

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

Un système de développement interactif
pour le traitement d'images

A. LUX

Laboratoire IMAG B.P. 53X 38041 GRENOBLE Cedex

RESUME

Le système CAIMAN est un outil pour le développement interactif d'applications d'analyse d'images en robotique. Il a été réalisé dans le cadre du projet PANDORE du Laboratoire IMAG. Son objectif est de créer un environnement matériel et logiciel facilitant l'expérimentation, l'évaluation, et l'intégration d'opérateurs d'analyse d'images à plusieurs niveaux de gris. Des résultats expérimentaux sont présentés en annexe. Le problème type que nous avons étudié est la localisation d'objets partiellement visibles, leur identification étant considérée comme un sous-problème de la localisation. La localisation est effectuée à l'aide d'indices visuels locaux répertoriés dans des "modèles d'objets". La plupart de ces indices sont obtenus par segmentation de lignes de contraste extraites de l'image digitalisée. Après une présentation globale de CAIMAN, nous détaillerons la partie logiciel portant sur l'extraction de lignes de contraste, la segmentation de ces lignes, et l'exploitation des indices visuels ainsi obtenus.

SUMMARY

The CAIMAN system has been developed as part of the PANDORE project of the Laboratoire IMAG as an interactive development tool for applications of image analysis in the field of robotics. It constitutes a hardware and software environment in which we can easily experiment with, evaluate, and integrate various grey level image analysis operators. We present some experimental results.

The principal problem we have studied is the localisation of partially visible objects, identification being considered as a sub-problem.

Localisation is accomplished using "local visual features" memorized in object models. Most of these local features are obtained by segmenting edges extracted from the digitized image.

Following a short global presentation of CAIMAN we give a detailed description of the programs for edge extraction, edge segmentation, and segment interpretation.



Un système de développement interactif pour le traitement d'images

1 INTRODUCTION

Les capteurs visuels à base de caméras occupent une place croissante en robotique. On peut notamment les utiliser pour identifier et localiser des objets dans l'espace de travail des robots. Toutefois, pour des raisons de performances, la plupart des systèmes actuellement opérationnels analysent des images obtenues en comparant le signal en sortie de la caméra à un seuil de référence [1]. De ce fait, ils présentent de graves inconvénients : ils exigent un éclairage et des contrastes parfaits, et ils sont limités au cas d'objets isolés (pas de recouvrement). Pour éviter ces inconvénients, il est nécessaire d'analyser des images à plusieurs (typiquement 16) niveaux de gris. Nous pensons qu'il est alors possible d'éviter des temps de réponse trop longs par la mise en oeuvre d'opérateurs d'analyse d'images judicieusement choisis et par la définition de procédures de contrôle capables de guider l'utilisation de ces opérateurs en fonction de l'objectif à atteindre (par exemple la localisation d'un objet de type donné).

Pour développer et mettre au point de tels logiciels, nous avons défini le système CAIMAN (système Conversationnel d'Analyse d'IMAGES Numérisées). C'est donc essentiellement un outil dont l'objectif est de créer un environnement matériel et logiciel facilitant l'expérimentation, l'évaluation, et l'intégration d'opérateurs d'analyse d'images à plusieurs niveaux de gris, et l'utilisation interactive de ces algorithmes pour construire des procédures de traitement complet répondant à des problèmes précis.

Le problème type que nous avons étudié est la localisation d'objets partiellement visibles, leur identification étant considérée comme un sous-problème de la localisation. La localisation est effectuée à l'aide d'indices visuels locaux répertoriés dans des "modèles d'objets". La plupart de ces indices sont obtenus par segmentation de lignes de contraste extraites de l'image digitalisée.

Après une présentation globale de CAIMAN, nous détaillerons la partie logicielle portant sur l'extraction de lignes de contraste, la segmentation de ces lignes, et l'exploitation des indices visuels ainsi obtenus.

2 STRUCTURE GLOBALE DE CAIMAN

Sur le plan matériel, CAIMAN se compose d'une caméra CCD 100x100, d'une caméra à tube vidicon, d'un système Grinnell, d'un mini-ordinateur SOLAR 16-65, et d'un écran de visualisation. Le signal de la caméra CCD est digitalisé par un coupleur DAPI16 sur 100x100 points de 4 bits. Le système Grinnell digitalise le signal de la caméra vidicon sur 512x512 points de 4 bits. Il contient une mémoire d'image et une mémoire graphique et permet de visualiser sur l'écran le contenu de ces mémoires. On peut aussi l'utiliser pour visualiser les résultats du traitement des images fournies par la caméra CCD. Le logiciel de CAIMAN est écrit en FORTRAN, avec quelques sous-programmes en PL16. Globalement, il fonctionne de la façon suivante. L'utilisateur envoie au système une commande correspondant à l'activation d'un opérateur de traitement d'image avec certains paramètres. Il examine les résultats, qui sont imprimés, et/ou stockés en mémoire, et/ou visualisés, et formule la commande suivante.

Les commandes se répartissent en plusieurs catégories fonctionnelles :

- Extraction de lignes de contraste dans l'image.
- Segmentation de lignes de contraste.
- Traitement des segments.

Il existe également des commandes utilitaires permettant de changer d'image, de lire ou d'écrire des résultats dans un fichier, etc.

3 EXTRACTION DE LIGNES DE CONTRASTE

Plusieurs opérateurs répartis sur deux niveaux permettent d'étudier de façon détaillée la construction de lignes de contraste : au premier niveau, un opérateur de gradient associé à un point de l'image un vecteur gradient. Au deuxième niveau, des opérateurs analysent les variations locales du gradient et en déduisent l'emplacement des lignes de contraste.

3.1 L'opérateur de gradient

Il existe une grande variété d'opérateurs de gradients [2]. Nous avons implanté un opérateur paramétrable, dans le but de laisser l'utilisateur choisir un compromis entre le coût et la qualité des résultats. Cet opérateur, décrit par la figure 1, calcule d'abord le contraste (proportionnel au module du gradient) dans la fenêtre considérée. Lorsque cette valeur dépasse un seuil fixé par l'utilisateur, on considère que le centre de la fenêtre est un point de contraste, et on calcule la direction de la ligne traversant ce point à l'aide d'un théorème dû à MÉRÖ et VASSY [3] (elle est perpendiculaire à la direction du gradient). La direction obtenue est discrétisée suivant les 8 voisins du point (Code de Freeman).

3.2 Suivi séquentiel de lignes

Le suivi de lignes fait appel à deux opérateurs auxiliaires, COUPE et UNPNT.

L'opérateur COUPE (figure 2) a comme rôle de confirmer la présence d'une ligne de contraste, et de déterminer son emplacement. Pour cela, il analyse les valeurs de contraste dans la direction du gradient à partir d'un point initial donné en paramètre.

L'opérateur UNPNT (figure 3) doit prolonger une ligne de contraste à partir d'un point PTO. Il choisit, dans la direction de la ligne, un voisin de PTO ayant contraste maximal.

La commande RC (recherche séquentielle de lignes de contraste) enchaîne ces opérateurs : à partir d'un point donné en paramètre elle effectue un parcours de l'image jusqu'à un point de contraste, obtenu par l'opérateur de gradient. A l'aide de COUPE elle définit un premier point d'une ligne, puis elle appelle UNPNT pour le suivi séquentiel, point par point. L'itération s'arrête lorsqu'une des conditions suivantes est vérifiée :

- a) absence de contraste
- b) retour au point de départ (ligne fermée)
- c) débordement d'une fenêtre de l'image fixée à l'avance
- d) dépassement d'un nombre maximal de points.

4 SEGMENTATION DES LIGNES DE CONTRASTE

Les lignes de contraste fournies par les opérateurs du chapitre précédent représentent une information brute issue de l'image. En vue de les utiliser pour la localisation d'objets, CAIMAN permet de les transformer en une forme plus indépendante des aléas d'une prise de vue. Cette transformation se fait en deux étapes : calcul de la forme "canonique", puis découpage en segments.

4.1 La forme "canonique"

La forme canonique est l'équivalent discret de l'équation intrinsèque

$$\text{courbure} = f(\text{longueur curviligne})$$

Les points initiaux sont d'abord lissés afin d'atténuer le bruit d'échantillonnage. Ensuite on calcule des points équidistants le long de la courbe lissée, et la courbure en ces points. Pour tous ces calculs on considère la courbe comme une suite de segments de droites. La forme canonique est le vecteur des courbures ainsi obtenues. Cette forme est indépendante de l'orientation

Un système de développement interactif
pour le traitement d'images

dans le plan.

4.2 Découpage en segments

Une ligne de contraste trouvée dans une image n'appartient pas forcément à un seul objet. Inversement, une ligne associée à un objet peut ne pas être entièrement visible dans une image. Les lignes ne peuvent donc pas servir directement à l'identification d'objets. Pour éviter ce problème nous avons défini des "segments" de différents types, chacun étant caractérisé par un critère simple sur la courbure.

- a) Un segment de droite est un segment à courbure nulle.
- b) Un segment virage est un segment à l'intérieur duquel la courbure conserve son signe. Nous avons les sous-types
 - b1) virage circulaire, dans lequel la courbure est constante,
 - b2) virage à maximum de courbure prononcé ; le point à courbure maximale est une caractéristique significative du segment,
 - b3) virage irrégulier.

La difficulté de la segmentation réside dans la prise en compte du bruit. Ainsi, par exemple, nous exigeons d'un segment de droite seulement que la moyenne de la courbure soit très proche de zéro, en admettant des variations locales relativement fortes. La photo 4b montre des segments de droites identifiés de cette façon.

5 MODELES ET TRANSFORMATIONS

La localisation d'un objet fait intervenir un modèle de l'objet, des segments extraits de l'image à interpréter, que nous appellerons segments de données, et une transformation qui fait coïncider les segments du modèle avec les segments de données correspondants.

Nous définissons un modèle comme une liste de segments avec leurs positions dans un repère attaché à l'objet. Un modèle instantié est un modèle dans lequel des segments de données sont associés à des segments du modèle. Une hypothèse simple est un couple cohérent (transformation, modèle instantié).

Actuellement, nous nous limitons à des transformations dans le plan, constituées d'une rotation d'angle α et d'une translation $(\Delta x, \Delta y)$.

En général, la recherche d'un objet dans une image ne permet pas de construire une hypothèse simple de façon directe. En effet, un ensemble de segments de données peut correspondre à différentes combinaisons de segments du modèle.

Une autre difficulté vient du fait qu'un segment de données correspond à une partie seulement d'un segment du modèle. Il ne détermine donc pas les trois paramètres de transformation ; il implique seulement des contraintes qui s'expriment, dans notre cas, par deux équations.

La commande CH de CAIMAN construit la liste exhaustive des hypothèses simples à partir d'une liste de modèles et d'une liste de segments de données selon les critères suivants : un segment de modèle est instantié par un segment de données de même type (droite-droite, arc de cercle-arc de cercle, ...). Une instantiation de droite fournit une valeur pour α et une contrainte linéaire pour Δx et Δy . Une instantiation d'arc de cercle ou de virage à maximum bien défini fournit une correspondance de deux points, donc deux équations pour α , Δx , et Δy .

Sauf quelques cas particuliers par exemple droites parallèles, la combinaison de contraintes résultant de l'instanciation de deux segments donne 4 équations dans les 3 inconnues (cohérentes par construction) et définit ainsi une transformation.

6 RESULTATS OBTENUS ET DEVELOPPEMENTS FUTURS

Quelques résultats de la version actuelle de CAIMAN sont illustrés dans les figures 4 - 6.

Les listes d'hypothèses simples servent d'entrée à un programme écrit par R.J. Popplestone. Ce programme implante une structure de contrôle heuristique guidant l'analyse de l'image par des prédictions sur les indices visuels (segments) à observer. De plus, il analyse la compatibilité de plusieurs hypothèses simples dans le cas où des objets se recouvrent mutuellement.

Notre travail actuel porte principalement sur l'élimination du bruit dans la forme canonique des lignes de contraste (cf. fig. 6a). Ce bruit rend difficile la détermination de segments fiables et stables. D'une part, nous essayons d'améliorer le calcul et l'exploitation de la courbure. D'autre part, nous étudions la possibilité de réaliser une partie de la segmentation sans passer par une forme canonique intermédiaire.

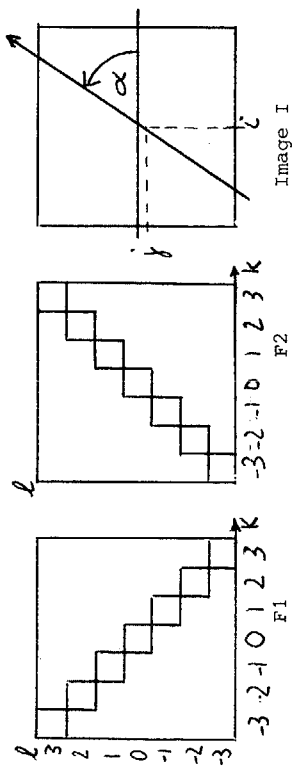
Un autre développement envisagé concerne l'extension du traitement décrit au § 5 à l'espace à 3 dimensions.

Références

- [1] R.C. BOLLES
Part acquisition using the SRI vision module
SRI Technical Note 193, Septembre 1979
- [2] D.H. BALLARD, C.M. BROWN
Computer vision
à paraître
- [3] L. MÉRÖ, Z. VASSY
A simplified and fast version of the Hueckel operator for finding optimal edges in pictures
4th IJCAI, Tbilisi 1975, p. 650 - 655.



Un système de développement interactif pour le traitement d'images



$$R1 = \sum_{K,l} F1(K,l) * I(i+K, j+l)$$

$$R2 = \sum_{K,l} F2(K,l) * I(i+K, j+l)$$

$$\tan(\alpha + \frac{\pi}{4}) = R2/R1 \quad \text{contraste} = |R1| + |R2|$$

Figure 1 : L'opérateur gradient 7x7

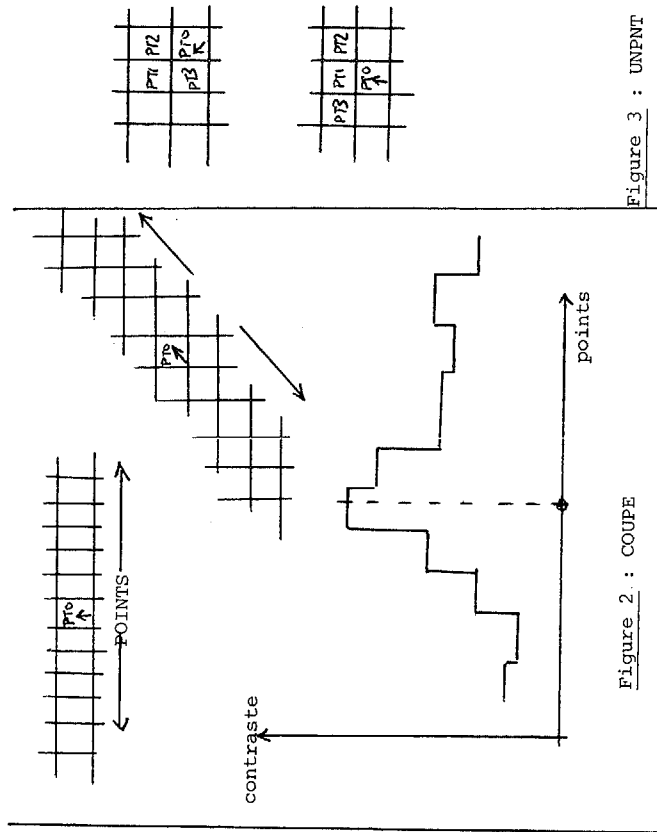
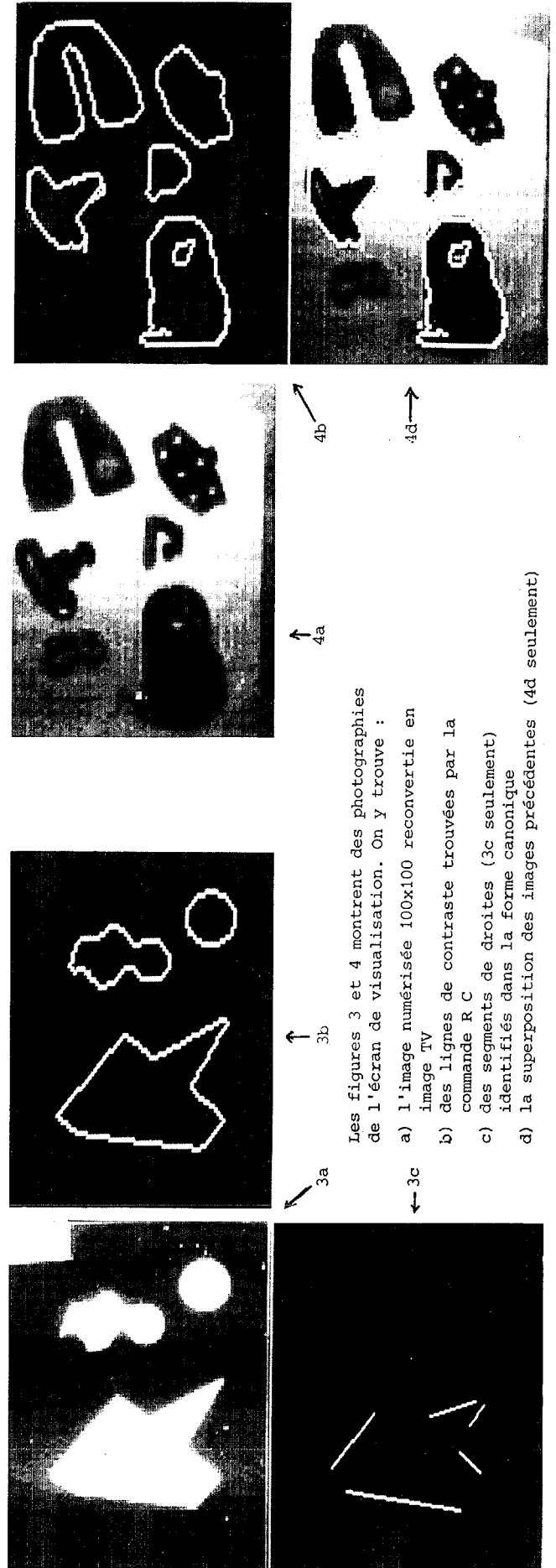


Figure 2 : COUPE

Figure 3 : UNPNT



Les figures 3 et 4 montrent des photographies de l'écran de visualisation. On y trouve :

- a) l'image numérisée 100x100 reconverte en image TV
- b) des lignes de contraste trouvées par la commande R C
- c) des segments de droites (3c seulement) identifiés dans la forme canonique
- d) la superposition des images précédentes (4d seulement)

Un système de développement interactif
pour le traitement d'images

Figure 6

(a) Trois vecteurs de courbures (forme canonique)

(b) et les lignes correspondantes. Les caractères marquent les points trouvés par la commande RC.

