

ROBOT DE SOUDURE AUTOMATIQUE DES CIRCUITS INTEGRES ET HYBRIDES

AN AUTOMATED WIRE-BONDING SYSTEM FOR HYBRID AND INTEGRATED CIRCUITS

T. BRU, G. LORETTE

L.G.E.C. Université Paris XII et Société T.R.T.

RESUME

Le "Wire Bonding" est l'opération qui consiste à établir les connexions électriques entre la puce et le substrat d'un circuit intégré (entre les puces et le substrat d'un circuit hybride).

Cette opération réclame un positionnement précis de chaque circuit par rapport aux outils de soudure.

Des systèmes existent déjà, qui automatisent cette opération en faisant appel à un système de reconnaissance de formes ; ils utilisent des opérateurs cablés et manquant en général de souplesse pour s'adapter à des productions de petite série on a des produits nouveaux.

Le système présenté ici réalise cette opération à l'aide de traitements et d'une opération de reconnaissance entièrement programmable ; il détermine les différences de position et d'orientation (translations : Δx , Δy , rotation : $\Delta\theta$) qui existent entre les puces de silicium et leur substrat ; les structures à reconnaître sont constituées par deux plots de soudure particuliers de la puce, dont la détection fait appel à des techniques de recherche hiérarchique.

La reconnaissance s'effectue en temps masqué, de façon à ne pas ralentir la machine.

Cet article décrit successivement l'organisation générale de la machine, la structure du système de reconnaissance, les algorithmes utilisés et les résultats obtenus.

SUMMARY

The Wire Bonding process is to be found where electrical connexions between bonding pads on the chip and the package substrate of an integrated circuit are realized.

This operation needs every circuit to be brought into accurate alignment relative to the bonder.

Systems already exist, which realize the automation of this process, using pattern recognition techniques ; most of them are based on hardware and are not very flexible.

The system described here is fully programmable ; it gets translation and rotation deviations which exist between the chip and the substrate ; patterns to match consist in two choosen bonding pads ont the chip, whose detection is realized using hierarchical research techniques.

Pattern matching is done in blind time in order to avoid slowing down the bonder. We shall describe in turn the general organisation of the automated bonder, the pattern matching system structure, the algorithms that are being used and the final results.



I - INTRODUCTION

Les dispositifs à semi-conducteur sont devenus sophistiqués et miniaturisés au point que les opérations humaines sont devenues de plus en plus problématiques étant données la vitesse, la fiabilité et la précision nécessaires dans les opérations d'assemblage.

D'autre part les formes qu'on trouve à la surface des puces sont relativement simples et géométriques.

C'est pourquoi la reconnaissance de formes se révèle particulièrement adaptée au domaine de l'assemblage des semi-conducteurs.

Une étape importante dans la fabrication des circuits intégrés et hybrides est le "Wire Bonding", qui consiste en la soudure des fils d'interconnexion entre les puces de silicium et le boîtier sur lequel elles sont collées (ou le substrat dans le cas des circuits hybrides).

Ces soudures sont réalisées côté boîtier sur des plots métallisés de relativement grandes dimensions (200 x 200 µm au minimum). Sur les puces de semi-conducteur, les zones réceptrices des fils de soudure sont de dimension nettement plus faibles (80 µm x 80 µm au minimum). Les fils d'interconnexion, en aluminium ou en or, ont un diamètre compris entre 25 et 75 µm.

On voit donc l'importance d'un positionnement précis des circuits sous la soudeuse ; or l'erreur de positionnement des puces par rapport au boîtier, dû principalement à la phase précédente ("Die Bonding") est importante : ± 300 µm en X, Y ; ± 5° en rotation. (voir figure 1)

Un repérage doit donc être effectué pour chaque circuit ; lorsqu'il est effectué manuellement, ce repérage consiste en la validation de 2 points de repère par puce, réalisée par un opérateur s'aidant d'un microscope et d'un moniteur vidéo. Le temps de repérage est d'environ 1s par point de repère ; la qualité de la soudure dépend largement de ce repérage.

Le but de l'étude que nous présentons est de supprimer la phase de validation manuelle des points de repère, la détermination de la position exacte de la puce étant réalisée de façon automatique par un système de reconnaissance de formes.

De telles études, dont certaines débouchant sur des réalisations, ont déjà été menées aux Etats-Unis, au Japon et en Allemagne (1, 2, 3, 4, 5, 6). Les méthodes présentées sont toutes orientées temps réel ; elles comportent des opérations de prétraitement réalisées par des systèmes cablés, qui sont suivies de reconnaissances effectuées sur des images digitales binaires ou de traitements portant sur des images analogiques.

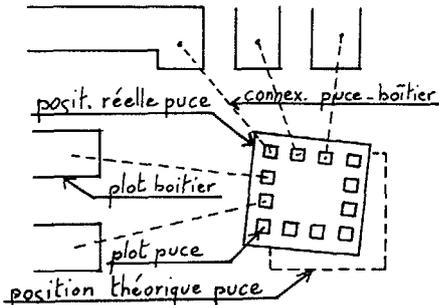


Figure 1

"Principe des connexions entre puce et boîtier ; le défaut de positionnement de la puce a été ici volontairement exagéré"

II - DESCRIPTION GENERALE DE L'OPERATION D'AUTOMATISATION

De façon à ne pas ralentir la machine, tout en se réservant la possibilité de temps de traitement relativement longs, le système de reconnaissance de formes est destiné à travailler en temps masqué : l'opération de reconnaissance de formes s'effectuera sans interrompre le fonctionnement de la soudeuse.

Dans ce but, la table de travail (supportant les circuits à souder), mobile en XY, comprendra 2 postes distincts :

- un poste de reconnaissance de formes, équipé d'une caméra, sous laquelle est placé un circuit dont les positions réelles des puces sont encore inconnues.

- un poste de soudure, équipé de la tête de soudure de la machine, sous laquelle est placé un circuit dont les positions des puces ont été préalablement déterminées par le système de reconnaissance de formes.

Le passage d'un poste à l'autre s'effectue par une rotation alternative ; les postes de reconnaissance de forme et de soudure sont munis de systèmes de chargement et de déchargement automatiques. Les deux circuits subissent donc les mêmes déplacements en XY ; lorsque l'outil de soudure est situé à la verticale du centre d'un plot de soudure, le plot correspondant du circuit qui est en "phase reconnaissance" est situé non loin de l'axe optique du système de prise d'image ; ce sont donc 2 plots particuliers de chaque puce qui vont jouer le rôle de points de repère et donc de structure à reconnaître ; le champ d'observation du système optique est choisi de façon que, compte tenu des défauts de positionnement des puces sur leur substrat, le plot à reconnaître soit entièrement compris dans l'image qui est acquise pendant la soudure du plot homologue du circuit qui est en "phase soudure".

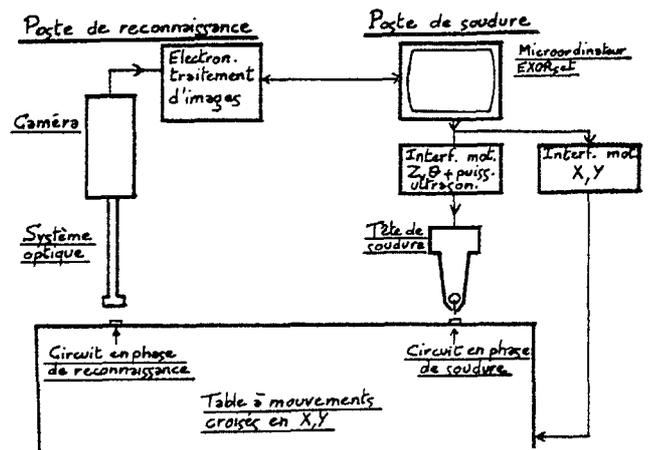


Figure 2

"Organisation générale de la machine à souder automatique"

III - STRUCTURE MATERIELLE DU SYSTEME DE RECONNAISSANCE DE FORMES

Le capteur d'images est une caméra vidéo standard équipée d'un tube de sensibilité élevée (Ultron) ; elle pourrait avantageusement être remplacée par une caméra à CCD.

Le système optique est constitué par un objectif macrophotographique relié à la caméra par l'intermédiaire d'un soufflet de longueur réglable. On peut faire varier de façon importante le grossissement ainsi que la profondeur de champ fournie par le système.

L'éclairage, qui conditionne la nature et la qualité des images obtenues est un éclairage de type axial qui fait se détacher nettement les parties métallisées des puces (qui apparaissent alors claires sur un fond sombre).

Le système de traitement électronique des images est réalisé à partir d'éléments standards.

Les images sont digitalisées et stockées en temps réel dans une mémoire d'images de 320 x 256 pixels, les niveaux de gris étant codés sur 6 bits ; le contenu de cette mémoire d'images est visualisé en permanence sur un moniteur de contrôle.

Les traitements d'image et la reconnaissance de formes sont entièrement réalisés par logiciel à l'aide d'un microordinateur basé sur un microprocesseur MC 68 000 MOTOROLA.

Ceci limite la rapidité de la reconnaissance, mais ce point n'est pas essentiel compte tenu du fait qu'elle s'effectue en temps masqué.

Par contre, cela nous procure une grande souplesse d'utilisation ainsi que des possibilités d'adaptation du système à des situations nouvelles.

Ainsi nous avons développé, à côté des programmes de reconnaissance de formes proprement dits, des programmes utilitaires facilitant l'utilisation du système (zoom électronique, génération et visualisation d'histogrammes).

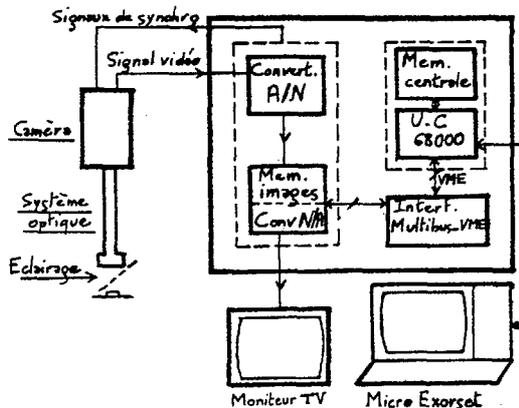


Figure 3

"Organisation générale du système de reconnaissance de formes"

IV - METHODES DE RECONNAISSANCE UTILISEES

Compte tenu de la qualité importante d'information à traiter (80 000 points), un traitement direct, portant sur la totalité de l'image conduirait à des temps d'exécution prohibitifs.

La reconnaissance s'effectue donc en plusieurs étapes, suivant une technique de recherche hiérarchique :

1 - Réduction de la résolution de l'image

On commence par effectuer une réduction de la résolution de l'image originale de 320x256 points dont on sait qu'elle contient le plot qu'on recherche :

. on effectue une partition de l'image originale dans laquelle toutes les parties sont identiques (forme et taille) et disjointes.

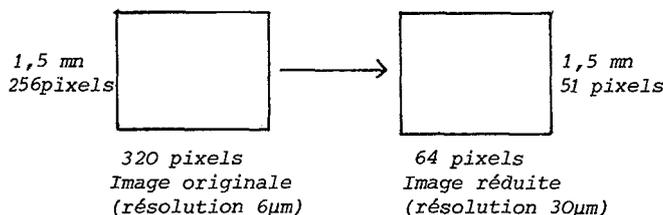
. à chaque partie de l'image originale, on fait correspondre un point de l'image réduite dont le niveau de gris est égal au médian des niveaux de gris

des points de cette partie :

$$X \longrightarrow I(X) = \text{MEDIAN } I(P,Q)_x$$

partie de l'image originale (P,Q) ∈ X

Le choix de cette méthode est justifié par les propriétés du filtre médian (7, 8, 9, 11,) : il conduit à une bonne réduction du bruit tout en respectant bien les bords des objets contenus dans l'image ; nous avons en fait utilisé un filtre médian séparable (10, 11) opérant d'abord sur des fenêtres horizontales de 5 pixels, puis sur des fenêtres verticales de même taille, ce qui présente l'avantage de diminuer le temps de traitement et d'être bien adapté à notre problème dans lequel les bords des objets sont des lignes quasi-horizontales ou quasi-verticales.



2 - Détection d'un bord vertical de la puce

Du fait de l'éclairage de type axial utilisé, le contraste entre les substrats et les puces est très élevé, le substrat se présentant comme une surface homogène pratiquement noire (voir figure 4 : Histogramme des niveaux de gris) ; la détection des bords de la puce, quasi-horizontaux ou quasi-verticaux peut donc s'effectuer de façon simple.

Les plots de soudure de la puce étant en général situés à proximité de ses bords, il est possible d'imposer à l'utilisateur de choisir comme points de repère des plots situés à proximité d'un des bords verticaux (par exemple le plot situé en bas à gauche et le plot situé en haut à droite de la puce). Une fois la position du bord vertical déterminée, la recherche du plot point de repère se trouve limitée à une bande verticale de l'image, centrée sur le plot, d'environ 150µm de largeur ce qui représente 5 pixels dans l'image réduite.

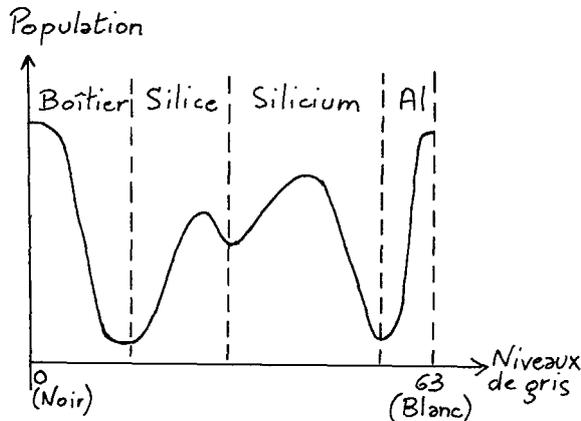


Figure 4

"Histogramme des niveaux de gris d'une image de circuit intégré sous éclairage axial.

3 - Génération de la "carte des plots"

En même temps que l'image réduite, on a généré son histogramme, qui après filtrage, permet la détermination d'un seuil à partir duquel il est possible de séparer les parties métallisées du reste de l'image



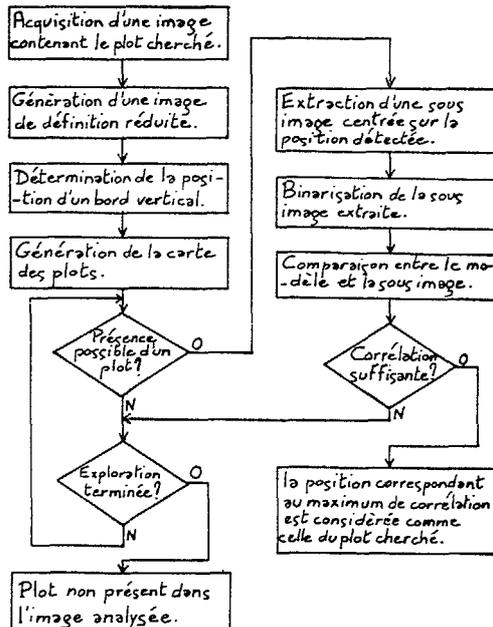
On réalise un moyennage local, doublé d'un seuillage partiel, sur la bande verticale d'image réduite; on obtient une image à plusieurs niveaux de gris dans laquelle seul un petit nombre de points sont noirs et susceptibles de correspondre au centre d'un plot.

4 - Recherche des plots

On réalise une exploration de la "carte des plots" précédemment générée (voir Figure 5); chaque fois qu'un maximum local est détecté (indiquant la présence possible du centre d'un plot), on va extraire de l'image originale une sous-image centrée sur le point correspondant au maximum, dont on génère simultanément l'histogramme; la sous-image est binarisée, puis comparée à un modèle binaire du plot recherché (généralisé lors d'une phase d'apprentissage); en partant du centre de la sous-image, on teste un petit nombre de positions possibles (en effet le centre de la sous-image appartient au plot recherché).

Si la plus grande valeur ainsi obtenue du coefficient de corrélation est supérieure à un certain seuil, la position pour laquelle cette valeur a été obtenue est considérée comme celle du plot recherché.

Les plots sont reconnus avec une corrélation par rapport au modèle supérieure à 90 %.



Reconnaissance "macroscopique" Reconnaissance "microscopique"
Organigramme d'une phase de reconnaissance d'un plot

Figure 5

V - PERFORMANCES

. Précision de la détection

Lors des essais effectués avec le système de reconnaissance seul (non couplé au robot de soudure), la précision dans la localisation des plots s'est avérée être de ± 1 pixel ($\pm 6\mu\text{m}$)

. Temps de détection

Ce temps dépend de la structure du circuit; il est en moyenne de 1,5s, ce qui rend le système utilisable dès que les puces nécessitent plus de 5 connexions.

VI - CONCLUSION

Cette étude est originale dans l'approche du problème de reconnaissance qui y est faite, approche qui est de type hiérarchisée :

. on utilise deux images de résolutions différentes, l'image basse résolution étant générée par filtrage médian (notons qu'il est possible de réaliser plus rapidement cette opération à l'aide d'un circuit intégré spécialisé)

. on exploite ensuite les structures les plus simples de l'image (bords de la puce) pour réduire la zone de recherche.

. La reconnaissance finale est réalisée sur des sous-images haute définition binarisées à partir d'un histogramme local (ce qui permet de s'affranchir en partie des problèmes liés à la nonuniformité de l'éclairage).

La stratégie adoptée dans la recherche des plots est de type prévision - vérification : après génération d'une carte des plots possibles, on confirme ou non, par corrélation, la présence du plot recherché ainsi que son emplacement précis.

Le système n'a pour l'instant été testé qu'en simulation, le robot lui-même n'étant pas encore réalisé, mais dès à présent les résultats sont bons.

Ce système présente l'avantage d'être non figé, entièrement programmable, ce qui le rend évolutif et souple d'utilisation, grâce aux programmes utilitaires développés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la société T.R.T., qui est à l'origine du projet et au sein de laquelle cette étude a pu être menée; nous remercions en particulier Mrs METZGER, ELZIERE et COIRON pour les conseils et l'aide qu'ils nous ont apportée.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) M.L. BAIRD : An application of computer vision to automated IC chip manufacture, Proc. of 3rd IJCPR, Coronado, 1976
- 2) S. KASHIOKA, M. EJIRI and S. SAKAMOTO : A transistor wire-bonding system utilizing multiple local pattern matching techniques, Trans. of IEEE on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-6, Nov. 8, pp 562-570, Aug. 1976
- 3) M. MESE, I. YAMAZAKI, T. HAMADA : An automatic position recognition technique for LSI assembly, Proc. of 5th Intern. Conf. on Artificial Intelligence, 1977, pp. 685-693
- 4) K. IGARASHI, M. NARUSE, S. MIYAZAKI, T. YAMADA : Fully automated integrated circuit wire bonding system, Proc. of 9th Internat. Sympos. on Robots, 1979, pp. 87-97



ROBOT DE SOUDURE AUTOMATIQUE DES CIRCUITS INTEGRES ET HYBRIDES

AN AUTOMATED WIRE-BONDING SYSTEM FOR HYBRID AND INTEGRATED CIRCUITS
T. BRU G. LORETTE

- 5) G. DOEMENS : Hybrid Video Image Processing For Automated Position Detection of Integrated Circuits in Wire Bonding System, Siemens Forsh. u. Entwicklungsbericht 10 (1981) 2, pp. 119-123
- 6) H. ZELLER, G. DOEMENS : Industrial Applications of Pattern Recognition, Proc. of 6th Intern. Conf. on Pattern Recognition, Oct. 1982, p. 202-212.
- 7) G. HEYGSTER : Two dimensional rank filters - Deterministic and spectral properties, Proc. 5th Intern. Conf. on Pattern Recognition, Dec. 1-4, 1980, pp. 1165-1167.
- 8) B. JUSTUSSON : Noise reduction by median Filtering, ICJC on Pattern Recognition, 1978, P. 502-504
- 9) HUANG : Two dimensional Digital Signal Processing (tome 2) : Transforms and Median Filters, Topics in Applied Physics vol 43, 1981
- 10) P.M. NARENDA : A separable median filter for image noise smoothing, IEEE Computer Society Conference on Pattern Recognition and Image Processing, p. 137-141
- 11) W.K. PRATT : Digital Image Processing, 1978, Wiley and Sons.
- 12) AHO, HOPCROFT, ULLMAN : The design and analysis of Computer Algorithms, Addison - Wesley, 1976
- 13) WESZKA : A Survey of Threshold Selection Techniques, Computer Graphics and Image Processing 7, 1978