

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 11

Artikel: Extraction de contours en traitement électronique des images II : processeur spécialisé pour signal vidéo

Autor: Zurcher, J.-M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905384>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Extraction de contours en traitement électronique des images

II : Processeur spécialisé pour signal vidéo

Par J.-M. Zurcher

519.763:681.7.014:

Cette contribution décrit la réalisation d'un extracteur de contours adapté au traitement d'une image de télévision pour le contrôle d'un manipulateur industriel. Ce système, entièrement matériel, fournit en temps réel les contours de la scène observée par une caméra de télévision. L'opération globale d'extraction de contours est décomposée en ses opérateurs fondamentaux; leurs structure et réalisation sont décrites en détail. Enfin, le fonctionnement de l'ensemble est discuté.

Der Artikel beschreibt ein Fernsehbild-Verarbeitungssystem zur Umrissermittlung für die Steuerung eines Industrieroboters. Das betriebsbereite System liefert in Echtzeit die Umrisse des von der Kamera beobachteten Bildes. Der Gesamtvorgang der Umrissermittlung wird in seine wesentlichen Operatoren zerlegt, deren Aufbau und Ausführung im einzelnen beschrieben wird. Abschliessend wird die Arbeitsweise des gesamten Systems erläutert.

1. Introduction

Dans le cadre de la recherche sur la perception visuelle de robots industriels entreprise au Laboratoire de traitement des signaux (LTS) de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), une étude systématique du problème de l'extraction de contours d'une image a été effectuée [1]. Sur cette base et dans l'optique de la construction d'une unité de contrôle spécialisée d'un manipulateur [2], un extracteur de contours «matériel» a été réalisé; celui-ci travaille en temps réel, à 8 MHz, et fournit en permanence l'image «contours» de la scène observée par une caméra de télévision conventionnelle.

L'opération globale d'extraction de contours peut être décomposée en une suite d'opérations plus simples, chacune réalisée par l'un des opérateurs décrits précédemment [1]. La configuration finale adoptée, heuristique, résulte d'essais systématiques en vue d'obtenir les meilleures performances dans le contexte des tâches à réaliser. Cette configuration ne s'est pas imposée a priori comme la meilleure et l'unique et a été sujette à des modifications sur la base de l'expérience acquise.

D'autre part, dans l'établissement du cahier des charges de cet extracteur de contours, un certain nombre de compromis ont été faits quand il était possible d'alléger notablement le «matériel» au prix d'une perte minime d'efficacité. Cet article a pour but la description de la structure «matérielle» d'une unité d'extraction de contours en temps réel.

2. Configuration d'un extracteur de contours

Deux blocs sont fondamentaux dans la réalisation de l'opération d'extraction de contours. Le premier est un opérateur de «moyennage local» [1] visant la suppression de contours parasites créés par des perturbations isolées sur l'image, telles que poussières, rencontrées dans une ambiance industrielle; de cette façon, l'influence de tout point différant trop de son contexte est fortement diminuée. Le deuxième est un opérateur du type «gradient» [1] réalisant l'opération d'extraction de contours proprement dite.

Deux autres blocs entrent encore dans la composition de cette chaîne globale de traitement de l'information image. Du type «seuil» [1], ils interviennent, l'un entre les deux blocs ci-dessus, l'autre à la fin de la chaîne pour transformer l'image contours en une image binaire à deux niveaux. L'accent est mis dans cet article tout d'abord sur la réalisation des deux blocs fondamentaux qui peuvent être considérés d'intérêt général, puis sur la description de la solution particulière adoptée dans le cadre de ce développement. Mais l'application de tels opérateurs nécessite la discrétisation préalable de l'information image fournie par le capteur.

3. Discrétisation spatiale et numérisation d'une image

L'étape de discrétisation spatiale est nécessaire pour transformer une image continue en une matrice de $M \times N$ points-image élémentaires (fig. 1). Cette opération est réalisée par échantillonnage de l'image originale.

L'étape de numérisation revient à attribuer à chacun de ces points élémentaires une valeur numérique correspondant au niveau de gris. Généralement cette valeur numérique est quantifiée: la dynamique du signal vidéo (noir \rightarrow blanc) est divisée en n intervalles consécutifs. A chacun de ces intervalles est attribué un nombre de 0 à $(n - 1)$. On dira que la conversion analogique-numérique est réalisée à Q -bits si le nombre n de niveaux de gris à distinguer est égal à 2^Q .

Lorsque le capteur est une caméra de télévision conventionnelle, l'information image est déjà échantillonnée selon l'axe vertical. En effet, le signal vidéo est créé par balayage de lignes sur la cible (surface photo-sensible) du tube vidicon (capteur d'image). Elle est par contre continue sur les lignes. Le standard de télévision européen est caractérisé par une définition de 625 lignes par trame complète, réparties en deux demi-trames entrelacées (fig. 2), sur une image rectangulaire de rapport largeur-hauteur égal à 4/3. La lecture de la cible est réalisée au rythme de 50 demi-trames par seconde.

Il faut donc échantillonner le signal vidéo à une fréquence f_e ; du choix de cette fréquence dépend le nombre de points-images obtenus sur une ligne. Dans la plupart des cas, il faut que les résolutions horizontale et verticale soient identiques sur l'image numérisée. Sous cette condition, une surface carrée présentée à la caméra apparaît effectivement comme carrée; ses côtés orthogonaux sont représentés par le même nombre de points-images ou pixels (\triangleq picture elements).

Le respect de cette condition impose, dans le cas du standard européen, une fréquence d'échantillonnage d'environ

L'article traite d'une recherche effectuée avec l'appui de la Commission pour l'Encouragement des Recherches Scientifiques (CERS)

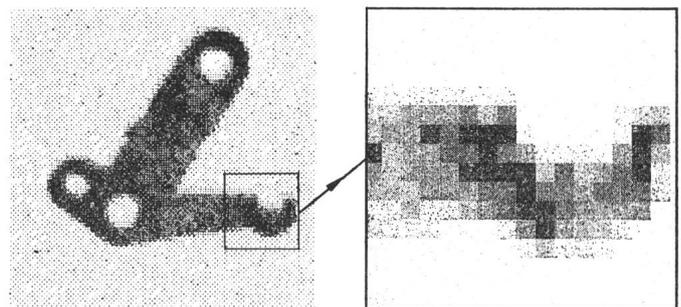


Fig. 1 Image discrétisée et détail d'une pièce mécanique

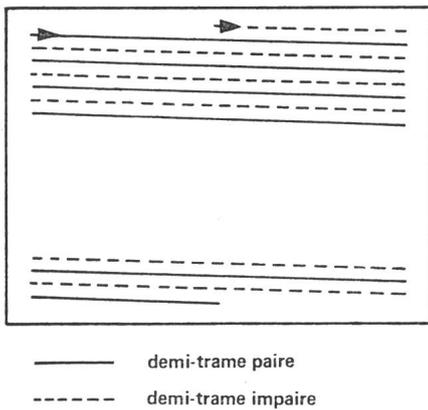


Fig. 2 Balayage d'une image de télévision

16 MHz; cette fréquence correspond à une résolution de 1024 points sur une ligne complète (64 μ s) du signal vidéo. Cette valeur de fréquence n'est pas exacte et correspond à un arrondi permettant d'avoir un nombre de points égal à une puissance de 2 (2^{10}) sur la ligne; une légère correction au niveau de l'amplification des rampes de déflexion de la caméra assure une même résolution sur les lignes et colonnes de l'image numérisée. Suivant la résolution désirée (matrice $M \times N$), on travaillera sur l'une ou l'autre des deux demi-trames ou sur la trame complète avec une dimension maximum respectivement de 512×312 et 1024×625 points-image.

Dans l'application particulière, une sous-image de 256×256 points caractérisés par 16 niveaux de gris distincts ($\triangleq 4$ bits) est adoptée [3]. Elle est prélevée sur une demi-trame. Il est alors avantageux de forcer la caméra de télévision à balayer toujours la même demi-trame. Cette astuce permet d'exploiter au mieux la cadence de la caméra (fréquence d'images doublée).

4. Fonctionnement en temps réel

A priori, l'expression «en temps réel» n'exprime que le fait qu'une opération doit être réalisée sur un ensemble de valeurs d'entrée, et qu'un nouveau résultat doit être fourni à chaque modification de cet ensemble. Dans le cas particulier, l'ensemble des valeurs d'entrée est une image discrétisée, réajustée toute les 20 ms. On peut alors définir deux types d'opérations sur cette image.

Opérations globales: elles fournissent une ou plusieurs valeurs numériques caractéristiques d'une image; par ex., le comptage des points blancs d'une pièce ou de son contour, intervenant dans le calcul des coordonnées de son centre de gravité.

Opérations locales: elles restituent une image complète, mais modifiée, filtrée; par ex. les contours d'un objet.

Le caractère bi-dimensionnel d'une image implique l'application d'opérateurs eux aussi à deux dimensions. Dans le cas d'une scène observée par une caméra de télévision, l'information image est fournie ligne après ligne. L'application d'un opérateur bi-dimensionnel agissant simultanément sur N lignes du signal vidéo, impose la mémorisation de $(N - 1)$ lignes de ce signal si l'unité de traitement doit fournir une image traitée pour chaque nouvelle image à l'entrée, soit en temps réel.

De plus, chacune des opérations élémentaires qui, à un point-image à l'entrée fait correspondre un point à la sortie de l'unité,

doit pouvoir être réalisée en moins de T , si $1/T$ est la fréquence d'échantillonnage du signal vidéo. Si cette condition n'est pas remplie, il faut alors adopter une structure dite «pipe-line».

5. Structure pipe-line

Une structure pipe-line est adoptée chaque fois qu'une opération $F(X)$ devrait être réalisée sur une suite de nombres (a, b, c, \dots), arrivant à une fréquence $1/T$, alors que le temps nécessaire pour l'exécuter est supérieur à T .

Si $F(X)$ peut être décomposée en n sous-opérations F_i ($1 \leq i \leq n$) tel que $F(X) = F_1[F_2(\dots(F_n(X))\dots)]$ et que de plus le temps nécessaire pour effectuer chaque F_i est inférieur à T , il est alors possible d'adopter la structure suivante: chacune des fonctions F_i doit être isolée des autres par un élément de retard qui ne laisse se propager le résultat intermédiaire qu'en un instant précis, au rythme d'une horloge à la fréquence $1/T$. Tous les n éléments de retard doivent être activés simultanément et assurent ainsi la réalisation de l'opération globale $F(X)$ après n périodes élémentaires de durée T . Le tableau suivant (fig. 3) montre la propagation de l'information dans un système pipe-line dans le cas où la fonction $F(X)$ peut être décomposée en deux opérations F_1 et F_2 sur les valeurs (a, b, c, d, e) à l'entrée.

Les circuits logiques permettant cette opération de retard ou blocage de l'information pendant une certaine durée sont des «latches» ou «bascules D » ($D \triangleq$ Delay).

6. Moyennage local

Ce bloc de traitement dont la fonction a été décrite précédemment réalise un filtrage bi-dimensionnel de l'image [1]. Il calcule une moyenne des niveaux de gris dans le voisinage d'un point particulier; cette valeur moyenne est ensuite attribuée à ce point. Par décalages successifs (convolution), cette opération est effectuée sur tous les points de l'image. L'ensemble de ces valeurs moyennes constitue l'image moyennée.

Dans le cadre de cette étude, l'opérateur de valeur moyenne retenu travaille sur le voisinage carré des huit points-image entourant un point particulier $P(i, j)$ auquel correspond le

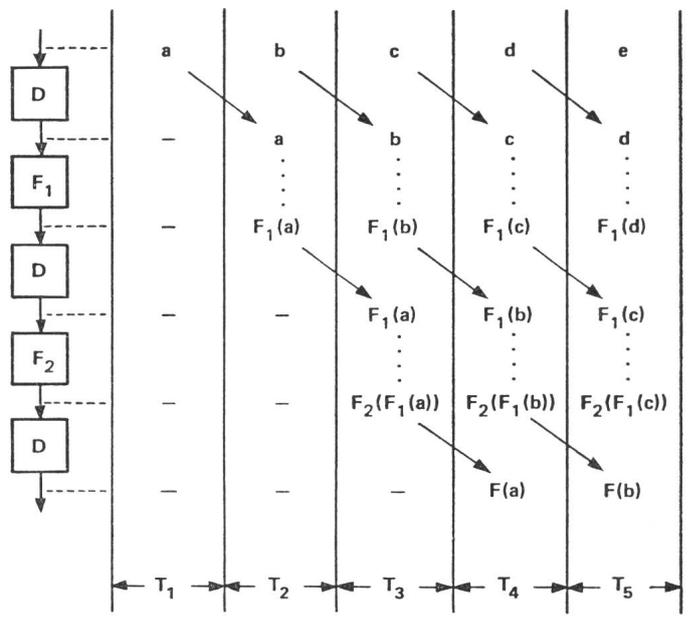


Fig. 3 Propagation de l'information dans un système pipe-line

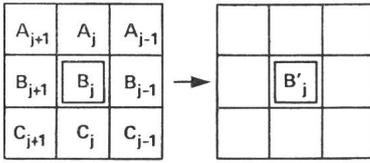


Fig. 4 Configuration et niveaux de gris des points-image sur lesquels est définie l'opération de moyennage local

niveau de gris B_j . Selon la figure 4, la valeur de $P(i, j)$ dans l'image moyennée devient

$$B'_j = (A_{j+1} + A_j + A_{j-1} + B_{j-1} + C_{j-1} + C_j + C_{j+1} + B_{j+1})/8$$

Pour réaliser cette opération, il faut disposer de trois lignes du signal vidéo en parallèle; deux lignes doivent alors être mémorisées, soit 2×256 points-image définis à 4 bits ($\triangleq 2048$ bits), la troisième étant la ligne courante, fournie par la caméra de télévision. La nature convolutive de l'opération de moyennage local suggère pour cette mémoire une structure de registre à décalage. Le point critique est la fréquence de décalage de ces registres, soit 8 MHz. La technologie actuelle offre des registres en technologies MOS (Metal Oxyde Semiconductor) caractérisés par une architecture de 4×256 et une fréquence de décalage de 10 MHz.

Schéma-bloc: Trois blocs fondamentaux entrent dans la composition de cet unité de moyennage local (fig. 5): les registres dynamiques SR, les éléments de retard D, les additionneurs "+". Cette structure réalise en temps réel la convolution de l'image fournie par la caméra TV et numérisée, avec une fenêtre de moyennage de dimensions 3×3 points-image. Pour chaque échantillon à l'entrée, elle fournit un échantillon de sortie correspondant à l'image moyennée.

Fonctionnement: L'information correspondant aux $j^{\text{èmes}}$ points de trois lignes consécutives est resynchronisée par un premier étage de bascules; puis elle se décale au rythme de

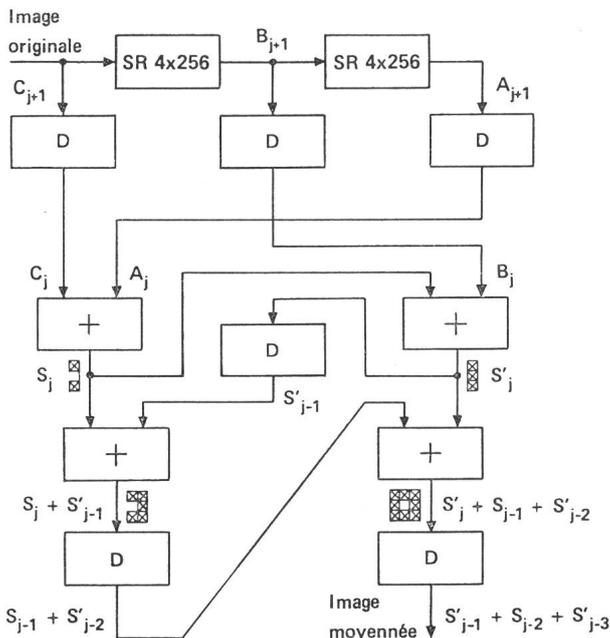


Fig. 5 Schéma-bloc de l'opérateur de moyennage local

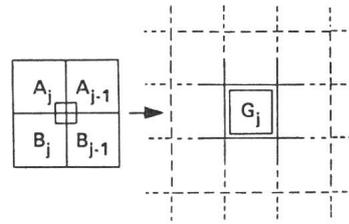


Fig. 6 Configuration des points-image sur lesquels est définie l'opération «gradient»

l'horloge-mère à 8 MHz, au travers du système pipe-line caractérisé par deux niveaux de retard.

Soient trois lignes du signal numérisé, dont les points sont caractérisés respectivement par les niveaux de gris A_j , B_j , et C_j ($0 \leq j \leq 255$). Les opérations suivantes sont réalisées pendant chaque période élémentaire:

$$\begin{aligned} \sum_1 = S_j = A_j + C_j & \quad \sum_2 = S'_j = A_j + B_j + C_j \\ \sum_3 = S_j + S_{j-1}' & \quad \sum_4 = S'_j + S_{j-1} + S_{j-2}' \end{aligned}$$

Le terme \sum_4 est égal à la somme des niveaux de gris des huit points entourant le point B_{j-1} . C'est la valeur de l'image moyennée en ce point. Dû au temps de propagation fini, ce terme \sum_4 n'est défini qu'à la fin d'une période élémentaire. Pour cette raison, on intercale encore un étage de bascules et le terme à la sortie du système est $(S_{j-1}' + S_{j-2} + S_{j-3}')$, avec deux pas de retard sur l'image originale.

7. Gradient

Ce bloc calcule une approximation du gradient bidimensionnel [1]. Le résultat de cette opération est un terme proportionnel à l'activité de l'image. C'est une mesure locale (et omnidirectionnelle) de l'amplitude des variations spatiales des niveaux de gris d'une image.

Cet opérateur travaille en parallèle sur deux lignes du signal vidéo, sur un ensemble de quatre points-image disposés en carré (fig. 6). Il fournit une valeur $G_j = |A_j - B_{j-1}| + |B_j - A_{j-1}|$ qui est une approximation de la valeur exacte du gradient [1], plus simple à réaliser. Pour des raisons de symétrie, la valeur de G_j correspond à un point élémentaire de l'image situé au centre du carré formé par les quatre points-image de départ.

Schéma-bloc: Quatre blocs fondamentaux composent cet opérateur gradient (fig. 7): un registre dynamique SR, les éléments de retard D, les opérateurs de valeur absolue de la différence « $|-|$ » réalisés à l'aide de PROM (Programmable Read Only Memory) 256×4 , et les additionneurs «+». Cette structure réalise en temps réel le calcul du gradient de l'image à l'entrée. Elle est caractérisée par 2 niveaux de retard, indépendamment du demi pas de retard implicite dans sa structure.

Fonctionnement: L'information correspondant au $j^{\text{èmes}}$ points de deux lignes consécutives du signal vidéo est resynchronisée par un premier étage de bascules; puis cette information se décale au rythme d'une horloge commune, au travers d'un système pipe-line caractérisé par 1 niveau de retard.

Soient 2 lignes du signal numérisé, dont les points sont caractérisés par A_j et B_j . Les opérations suivantes sont réalisées pendant chaque période élémentaire:

$$D_j = |A_j - B_{j-1}| \quad D'_j = |B_j - A_{j-1}| \quad S_j = D_j + D'_j \equiv G_j$$

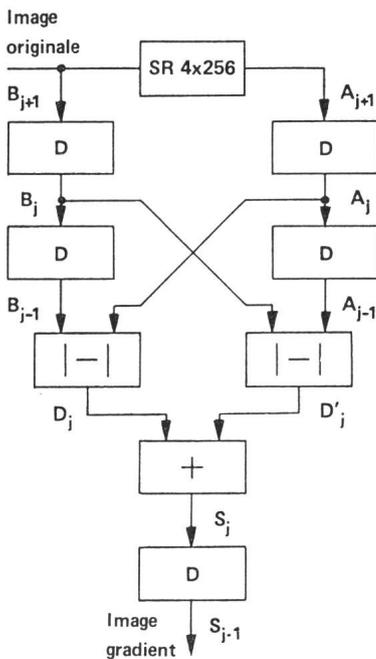


Fig. 7 Schéma-bloc de l'opérateur «gradient»

Pour les mêmes raisons que précédemment cette information doit encore être synchronisée, provoquant un deuxième retard d'une période élémentaire. La valeur à la sortie est donc G_{j-1} lorsque les valeurs A_{j+1} et B_{j+1} sont présentes à l'entrée.

8. Extraction de contours

L'extracteur de contours complet est construit à partir des deux blocs fondamentaux décrits et de deux autres blocs qui sont un bloc de décision et un bloc d'écrêtage (fig. 8). Ce schéma-bloc peut être décomposé en deux sous-blocs: une unité de prétraitement suivie d'une unité de calcul du contour proprement dite.

8.1 Prétraitement

A part le calcul de moyenne locale, ce sous-bloc est composé d'un bloc de décision. Celui-ci a la fonction suivante: à partir de l'image originale $d(x, y)$ et de l'image moyennée $e(x, y)$ est créée une information $f(x, y)$ sur la base d'un seuil e_s (à 4 bits). Il accepte ou non l'image originale sur la base d'un test sur l'image moyennée $e(x, y)$. Chaque valeur de $e(x, y)$ est comparée au seuil e_s et suivant le résultat de cette comparaison, une décision est prise sur l'image originale $d(x, y)$. Le bloc de décision est caractérisé par quatre modes de fonctionnement symbolisés par OFF, X/L, H/X et ON.

- En mode OFF, le bloc de prétraitement est court-circuité (opération identité); l'opération d'extraction du contour est appliquée à l'image originale.

- En mode X/L, seules les valeurs de l'image originale supérieures ou égales au seuil e_s sont transmises; les autres sont remplacées par la valeur 0 (0000 binaire).

- En mode H/X, symétrique du précédent, seules les valeurs de l'image inférieures au seuil e_s sont transmises; les autres sont remplacées par 15 (1111 binaire), valeur maximum.

- En mode ON, combinaison des deux précédents, les valeurs de l'image originale inférieures au seuil e_s sont remplacées par 0, les autres par 15. Le résultat de cette opération, $f(x, y)$

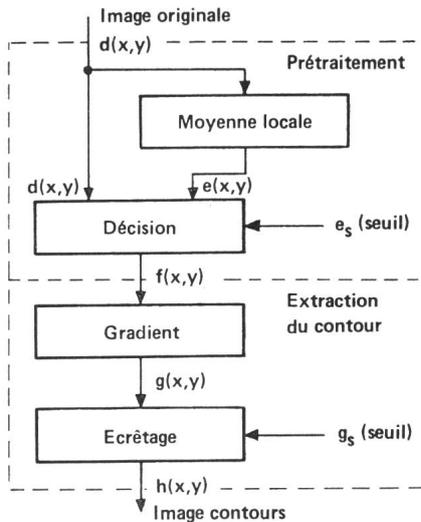


Fig. 8 Schéma-bloc de l'extracteur de contours

est une image binaire à deux niveaux résultant de l'application d'un seuil [2].

Suivant les conditions d'éclairage et l'application particulière, l'un ou l'autre des modes ci-dessus sera choisi. Dans le cas d'images bien contrastées, le fonctionnement en mode ON ou X/L est souvent adopté. Dans d'autres cas, si le but du traitement est de révéler des contours peu marqués, les modes OFF ou bien H/X et X/L sont les plus favorables.

8.2 Extraction du contour

A part le calcul du gradient, ce bloc comporte une unité d'écrêtage sur la base d'un seuil g_s . L'unité de calcul du gradient fournit à partir de l'information $f(x, y)$ le contour $g(x, y)$ défini à 4 bits soit 16 niveaux. Sur la base du seuil g_s , l'unité d'écrêtage transforme cette information en une image des contours à deux niveaux (fig. 9). Tout point inférieur au seuil est ignoré; tout point de valeur supérieure ou égale au seuil est retenu comme point significatif.

Dans cette réalisation particulière, la valeur des deux seuils e_s et g_s peut être introduite et réglée manuellement pour les conditions moyennes d'éclairage et selon la nature des contours à révéler. La tolérance relative de ces réglages au changement des conditions d'éclairage rend une procédure d'adaptation de ces seuils superflue dans ce cas. Dans une application plus générale, un système d'ajustement automatique pourrait être envisagé.



Fig. 9 Contour d'une pièce observée par une caméra de télévision (cf. fig. 1)

8.3 Réalisation

Toute l'unité est réalisée sur une seule carte et comporte environ 35 circuits intégrés en technologie TTL-LS (Transistor Transistor Logic – Low Power Schottky) et MOS pour les registres à décalage dynamiques.

9. Extraction de contours: but et applications

Tout au long de ce qui précède, le but de l'extraction de contours n'est pas apparent. Est-ce un but en soi, ou, sinon, quelles sont les vraies raisons de compliquer le traitement d'une image de télévision de cette façon?

9.1 But de l'extraction des contours

Dans l'application particulière, l'extraction de contours a deux buts principaux: la réduction de l'information à traiter et l'amélioration de la qualité de la prise d'image [2].

Réduction de l'information: l'extraction des contours génère une image à 2 niveaux, à partir de l'image originale à multi-niveaux de gris. Le rapport entre le nombre des points du contour et le nombre des points de la surface qu'ils entourent peut varier entre 1 et 64 environ. Dans un cas moyen, on peut admettre une réduction de l'information d'un facteur 10. Cette compression d'information peut être intéressante si une mémorisation des points doit avoir lieu (stockage des points par leurs coordonnées) ou surtout si une opération globale doit être effectuée sur l'ensemble des points d'un objet. Comme cas particulier, on peut citer l'estimation des coordonnées X_G et Y_G du centre de gravité de la pièce nécessaire à la détermination de sa position; en remplaçant l'estimation du centre de gravité de la pièce par celle du centre de gravité du contour (N.B.: ces deux points peuvent ne pas coïncider), on gagne un facteur dix sur le dimensionnement de l'unité de calcul spécialisée devant estimer X_G et Y_G .

Amélioration de la qualité de la prise de vue: De par sa structure, cette unité d'extraction de contours offre une insensibilité accrue aux perturbations sur l'image telles que poussières, déchets, taches d'eau ou d'huile, sans oublier les réflexions, rencontrées dans un milieu «industriel».

Au-delà de ces deux avantages, l'extraction de contours permet encore de fixer les frontières de différents objets vus par la caméra de télévision lorsque ceux-ci sont achevés. Cette technique permet donc dans une application plus générale d'identifier des objets différents par poursuite de leurs contours respectifs ou parties apparentes de ceux-ci [4].

9.2 Applications

L'unité d'extraction de contours présentée a été développée pour le contrôle en temps réel d'un manipulateur industriel à partir de l'image fournie par une caméra de télévision. La configuration dans laquelle elle est employée est la suivante: un

ruban transporteur amène au manipulateur des pièces mécaniques plates qu'il doit saisir, positionner et orienter. La caméra de télévision observe le passage des pièces, et l'extracteur de contours fournit au système de contrôle le contour des pièces dans le champ de vue. A partir de celui-ci, le système calcule la position de la pièce, son orientation, et réalise un test de conformité de la pièce avec une référence en mémoire [2].

Dans le cas de l'extraction en temps réel du contour d'un objet en mouvement, c'est le capteur d'image qui éventuellement limite la qualité du contour extrait. Avec une caméra à vidicon de qualité courante et un éclairage permanent (à incandescence ou au néon), la vitesse maximum de déplacement des objets dans le champ de vue doit être limitée à 10...15 cm/s pour assurer l'extraction d'un bon contour. Au-delà, la pièce et son contour apparaissent déformés. Pour travailler à vitesse plus élevée, il faut soit adopter un autre capteur caractérisé par une plus faible rémanence (Plumbicon par ex.) soit utiliser un éclairage stroboscopique (cette dernière solution n'est pas toujours souhaitable en milieu industriel).

Parmi d'autres applications possibles, on peut citer outre la réduction d'une information image et l'amélioration de la qualité, la simplification d'images dans le but d'aide au malvoyants. Dans ce cas, la perception tactile d'images hautement stylisées et dépouillées de détails superflus paraît envisageable [5].

Bibliographie

- [1] P. Kammenos: Extraction de contours en traitement électronique des images. Partie I: Principaux opérateurs de traitement. Bull. ASE/UCS 70(1979)11, p. 525...531.
- [2] J.-M. Zurcher: Conception d'un système de perception visuelle pour robot industriel. Comptes-rendus des Journées de Microtechnique 1978. Automation Flexible. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1978; p. 175...193.
- [3] J.-M. Zurcher: Numériseur d'images vidéo. Rapport LTS 76.07. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire de Traitement des Signaux, 1976.
- [4] J.-D. Dessimoz: Visual recognition and handling of overlapping industrial parts. Proceedings of the 9th International Symposium and Exposition on Industrial Robots, march 13...15, 1979, Washington; p. 357...366.
- [5] T. Pun: Traitement numérique d'images pour prothèse visuelle. Projet de diplôme, hiver 1978. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire de Traitement des Signaux, 1978.

Adresse de l'auteur

Jean-Marc Zurcher, ing.él. dipl. EPFL, Laboratoire de Traitement des Signaux, Département d'Electricité, EPFL, 16, Chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.