Proposition d'un modèle de description d'un objet dans une image

Patrick Franco, Jean-Marc Ogier, Pierre Loonis, Rémy Mullot

▶ **To cite this version:**

Patrick Franco, Jean-Marc Ogier, Pierre Loonis, Rémy Mullot. Proposition d'un modèle de description d'un objet dans une image. Jun 2004. sic_00001186

HAL Id: sic_00001186

https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001186

Submitted on 6 Dec 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Proposition d'un modèle de description d'un objet dans une image

Patrick Franco, Jean-Marc Ogier, Pierre Loonis, Rémy Mullot

Laboratoire Informatique, Image, Interaction (L3I)
UPRES EA 2118
Université de La Rochelle
Pôle Sciences et Technologies
17042 La Rochelle Cedex 1 France
patrick.franco@univ-lr.fr

Résumé : *Un nouveau modèle de description d'un objet dans une image est proposé. S'appuyant sur la construction d'un arbre minimal ses propriétés sont étudiées à travers le problème de la reconnaissance de symboles complexes. L'invariance de la reconnaissance face aux translations et rotations de symboles dégradés est vérifiée dans un contexte d'images binaires à faibles résolutions.*

Mots-clés : Analyse de documents, Reconnaissance de symboles, Extraction de caractéristiques, Arbres minimaux.

1 Introduction

Le coeur de tout système de reconnaissance d'objets est le modèle de description de forme utilisé. De ses propriétés (discrimination, résistance au bruit, invariance aux rotations etc) vont dépendre les performances du système. Une partition est généralement convenue entre les modèles opérant au niveau des contours et ceux intégrant les régions. Lorsque les objets sont complexes i.e. constitués de régions disjointes (symboles, logos etc) les techniques fondées exclusivement sur les contours (descripteur de Fourier [S.P 92, LIN 87], sondes circulaires [KIT 92], code de Chain) sont insuffisantes. Dans cet article nous proposons une nouvelle mesure captant la topologie d'un objet. Dans le système de coordonnées de l'image tout objet est défini par un ensemble de points - d dimensionnel - ayant une topologie spécifique. En connectant tous les points sous la contrainte de définir un arbre de longueur minimale (Minimum Spanning Tree, MST) on capture la topologie de l'objet cible car pour un ensemble de points donné cette longueur est unique (Section 2.1). La réciproque n'étant pas vérifiée la longueur du MST ne peut être utilisée directement dans la comparaison de deux objets sans risque d'ambiguïté. La définition "du mélange" des objets à comparer lève cette ambiguïté et permet même de détecter les rotations éventuelles. Ce principe est abordé dans les Sections 2.2 et 2.3 puis illustré à travers un exemple (Section 2.4). La technique est appliquée à la reconnaissance de symboles bruités et multi-orientés dans le cas d'images binaires à faibles résolutions (Section 3).

2 Description et comparaison d'objets par arbres minimaux

2.1 Définition du Minimum Spanning Tree

Soit $O = \{p_1, p_2, .., p_i, .., p_N\}$ l'ensemble de N points évoluant en $\mathbb{R}^d$ ($d = 2$ dans le cas binaires, $d = 3$ pour des images en niveau de gris) définissant l'objet dans le système de coordonnées de l'image. Un arbre recouvrant minimal (MST) construit sur $O = \{p_1, p_2, .., p_i, .., p_N\}$ est un arbre G :

- *totalement connecté* : tout les points $p_i \in O$ sont connectés,
- *non orienté* : il n'y a pas de sens de parcours des arcs $e_{i,j}$ reliant les points p_i à p_j,
- *pondéré* : les longueurs des arcs $e_{i,j}$ sont pondérées.

G est donc une liste de sommets (les points p_i) et de connections $e_{i,j}$ entre ces sommets. La longueur totale d'ordre γ de l'arbre est la somme des longueurs (norme euclidienne) pondérées en loi de puissance d'ordre $\gamma \in]0, d[$:

$$L_\gamma = \sum_{e_{i,j} \in G} \| e_{i,j} \|^\gamma \tag{1}$$

Le terme *minimal* signifie que parmi tous les arbres totalement connectés qu'il est possible de construire, le MST est celui dont la longueur est minimale :

$$G^\star = \underset{G}{Argmin} L_\gamma \tag{2}$$

On doit les premiers algorithmes à Kruskal et Prim [R.R 94], un historique du problème est retracé dans [R.G 85]. L'algorithme retenu est celui développé récemment par A. Hero et O. Michel [A.H 99, A.H 97]. La complexité en temps est estimée dans le plan ($d = 2$) à $N^2 \log N$ (N, le nombre de points à connecter). Si parfois plusieurs arcs ont la même longueur (points équidistants) plusieurs arbres peuvent théoriquement résulter mais tous auront la même longueur et de surcroît toujours minimale.

2.2 Description

Tout objet est représenté par une distribution de points dont la topologie est propre à l'objet. Par construction, le MST réalise une mesure de cette topologie car pour un objet donné la longueur du MST est unique. Néanmoins, cette application n'est pas bijective, à une longueur donnée peut correspondre deux objets de formes différentes. C'est l'exemple caricatural du cercle et du carré ci-dessous où seule la longueur du MST ne suffit pas à discerner ces deux objets (descripteur dit incomplet). L'introduction du mélange permet de lever cette ambiguïté. Si deux objets sont topologiquement distincts alors le MST défini sur le mélange des deux objets aura une longueur différente des longueurs des MST calculés individuellement sur chacun des objets. On définit un critère d'erreur fondé sur cette propriété.

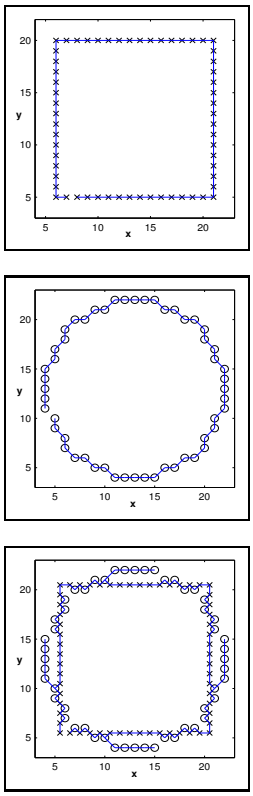

FIG. 1 – Cas où deux objets de formes différentes ont même longueur : un carré, la longueur du MST associée $L_1 = 59.0$ ($\gamma = 1$) ; un cercle avec $L_2 = 58.9$; le mélange permet de séparer le cercle du carré $L_{12} = 93.9 \neq L_1$.

2.3 Comparaison

Dans les problèmes réels les objets peuvent être identiques mais multi-orientés. C'est l'exemple choisi Figures 2 à 9 où il s'agit de symboles architecturaux. Une transformation géométrique peut être alors appliquée itérativement sur l'objet test et le mélange des objets défini à chaque itération (cf Figures 7 à 9). Puisque les objets sont identiques il existe une transformation pour laquelle les objets coïncident totalement (cf Figure 9). Dans ce cas la topologie définie par l'ensemble résultant du mélange est identique à la topologie propre à l'objet référence (cf Figures 9 et 3). Par voie de conséquence les MST construits sur ces ensembles ont même longueurs ($L_{12} = L_1$) et l'erreur inter-objet est minimale.

La méthode est synthétisée dans l'algorithme ci-dessous. Elle apporte une réponse à la comparaison d'un objet candidat O_2 à un objet prototype O_1. γ est la métrique choisie pour l'expression des longueurs d'arbres.

Data : $O_1 = \{p_1, .., p_i, .., p_N\}$, $O_2 = \{q_1, .., q_j, .., q_N\}, \gamma$

begin

Construire un MST sur le prototype O_1, soit L_1 sa longueur d'ordre γ.

for *Plusieurs transformations géométriques* T **do**

1. Définir l'objet transformé :

$$O_2^T = T * O_2 = \{q_1^T, ..., q_N^T\}$$

2. Définir l'union ("mélange") entre le prototype et l'objet transformé :

$$O_{12} = O_1 \cup O_2^T = \{p_1, ..., p_N, q_1^T, ..., q_N^T\}$$

3. Construire un MST sur O_{12}, soit L_{12} sa longueur.

4. Comparer O_2 avec O_1 par :

$$E^T = |L_{12} - L_1|$$

end

Finalement, la distance d'ordre γ entre le prototype et l'objet inconnu est :

$$E^\star = \min\{E^T\} \quad \text{with} \quad T^\star = \underset{T}{Argmin}\ \{E^T\}$$

end

Algorithm 1: Comparaison de deux objets par arbres minimaux.

2.4 Exemple

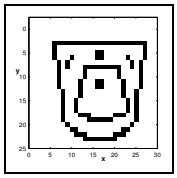

FIG. 2 – Prototype du symbole *lavabo*.

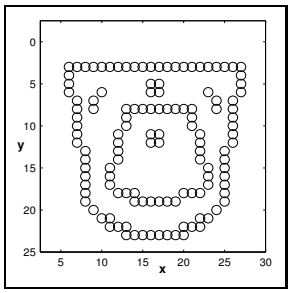

FIG. 3 – Prototype dans l'espace image.

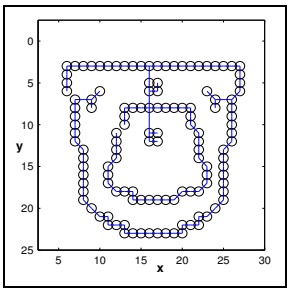

FIG. 4 – MST construit sur le prototype ($\gamma = 1$, $L_1 = 138.213$).

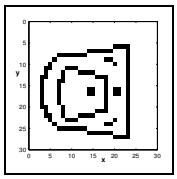

FIG. 5 – Objet inconnu *(lavabo translaté et ré-orienté)*.

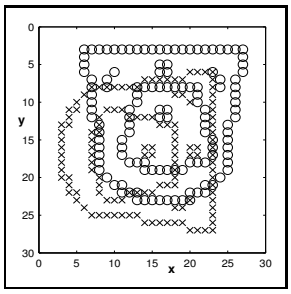

FIG. 6 – Le mélange des objets.

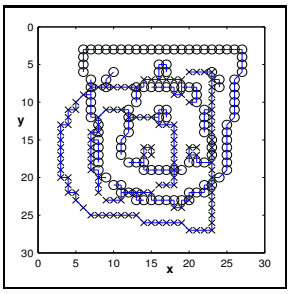

FIG. 7 – MST construit sur le mélange ($L_{12} = 242.556$).

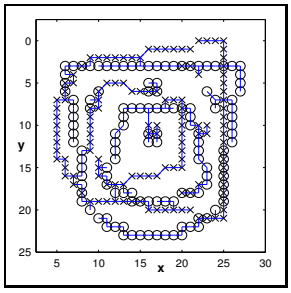

FIG. 8 – MST sur le mélange après alignement des centres de gravités.

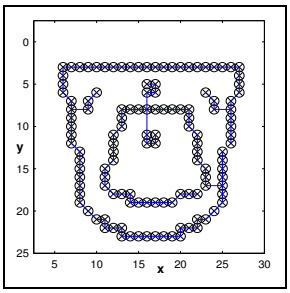

FIG. 9 – MST sur le mélange dans le cas d'une transformation optimale : les objets sont appariés ($L_{12} = L_1$).

2.5 Justification

La longueur du MST construit sur une distribution de points multi-dimensionnelle participe à l'estimation de l'entropie de Rényi [A.R 61] calculée sur cette distribution. Il existe donc un lien entre longueur d'arbre et mesure d'entropie. Ces résultats sont issus des travaux de J.M. Steele [STE 88] qui montrent qu'une famille d'arbres (arbre de Steiner, MST, etc) - vérifiant la propriété de quasi-additivité de Redmond [C.R 94] - définie sur une distribution de points sont des estimateurs robustes de l'entropie de Rényi caractérisant cette distribution. B. Ma and all [J.G 00] ont développé une solution au problème de recalage d'images s'appuyant sur l'analyse suivante : quand deux images sont appariées, leurs distributions de pixels se chevauchent, la densité de probabilité conjointe est maximale par conséquent l'entropie de Rényi estimée sur l'union des distributions est minimale. La démarche qui consiste à ne plus considérer les objets individuellement mais leur mélange, trouve donc une justification d'un point de vue statistique.

3 Application à la reconnaissance de symboles

La technique est appliquée à la reconnaissance de symboles graphiques. Il s'agit de symboles architecturaux (cf Figure 10) référencés dans [L.W 01], ils font également partie de la base de test sélectionnée dans le cadre de GREC2003. Les prototypes originaux parfois ré-orientés ont été regroupés dans une image laquelle a été, dans un second temps, artificiellement dégradée par un bruit 'poivre et sel' de niveau 30% (cf Figure 11). Un filtrage médian (masque arbitraire $3, 3$) puis une opération de segmentation ont permi d'isoler les objets à classer (cf Figure 12).

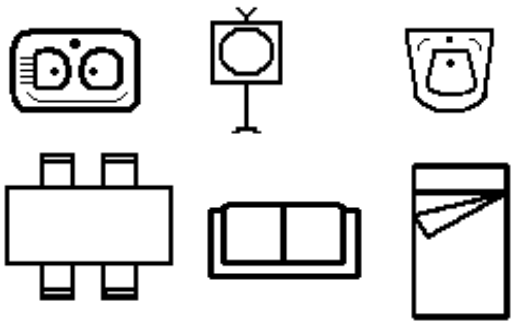

FIG. 10 – Symboles originaux : Evier, Téléviseur, Lavabo, Table, Canapé, Lit.

	Objets					
	obj.1	obj.2	obj.3	obj.4	obj.5	obj.6
évier	**241.151**	813.667	796.598	788.656	763.928	661.071
téléviseur	771.110	**176.791**	338.359	915.355	918.071	805.424
lavabo	769.000	345.120	**60.968**	919.571	890.757	773.585
table	796.019	848.280	851.381	**616.001**	759.019	815.000
canapé	762.252	906.763	893.877	775.057	**63.083**	805.583
lit	689.019	784.095	765.703	806.026	828.034	**192.001**
Réalité	évier	téléviseur	lavabo	table	canapé	lit

TAB. 1 – Matrice des erreurs $E^\star$ avec $\gamma = 1$.

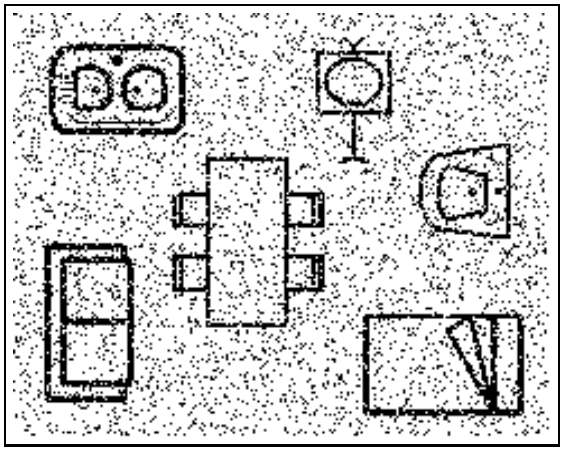

FIG. 11 – Symboles dégradés.

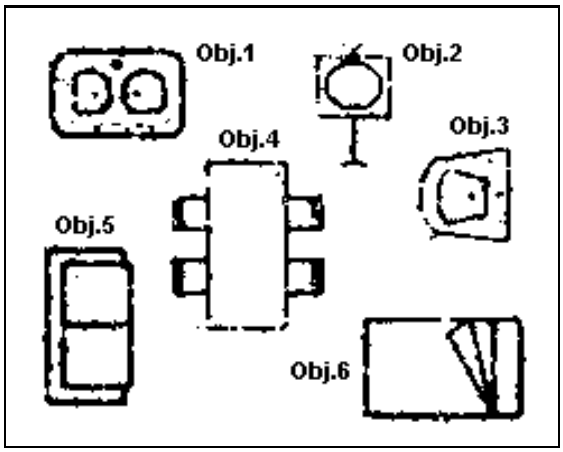

FIG. 12 – Après filtrage et segmentation : objets à classer.

La reconnaissance est menée après comparaison des objets inconnus avec chacun des symboles. Les résultats sont présentés Table 1. L'identité de l'objet est celle du symbole dont le prototype minimise l'erreur. Dans cette expérience tous les objets ont été reconnus (erreurs minimales situées sur la diagonale) malgré le niveau de dégradation de certains objets. Par exemple, des régions de 'l'évier' (cf Figure 12) ont totalement disparu, de nombreuses coupures peuvent être également observées.

L'algorithme est assez robuste face à ce type de détérioration grâce au mélange. L'opération d'union des ensembles comble les absences de certains éléments. Par conséquent l'arbre construit sur le mélange conserve une structure proche de celui défini sur le prototype.
Pour donner un ordre d'idée, $2h33min12s$ ont été nécessaires pour établir la matrice des distances $(6, 6)$ présentée Table 1. Ce temps de calcul résulte de l'implémentation de l'Algorithme 1 sous Matlab version 6.5. Il s'agit donc d'une recherche itérative (par pas de 30 degrés) à l'aveugle. Le nombre de points $(d = 2)$ traités varie suivant la taille des symboles, $N_{min} = 470$ et $N_{max} = 1026$. Le PC utilisé est cadencé par un processeur Pentium4 à 3.06 GHz et dispose de 512 Mo de RAM. Le temps d'exécution est quasiment divisé par 6 lorsque la recherche est guidée par l'identification des axes d'inerties des objets soit environ $26min33s$. Ces chiffres sont donnés à titre indicatif et n'ont d'autres prétentions que de fixer un ordre de grandeur. De plus ils résultent d'un programme non optimisé n'utilisant pas les fonctions accélératrices désormais disponibles sur Matlab. Quelques pistes visant à réduire le temps de calcul sont évoquées par la suite, des solutions s'appuyant sur des opérations logiques de type OU exclusif peuvent également être envisagées.

4 Conclusion

Dans cet article un descripteur de forme s'appuyant sur des arbres minimaux est proposé. La description et la comparaison, étapes clés de la méthode, sont détaillées et justifiées. En reliant tous les points caractérisant un objet, sous la contrainte de définir un chemin minimal, une mesure de la topologie de l'objet est définie. Il s'agit d'une technique basée sur les régions, catégorie requise pour traiter des objets réels aux frontières complexes et régions disjointes. Des tests plus approfondis mettant en jeu plusieurs types de symboles et modèles de bruit ont été menés avec succès. Dans certains cas la technique supporte la comparaison avec les invariants de Zernike [TEA 80] en terme de variance intra/inter classes. Néanmoins, ces résultats doivent être confirmés par des tests à plus grande échelle (en cours). Le temps de calcul - dépendant du coût algorithmique de construction des arbres - est un point critique mais pas rédhibitoire. Plusieurs pistes visant à le réduire existent. Par exemple, l'emploi d'un algorithme plus performant (D. Karger et P. Klein dans [P.K 95]) ou bien une approche de type incrémentale (M. Soss dans [SOS 98]). Une autre solution consiste à diminuer le nombre de transformation géométrique appliquée (rotations). Une analyse en composante principale permet d'accélérer la

recherche de la transformation optimale (identification des axes d'inertie). Enfin l'approche peut être appliquée sur des images à niveau de gris mais par fondement reste sensible à l'épaisseur des traits des symboles.

Remerciements

Les auteurs remercient spécialement les Professeurs
Olivier Michel (Université de Nice Sophia-Antipolis, Laboratoire d'Astrophysique) et Alfred Hero (University of Michigan, E.E.C.S. Department) pour leurs conseils et le prêt du code de calcul des arbres.

Références

[A.H 97] A.HERO, O.MICHEL, Robust estimation of point process intensity features using k-minimal spanning trees, *IEEE International Symposium on Information Theory*, Germany June 1997, page 74.

[A.H 99] A.HERO, O.MICHEL, Asymptotic theory of greedy approximations to minimal K-point random graphs, *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT 45, 1999, pp. 1921-1939.

[A.R 61] A.RÉNY, On measures of entropy and information, *Symposium on Mathematics Statistics and Probabilities*, Berkeley 1961, pp. 547-561.

[C.R 94] C.REDMOND, J.E.YUKICH, Limit theorems and rates of convergence for Euclidean functionals, *Annals of Applied Probability*, vol. 4, n° 4, 1994, pp. 1057-1073.

[J.G 00] J.GORMAN B. A., O.MICHEL, Image registration with minimal spanning tree algorithm, *IEEE International Conference on Image Processing*, Vancouver October 2000.

[KIT 92] KITA N., Object locating based on concentric circular description, *Proceedings of 11th IEEE International Conference of Pattern Recognition*, The Hague 1992, pp. 637-641.

[LIN 87] LIN C., New forms of shape invariants from elliptic Fourier Descriptors, *Pattern Recognition*, , n° 20, 1987, pp. 535-545.

[L.W 01] L.WENDLING S., K.TOMBRE, Indexing of technical line drawings based on F-Signatures, *6th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Seattle, Washington, USA Sept 2001, pp. 1220-1224.

[P.K 95] P.KLEIN D., R.TARJAN, A randomized linear-time algorithm to find Minimum Spanning Trees, *Journal of the Association for Computing Machinery (ACM)*, vol. 42, n° 2, 1995, pp. 321-328.

[R.G 85] R.GRAHAM, P.HELL, On the history of minimum spanning tree problem, *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 7, n° 1, 1985, pp. 43-57.

[R.R 94] R.RIVEST T. C., *Introduction to algorithms*, The MIT Press, 1994.

[SOS 98] SOSS M., On the size of the sphere on influence graph, PhD thesis, Mc Gill University Scholl of Computer Science Montreal, 1998.

[S.P 92] S.PEI, C.LIN, Normalisation of rotationally symmetric shapes for pattern recognition, *Pattern Recognition*, , n° 25, 1992, pp. 913-920.

[STE 88] STEELE J., Growth rate of euclidean minimal spanning trees with power weigghted edges, *Annals of Probability*, vol. 16, 1988, pp. 1767-1787.

[TEA 80] TEAGUE M., Image analysis via the general theory of moments, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 70, 1980, pp. 920-930.