0 ; les autres la valeur 1 ; à partir de là, la machine sait que la région noire correspond à la pièce et la blanche au fond (ou inversement dans le cas de pièce claire sur fond sombre).

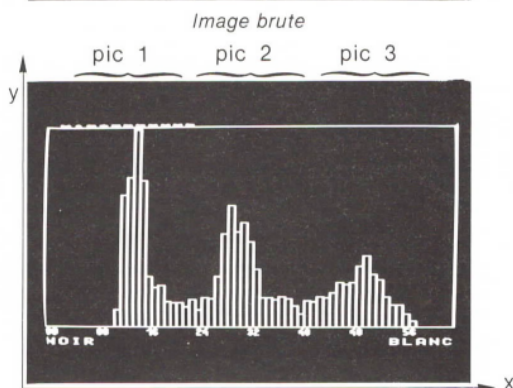
D'où l'intérêt d'un éclairage uniforme de la scène. En effet, toute variation importante aura une influence sur l'histogramme. Des constructeurs proposent d'ailleurs sur le marché des processeurs temps réel permettant d'adapter la binarisation de l'image aux conditions d'éclairage.

Pour un histogramme, il est important de disposer d'un bon nombre de niveaux de gris, mais il n'est pas obligé de donner une capacité excessive à cette fonction.





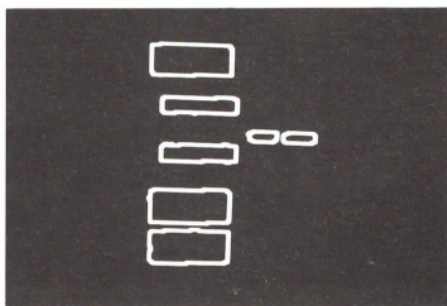
Circuit hybride sur céramique



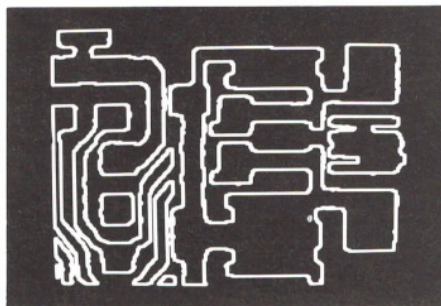
Histogramme :

x : niveau de gris de 2 à 64.
y : nombre de pixels.

pic 1 : noir - résistance.
pic 2 : gris - pistes conductrices.
pic 3 : blanc céramique.



Extraction de contour sur image binarisée :
seuil 20.
Les résistances (en noir) sont extraites



Extraction de contour sur image binarisée :
seuil 40.
Les résistances et les pistes conductrices
sont extraites

Par exemple, une pièce à reconnaître peut se trouver entre les niveaux 30 et 70. Pour éviter de stocker des informations inutiles, il existe des produits qui, à partir d'une image en 256 niveaux, utilisent uniquement la plage intéressante et la redécoupent avant traitement en 16 niveaux seulement.

Il existe un autre procédé de segmentation de l'image ; l'opérateur gradient, qui utilise les dérivées des deux variables pour créer un vecteur, s'il y a contraste si celui-ci change rapidement de direction.

L'extraction de contours

Intuitivement, il est facile de comprendre que la segmentation permet de déterminer les zones de contraste ; il suffit d'utiliser ces informations pour «construire» le contour de la pièce visionnée.

Dans l'état actuel, le stock d'informations a en moyenne été réduit à 2 % des données premières issues du capteur.

L'objectif reste maintenant de comparer une image par rapport aux modèles de référence après l'avoir modélisée.

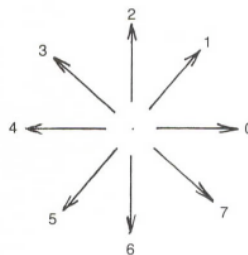
Modélisation des images

Plusieurs méthodes sont employées pour modéliser l'image et permettre, à partir de paramètres simples, sa manipulation, grâce au processus final de reconnaissance.

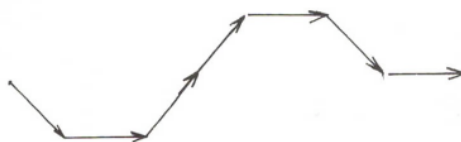
Les moyens de modélisation les plus usités restent l'utilisation du contour et de ses primitives.

Codage de Freeman

association d'un nombre à chaque direction selon le schéma suivant :



Par exemple, le contour suivant :



donne pour code : 70 110 70

Le contour va recevoir une codification constituée à partir des directions élémentaires qu'il aura prises. Dans le codage dit «de Freeman», à partir d'un point, huit directions sont possibles par le pixel suivant, chacune étant multiple de $\pi/4$ par rapport à la précédente. Chaque direction reçoit ensuite un code correspondant à sa direction (voir exemple).

D'autres méthodes sont possibles : codage par concavité-convexité, fonctions intrinsèques des courbures, etc...

Pour le principe des primitives, le système s'attachera à calculer certains paramètres spécifiques à chaque pièce comme la surface, la longueur du périmètre, le rapport périmètre, le rapport périmètre carré/surface, le centre de gravité, le nombre de trous, la somme de la surface des trous, le centre du rectangle circonscrit, etc. Tous les moyens sont bons pour obtenir des informations que le système de reconnaissance pourra analyser sans ambiguïté.

Programmation

Avant toute comparaison par rapport à des objets en mémoire, avec comme objectif la définition de la classe et du positionnement de la pièce visionnée, il faut enregistrer les caractéristiques de toutes les pièces qu'il est possible de rencontrer en période de fonctionnement.

La méthode la plus simple consiste en un apprentissage, en positionnant la pièce «A» sous le système de vision.

L'écran de contrôle fournit l'image de la pièce et un dialogue homme-machine s'établit.

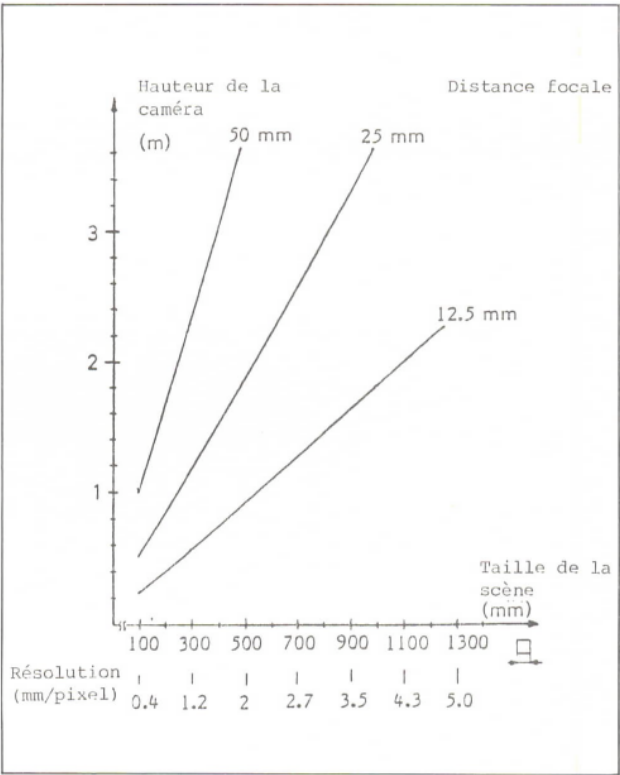
L'opération peut être refaite sur une pièce identique. Le système fait une nouvelle acquisition de la pièce «A» lui permettant par la suite de posséder une fourchette dans laquelle il pourra reconnaître cette pièce «A».

Ainsi, la mémoire va bientôt posséder les caractéristiques des 10, 20 ou 50 pièces différentes à reconnaître.

Pour augmenter les possibilités, plusieurs langages ont été mis au point, (Rail, Rol, LV, Caiman, VPL,...). Ces langages restent très divers, chacun ayant sa spécificité et étant incompatible avec les autres.

Il est possible de retrouver des structures telles que If, While, For,... et des instructions pour charger des fichiers, ou de calculer des régressions linéaires, des distances entre points, etc.

Beaucoup de ces langages possèdent aussi des structures de programmation de robots, et permettent ainsi d'utiliser une seule armoire de commande pour le robot et le système de vision.



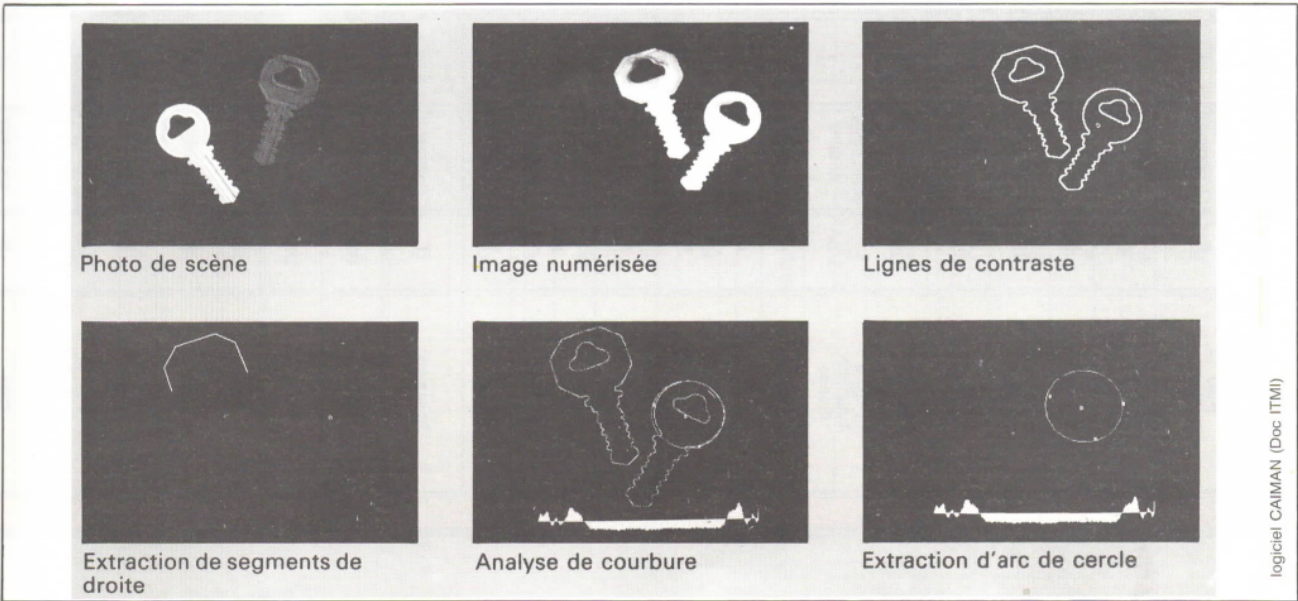
Reconnaissance - Classification

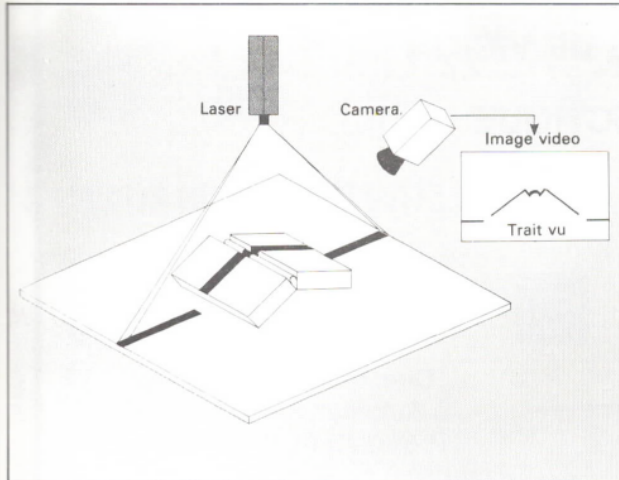
Dernière phase : la comparaison et le classement de l'image visualisée par rapport à celles mises en mémoire.

Il existe pour cela de nombreux algorithmes qui vont de la méthode du plus proche voisin à l'approche statistique.

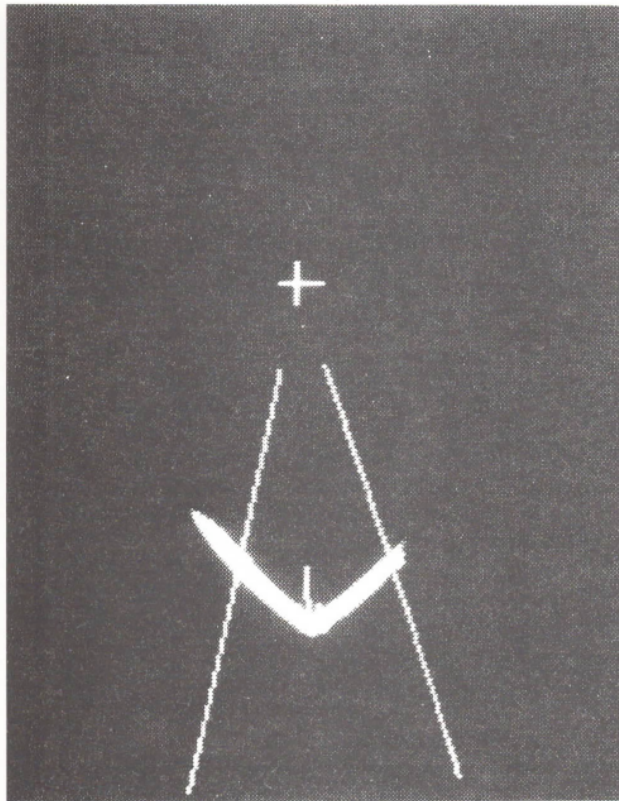
Les plus évolués font appel à des techniques d'intelligence artificielle, en utilisant par exemple des stratégies de prédiction-vérification, qui interprète des indices visuels au fur et à mesure de leur obtention pour construire des hypothèses, et prédire l'emplacement de nouveaux indices que l'on cherche ensuite à extraire.

Lorsque cette étape de reconnaissance-classification est terminée, le système fournit la réponse demandée : position, orientation, type de la pièce, ou tout simplement validation sur la conformité de la pièce.





Principe de la vision 3 D (doc. ITMI)



Suivi de joint par robot (doc. SME)

Pour en savoir plus :

- Les machines de vision en productique par C. Lurgeau M. Parent - ETA/1985
- Support de cours sur la vision - ITMI/1985
- Robotics World - février 1985
- Sciences et Techniques - n° 1
- Le Nouvel Automatisme - février-mars 85
- Robot Vision - A. Pugh - 1983
- Documentation détaillées des constructeurs
- Séminaire vision 25 et 26 juin 1985 - Strasbourg
- Lettre 2 000 - n° 4

Les évolutions futures

Actuellement, les systèmes de vision sont à 95 % bidimensionnels, mais depuis quelques années, un certain nombre de machines 3 D arrive sur le marché. Quelques unes seulement ont été pour le moment commercialisées, pour des applications de suivi de joint de soudure, par exemple.

Il existe plusieurs méthodes :

- l'observation d'une scène à l'aide d'une ou plusieurs caméras avec utilisation soit d'un faisceau lumineux soit d'un point lumineux ;
- l'utilisation de deux caméras avec corrélation des deux images.

En évolution aussi, l'utilisation d'images couleurs, cette technique, qui multiplie par trois le nombre d'informations capteur dès le départ, peut être très intéressante si le point stratégique d'une pièce possède un indice de couleur bien déterminé.

Comment choisir ?

Il reste extrêmement difficile de déterminer le meilleur système pour un type d'application donné. Mais plusieurs facteurs sont à prendre en compte, que nous avons récapitulés dans le tableau ci-après.

Le premier réflexe de tout industriel sera de regarder la dernière colonne ... celle des prix ! Mais, attention : si, en robotique, le prix du matériel de base correspond pratiquement au coût final du robot à l'exclusion de la périphérie, il en est autrement des matériels de vision. Dans ce domaine en effet, les prix « affichés » ne sont, dans 50 % des cas, que des coûts de base, auxquels il faut ajouter des options supplémentaires pour réaliser un système particulier : cela va de la carte mémoire (souvent indispensable) au processus d'extraction de contours qui peut ne pas être fourni dans la version de base.

Règle d'or, donc :

- établissez un cahier des charges précis, pour éviter les surprises de dernière minute ;
- assurez-vous par ailleurs que le coût de la caméra est bien compris dans le devis ;

Le choix du capteur est important :

- si vous désirez obtenir le contrôle dimensionnel précis d'une pièce, un capteur linéaire avec un grand nombre de points sera bien adapté ;
- pour la localisation d'une pièce fixe, un capteur matriciel s'impose ; sa définition dépendra des variantes entre pièces. S'il faut distinguer des pièces de formes bien différentes, inutile de posséder un capteur de 640 x 512 points. Les informations supplémentaires enregistrées par le capteur prennent en effet de la place mémoire, ce qui se traduit en :
 - un coût plus élevé
 - des processeurs plus sophistiqués

Quand au « dialogue homme-machine », il reste très important d'essayer de programmer soi-même les matériels proposés, au cours des rencontres avec les constructeurs.

Si les systèmes de vision artificielle ont en effet pour objectif de remplacer l'œil humain, ils ne répondent à cette attente qu'au prix de l'observation stricte d'un mode d'emploi très précis, alors que l'œil et le cerveau humains fonctionnent sans que l'on ait besoin de se pencher sur la notice d'utilisation !

* Pixels : Picture élément. Cellule élémentaire d'une image digitalisée.

Contrôle des claviers d'ordinateur chez Bull

De plus en plus, les investissements consacrés par les groupes d'informatique touchent l'amélioration de la qualité du produit fini : robot chez Hewlett Packard, IBM... vision chez IBM... et chez Bull.

Pour certains, ces améliorations visent la qualité 100 pour l'enregistrement des disquettes, ou l'insertion et le contrôle de composants. Dans le cas présent, l'objectif est d'empêcher l'expédition de claviers d'ordinateurs non conformes à la commande.

En effet, ce sont 70 000 claviers par an qui sortent de cette unité de Belfort, avec 29 variantes de produits pour des marchés internationaux.

Deux problèmes spécifiques se posaient : d'une part l'insertion de touches à des endroits autres que ceux indiqués, et d'autre part des erreurs de cablages qui impliquaient une impression différente de la touche sélectionnée.

Contrôlé jusqu'à présent manuellement, ce poste est maintenant traité en automatique.

Le travail en manuel

Pour assembler en manuel, ces claviers compatibles sur plusieurs produits, les opérateurs reçoivent par l'intermédiaire d'un tapis, l'ensemble des éléments constitutifs. Ceux-ci sont regroupés dans un casier portant un code-barre correspondant au type de clavier à monter.

Ce code va suivre le produit jusqu'en bout de chaîne, et, c'est à partir de celui-ci que le système de contrôle va agréer ou non le clavier.

En fin d'assemblage, un opérateur fait une lecture du code-barre et vérifie la conformité d'aspect et d'emplacement des cabochons à l'aide d'un transparent qu'il superpose.

Ensuite il effectue une frappe sur chaque touche pour contrôler le bon appareillage de celles-ci. Le temps de contrôle est limité à deux minutes par clavier. Les risques d'erreurs dus à la fatigue visuelle est important. Aussi, il a été décidé de procéder à un contrôle automatique de ces claviers.

Le travail en automatique

Comme pour le cycle manuel, les appareils sont montés sur un plateau transfert. Celui-ci arrive en bout de chaîne sur le poste de contrôle.

La première étape consiste en une lecture automatique du code-barre du clavier ; le plateau est ensuite transféré sous le poste de vision. Trois caméras vidéos sont nécessaires et disposées sur un axe perpendiculaire à la chaîne.

Le plateau va alors progresser par pas successifs sous ces caméras.

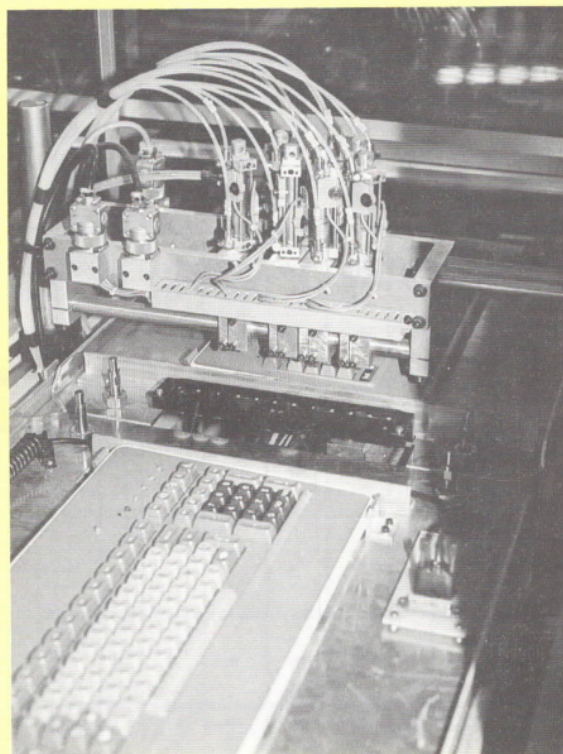
Le système de vision analyse le clavier par tranche de douze touches ; chaque caméra prenant une photo de 2 x 2 touches.

Les informations recueillies sont segmentées et comparées au contenu de la mémoire. A partir de la lecture du code-barre, le système de vision sait quelle touche il doit reconnaître et n'a donc pas à passer en revue toute sa bibliothèque de connaissance.

Lors de la programmation par apprentissage du clavier, l'opérateur a indiqué pour chaque touche le pourcentage de reconnaissance. Celui-ci est souvent de 80 % (soit une dérive de 20 % par rapport à la touche apprise).

Plusieurs types de comparaison sont utilisés : centre de gravité, surface des sigles jusqu'au calcul de la position du centre de gravité d'une touche par rapport à ses voisines ; ce qui permet de détecter par exemple une inversion de la touche O de 180 ° (contrôle difficilement visualisable en manuel).

Après ce contrôle visuel, le clavier passe au poste suivant qui vérifie la conformité des informations de sortie par rapport aux touches. Ce test fonctionnel a été pris en charge par Matra et consiste en une série de vérins venant actionner les différentes touches.



Les résultats

Ce système de vision «visiomat» a été implanté début 1985 par Robotronics. Le coût global de l'ensemble du poste s'est élevé à 1,1 MF ; avec un retour d'investissement de 16 mois.

Le temps de traitement d'un clavier, y compris les mouvements de pas à pas, est de 1 minute 35 secondes, par clavier.

Pour la programmation d'un nouveau clavier, le temps nécessaire est de l'ordre de une heure pour les 100 touches. □

Applications industrielles.

Qualité d'abord

Aller à l'usine Renault de Cléon pour entreprendre un reportage sur la vision et ne pas parler de l'application de dépalettisation des vilebrequins, voilà qui pourrait choquer.

Pourtant à côté de ce concorde, il existe aussi des Supercinqs efficaces, rentables et qui ne font pas parler d'elles.

Dans ce cas précis, deux systèmes de vision fonctionnent actuellement pour contrôler la bonne mise en place des coussinets sur les blocs moteurs ; et l'insertion correcte de roulement à billes dans des carters de boîtes de vitesse.

Ces deux premières applications - une troisième est en phase d'installation - font parties des investissements sur l'amélioration qualité des produits. □

Le contrôle de présence des coussinets

Dans cette unité de 9 000 personnes qui produit 85 000 boîtes de vitesses et 55 000 moteurs par mois, le cycle de montage des coussinets n'a pas été modifié, mais à chaque stade important de l'assemblage, la présence de ceux-ci est contrôlée.

Au cours du cycle de fabrication d'un moteur, lors de la fixation dans le bloc du vilebrequin, ce dernier n'est pas en contact direct avec la pièce maîtresse ; entre blocs et vilebrequin viennent s'interposer huit coussinets, quatre inférieurs et quatre supérieurs.

Ces pièces sont auparavant étamées pour permettre un démarrage sans grippage, la pompe n'ayant pas encore acheminée l'huile vers le haut.

Les blocs arrivent sur une chaîne de montage, posés sur des palettes, en aval de celles-ci se trouve un vilebrequin et en amont quatre présentoirs par moteur sur lesquels l'opérateur va installer les coussinets supérieurs.

Immédiatement après, la première caméra donne les informations de cette scène-présentoirs - au système de reconnaissance qui vérifie que les quatre coussinets sont bien positionnés.

Deuxième poste, la pose manuelle des coussinets inférieurs sur le bloc et contrôle de leur présence par la caméra deux.

La dernière étape consiste en automatique à poser le vilebrequin sur les coussinets inférieurs, puis à prendre quatre chapeaux, à les positionner sur les coussinets supérieurs. Ces derniers par pincement resteront fixés sous les chapeaux.

Le tout est alors fixé sur le vilebrequin, en même temps la dernière caméra inspecte les présentoirs et vérifie que les coussinets ne soient pas rester dessus.

Ce poste de contrôle n'existait pas auparavant en manuel et lors du banc d'essai final du moteur, le manque de coussinets était détecté ce qui imposait le démontage, le nettoyage et le remontage du moteur. Si par hasard, le moteur passait le test final, il cassait purement et simplement lors du tour de piste avant l'envoi au client.

Cette installation est revenue au total à 250 KF ; comprenant un V X 100 à 16 niveaux de gris de Gixi et trois caméras.

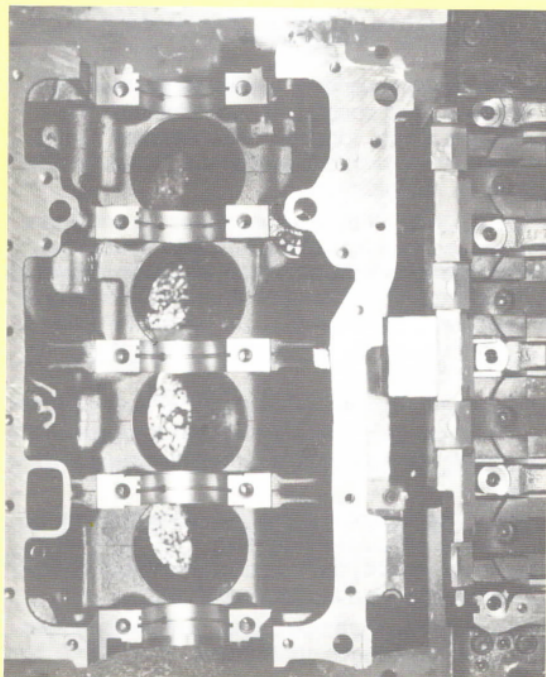
Le principal problème a été de trouver le seuil à partir duquel les coussinets inférieurs étaient détectés ; car seul l'intérieur de ceux-ci doit être étamé ; l'extérieur l'étant partiellement, lors de l'analyse de la scène, la différence de niveaux de gris entre coussinets et présentoir peut être de deux niveaux seulement.

Actuellement, cette barrière a été trouvée par essais successifs et le système fonctionne sans problème.

Le contrôle de roulement

Le deuxième poste de contrôle concerne la pose de roulement dans les carters de boîtes de vitesses, suivant les modèles de véhicules turbo ou normal, le type de roulement et de carter change.

Le travail se fait par campagne de boîte de vitesses, la première caméra ayant en charge le contrôle du bon carter.



Un circlips par roulement (au nombre de deux) est alors posé dans le carter et ce dernier avance vers le poste automatique de pose de roulements ; entre temps la deuxième caméra a vérifié la présence et le bon emplacement de ces deux circlips.

A la sortie du poste d'emmanchement, la dernière caméra contrôle cet assemblage, le type de roulement et sa conformité avec le carter, ainsi que le bon positionnement des circlips après insertion.

Pour un coût équivalent à l'application précédente, cette deuxième installation fonctionne depuis maintenant trois mois.

La prochaine implantation concernera le contrôle en épaisseur et en continuité d'un cordon de silicone déposé avant l'assemblage final des carters. □

52 modèles d'enceintes à répartir chez Arthur Martin

A Reims, l'usine d'Arthur Martin produit, principalement pour le marché français, des éléments de cuisson : cuisinières, fours et tables encastrables.

Ce sont près de 1 200 appareils qui sortent des chaînes tous les jours. A part certains éléments électriques, tout est fabriqué dans cette unité, de la tolérerie au produit fini.

Lorsqu'il fut décidé, il y a deux ans, de revoir entièrement le cycle de production, robots, visions et autres matériels d'automatisations ne furent pas oubliés.

Le processus de montage est découpé en deux grandes phases ; d'abord en sortie d'émaillage, l'équipement des enceintes de cuisson ; ensuite le montage des autres composants pour constituer l'élément de cuisson.

Le nombre de modèles qui est de 16 à la suite de l'émaillage passe à 52 après le montage des équipements.

Le cycle de fabrication

Pour constituer un appareil, le premier poste est celui de la tolérerie avec constitution des éléments à plat, découpage, pliage, soudage et manutention. Quatre robots aident à la bonne exécution des tâches de soudage et de manutention.

Deuxième poste, l'émaillage de toutes les enceintes avec une cadence maximum de 300 à l'heure ; suivi du montage des équipements spécifiques. Ceux-ci dépendant du type d'appareil final (gaz, électrique par exemple), mais aussi des commandes de certains gros distributeurs qui vendent des produits et références spécifiques.

Ces équipements sont ajustés tout au long de huit lignes de montage manuelles. Toutes ces enceintes sont acheminées par un tapis roulant vers le poste de triage.

C'est dans cette cabine qu'est installé le système de reconnaissance qui à l'aide de quatre caméras va analyser un certain nombre de fenêtres pour détecter la présence ou non des constituants.

Les enceintes arrivent une à une, sont positionnées et les diverses images sont prises.

Actuellement pour différencier les 52 modèles existants ; 29 fenêtres sont nécessaires, chacune donnant une information par seuillage de la présence par exemple, d'éléments de grill, de trous d'accrochage arrière, etc...

Toutes ces réponses binaires sont ensuite comparées aux 52 possibilités existantes, l'enceinte alors reconnue est acheminée sur un convoyeur aérien. Lors de son transfert sur une balancelle, cette dernière reçoit sur le support magnétique qu'elle possède un code correspondant au produit.

Ces balancelles acheminent, à travers l'atelier, les enceintes vers les dix lignes de montage de l'élément de cuisson final. Chaque chaîne d'assemblage va recevoir les enceintes dont elle a besoin, correspondant au modèle à produire.

Les résultats

Toutes les enceintes, de cette unité de 835 personnes, filiale d'Electrolux, passent par ce poste de triage ; le tout est géré par un ordinateur central IBM.

Le choix de la vision a dû être comparé avec celui de chaînes complètes de fabrication ; inconvénients de la dernière solution ; d'abord un manque de souplesse, ensuite le temps de montage, par exemple, des éléments d'enceintes pour four à gaz est beaucoup plus long que celui de l'assemblage de la gazinière proprement dite.

Ces différences de temps obligent à réaliser, sur quatre postes, des pré-assemblages de telles enceintes et un montage final sur deux chaînes seulement.

Autre possibilité, celle de laisser à des opérateurs manuels, le soin de trier les produits, économiquement et qualitativement, cette opération ne pouvait être retenue ; de plus le système actuel effectue un contrôle d'aspect de l'ensemble, et des éléments montés.

Installé depuis fin 1983, et après deux mois de mise au point, ce système a considérablement évolué depuis, en effet lors de l'implantation il existait seulement 22 variantes de produits, en un an ce chiffre a atteint 52, et il est prévu d'aller jusqu'à 100 enceintes différentes, et 100 fenêtres programmables avec 64 niveaux de gris.

Le montant total a atteint 400 KF, comprenant un système de vision ADB, quatre caméras et une cabine fermée. La programmation est réalisée par l'utilisateur, à raison de 5 à 10 minutes par nouvelles enceintes à introduire dans le processus de triage.

