
MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK

INRIA - Domaine de Voluceau, BP 105 - 78153 LE CHESNAY CEDEX

RESUME**SUMMARY**

Nous présentons un système robotisé qui peut saisir et ranger des objets en vrac planaire. Ses caractéristiques principales sont:

1) Le système de vision utilisé est robuste aux conditions d'éclairage et aux occultations partielles des objets. Il fournit une identification rapide et un positionnement précis des objets observés à partir d'une description segmentée de leurs contours.

2) Après avoir identifié et localisé un objet, le système de vision sélectionne dans la base de donnée associée au modèle une position de prise, en tenant compte de la géométrie de la pince et des obstacles formés par les autres objets.

3) La transformation géométrique qui permet de passer du repère caméra au repère robot est calculée de manière automatique à l'aide d'une mire circulaire attachée à l'extrémité de la pince et observée par la caméra.

4) La modélisation des objets est réalisée dans une phase préliminaire et automatisée: chaque objet est simplement placé une fois sous la caméra dans chacune de ses positions d'équilibre. La description segmentée de ses contours est alors calculée et stockée, puis utilisée pour définir et stocker un ensemble de positions de prises possibles.

We present a flexible Robot System which can acquire and place unoriented overlapping workpieces lying on a flat surface. The key features of this system are:

1) The Vision System is robust to deficient lighting conditions and to partial occultations of objects. It provides fast identification and accurate positioning of the observed objects using a segmented description of their contours.

2) After having identified and located an object, the Vision System selects in the model data base an accessible grasping location for the robot gripper, taking into account its geometry and the obstacles generated by the other parts.

3) The geometric transformation from image coordinates to robot coordinates is automatically computed using a circular target attached to the robot hand and observed by the camera.

4) the modeling of objects is done in a preliminary automated phase: each object is simply observed once in each of its stable states by the Vision System. The segmented description of its contours is produced and stored, and it is used to define and store a set of potential grasping locations.



MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE
N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK

I) INTRODUCTION

On assiste actuellement à l'apparition sur le marché d'un nombre croissant de systèmes de vision en 2 dimensions (2-D) dédiés à des tâches industrielles. Ces systèmes associent une caméra vidéo et un ordinateur qui interprète l'information obtenue par celle-ci. Leur utilisation est orientée vers l'inspection, le tri et la saisie automatique dans les chaînes de production de pièces déposées en vrac sur un support plan (tapis roulant par exemple).

Le nombre des machines de vision en fonctionnement aux Etats-Unis est estimé à 500. On estime qu'il devrait doubler chaque année dans les toutes prochaines années et atteindre le nombre de 50000 en 1992 /DEJ-83/. Ce marché potentiel a déjà fait naître un nombre important de sociétés qui fabriquent et commercialisent des systèmes de vision (40 systèmes différents et près de 130 constructeurs sont répertoriés par /ZIM-83/).

Les capacités des systèmes de vision disponibles sur le marché demeurent cependant limitées. En effet, un des passages obligés des tâches d'inspection, de tri et de saisie automatique est généralement celui de l'identification et/ou de la localisation préalables des objets en présence. Or ces tâches d'identification et de localisation ne sont pour l'heure réalisées que dans des conditions expérimentales souvent difficiles voire impossibles à mettre en oeuvre (impliquant entre autres un fort contraste entre les objets et leur support, et/ou l'absence de tout contact entre les objets en présence).

Néanmoins, le succès de ces premiers systèmes de vision dans l'industrie (tout autant que leurs limitations!) stimule les efforts de recherche de nombreux laboratoires, et nous devrions assister prochainement à l'avènement dans l'industrie d'une nouvelle génération de systèmes de vision beaucoup plus performants, et capables d'identifier et de localiser des objets partiellement occultés /PER-78/, /DES-79/, /BOL-82/, /RUM-84/, /LUX-84/ (ce dernier système de vision, PVV, est d'ailleurs commercialisé).

L'occultation partielle des objets est un problème fréquent dont les causes sont multiples. Les plus courantes sont

- 1- des problèmes d'éclairage: contraste variable entre les objets et le support, reflets divers, ombres portées,
- 2- le contact accidentel ou le recouvrement partiel entre plusieurs objets,
- 3- la présence de parties additionnelles sur les objets telles que les bavures ou les masselottes de fonderie par exemple (cf. figure 1).

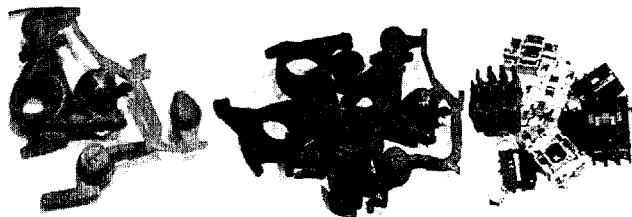


Fig.1. Le problème des objets partiellement observés:
(a) bavures et masselottes de fonderie;
(b,c) contacts, recouvrements partiels, ombres portées et reflets.

Nous avons décrit dans un article précédent une nouvelle méthode de reconnaissance d'objets partiellement occultés dans une image. /AYA-83a/. Cette méthode a été implémentée dans un système de vision (récemment commercialisé) décrit dans /AYA-83b/, lui-même couplé à un robot industriel pour réaliser un système de saisie automatique de pièces industrielles en vrac planaire. C'est le fonctionnement de ce système de saisie automatique que nous décrivons dans cet article.

Deux étapes préliminaires sont nécessaires pour initialiser le système de saisie: ce sont

1- l'étape de recalage (§2) destinée à calculer la correspondance entre le repère image et le repère robot.

2- l'étape de modélisation des objets (§3), qui inclut la construction d'une description géométrique des silhouettes des objets et la définition d'un catalogue de prises associées.

Une fois ces étapes achevées, le système est prêt à fonctionner. Son fonctionnement inclut lui-même deux étapes principales:

1- l'analyse de la scène observée, qui fournit l'identification et la localisation dans l'image des objets en présence (§4),

2- la recherche dans l'image d'une prise accessible au robot, le calcul dans l'espace robot de la position et de l'orientation de l'organe terminal correspondant à la prise choisie, et la commande proprement dite du robot (§5).

Nous concluerons par la présentation d'un exemple concret de fonctionnement (§6)

II) RECALAGE

Afin de réaliser la saisie des objets reconnus, il est nécessaire de calculer la transformation existant entre les coordonnées (x,y) d'un point I de l'image et les coordonnées (X,Y,Z) d'un point P de l'espace qui lui correspond. Si l'on suppose l'axe optique de la caméra normal au plan de la table et en choisissant celui-ci comme axe des Z, Z est alors pris égal à Zt, la cote de la table et (X,Y) se déduisent de (x,y) par une similitude plane :

$$X = k(x \cos \theta - y \sin \theta) + t_x$$

$$Y = k(x \sin \theta + y \cos \theta) + t_y$$

ou encore:

$$X = ax - by + t_x$$

$$Y = bx + ay + t_y$$

pour déterminer les paramètres a,b,t_x,t_y, on utilise la procédure suivante:

-le robot déplace une mire circulaire dans le champ de vision de la caméra en N points (X_i,Y_i,Z_l) dans un plan parallèle à la table Z=Z_l. Pour chacune de ces positions l'image est analysée afin d'obtenir les coordonnées (x_i,y_i) du centre de la mire dans l'image. Ces données sont utilisées par un programme d'estimation des paramètres aux moindres carrés récursif. On obtient ainsi un premier groupe de paramètres correspondant à un plan Z=Z_l (a₁,b₁,t_{x1},t_{y1})

-l'opération est répétée dans un autre plan Z=Z₂ et l'on obtient un second groupe de paramètres (a₂,b₂,t_{x2},t_{y2}).

MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
 AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK.

Chacun de ces paramètres p correspond à une

coordonnée du point d'intersection d'un rayon lumineux issu du centre optique O de la caméra avec un plan $Z=c^te$ (cf. fig. 2). Notant Z_0 la cote du point O on a donc les relations suivantes :

$$p_1/(Z_1-Z_0)=p_2/(Z_2-Z_0)=p/(Z-Z_0)$$

Z_0 étant en général inconnu, on l'élimine des relations précédentes et l'on obtient :

$$p=p_1(Z-Z_2)/(Z_1-Z_2) + p_2(Z-Z_1)/(Z_1-Z_2)$$

qui donne la valeur du paramètre p dans tout plan parallèle à la table de cote Z et donc en particulier celui de la table. Le coefficient d'homothétie et l'angle de rotation de la similitude sont obtenus à partir des paramètres a et b par les relations :

$$k=(a^2+b^2)^{1/2}$$

$$\theta=Artg(b/a)$$

A partir de ces paramètres, on définit un nouveau repère $R_{cam}(O_c, X_c, Y_c, Z_c)$ (voir figure 2). On passe des coordonnées (x, y) dans l'image aux coordonnées dans R_{cam} par une homothétie de rapport k .

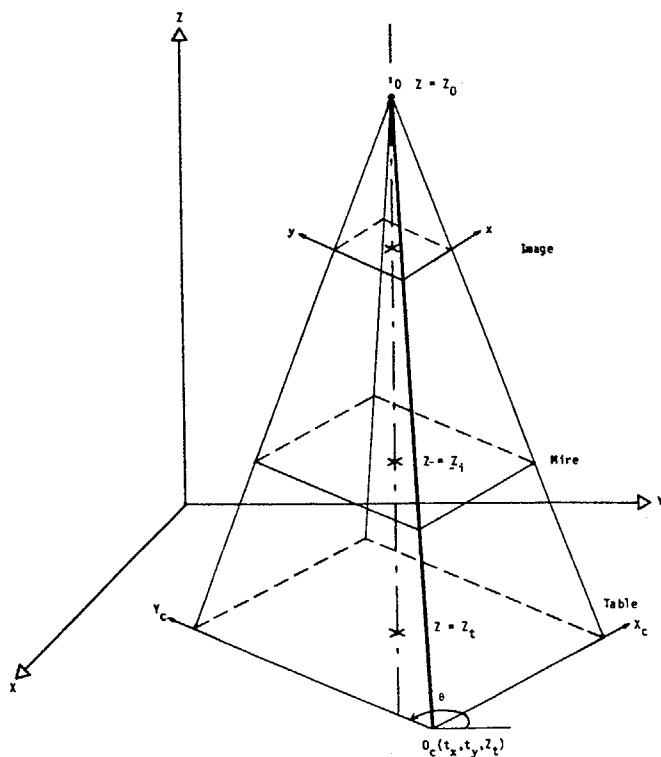


Fig.2. Repères utilisés pour le recalage.

III) MODELISATION

La phase de modélisation est également une phase préliminaire au fonctionnement proprement dit du système. Elle a pour but de construire pour chaque silhouette d'objet :

- 1- une description géométrique
- 2- un catalogue de prises .

i) Description géométrique:

La description géométrique associée à une silhouette d'objet est une approximation polygonale de ses contours. Celle-ci est obtenue de la manière suivante:

a) l'objet est placé sous la caméra dans une de ses positions d'équilibre stable (on suppose leur nombre fini pour chaque objet).

b) l'image observée est numérisée, puis un algorithme spécialisé réalise l'extraction de chaînes de contours. Ces chaînes de contours sont ensuite décrites par une approximation polygonale.

Les algorithmes d'extraction de contours utilisés diffèrent selon que l'image observée est très contrastée ou peu contrastée. Dans le premier cas l'image est seuillée, puis éventuellement lissée par des opérateurs de morphologie mathématique /SER-82/, et des techniques classiques /VEI-78/ fournissent les chaînes de contours en une seule passe. Dans le second cas, des techniques plus élaborées utilisant le gradient et le laplacien de l'intensité lumineuse /KES-84/ sont mises en oeuvre pour extraire les chaînes de contours. L'approximation polygonale des chaînes de contours est réalisée par un algorithme classique de divisions successives (cf. /PAV-77/ pp.176 par exemple).

La description des silhouettes des objets par une approximation polygonale de leurs contours présente les avantages suivants:

- 1- elle (la description) est locale: la perturbation d'une région de la silhouette ne modifie sa description qu'au voisinage de la région perturbée (par opposition à une description globale qui pourrait être totalement modifiée).
- 2- elle est compacte, permettant une représentation précise de la plupart des silhouettes avec peu de segments de droite.
- 3- elle est polyvalente, car elle s'applique à toutes les formes planes.
- 4- elle est sensible aux variations en position et en orientation qu'elle permet de retrouver avec précision.
- 5- elle s'obtient simplement à partir de l'image originale par des techniques rapides et directes, qui peuvent être exécutées en une fraction de seconde sur du matériel spécialisé déjà commercialisé (par exemple "VISIONIX", "VISIONAT" ou "VICOM").

La figure 3 représente les descriptions géométriques associées à 5 silhouettes différentes.

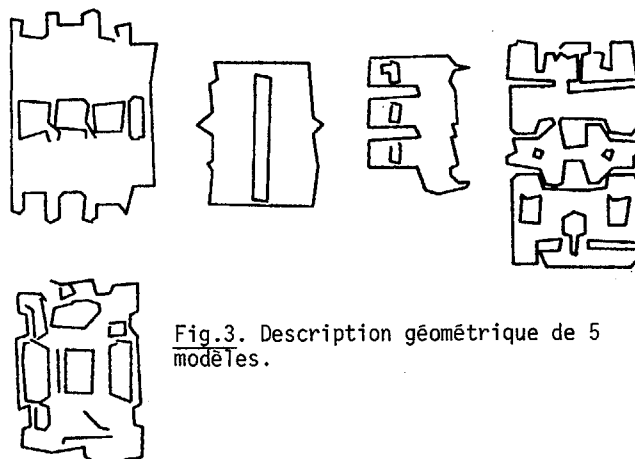


Fig.3. Description géométrique de 5 modèles.



MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
 AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK.

ii) Catalogue de prises :

On associe à chaque modèle de silhouette une liste de prises. Ces prises définissent dans le plan X_c, Y_c du repère R_{cam} (cf. §2 recalage), la position et l'orientation de la projection des doigts du robot.

Plus précisément, la projection d'un doigt est représentée par un rectangle (c,d), le centre de la pince par un point $P(x,y)$ et son écartement par e. L'orientation des doigts est donnée par l'angle Psi (voir figure 4). On associe également une cote verticale DZ qui définit le plan de la prise relativement au plan de la table.

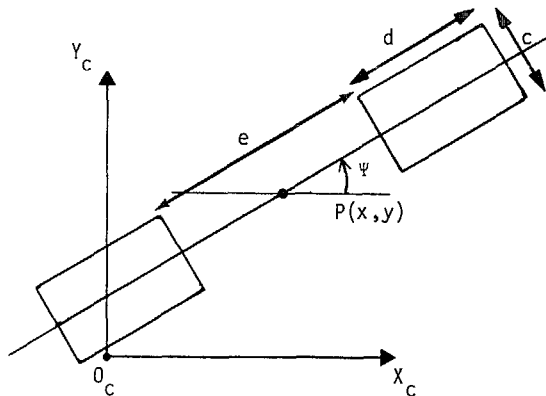


Fig.4. Définition d'une prise.

On caractérisera par la suite l'orientation et la position d'une prise par la transformation $TR_{pri}(x,y,Psi)$ composée de la translation horizontale (x,y) et de la rotation horizontale d'angle Psi.

En pratique, les prises sont définies soit de manière automatique à partir de la silhouette des modèles /BOI-82/, soit de manière interactive sur un écran graphique. La figure 5 montre le catalogue de prises associé de manière interactive à 2 modèles.

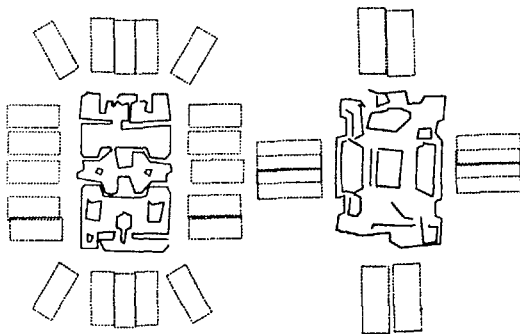


Fig.5. Catalogues de prises associés à 2 modèles.

IV) ANALYSE DE SCÈNE

Lorsque les phases de recalage et de modélisation sont achevées (§2 et §3), le système de vision est prêt à fonctionner. Son but est:

- 1- à partir de l'image de la scène observée, d'identifier les objets en présence et de déterminer leur position et leur orientation dans l'image, par rapport aux modèles de référence correspondants,
- 2- de sélectionner pour chaque objet reconnu une prise accessible au robot.

i) Algorithme général:

Au départ, on initialise une liste qui

contient les noms des modèles susceptibles de se trouver dans la scène à analyser. Cette liste sera parcourue séquentiellement de manière circulaire par le programme de reconnaissance. Chaque fois qu'un modèle est reconnu et localisé dans l'image, le programme cherche une prise accessible au robot. Lorsque cela est possible, le robot est commandé en conséquence, et le modèle reconnu est supprimé de la liste initiale. Comme plusieurs objets peuvent bouger au cours d'une saisie, on réalise une nouvelle acquisition d'image après chaque saisie. Le programme d'analyse prend fin quand la liste des modèles est vide, ou lorsque qu'il n'est plus possible de saisir de nouveaux objets (situation de boucle).

ii) Description de la scène:

L'image de la scène à analyser est acquise. Ses contours sont extraits et sont représentés par une approximation polygonale par les mêmes techniques que celles utilisées au cours de la modélisation (§3). La scène est donc décrite par un ensemble de segments de droites, tout comme les modèles des objets.

iii) Identification et localisation des modèles:

Lorsqu'un modèle a été sélectionné, on utilise le programme d'identification et de localisation de formes planes pour mettre en correspondance sa description polygonale avec celle de la scène courante /AYA-83a/. Il s'agit de déterminer une similitude plane (le produit d'une homothétie, d'une rotation et d'une translation) qui superpose le plus grand nombre possible de segments du modèle sur des segments de la scène. Cette similitude est obtenue par un algorithme de prédiction et d'évaluation récursive d'hypothèses baptisé HYPER (HYpotèses Prédiction et Evaluation Récursive). Le principe de prédiction-évaluation, développé simultanément à l'IMAG /LUX-84/ et à l'INRIA consiste à tirer parti de la description segmentée des objets pour réaliser une identification en deux étapes:

prédiction: on prédit un certain nombre de positions possibles du modèle dans la scène (hypothèses) en identifiant par des critères locaux et géométriques de petits sous-ensembles de segments entre les descriptions du modèle et de la scène.

évaluation: chaque hypothèse est ensuite validée ou infirmée suivant qu'elle permet d'identifier un nombre suffisant d'autres segments du modèle ou non. Au cours du processus d'évaluation, on utilise chaque nouvelle identification pour améliorer de façon récursive la prédiction initiale avec un filtre de KALMAN.

Le cycle prédiction-évaluation prend fin lorsque le nombre d'hypothèses évaluées est suffisant. L'hypothèse la meilleure, c'est-à-dire celle qui correspond à l'identification de la plus grande longueur de segments est validée si cette longueur dépasse un seuil prédéfini. Dans ce cas le modèle est reconnu, et sa localisation dans la scène est donnée par l'estimée a posteriori \hat{T} de la similitude plane associée à la meilleure hypothèse. Sinon, le modèle est considéré absent de la scène, ou trop occulté.

iv) Sélection d'une prise accessible:

Lorsqu'un modèle est reconnu, il faut choisir une manière de le saisir. Pour cela un programme recherche une prise dans le catalogue associé au modèle reconnu qui permette de saisir l'objet sans heurter d'autres objets (prise accessible).



MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK.

Ce programme est itératif et les prises sont testées dans l'ordre où elles ont été stockées. Les rectangles associés à chaque prise sont transformés par la similitude T définissant la position du modèle dans la scène (cf. ci-dessus §4-3 identification et localisation des modèles). L'accessibilité de la prise est définie comme l'absence d'intersection entre les rectangles de la prise et les contours de la scène. Ce test d'intersection est effectué très rapidement par des techniques classiques. La première prise accessible est retenue.

V) COMMANDE DU ROBOT

Pour la commande du robot, il faut déterminer la position de la pince dans le repère du robot, aussi bien pour la saisie que pour la dépose de l'objet sur un masque de position et d'orientation prédéfinies.

Nous utilisons le langage de niveau effecteur LM qui permet de manipuler aisément des repères et de décrire une tâche relativement à ceux-ci. Nous décrivons ci-dessous comment sont utilisées les possibilités d'un tel langage pour notre application.

Soient R_{objet} , R_{masque} , R_{prise} et $R_{\text{dépose}}$.

les repères définissant respectivement la position de l'objet dans la scène, la position du masque, la position de la pince du robot lors de la prise et lors de la dépose de l'objet.

TR_{pri} et T étant respectivement les transformations donnant la position de la prise sélectionnée et de l'objet dans le repère R_{cam} on peut écrire:

$$\begin{aligned} R_{\text{objet}} &= R_{\text{cam}} * T \\ R_{\text{prise}} &= R_{\text{objet}} * TR_{\text{pri}} \\ R_{\text{dépose}} &= R_{\text{masque}} * TR_{\text{pri}} \end{aligned}$$

R_{cam} est défini par l'opération de recalage (cf. §2), TR_{pri} est calculée lors de la définition des prises (cf. §3-2), et T est donnée par l'analyse de scène (cf. §4). On peut donc commander la saisie de l'objet. Il reste à définir le repère R_{masque} pour commander le rangement de l'objet saisi. En pratique, on définit ce repère par apprentissage: après une première reconnaissance et saisie de l'objet, on effectue sa dépose manuellement sur le masque choisi. On lit alors les paramètres de $R_{\text{dépose}}$ et on en déduit

$$R_{\text{masque}} = R_{\text{dépose}} * (TR_{\text{pri}})^{-1}$$

VI) RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le système de saisie a été expérimenté avec succès sur un nombre important de scènes diverses. Nous présentons un exemple concret de fonctionnement sur la scène représentée en figure 6, qui contient les pièces d'un contacteur électrique de la TELEMÉCANIQUE disposées en vrac planaire.

L'image observée par la caméra est numérisée sous la forme d'une matrice $256*256$ dans laquelle l'intensité est codée sur 8 bits (figure 7). Les contours d'intensité sont extraits et décrits par une approximation polygonale (figure 8). Les modèles recherchés sont ceux de la figure 3. Les 3 premiers modèles sont identifiés, mais le programme ne trouve pas de prise accessible (figures 9, 10 et 11). Par contre les modèles 4 et 5 sont non seulement identifiés, mais également accessibles, comme le montrent les figures 12 et 13. Les figures 14, 15 et 16 montrent la saisie et la dépose sur des masques prédéfinis des objets identifiés dans les figures 12 et 13.

Les temps de calcul dépendent de la complexité de la scène observée et des modèles recherchés: la scène considérée ici est décrite initialement par 759 segments de droite (ce nombre décroît après chaque saisie) et les modèles sont décrits par un nombre de segments qui varie entre 22 et 129. Les temps de calcul sont de l'ordre de 5 secondes pour identifier et localiser un modèle dans la scène initiale (le programme d'analyse de scène écrit en FORTRAN est exécuté par un Perkin-Elmer 32-40). Ce temps n'inclut pas la segmentation de l'image observée sous la forme d'une description polygonale de ses contours, car cette opération peut être effectuée de façon totalement indépendante par du matériel spécialisé. Enfin, le temps de calcul de recherche d'un modèle décroît après chaque nouvelle saisie, puisque la scène se simplifie.

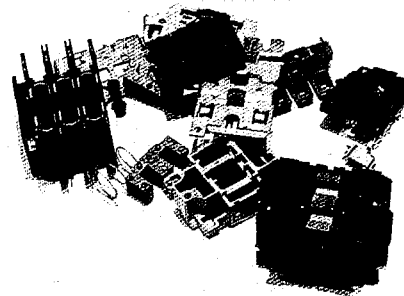


Fig.6. Scène à analyser.

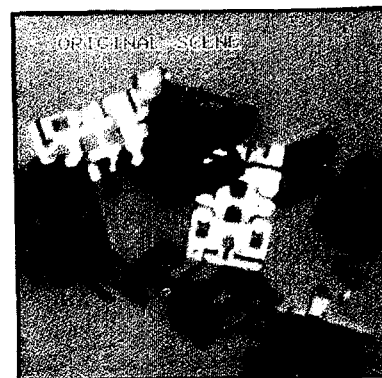


Fig.7. Image observée caméra.



MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
 AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK.

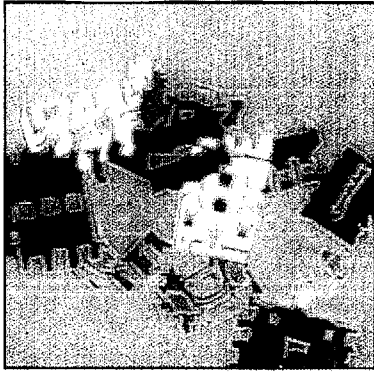


Fig.9.

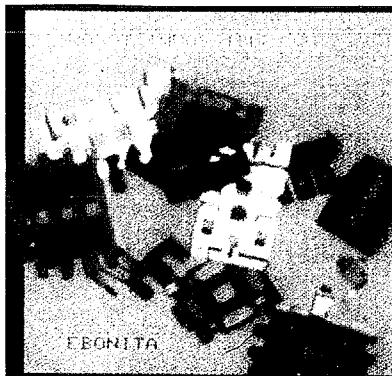


Fig.10.

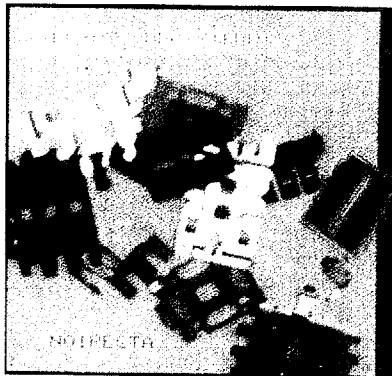


Fig.11.



Fig.12.

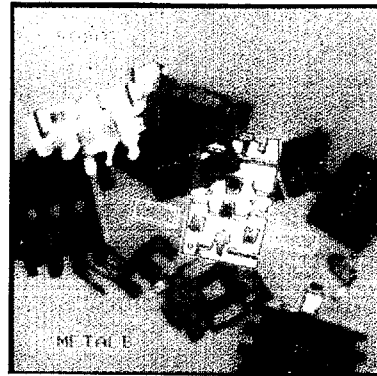


Fig.13.



Fig.14.

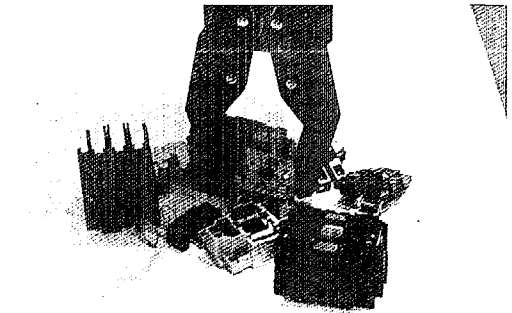


Fig.15.



Fig.16.

Fig.9,10,11. Identification des 3 premiers modèles de la Fig.3 ; pas de prise accessible.

Fig.14,15,16. Saisie et dépose sur des masques prédéfinis des objets reconnus dans les Fig.12 et 13.





MANIPULATION AUTOMATIQUE DE PIÈCES INDUSTRIELLES EN VRAC PLANAIRE
 AUTOMATIC MANIPULATION OF BULK INDUSTRIAL PARTS ON A FLAT SURFACE

N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK.

VII) CONCLUSION

Nous avons présenté un système de saisie d'objets en vrac planaire utilisant un système de vision et un robot industriel. Nous avons décrit les phases principales du fonctionnement de ce système qui sont le recalage des repères image et robot, la modélisation des objets, l'analyse de scène et la commande du robot.

Nous avons montré que ces opérations pouvaient être fortement automatisées, rendant ainsi l'usage du système très simple et très flexible, et que les temps de calcul requis pour son fonctionnement demeurent compatibles avec des contraintes industrielles.

VIII) REFERENCES

- | | |
|---|---|
| <p>(1) /DEJ-83/ P. Dejean
 "Systèmes de vision par ordinateur - l'état de l'art aux Etats-Unis" note No. PD/rg/659 de la mission scientifique, Septembre 1983.</p> <p>(2) /ZIM-83/ N.J. Zimmerman
 "Overview of industrial vision systems" in Industrial applications of image analysis, D.F.B. Publishers-Pijnacker-The Netherlands, 1983.</p> <p>(3) /PER-78/ W.A. Perkins
 "A model based vision system for industrial parts", IEEE Trans. on Computers., vol. C-27, No 2, pp. 126-143, Feb. 1978.</p> <p>(4) /DES-79/ J.D. Dessimoz et al.
 "Recognition and handling of overlapping industrial parts", 9th Symposium on industrial robots, Washington D.C., 1979.</p> <p>(5) /BOL-82/ R.C. Bolles and R.A. Cain
 "Recognizing and locating partially visible workpieces", IEEE Computer Society Conference on Pattern Recognition and Image Processing, Las Vegas, pp. 498-503, June 1982.</p> <p>(6) /RUM-84/ P. Rummel and W. Beutel
 "Workpiece recognition and inspection by a model-based scene analysis system", Pattern Recognition, Vol. 17, No 1, pp. 141-148, 1984.</p> <p>(7) /LUX-84/ A. Lux, V. Souvignier
 "PVV - Un système de vision appliquant une stratégie de Prédiction-Vérification", 4ème congrès Recon. Des Formes et Intel. Artificielle, 25-27 Janvier 1984, Paris.</p> <p>(8) /AYA-83a/ N. Ayache & C. Darmon
 "Reconnaissance récursive et localisation de formes planes partiellement visibles dans une image", 9ème colloque G.R.E.T.S.I., Mai 1983, Nice.</p> <p>(9) /AYA-83b/ N. Ayache
 "Un système de vision bidimensionnelle en robotique industrielle", thèse de docteur-ingénieur, Université de Paris-Sud, Orsay, 3 juin 1983, rapport technique INRIA, ISBN 2-7261-0345-6, 1983.</p> <p>(10) /SER-82/ J. Serra
 "Image analysis and mathematical morphology" academic press, New-York, 1982.</p> | <p>(11) /VEI-78/ F. Veillon
 "One pass computation of morphological and geometrical properties of objects in digital pictures" 4th I.J.C.A.I., Nov 7-10, 1978 Kyoto, Japan.</p> <p>(12) /KES-84/ N. Keskes
 "Application des techniques d'analyse des images aux signaux sismiques", Thèse de doctorat d'état, 7 Mars 1984, Univ. De Paris VI.</p> <p>(13) /PAV-77/ T. Pavlidis
 "Structural Pattern Recognition", Springer-Verlag, New-York, 1977.</p> <p>(14) /BOI-82/ J.D. Boissonnat
 "Stable Matching between a Hand Structure and an Object Silhouette", IEEE Trans. on PAMI, vol.4, N. 6, Nov. 82.</p> |
|---|---|