

4. Application à la commande de systèmes robotisés

4.1. Présentation

Cinq domaines d'application de la vision en robotique vont être abordés.

La reconnaissance de caractères imprimés qui représente un cas particulier du tri.

Cette technique pourrait prendre de l'importance dans la manutention d'objets car à la différence du code à barre le texte imprimé devient un medium commun aux êtres humains et aux systèmes automatisés.

Le contrôle qualité représente le thème majeur des applications industrielles du traitement d'images.

Les techniques de contrôle par sondages statistiques peuvent alors être remplacées par du contrôle visuel systématique : la garantie de bon fonctionnement de produits complexes exige de satisfaire à des contraintes sévères concernant la qualité des composants employés et de leur assemblage.

Enfin il est souvent difficile de faire réaliser par des êtres humains des contrôles visuels systématiques qui soient efficaces : la fatigue et la monotonie d'une telle activité voit la qualité des contrôles effectués se dégrader progressivement dans le temps.

La vision artificielle peut être aussi associée à la commande de manipulateurs d'assemblage pour décrire l'environnement dans lequel travaille un manipulateur et permet de contrôler en complément les composants participant à la tâche d'assemblage et le produit final assemblé.

Le contrôle réparti tout le long d'une chaîne de fabrication permet de décomposer en étapes cette tâche et facilite la détection d'outils en panne (bris d'outils) ou alerte sur la dérive des caractéristiques de fabrication (contrôle dimensionnel sur des postes d'usinage).

Nous aborderons aussi la prise en vrac qui intervient dans l'alimentation en pièces d'une chaîne d'assemblage.

Enfin en robotique mobile, la vision artificielle permet de décrire l'univers physique dans lequel un robot évolue, de détecter les obstacles qui surgissent sur son chemin et de planifier ses déplacements pour assurer sa mission.

Les chariots mobiles interviennent dans la manutention et le stockage de produits finis.

4.2. Lecture de caractères

A peu près toutes les méthodes de reconnaissance de formes s'appliquent avec succès à la reconnaissance de caractères imprimés.

Il faut remarquer que ces méthodes peuvent être employées de manière directe ou par apprentissage sur une police de caractères donnée.

La variation autour de différents jeux de caractères produit des résultats plus aléatoires. Elle devient alors plus complexe car elle doit tenir compte du contexte et doit être en partie capable d'interpréter le texte lu.

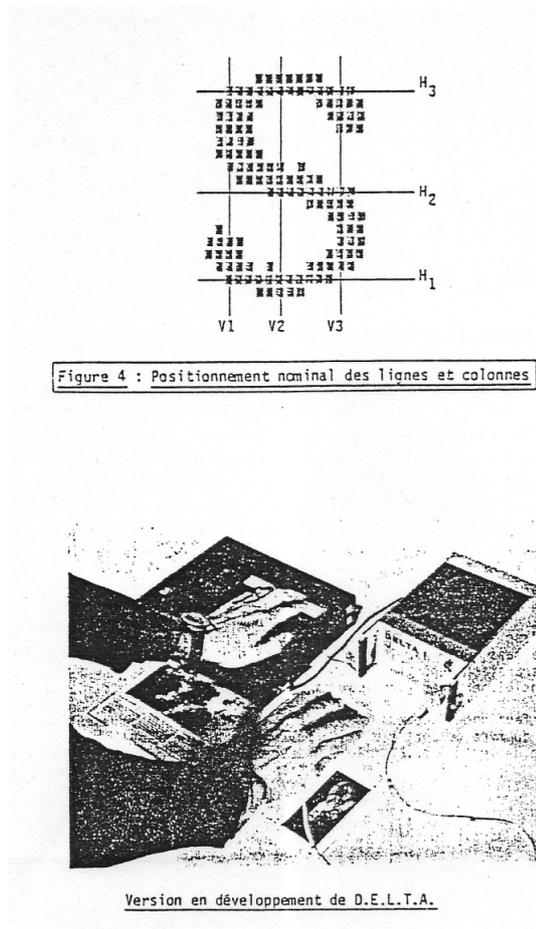


Figure 24 : Lecteur de caractères imprimés

Pour les caractères imprimés ont été appliquées les techniques de reconnaissance suivantes ([5]) :

- comparaison avec des masques à position fixes ou variables,
- squelettisation,
- recherche d'intersections avec des droites,
- analyse syntaxique des concavités et des boucles,
- approximation polygonale,
- analyse topologique,
- calcul d'attributs.

Par exemple, il a été mis au point à Toulouse un système de lecture de textes imprimés pour aveugles ([6]) : ce système se compose d'une micro-caméra intégrant un système de guidage tactile (cf. figure n°24), d'une unité de traitement à microprocesseur et d'un afficheur tactile de 12 caractères Braille.

Le système analyse environ 15 caractères à la seconde selon la méthode de recherche d'intersection avec des droites : le système de guidage tactile permet au non-voyant de suivre et de guider la caméra le long du texte.

Le taux d'erreur de lecture est de 5 %, mais le système s'adapte relativement bien à une large gamme de polices de caractères.

4.3. Contrôle qualité

Bien que ce soit le principal domaine dans lequel sont employées les techniques de traitement d'images, il n'existe pas de méthode générale pour l'appréhender et d'outils universels pour le traiter : si l'on dispose de techniques d'analyse de formes géométriques et des couleurs, on est moins bien armé pour prendre en compte la texture des objets (analyse de l'état de surface) en inspection.

Dans le domaine de l'inspection de parties mécaniques, l'orientation générale est donnée par l'étude ([7]) que des chercheurs de l'ENSIEG ont fait pour le compte de la société Télémécanique.

Cette approche mixte des méthodes statistiques globales et structurelles locales (cf. figure n°25) :

- d'une part, l'approche globale est menée pour identifier et localiser l'objet dans la scène ;
- d'autre part, l'approche locale permet de vérifier la forme de l'objet et de ses diverses parties en comparaison avec un modèle.

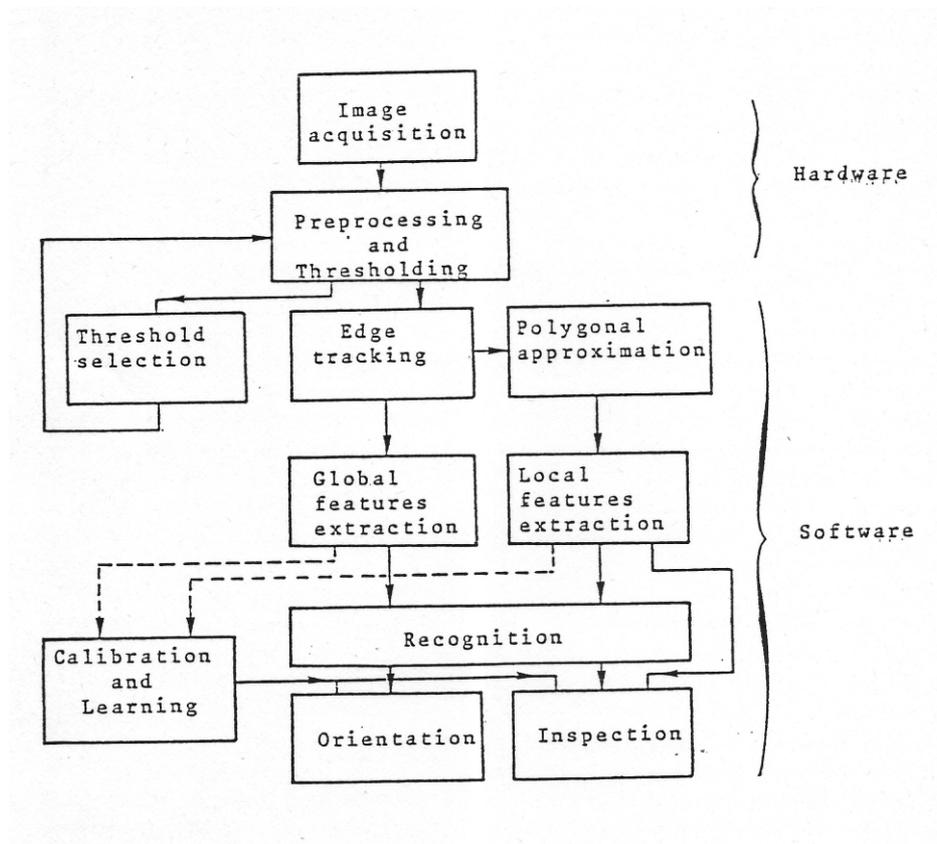


Figure 25 : Inspection par approche mixte

L'approche globale repose sur le calcul des moments généralisés, l'approche locale sur la décomposition des frontières en chaînes de sommets convexes et concaves (primitives).

Les modèles de représentation utilisables sont soit l'arbre des concavités de l'objet, soit un modèle syntaxique des chaînes convexes/concaves de l'objet.

Le temps de réponse pour une inspection évolue entre 2 et 4 secondes sur un système à base de LSI 11.

Cette approche fait suite à des travaux similaires effectués au Japon sur des carters de moteurs, mais beaucoup plus ambitieux ([8]) : notamment la texture y est modélisée par polarogramme (cf. figure n° 26).

Le système génère des structures très complexes qu'il analyse selon l'approche de prédiction et vérification d'hypothèses : les temps de réponse sont de 90 secondes pour le sujet présenté en image.

Ces deux approches montrent le niveau de complexité que peut atteindre une tâche d'inspection portant sur des pièces mécaniques.

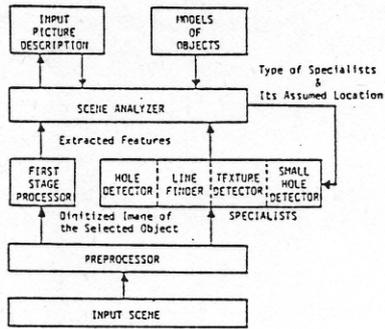


Fig. 3. Block diagram of recognition system.

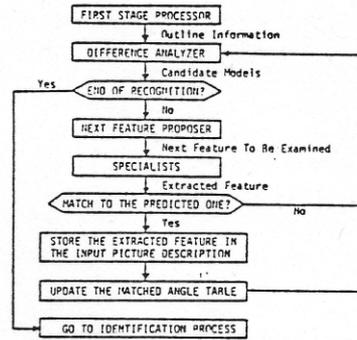


Fig. 12. Block diagram of the scene analyzer.

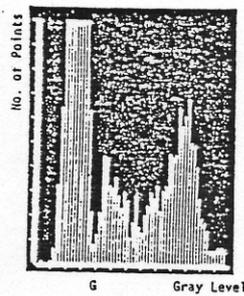


Fig. 4. An example of a gray-level histogram.

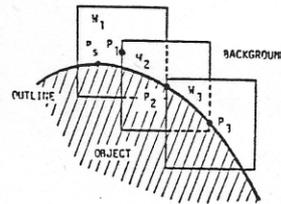


Fig. 6. Sequence of applying local windows. P_1 : The starting point given by the preprocessor and the center of the first window W_1 . P_2, P_3 : The last point detected in the current window and the center of the next window.

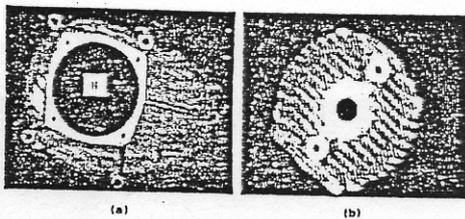


Fig. 5. An example of an input image taken in the high-resolution picture.

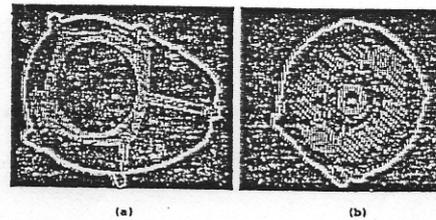


Fig. 7. An outline detected by the first-stage processor for the input object shown in Fig. 5. The symbol x shows the centroid of object.

Figure 26 : Inspection de carters de moteurs

Une autre grande classe d'application est l'inspection de circuits intégrés ou imprimés.

Ces deux produits se soumettent au même type d'inspection visuelle car leur construction suit des contraintes géométriques très précises et se prêtent alors fort bien aux méthodes d'analyse syntaxique.

De nombreuses études concluantes ont été menées sur le sujet et des machines d'inspection automatique devraient apparaître sur le marché.

La fabrication de cartes électroniques suit le processus suivant :

- réalisation du circuit imprimé nu par empilement de plusieurs couches du circuit générées par photogravure,
- insertion automatique des composants logiques et passif et coupe des pattes des circuits intégrés,
- soudure des pattes par une machine de soudure à la vague.

Le moindre défaut non détecté peut devenir une source de cauchemar pour les techniciens de maintenance.

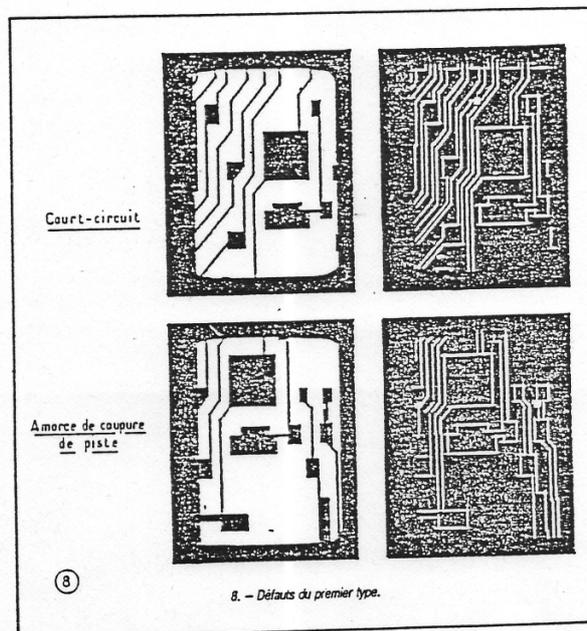
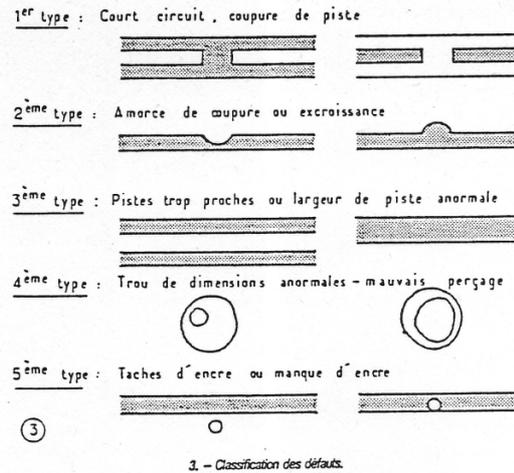


Figure 27 : Recherche de défauts sur un circuit imprimé

Ces cartes sont suffisamment complexes pour qu'elles contiennent en moyenne un défaut par circuit imprimé : il est alors nécessaire de les inspecter toutes et de les réparer en cours de fabrication.

La société ADB Vision Systems a mis au point un système de vérification de circuits imprimés nus fondé sur l'enchaînement des traitements suivants (cf. figure n°27) :

- codage de Freeman des contours des pistes,
- ouverture (filtrage topologique) de l'image sur l'information codée,
- recherche de défauts par des règles d'analyse fondées sur des grammaires transformationnelles (cinq types de défauts de fabrication à localiser).

Le système met 7 secondes pour analyser 1 cm²: pour atteindre un temps de réponse 100 fois plus rapide une version câblée a été étudiée.

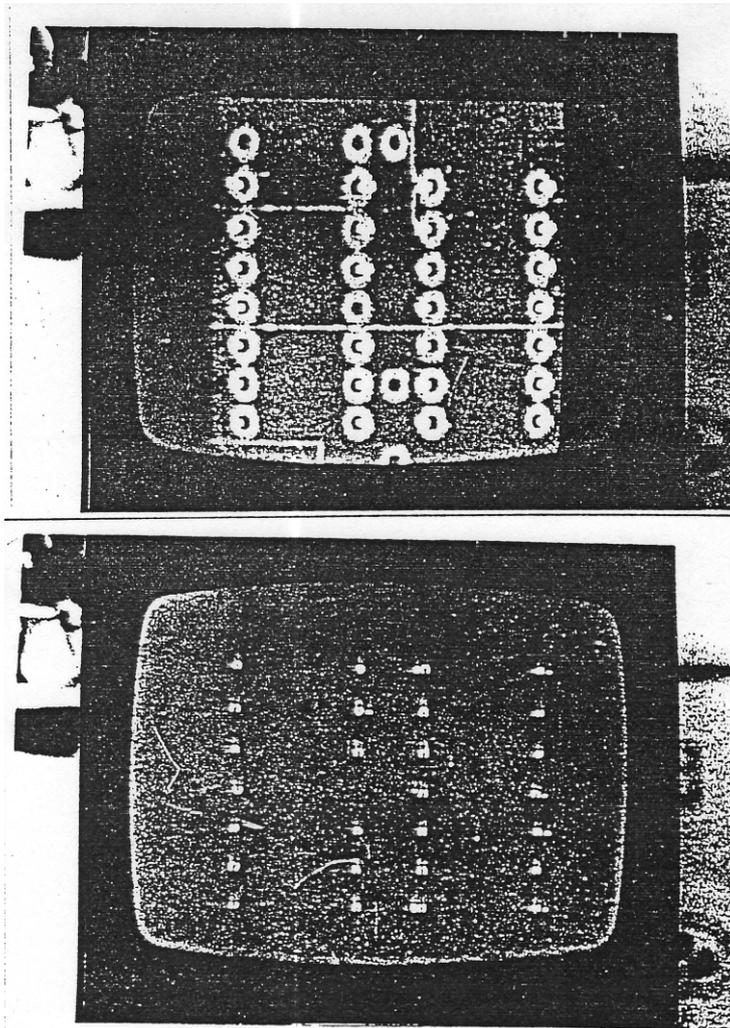


Figure 28 : Inspection de circuits imprimés après insertion de composants

L'inspection de circuits après insertion de composants et coupe des pattes se vérifie par analyse de contours sous éclairage rasant pour détecter les pattes de circuits repliées.

L'inspection des soudures est nettement plus complexe car elle doit être menée sur la forme tridimensionnelle de la soudure et sur la texture de sa surface pour détecter une soudure surchauffée (le circuit a en général été percé ou se trouve dilaté).

D'autres exemples pourraient être présentés en inspection car les applications sont très nombreuses, mais nous nous contenterons de celles-ci qui sont déjà suffisamment complexes.

4.4. Commande d'un manipulateur d'assemblage

Nous allons rester dans le domaine de fabrication de cartes électroniques pour présenter la commande d'un manipulateur appartenant à une cellule flexible d'assemblage.

Cette cellule développée en commun par Carnegie Mellon University et Westinghouse Electric Corporation ([10]) présente quels problèmes doivent être pris en compte dans une tâche d'assemblage et montre comment les résoudre.

Nous avons déjà vu que pour réaliser une prise le manipulateur doit connaître la position de l'objet à saisir.

Jusqu'à présent ce problème est résolu par l'emploi de guides mécaniques et la prise est effectuée lorsqu'un palpeur détecte que l'objet est en place pour être saisi.

Lorsque plusieurs pièces contribuent à la composition d'un nouvel objet, il est nécessaire de prévoir plusieurs système de convoyage vers la zone de prise. : l'assemblage est alors une opération figée effectuée de mémoire par le manipulateur.

Si en complément l'objet réalisé doit être inspecté, on met au point un bol vibrant qui permet de s'assurer que celui-ci est en bon état.

Pour diminuer les automatismes mécaniques autour d'une cellule d'assemblage, il a été mis au point des cellules flexibles construites autour de robots munis de capteur extéroceptifs pour leur permettre d'appréhender l'univers dans lequel ils travaillent. Parmi ces capteurs, on trouve (figure n°29) :

- des pinces avec retour d'effort pour contrôler la force de prise,
- des pinces munies de peaux sensibles pour ne pas relâcher ni écraser les objets saisis,
- des capteurs de vision localisant les objets, les triant en fonction de leur place dans le produit à assembler; et inspectant le produit final.

Cette cellule est expérimentale et préfigure les systèmes robotiques de troisième génération qui devraient se déployer en usine.

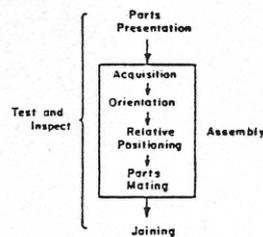


Fig. 1. Sequence of operations in an assembly process.

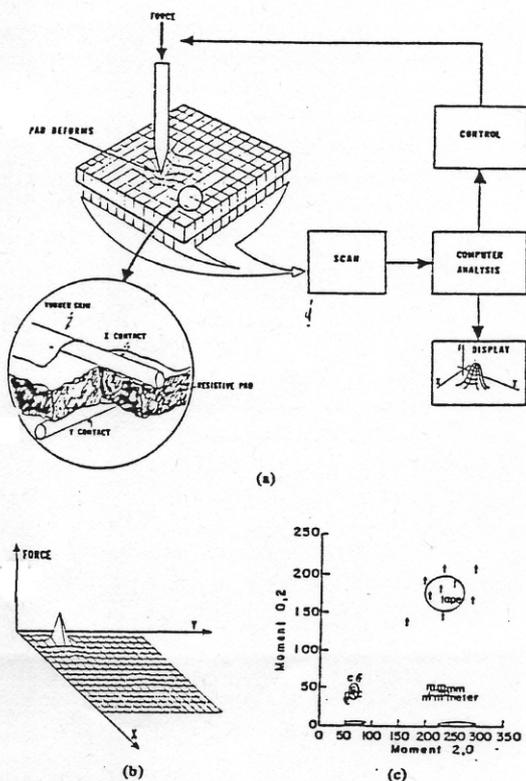


Fig. 7. (a) Schematic diagram of the CMU tactile array sensor. (b) Isometric plot of tactile image obtained from tactile array sensor. (c) Example of classification of five classes of object based on the tactile image obtained from the tactile array sensor.



Fig. 16. Photo of the CMU Flexible Assembly Station.

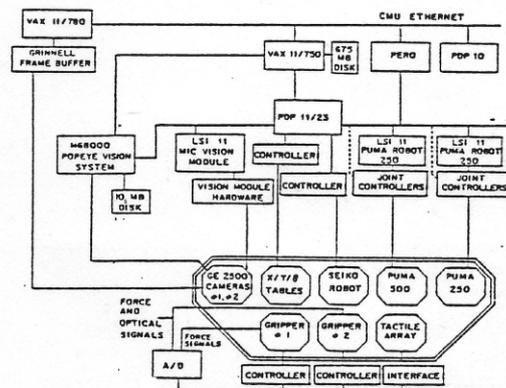


Fig. 17. Block diagram of the CMU Flexible Assembly Station. The Station is used as an experimental testbed for a variety of research activities in robotics as well as evaluation of specific applications.

Figure 29 : Cellule flexible d'assemblage

Nous allons maintenant présenter une autre application plus simple réalisée en collaboration avec la société alsacienne Cical : il s'agit de décoration de boîtes de chocolat.

Le poste de décoration est composé de (cf. figure n°30) :

- un bras manipulateur rapide de type SCARA (tous axes rotatifs sauf le dernier),
- un système de vision,
- un tapis d'approvisionnement et une barrière optique de détection de passage.

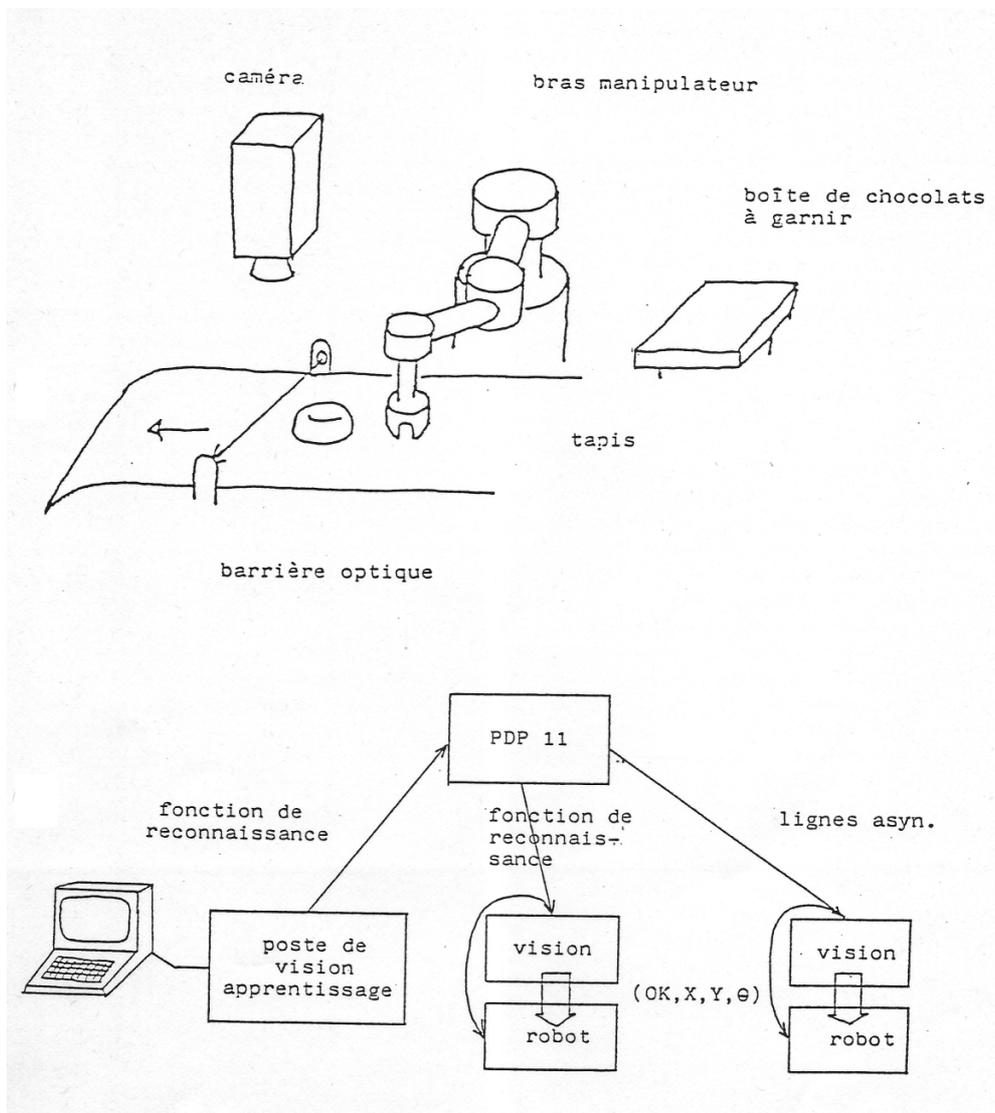


Figure 30 : Décoration de boîtes de chocolats

Les bonbons en chocolat doivent être placés dans une alvéole précise de la boîte à garnir.

Le temps de cycle complet est de 1 seconde par chocolat et 500 différentes sortes de bonbons sont utilisées pour garnir les boîtes.

Les postes de décoration sont gérés par un ordinateur de gestion de production et le bureau d'étude de l'usine dispose d'un autre système de vision pour réaliser les apprentissages permettant d'accepter de nouveaux bonbons.

Le système de vision localise la position et l'angle du chocolat sur le tapis et vérifie sa conformation car en arrivant sur le tapis il vient d'être démoulé et emmailloté.

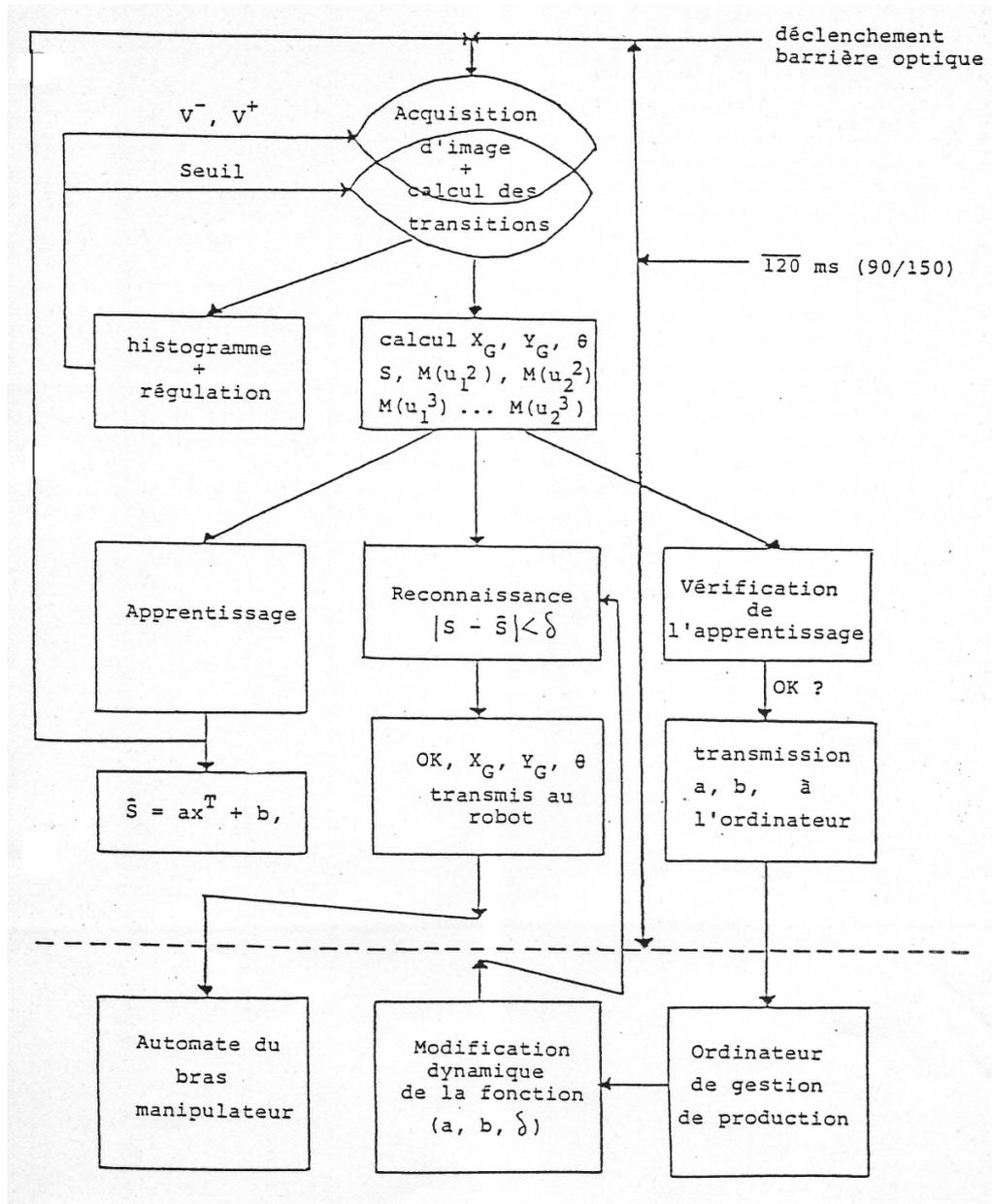


Figure 31 : Organigramme du système de vision

Si le chocolat est conforme alors il est placé dans la boîte sinon il est abandonné en fin de tapis.

Les tâches effectuées par l'étage de vision sont décrites sur la figure n°31.

L'alimentation d'un poste est effectuée par des séquences préprogrammées par l'ordinateur de gestion de production.

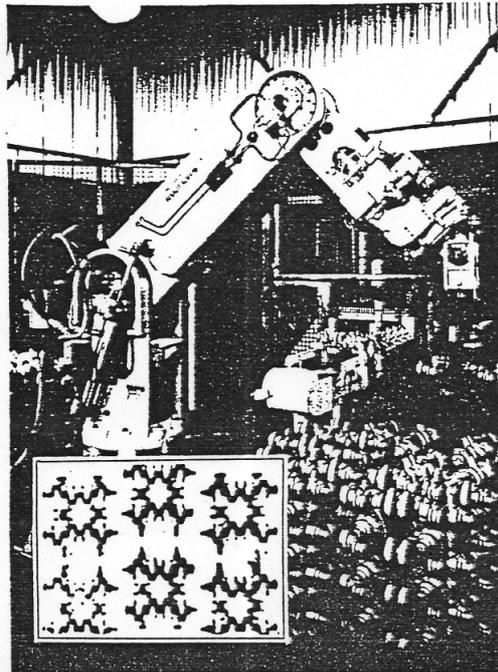
4.5. Prise en vrac

La reconnaissance d'objets sans recouvrement pose certaines contraintes pour les systèmes d'alimentation planaire comme les bandes de convoyage : ils nécessitent de mettre en place une égraineuse avant l'arrivée sur la zone de travail.

Pour pallier à ce problème, des techniques de reconnaissance d'objets partiellement cachés ont été mises au point ([3], [11]). Elles sont fondées sur le calcul de primitives et emploient des heuristiques du type prédiction-vérification d'hypothèses pour mener à bien ces opérations. Elles permettent d'identifier et de localiser des objets dans le plan.

La technique mise au point par l'IMAG ([11]) présente un aspect original : la segmentation d'images est dirigée par l'étage d'interprétation.

Elle préfigure les techniques futures d'analyse d'images où les différents étages de traitement fonctionnent en boucle fermée de manière à guider les fonctions de prétraitement de calcul de primitives en fonction des objectifs recherchés par l'étage de reconnaissance de formes.



Une des premières applications industrielles sur le vrac semi-ordonné
dépalettisation robotisée des vilebrequins
dans l'encadré.
image binarisée d'un plan de vilebrequins
(doc. Renault)

Figure 32 : Prise d'objets en vrac 3D semi-organisé

Les systèmes d'alimentation ne sont pas toujours plans : c'est le cas lorsque les objets à assembler sont acheminés dans des palettes et servies tels quels. Le problème se présente essentiellement quand les objets sont trop lourds pour être manipulés sans danger par des opérateurs humains.

On parle alors de vrac tridimensionnel pour lequel des solutions spécifiques ont pu être proposées lorsque les objets ont une géométrie simplifiée ou lorsque le vrac se présente de manière semi-ordonnée : c'est par exemple le cas de la dé-palettisation de vilebrequins chez Renault (cf. figure n°32).

4.6. Commande de robot mobile

L'acheminement des palettes d'approvisionnement ou le stockage de produits finis commence à être réalisé par des chariots mobiles. Ils sont filoguidés et dans certains cas autonomes (robots nettoyeur RAM, caddie dans les supermarchés japonais).

En fonction du trajet qu'il lui été assigné, un chariot automobile doit élaborer une stratégie de déplacement prenant en compte les obstacles qui peuvent se trouver sur son chemin. Il perçoit ces obstacles en employant des techniques d'acquisition 3D active (cf. §2.2.3.2).

Il doit tenir compte d'obstacles imprévus surgissant sur son trajet et modifier dynamiquement son parcours pour atteindre son but . Pour éviter les collisions une barrière ultrasonore complète ses senseurs dans le sens de son déplacement.

L'analyse de son environnement est fondé sur une représentation polyédrique de son espace de travail où les objets sont schématiquement enregistrés augmentés d'une zone de garde pour assurer la sécurité de ses déplacements. Les objets sont représentés par leur enveloppe convexe pour s'assurer de la maniabilité du mobile et éviter qu'il se retrouve immobilisé à l'intérieur d'une concavité.

La planification des trajets emploie des algorithmes de recherche de plus court chemin dans une espace encombré.

