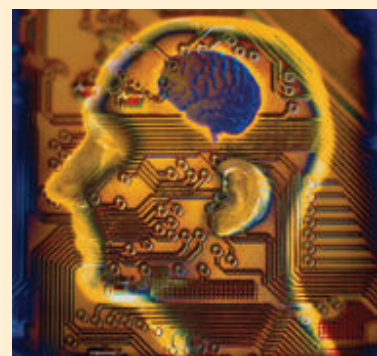


Les systèmes de vision AOI copient le mode de fonctionnement du cerveau

En s'inspirant de la méthode d'analyse du cerveau humain, les fabricants d'AOI proposent des systèmes d'inspection qui ont un niveau de performance élevé non seulement à un instant «t», mais aussi dans le temps.

Frédéric Pierson, Orion industry
Pamela R. Lipson, Imagen and Landrex Technologies –
Test & Measurement World *Test & Measurement World*,
1/1/2007

Quotidiennement, sur les lignes de montage automatique, des hommes inspectent la qualité de la fabrication. L'inspection humaine est basée sur la mémorisation de ce qu'est un produit bon et la mémorisation de certains types de défauts connus. En extrapolant ces informations, les hommes peuvent très facilement trouver d'autres défauts sans jamais les avoir rencontrés dans le passé.



READ OTHER FEBRUARY ARTICLES:
[Contents, February 2007](#)

Mais est-ce vraiment un travail pour les hommes ? En effet ; les hommes sont trop lents pour suivre les cadences des chaînes de montage actuelles. Leurs yeux ne sont pas assez performants pour les processus de fabrication ultras fins, et ils ont de la difficulté à rester concentré sur des tâches répétitives. En conséquence, l'inspection humaine pourrait être remplacée avantageusement par des systèmes d'inspection optiques automatisés (AOI).

Naturellement, les systèmes AOI classiques ont aussi leurs limites. Ils sont très sensibles aux changements d'aspect sur les cartes et sur les composants, sur la pâte et les joints de soudure. Par conséquent, le processus de programmation des systèmes peut être long et coûteux. Certains AOI ont constamment besoin d'ajustements pour s'adapter aux variations acceptables du processus de fabrication. En pratique, un programme d'inspection qui offre dans le temps un faible taux de faux défauts et un fort taux de détection est souvent pénalisé par de multiples interventions sur le programme ou par un temps de cycle allongé.

Que faudrait-il faire pour faciliter la programmation et la stabilité des systèmes AOI dans le temps ? La réponse est peut être située dans l'étude du cerveau humain.

Application de la science du cerveau à l'AOI

Les avancées sur la compréhension du fonctionnement du cerveau au cours des 15 dernières années ont été importantes. C'est, entre autres, des inventions telles que les systèmes d'imagerie à résonance magnétique (IRM) qui ont permis de voir le cerveau en action. Les chercheurs ont découvert plusieurs concepts dont certains peuvent être directement appliqués à l'amélioration des systèmes AOI pour l'inspection des cartes électroniques.

Naturellement, certaines personnes seront sceptiques. La réalisation d'un super ordinateur équivalent à «HAL» inspiré du film «2001 Odyssée de l'espace» de Stanley Kubrik n'est toujours pas d'actualité. De même, les chercheurs qui ont voulu modéliser les neurones et incorporer des neurones de silicium, plus connus sous le nom de « réseaux neurologiques » dans des machines d'inspection optique ne sont pas parvenus à atteindre des performances acceptables.

Néanmoins grâce aux progrès de la science du cerveau, les chercheurs ont pu mettre en application certains concepts dans des systèmes d'intelligence artificielle.

Nous allons développer cinq principes propres au fonctionnement du cerveau qui peuvent être utilisés dans les systèmes AOI pour les rendre plus fiables, plus faciles à programmer et plus faciles à maintenir :

Principe 1 : Actions collectives

Le cerveau est un organe modulaire qui envoie l'information sensorielle en parallèle aux multiples secteurs du cortex cérébral. Ces secteurs analysent les entrées de différentes manières, puis les résultats sont mis en commun. Ce modèle de fonctionnement est apparenté à une communauté dans laquelle chaque membre a son propre domaine de l'expertise. L'utilisation de l'expertise d'un seul des membres ne donnerait pas de résultats suffisants, mais son action dans un cadre collectif confère des avantages énormes.

Dans le domaine du développement d'une machine, cette idée est connue en tant que «booster» ou «combinaisons multiples» et donne des résultats étonnamment positifs. Employer cette approche dans la construction d'une machine simplifie la conception puisque l'on multiplie l'utilisation de concepts simples au lieu de créer un système d'analyse complexe. De plus, le système sera très modulaire.

Dans le cas d'un AOI, chaque membre de la communauté correspond à un algorithme qui a une spécificité d'inspection bien particulière (voir la figure1). Par exemple, un algorithme recherche l'aspect global du composant à tester,

deux autres algorithmes inspectent les bords du composant et les transitions avec le circuit imprimé et un dernier algorithme recherche le cas où le composant est manquant.

Chaque algorithme associe à sa décision un indice de confiance. Toutes ces décisions seront combinées pour aboutir à la décision finale.

Les algorithmes qui ont un fort indice de confiance participent totalement à la décision du test bon/mauvais, tandis que l'influence des algorithmes qui ont un moins bon indice de confiance sera moindre ou l'algorithme sera abandonné pour la prise de décision. Grâce à la redondance des informations, ce système est plus fiable qu'un système complexe monobloc. Il est également plus facile à utiliser.

Afin d'affiner le programme d'inspection, le programmeur pourra choisir les algorithmes à utiliser sans que cela modifie l'architecture du système.

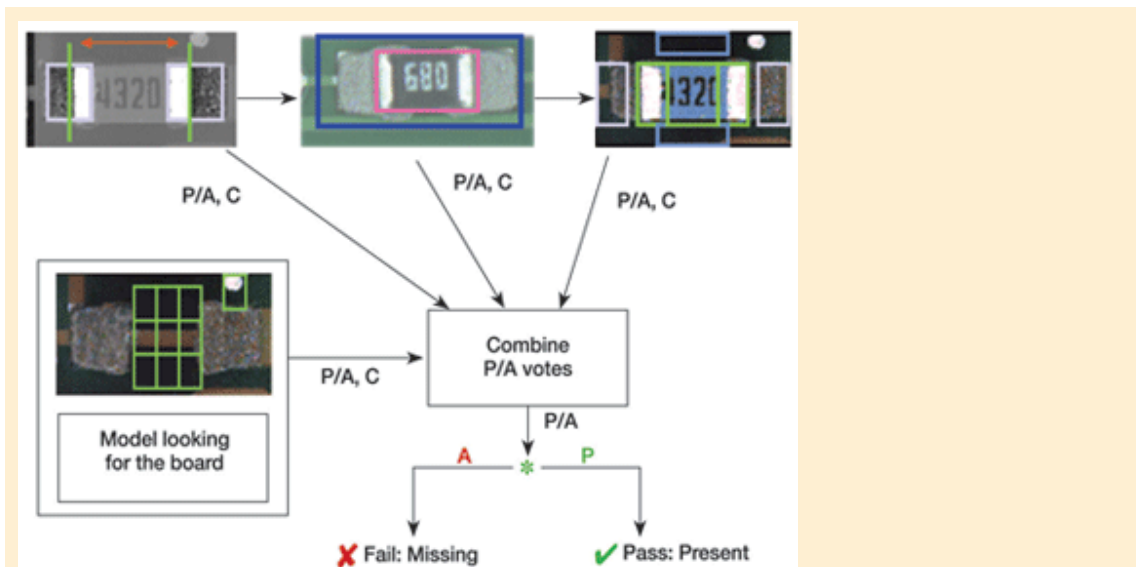


Figure1. Quatre algorithmes pour le test de présence / absence

Les différents algorithmes du logiciel recherchent l'aspect du composant, la structure du composant, et l'occlusion des plages d'accueil par les métallisations du composant. Un autre algorithme recherche l'absence du composant par la vision du circuit imprimé.

Principe 2 : Gérer les différences et les variations

Le cerveau humain ne cesse jamais d'apprendre. Il met à jour ses « modèles » à chaque nouvelle expérience, y compris pour les tolérances acceptables. Cette capacité permet au cerveau de traiter facilement toute donnée nouvelle.

En traduisant ce concept à AOI, un algorithme pourrait mesurer sur chaque circuit imprimé des couleurs réelles qui serviront de référence pour l'analyse de la carte. Ainsi l'algorithme intégrerait des conditions changeantes à chaque inspection plutôt que faire référence à des valeurs qui auraient été apprises précédemment et qui ne seraient peut-être plus valides.

En outre, le fait d'avoir des données continuellement mises à jour permet au système de rechercher des tendances de changement et d'effectuer le contrôle du processus. La figure 2 montre comment un système AOI peut s'ajuster en dynamique en prélevant quatre couleurs sur chaque circuit imprimé sur des zones prédéterminées (cuivres, substrats avec ou sans vernis épargne). Les palettes des couleurs réelles de la carte sous test sont alors utilisées par les algorithmes.

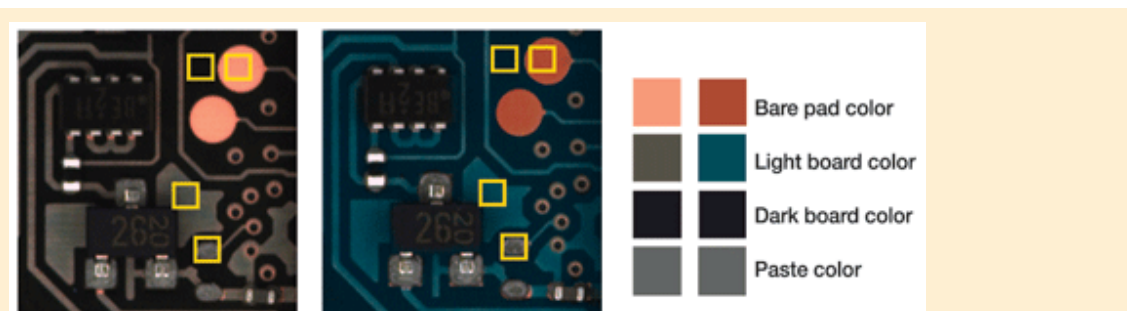


Figure 2 : mémorisation des palettes de couleur

La globalité d'une carte peut être simplement représentée par quatre couleurs qui peuvent changer avec les lots de circuits imprimés (plage de cuivre / PCB clair / PCB foncé / pâte à braser).

Principe 3 : Examen des données dans le contexte

Une information qui est examinée hors d'un contexte peut être ambiguë. Si l'on prend l'exemple d'une peinture impressionniste, une tâche de peinture vue de près n'est pas interprétable mais sera aisément interprétée comme visage une fois que nous examinerons la toile dans son ensemble. Cette idée s'applique également à l'analyse d'images. Le cerveau attribue une grande importance au contexte en interprétant des images en présence du bruit et d'autres imperfections.

Pour l'analyse humaine d'une carte électronique, il peut y avoir beaucoup d'écarts dans l'interprétation des résultats lorsqu'on l'examine uniquement sous binoculaire. Pour un AOI, les difficultés proviennent du fait que la brillance des métallisations évolue, que les circuits imprimés ont des variations de couleur en fonction des différentes couches, que les inscriptions sont changeantes. Il est

donc difficile de garantir le résultat de l'analyse seulement par une approche locale.

De plus, le traitement sera simplifié si l'AOI travaille de façon globale en intégrant le voisinage. Un composant qui est vu comme une notion de pixels en couleur peut être correctement classifié une fois qu'il sera examiné avec les plages d'accueil et le circuit imprimé. La détection d'un composant décalé en rotation devient évidente dès que l'on peut comparer ce composant aux composants du voisinage (voir la figure3).



Figure 3 : Composant inspecté par rapport au composants voisins

Lorsqu'il est traité individuellement, le contour du composant CMS 0201 du bas semble horizontal. Mais lorsque les trois composants sont analysés dans une vue globale, il apparaît clairement que la composant du bas est décalé en rotation.

Principe 4 : L'information qualitative est complémentaire de l'information quantitative

Les études neurophysiologiques des cellules du cortex visuel démontrent que les neurones codent l'information de l'image très grossièrement. Un simple neurone pourrait indiquer l'axe du contraste sur une grande zone de l'image. Le neurone indique si le côté gauche est plus lumineux ou plus foncé que le droit. Il ne serait pas utile de fournir des informations quantitatives sur l'endroit exact où se situe une transition, de connaître un angle précis ou une couleur exacte.

Pourquoi le cerveau choisirait-il de gâcher les données métriques fines en faveur d'évaluations relatives et brutes ?

Il s'avère que c'est une stratégie intelligente basée sur l'analyse des variations, qui est beaucoup plus adaptée au traitement d'images qu'un grand nombre de mesures métriques. Une représentation établie par des codes qualitatifs est donc préférable. Une face éclairée de différentes façons aura des codes qualitatifs similaires, mais des codes quantitatifs très différents.

Cette notion est particulièrement importante dans la conception d'un système AOI. Les fabricants conçoivent souvent leur système de reconnaissance

d'images en analysant les détails fins tels que la transition précise entre un objet et le fond. Cette analyse est basée sur les différences de luminance ou de couleur. Cela s'appelle la détection de «bords». D'autres systèmes mesurent les couleurs et les luminances exactes de chaque partie de l'image.

En fait, les fabricants pourraient concevoir leurs systèmes en utilisant des modèles d'analyse basés sur des notions qualitatives de transition entre les différentes régions de la carte. Cette modélisation serait plus robuste dans le temps par rapport aux variations des prises d'images provenant des variations du processus de fabrication.

La figure 4 montre comment une représentation qualitative peut être employée pour déterminer la présence ou l'absence d'un composant en recherchant sa relation avec son environnement.

Naturellement, l'information quantitative peut être nécessaire. Ce sera le cas lorsque l'on fait *du contrôle de processus*. Le point crucial lors de la conception d'un AOI se situe dans l'équilibre entre les modélisations qualitatives qui sont peu sensibles aux variations et les modélisations quantitatives qui apportent la notion de mesure mais qui sont plus instables.

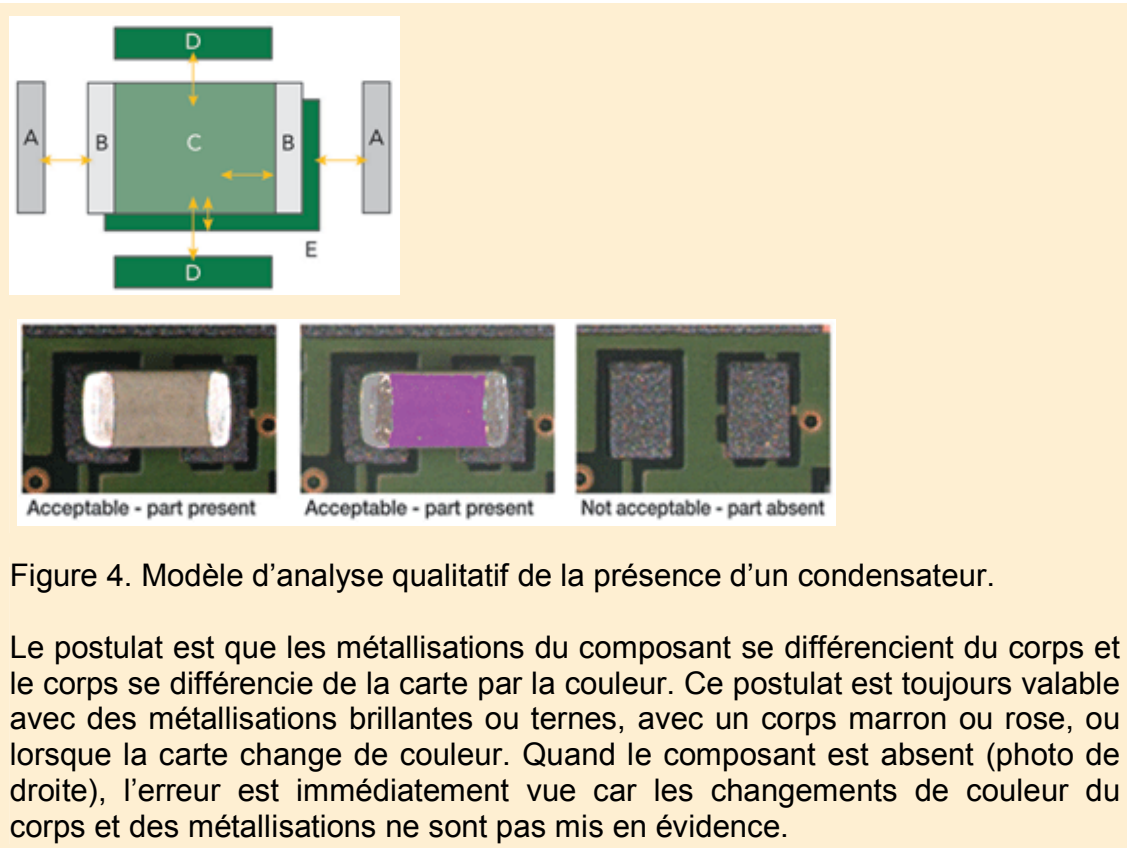


Figure 4. Modèle d'analyse qualitatif de la présence d'un condensateur.

Le postulat est que les métallisations du composant se différencient du corps et le corps se différencie de la carte par la couleur. Ce postulat est toujours valable avec des métallisations brillantes ou ternes, avec un corps marron ou rose, ou lorsque la carte change de couleur. Quand le composant est absent (photo de droite), l'erreur est immédiatement vue car les changements de couleur du corps et des métallisations ne sont pas mis en évidence.

Principe 5 : Le savoir faire combiné avec l'expérience

Quelques mois après sa naissance, un enfant en bas age est capable de localiser et reconnaître un visage évoluant au milieu de plusieurs autres personnes. Comment l'expliquer ?

Une hypothèse serait que l'évolution ait équipé le cerveau du nouveau-né d'une méthode d'enregistrement basée sur un visage brut, ce qui prédispose l'enfant à traiter facilement tous modèles de visage. Plus l'enfant verra de visages, plus leur étude en sera facilitée. Cet exemple montre la façon dont le cerveau utilise la connaissance antérieure pour amorcer chaque nouvelle étude et emploie une expérience réelle pour affiner ses concepts.

Comment adapter cette stratégie aux systèmes AOI ?

Les algorithmes combinent leur savoir faire en traitement d'images appliqué à l'inspection des cartes avec de l'apprentissage systématique de données prises sur chaque carte sous test. Le savoir faire en traitement d'images donne aux algorithmes un niveau de qualité de base. L'apprentissage systématique des données permet d'affiner et de personnaliser les résultats des algorithmes pour chaque carte testée. L'utilisation systématique de ces données mesurées sur chaque carte rend l'inspection bien plus adaptable aux conditions changeantes. Le résultat est que l'inspection est fiable dans le temps et la machine fonctionne sans modification significative du programme.

La figure 5 montre un exemple où un AOI combine la connaissance intégrée basée sur un modèle bibliothèque du composant avec la connaissance instruite provenant de la carte.

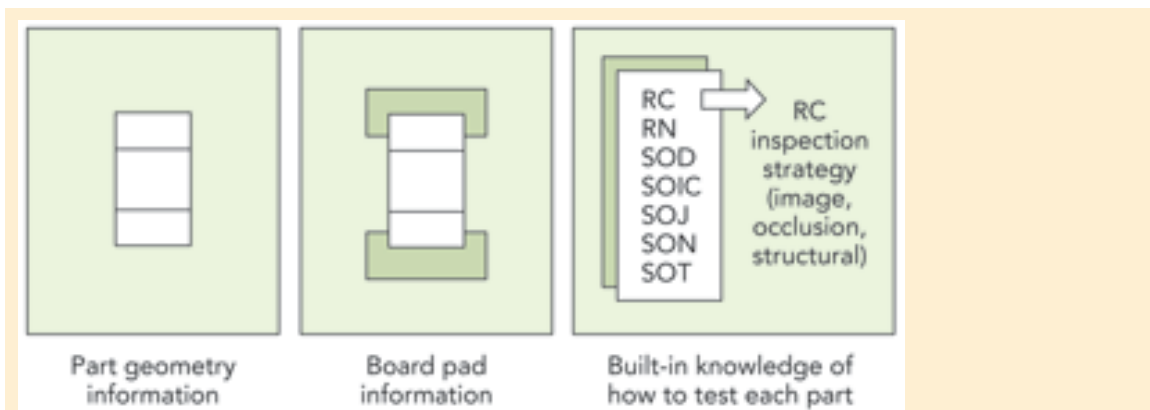


Figure 5 : Connaissance intégrée et connaissance instruite

La connaissance intégrée est la forme géométrique du boîtier et la connaissance instruite est l'information sur les plages d'accueils. Ces deux stratégies dédiées à chaque modèle de composant permettent d'optimiser l'inspection des composants.

Application à l'Optima 7200

Le fabricant d'AOI Landrex et Imagen qui développe des logiciels de traitement d'images ont utilisé ces principes dans l'Optima 7200 qui est un AOI pré-refusion. En pratique l'utilisation des cinq principes que nous venons de décrire a considérablement augmenté les performances du système par rapport aux systèmes conventionnels.

Prenons l'exemple d'un condensateur tantale et appliquons les principes que nous venons de voir. Le condensateur tantale a des métallisations qui peuvent être parfois oxydées et dont la couleur du corps change de temps en temps. Nous pouvons aussi imaginer également que la couleur de circuit imprimé change en fonction des différents lots.

Un système traditionnel qui n'apprend qu'un aspect du composant et du circuit imprimé pourra se tromper dans le diagnostic lorsque l'aspect du composant change. Pour pallier à ce problème, une machine basée sur l'apprentissage devra apprendre le nouvel aspect du composant. En pratique, un trop grand nombre d'apprentissages affaiblira la qualité du contrôle.

Avec l'Optima 7200, si l'aspect du composant change et à partir du principe 1 (actions collectives), certains algorithmes auront une réponse inexacte. Cependant, d'autres algorithmes qui recherchent la structure ou l'occlusion du circuit imprimé seront fortement convaincus que le composant est présent. Ceci sera soutenu par le fait qu'un de ces algorithmes auront un indice de confiance important.

L'information qualitative vue avec le principe 4 va se focaliser sur la structure du composant et non sur son aspect et sera peu sensible aux différences de couleur ou de brillance.

Le principe 2 (gestion des variations) permet au système de connaître la couleur exacte du circuit imprimé actuellement sous test pour distinguer plus facilement la transition entre le PCB et le composant.

Le principe 3 permet au système d'analyser le composant par rapport aux composants voisins.

Le principe 5 (connaissance antérieure) permet au système de connaître et d'intégrer dans son modèle les tolérances et les variations classiques du condensateur tantale.

Le programmeur n'a alors plus à développer un programme complexe pour que l'AOI s'adapte aux variations du processus de fabrication. Ainsi, si il y a plusieurs AOI, il n'y aura toujours qu'un seul programme.

www.orion-industry.com

En terme de faux défauts et de défauts non vus, les 7200 peuvent atteindre des performances 100 fois supérieures aux machines utilisant les techniques traditionnelles, telles que la comparaison d'image ou la détection de bord. Une réduction des faux défauts de 1000 ppm à 10 ppm est envisageable. De plus, le système peut fonctionner beaucoup plus longtemps à qualité constante sans intervention de l'opérateur pour ajuster le programme.

Conclusion

Par le passé, les performances des ordinateurs, des caméras, et des éclairages étaient trop juste pour réaliser des traitements d'images très performants.

L'évolution vers des ordinateurs très rapides, des mémoires de grande capacité, des caméras haute résolution en couleurs, des objectifs télécentriques sans distorsion et des éclairages à LED blanches permet aux systèmes d'inspection automatisés de traiter l'information d'une manière inimaginable il y a quelques années.

Dans le futur, la plupart des AOI appliqueront les synergies entre les principes de la science du cerveau et la vision industrielle à leurs algorithmes. *L'industrie ne devrait alors produire plus que des systèmes d'inspection très performants et faciles à programmer pour les applications de contrôle des cartes électroniques.*

Frédéric Pierson, Orion industry