

Reconnaissance de symboles dans des documents graphiques à niveaux de gris à partir de la transformée de Radon

Salvatore Tabbone – Laurent Wendling

LORIA - INRIA, Université de Nancy2
Campus scientifique - BP 239
54 506 Vandœuvre-les-Nancy Cedex
{tabbone,wendling}@loria.fr

Résumé : nous proposons de combiner un descripteur de forme avec une représentation structurale de symboles. Ces derniers sont représentés par une signature tridimensionnelle, définie à partir de la transformée de Radon, qui prend en compte les variations de photométrie et de forme. Ce type de descripteur requiert un temps de calcul peu élevé et permet de retrouver des transformations géométriques fondamentales (échelle, translation et rotation). Des points clés associés aux symboles permettent de définir une description structurale et de se focaliser directement sur des zones du document. Des résultats expérimentaux montrent l'aspect prometteur de notre approche.

Mots-clés : Radon transform, R-signature, symbol recognition, occlusions, grey level documents.

1 Introduction

La montée en puissance de l'Internet et le développement de capacités de stockage gigantesques ont suscité un fort engouement de la communauté scientifique pour la recherche de symboles dans des images [COR 00]. Les documents techniques sont habituellement « scannés » en niveaux de gris et une étape de binarisation est généralement réalisée pour extraire l'information utile du fond. La détection et la classification de symboles ont suscité énormément de travaux de recherche et d'applications. De nombreux articles de synthèse ont été réalisés [CHH 97, COR 00, DOE 98, JAI 00, LLA 01b, LON 98, MAR 89, VEL 01, ZHA 04] ce qui souligne l'importance de cet axe de recherche en reconnaissance des formes et en analyse de documents. La plupart des méthodes utilisées se fondent soit sur des descripteurs de forme soit sur des descripteurs structurels.

Deux classes de descripteurs de forme [ADA 01, DES 95, DOE 96, FRä 00, GHÖ 94, YU 95] sont souvent rencontrés : ceux qui se focalisent sur la forme globale du symbole et ceux qui se basent sur son contour. Les méthodes dédiées aux régions sont moins sensibles au bruit et celles fondées sur le contour aux occultations. Généralement les descripteurs sont capables de retrouver des symboles similaires pouvant être tournés, translatés et/ou agrandis. Dans certains cas ces méthodes sont robustes au bruit et à certains types d'occultation. Néanmoins l'inconvénient de ces méthodes est que le symbole doit être complètement extrait lors de la phase de segmentation, ce qui est en soi un problème mal posé. Typiquement les symboles sont très souvent inclus dans d'autres

couches graphiques. De plus ceux-ci peuvent toucher, chevaucher partiellement ou intersecter d'autres lignes.

Par ailleurs, de part leur richesse de représentation, les méthodes structurelles [LLA 01a, MES 96, PAR 03, RAM 99, YAN 03] sont aussi fréquemment utilisées pour la reconnaissance de symboles dans des documents. Parmi la multitude des structures de données existantes, les graphes relationnels attribués sont bien adaptés pour formaliser leur représentation structurale habituellement décrite sous la forme d'un ensemble de segments. Les méthodes d'appariement d'un symbole avec une base se fondent souvent sur la recherche de sous-graphes isomorphes. La complexité de ces approches est élevée même si des algorithmes efficaces ont été proposés pour certaines classes de graphes. De plus elles demeurent toujours sensibles au bruit même si des hypothèses statistiques peuvent être faites telles que des fonctions de tolérance d'erreurs lors de la recherche de sous-graphes isomorphes [LLA 01a, MES 98]. Cependant, les approches structurelles sont un outil puissant pour désigner des symboles dans un document à partir de leur représentation.

Lors de travaux précédents nous avons défini des approches robustes fondées sur la notion d'histogramme de forces [TAB 03b, WEN 02] et de signatures calculées à partir de la transformée de Radon [TAB 02, TAB 03a] permettant de reconnaître des symboles complexes dans des documents graphiques. Nous montrerons dans cet article comment intégrer dans notre signature l'aspect photométrique et la forme de l'objet lors de la recherche de symboles. Enfin nous proposerons une méthode pour combiner un descripteur de forme et une représentation structurale simplifiée pour se focaliser directement sur des zones susceptibles de contenir le symbole recherché.

2 $\mathcal{R}_{3D}$ —Signature d'un objet

2.1 $\mathcal{R}$ -signature associée à un symbole binaire

La transformée de Radon T_{Rf} d'une fonction f est définie comme suit [DEA 83] :

$$T_{Rf}(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - \rho) dx dy$$

où $-\infty < \rho < \infty, 0 \leq \theta < \pi$ et δ correspond à la fonction de Dirac. Intuitivement, ceci revient à intégrer la fonction f le long d'une droite pour n'importe quel (ρ, θ) (voir la figure 1).

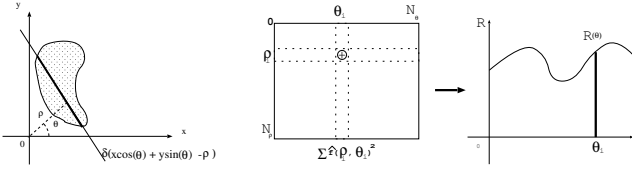


FIG. 1 – Transformée de Radon et $\mathcal{R}$ -signature.

Nous utilisons ici une mesure de forme, appelée $\mathcal{R}$ -signature [TAB 02, TAB 03a], qui est définie à partir de la transformée de Radon comme suit (figure 2) :

$$\mathcal{R}_f(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} T_{Rf}^2(\rho, \theta) d\rho$$

2.2 Propriétés des $\mathcal{R}$ -signatures

Il est facile de montrer, à partir des propriétés de la transformée de Radon, que les propriétés suivantes sont vérifiées pour la $\mathcal{R}$ -signature [TAB 03a] :

- **Périodicité de π** : $\mathcal{R}_f(\theta \pm \pi) = \int_{-\infty}^{\infty} T_{Rf}^2(\rho, \theta \pm \pi) d\rho = \mathcal{R}_f(\theta)$
- **Rotation** : une rotation d'angle θ_0 sur f implique sur la $\mathcal{R}$ -signature un décalage cyclique dépendant de θ_0 : $\mathcal{R}_f(\theta + \theta_0) = \int_{-\infty}^{\infty} T_{Rf}^2(\rho, \theta + \theta_0) d\rho$.
- **Translation** : une $\mathcal{R}$ -signature est invariante à une translation de $\vec{u} = (x_0, y_0)$ sur f : $\int_{-\infty}^{\infty} T_{Rf}^2(\rho - x_0 \cos(\theta) - y_0 \sin(\theta)) d\rho = \mathcal{R}_f(\theta)$.
- **Échelle** : un agrandissement de $\alpha \neq 0$ sur f implique que : $\int_{-\infty}^{\infty} T_{Rf}^2(\alpha \rho, \theta) d\rho = \frac{1}{\alpha^2} \mathcal{R}_f(\theta), \alpha > 0$

2.3 Implémentation

Nous avons adapté une approche proposée par [BRA 95] qui est bien adaptée au cas des images binaires même si sa complexité est relativement élevée. Soit un point de l'image de coordonnées (x_0, y_0) , nous avons $I(x, y) = \delta(x - x_0)\delta(y - y_0)$. Sa transformée de Radon est par définition : $T_{Rf}(\rho, \theta) = \delta(\rho - x_0 \cos(\theta) - y_0 \sin(\theta))$. Un point a donc une transformée de Radon, non nulle, le long d'une courbe sinusoïdale d'équation : $\rho = x_0 \cos(\theta) + y_0 \sin(\theta)$. Cependant, puisque la transformée de Radon est par définition linéaire, une manière de calculer la transformée d'une image binaire consiste à projeter tous les points, non nuls, de l'image à partir de $\rho_i = x_i \cos(\theta_i) + y_i \sin(\theta_i)$, en une matrice de Radon. Pour chaque point (x_i, y_i) de l'image, i est fixé et la valeur ρ_i est calculée de manière incrémentale en fonction de θ_i depuis 0 à π . Ce pas est défini pour éviter les erreurs d'approximation relatives à la théorie de Shannon (voir [TOF 96] pour plus de détails). $\Delta\theta = \Delta\rho = 1$, $\Delta x = \Delta y = \frac{1}{2}$ et ρ_i sont définis à partir d'une interpolation linéaire. L'algorithme est en $O(N^2M)$ pour une image de taille $N \times N$ et M angles différents (ici $M = 180$). Deux optimisations ont été réalisées pour réduire le temps de calcul : le cosinus et le sinus de toutes les valeurs possibles de θ_i ont été calculées une seule fois. Les valeurs de ρ_i ont aussi été définies de manière récursive. Puisque le pas Δx est initialisé à $\frac{1}{2}$, nous avons : $\rho_{i+\frac{1}{2}} = \rho_i + \frac{\cos(\theta_i)}{2}$. Cependant lors d'un déplacement en x , ρ est incrémenté par $\frac{\cos(\theta)}{2}$. De manière similaire, dans la

direction y , ρ est augmenté de $\frac{\sin(\theta)}{2}$. Ainsi la transformée de Radon discrète est représentée par une image numérique et la $\mathcal{R}$ -signature est définie par : $\hat{\mathcal{R}} = \sum_{n=0}^{\pi} \hat{T}_{Rf}^2(\hat{\rho}, \hat{\theta})$. Il est bien évident que les propriétés de la transformée de Radon continue sont vérifiées aux erreurs d'approximation près pour la transformée discrète. Les résultats expérimentaux ont tendance à montrer que ces erreurs sont faibles.

2.4 Définition d'une $\mathcal{R}_{3D}$ -signature

Généralement une représentation bidimensionnelle de la signature est suffisante pour obtenir des résultats précis en ne considérant que la forme de l'objet. Une telle approche est néanmoins mal adaptée pour reconnaître des objets à niveaux de gris.

Il existe deux manières pour prendre en compte la photométrie lors de la définition de la signature [TAB 03a]. Premièrement la luminescence peut être directement intégrée sur la droite traitée. Dans ce cas, nous avons remarqué que cela induisait un lissage sur la 2D signature qui devenait ainsi moins discriminante. Une autre idée est de considérer l'image comme un ensemble de coupes de niveaux obtenues à partir de binarisations successives (pour chaque niveau de gris présent dans l'image) et ainsi de définir une signature 3D. Soit O un objet composé de $\#ng$ niveaux de gris et soit λ_i une coupe binaire de seuil i appliqué sur O . Nous avons $O = U_{i=1, \#ng} \{\lambda_i\}$, avec $\lambda_{\#ng} \subseteq \lambda_{\#ng-1} \subseteq \dots \subseteq \lambda_1$. Ainsi, $\mathcal{R}_{3D} = U\{\mathcal{R}_{\lambda_i}\}_{i=1, \#ng}$ avec $\mathcal{R}_{\lambda_i}$ la signature calculée sur l'image binaire λ_i .

Cependant des binarisations successives augmentent le temps de calcul de la transformée de Radon de manière linéaire par rapport au nombre de coupes. L'utilisation d'un accumulateur durant la définition de la transformée de Radon permet de prendre en compte directement les niveaux de gris de l'image. Un point avec un niveau de gris donné apparaît dans toutes les coupes supérieures et par conséquent dans les signatures associées. Il suffit donc d'intégrer cette information durant le calcul de la transformée de Radon de ce point. Ainsi seulement une transformée de Radon est nécessaire pour définir une $\mathcal{R}_{3D}$ -signature.

La figure 2 présente une signature déterminée à partir d'un objet à niveaux de gris.

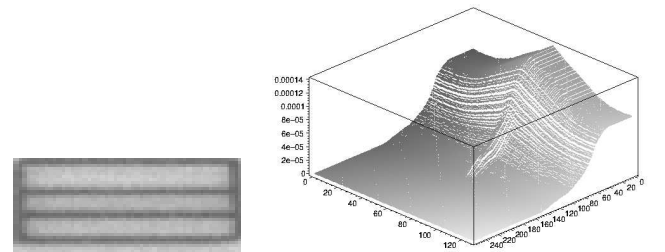


FIG. 2 – Exemple de $\mathcal{R}_{3D}$ -signature calculée sur un symbole à niveaux de gris.

2.5 Propriétés des $\mathcal{R}_{3D}$ -signatures

Il est facile de montrer qu'une $\mathcal{R}_{3D}$ -signature conserve les propriétés d'une $\mathcal{R}$ -signature classique [TAB 03a]. Par définition une $\mathcal{R}_{3D}$ -signature consiste en un ensemble de $\mathcal{R}$ -

signatures vérifiant séparément les propriétés décrites précédemment (§ 2.2). Comme la photométrie est invariante à la rotation et à la translation d'un objet, les propriétés de rotation et de translation des $\mathcal{R}$ -signatures sont conservées pour la $\mathcal{R}_{3D}$ -signature. Le facteur d'échelle est pris en compte en divisant chaque $\mathcal{R}_{3D}$ -signature par son volume lors de l'étape d'appariement.

La figure 3 donne des variations d'erreur résultant de l'application de transformées géométriques classiques sur un objet à niveaux de gris. Les valeurs obtenues sont proches de zéro (exceptée pour un grand étirement et un zoom négatif).

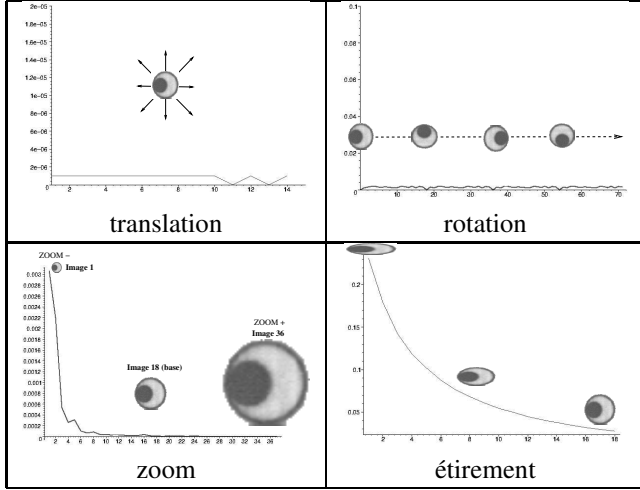


FIG. 3 – Transformations géométriques classiques. Axe des x : transformations ; axe des y : variations d'erreur.

3 Distance entre $\mathcal{R}_{3D}$ -signatures

Considérons deux signatures discrètes $\mathcal{R}_{3D}^A$ et $\mathcal{R}_{3D}^B$. Soient $\bar{\mathcal{R}}_{3D}^A$ et $\bar{\mathcal{R}}_{3D}^B$ les signatures normalisées, et p le nombre d'orientations. Le rapport de similarité SR (exprimé sous la forme d'un pourcentage) calculé entre $\mathcal{R}_{3D}^A$ et $\mathcal{R}_{3D}^B$ est défini comme suit :

$$m^{AB}(\theta, x) = \sum_{i=1}^n \min(\bar{\mathcal{R}}_{\lambda_i}^A(\theta), \bar{\mathcal{R}}_{\lambda_i}^B(\theta + x) \% p)$$

$$M^{AB}(\theta, x) = \sum_{i=1}^n \max(\bar{\mathcal{R}}_{\lambda_i}^A(\theta), \bar{\mathcal{R}}_{\lambda_i}^B(\theta + x) \% p)$$

$$SR = 100 \max_{x \in [0, p]} \left\{ \frac{\sum_{\theta=0}^p m^{AB}(\theta, x)}{\sum_{\theta=0}^p M^{AB}(\theta, x)} \right\}$$

Des décalages cycliques θ sont réalisés sur $\bar{\mathcal{R}}_{3D}^B$, et SR est obtenu en maximisant l'index de Tanimoto (min sur max). Ainsi SR n'est pas sensible aux rotations de l'objet et aux changements d'échelle.

4 Extraction de symboles

4.1 Symboles déconnectés

Dans cette partie nous traitons des symboles trouvés à partir d'une segmentation grossière réalisée sur des documents graphiques bruités. Chaque symbole à niveaux de gris est localisé à partir d'un support (masque) défini à partir de sa composante connexe la plus externe au sens de l'inclusion. Nous considérons ici des composantes ayant une taille consistante pour ne pas prendre en compte des structures trop petites –

assimilables à du bruit – ou trop importantes – assimilables au réseau par exemple –. La figure 4 présente la chaîne de traitements réalisés pour extraire un symbole d'un document.

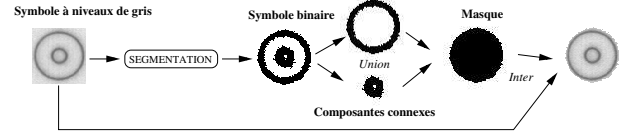


FIG. 4 – Extraction d'un symbole à niveaux de gris.

4.2 symboles connectés

Dans un premier temps nous considérons le modèle de symbole à rechercher. Après une phase de binarisation nous déterminons le squelette en fonction des axes médians [ARC 89] calculés sur la transformée de distance 3 – 4 [BOR 84], notée par la suite T_{34} . Puis nous recherchons le circuit externe associé au symbole en fonction des points de jonctions. Deux cas peuvent se présenter : soit le circuit ne comporte pas de nœuds (figure 5) soit le circuit présente des nœuds propres à la structure du symbole (figure 6). Ensuite nous évaluons les types possibles de connections au réseau. L'étude de ces configurations permet de déterminer la structure des circuits, le sens de parcours associé et le type de jonctions, associés à chaque symbole. Dans les figures 5 et 6, un nœud en noir représente une jonction propre au réseau et en blanc propre à l'enveloppe externe du symbole. Ce type de jonction conditionne le parcours des circuits.

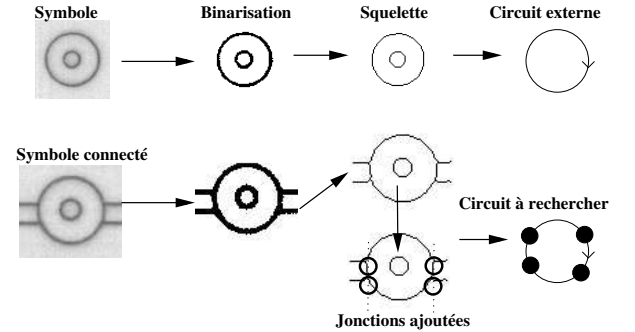


FIG. 5 – Symbole connecté simple.

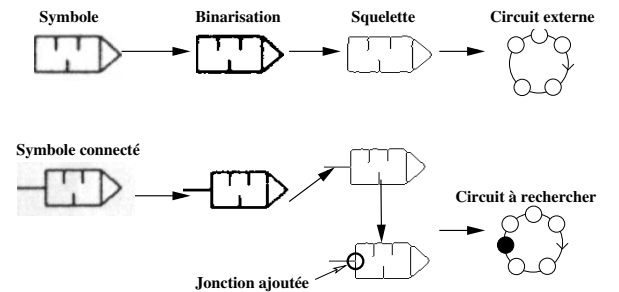


FIG. 6 – Circuit externe plus complexe.

Pour chacun des symboles nous possédons donc une signature tridimensionnelle (cf. paragraphe précédent) et un ensemble de circuits permettant leur localisation. Ensuite nous

recherchons ces symboles dans un document technique quelconque. Tout d'abord nous calculons le squelette propre au document puis le graphe relationnel de jonctions associé. Ensuite nous parcourons ce graphe à la recherche des configurations prédéfinies pour chaque symbole. Si une telle configuration est trouvée, nous extrayons la zone correspondante dans l'image. Une T_{34} inverse est réalisée sur les valeurs de la transformée associée au circuit pour l'étendre à la frontière du symbole. Puis, nous calculons la $\mathcal{R}_{3D}$ -signature propre à cette zone et la comparons à celle du symbole. Evidemment si cette configuration est commune à plusieurs symboles nous conservons le meilleur critère de similarité. Enfin, si le score obtenu est élevé nous étiquetons la zone trouvée. L'algorithme général permettant ce traitement est le suivant :

Base de données de symboles

- Soit k le nombre de jonctions autorisées
- Liste des boucles : $L = \emptyset$

Pour chaque Image I_s (symbole s)

- Segmentation de I_s
- Composantes connexes de I_s
- Masque et extraction de s sur I_s
- Calculer $\mathcal{R}_{3D}^s$
- Extraction du squelette (à partir de la T_{34})
- Circuit externe du symbole (x jonctions)
- Calcul des circuits possibles : $X_s (\rightarrow k)$
- $L = L \cup X_s$

FinPour

Traitement de la couche graphique

- Segmentation du document
- Extraction du squelette S (à partir de la T_{34})
- Calcul du graphe G reliant les jonctions de S

Pour chaque circuit possible u dans L

- Calcul de l'ensemble des circuits L_u dans G

Pour chaque circuit u_i dans L_u

- Calculer une T_{34} inverse suivant u_i
- Extraire la zone supportant a
- Calculer $\mathcal{R}_{3D}^a$
- $\lambda \leftarrow 0$

Pour chaque Symbole s_{u_i}

- $\lambda \leftarrow \max(\lambda, \text{SR}(\mathcal{R}_{3D}^{u_i}, \mathcal{R}_{3D}^a))$

Fin Pour

Si $\lambda > \text{Seuil}$ (ici 90)

- Etiqueter image (symbole $\Rightarrow \text{argmax}$)
- Supprimer les circuits dans L et G

FinSi

FinPour

FinPour

FIG. 7 – Description de notre méthode.

La figure 8 permet de mieux visualiser les traitements réalisés par cet algorithme pour extraire un objet d'un document : segmentation du document à niveaux de gris, calcul de la T_{34} pour extraire le squelette, extraction des circuits, T_{34} inverse pour augmenter la zone (masque), extraction du symbole et taux de reconnaissance obtenu après mise en correspondance avec la base.

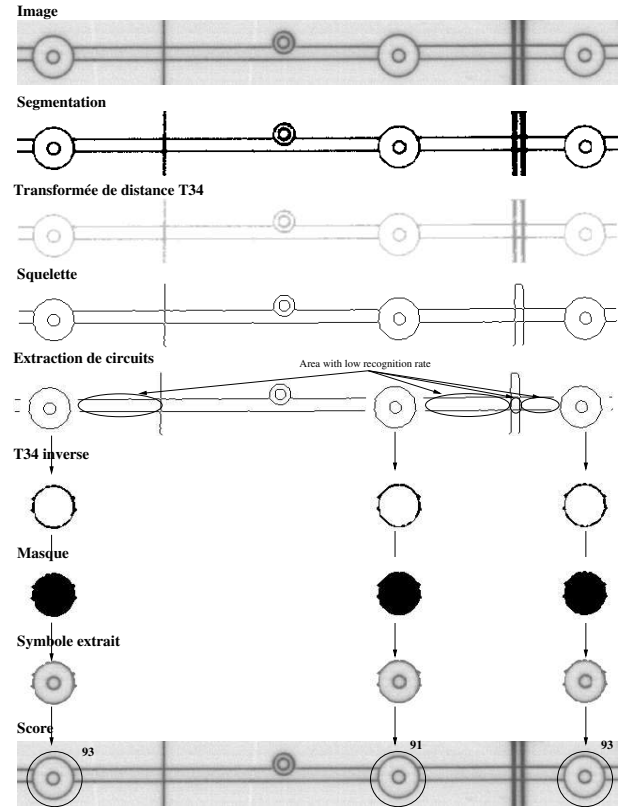


FIG. 8 – Recherche d'un symbole connecté.

5 Résultats expérimentaux

5.1 Symboles déconnectés

Nous avons construit une base de données composée de dix symboles ayant des formes relativement proches. La figure 10 montre une application basée sur les symboles binaires trouvés dans la figure 9. Dans ce cas le bruit apporte des artefacts qui entraînent des erreurs par rapport à la signature attendue. Il en résulte des symboles mal attribués pour des classes proches (symboles de forme circulaire et carrée dans la figure 10). On peut aussi remarquer que les scores sont élevés pour des formes similaires, ce qui est cohérent avec l'approche. La prise en compte du niveau de gris permet de pallier ce problème et ainsi d'améliorer la classification (voir figure 11).

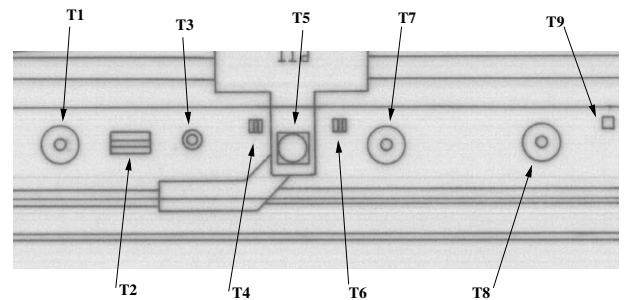


FIG. 9 – Exemple sur des symboles isolés.

T1	99	82	98	89	90	96	96	97	72
T2	82	98	82	83	83	84	83	84	81
T3	99	82	99	89	90	96	96	97	72
T4	94	86	94	92	92	96	95	94	75
T5	90	83	90	97	98	92	90	90	73
T6	97	83	97	91	92	99	95	96	73
T7	99	82	99	89	90	96	95	97	72
T8	99	82	98	89	90	96	95	97	72
T9	90	84	90	97	97	92	90	90	74

FIG. 10 – Symboles binaires.

T1	98	60	49	63	69	44	57	78	31
T2	62	96	74	84	79	66	70	57	44
T3	50	76	97	67	72	83	72	47	51
T4	44	67	83	66	65	96	71	43	59
T5	74	78	67	84	93	62	75	68	42
T6	45	69	86	69	67	97	73	44	58
T7	95	58	48	62	68	43	56	80	30
T8	95	58	48	63	68	44	57	81	31
T9	61	81	74	97	86	68	66	57	45

FIG. 11 – Symboles à niveaux de gris.

5.2 Symboles connectés au réseau

Nous avons défini une application à partir de documents techniques gracieusement fournis par le CVC (Barcelone) dans le cadre de GREC'2003. La figure 12 présente un ensemble de symboles à rechercher ainsi que les configurations de chaînes possibles définies en fonction des rattachements au réseau.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Symbole										
Squelette										
Circuit externe										
Configuration à trouver										

○ Symbole ● Réseau ○ Symbole + Réseau

FIG. 12 – Définition d'une base de prototypes.

La figure 13 présente une partie d'un document technique, le squelette associé et les résultats obtenus en appliquant l'algorithme décrit au §4.2. D'autres applications sont présentées dans les figures 14, 15 et 16. Nous pouvons remarquer que les taux de reconnaissance sont élevés.

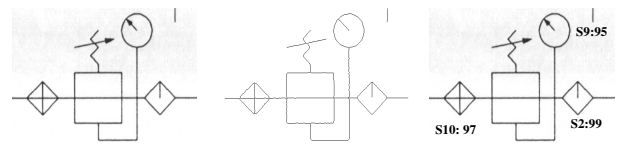


FIG. 13 – Graphique avec symboles connectés (Exemple 1).

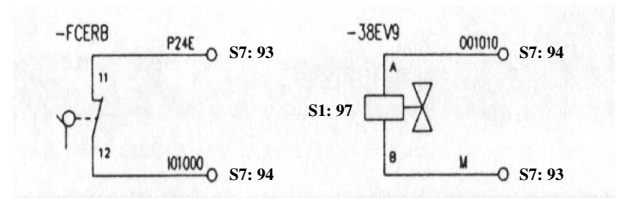


FIG. 14 – Graphique avec symboles connectés (Exemple 2).

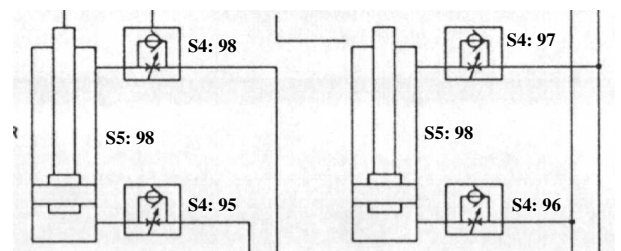


FIG. 15 – Graphique avec symboles connectés (Exemple 3).

6 Conclusion

Nous avons proposé dans cet article une méthode pour rechercher des symboles connectés à un réseau en combinant un descripteur de forme et une méthode structurale permettant de déterminer rapidement des zones d'intérêt dans un document. Nous avons aussi montré que la prise en compte des niveaux de gris permettait de limiter la perte de précision due à la segmentation et ainsi d'améliorer la reconnaissance. Actuellement, nous envisageons d'étendre notre approche pour rechercher un nombre important de symboles, pouvant être partiellement occultés, dans de grandes bases de documents.

Références

- [ADA 01] ADAM S., OGIER J., CARIU C., MULLOT R., LABICHE J., GARDES J., Symbol and character recognition : application to engineering drawings, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 3, n° 2, 2001, pp. 89–101.
- [ARC 89] ARCELLI C., DI BAJA G. S., A One-Pass Two-Operation Process to Detect the Skeletal Pixels on the 4-Distance Transform, *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 11, n° 4, 1989, pp. 411–414.
- [BOR 84] BORGEFORS G., An Improved Version of the Chamfer Matching Algorithm, *Proceedings of 7th International Conference on Pattern Recognition, Montréal (Canada)*, vol. 2, 1984, pp. 1175–1177.
- [BRA 95] BRACEWELL R., *Two-Dimensional Imaging*, Prentice Hall Signal Processing Series, New York, 1995.

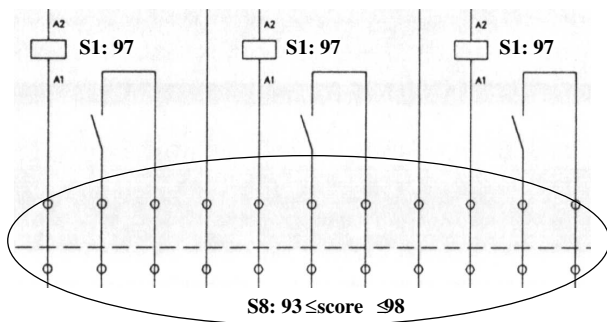


FIG. 16 – Graphique avec symboles connectés (Exemple 4).

- [CHH 97] CHHABRA A. K., Graphic Symbol Recognition : An Overview, *Graphics Recognition : methods and applications (GREC'97)*, Nancy, France., 1997, pp. 68–79.
- [COR 00] CORDELLA L. P., VENTO M., Symbol recognition in documents : a collection of techniques ?, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 3, n° 2, 2000, pp. 73–88.
- [DEA 83] DEANS S., *Applications of the Radon Transform*, Wiley Interscience Publications, New York, 1983.
- [DES 95] DEStEFANO C., TORTELLA F., VENTO M., An entropy based method for extracting robust binary templates, *Machine Vision and Applications*, vol. 8, 1995, pp. 173–178.
- [DOE 96] DOERMANN D., RIVLING E., WEISS I., Applying algebraic differential invariants for logo recognition, *Machine Vision and Applications*, vol. 9, 1996, pp. 73–86.
- [DOE 98] DOERMANN D., The Indexing and Retrieval of Document Images : A Survey, *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 70, n° 3, 1998, pp. 287–298.
- [FRä 00] FRÄNTI P., MEDNONOGOV A., KYRKI V., KÄLVIAINEN H., Content-based matching of line-drawing images using the Hough transform, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 3, n° 2, 2000, pp. 117–124.
- [GHO 94] GHORBEL F., A complete invariant description for gray level images by harmonic analysis approach, *Pattern Recognition Letters*, vol. 15, 1994, pp. 1043–1051.
- [JAI 00] JAIN A. K., DUIN R. P. W., MAO J., Statistical Pattern Recognition : A Review, *Image and Vision Computing*, vol. 22, n° 1, 2000, pp. 4–37.
- [LLA 01a] LLADOS J., MARTI E., VILLANUEVA J., Symbol Recognition by Error-Tolerant Subgraph Matching Between Region Adjacency Graphs, *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 23, n° 10, 2001, pp. 1137–1143.
- [LLA 01b] LLADOS J., VALVENY E., SANCHEZ G., MARTI E., Symbol recognition : current advances and perspectives, *Graphics Recognition : methods and applications (GREC'01)*, LNCS 2390, 2001, pp. 104–127.
- [LON 98] LONCARIC S., A Survey of Shape Analysis Techniques, *Pattern Recognition*, vol. 31, n° 8, 1998, pp. 983–1001.
- [MAR 89] MARSHALL S., Review of shape coding techniques, *Image and Vision Computing*, vol. 7, n° 4, 1989, pp. 281–294.
- [MES 96] MESSMER B., BUNKE H., Automatic learning and recognition of graphical symbols in engineering drawings, *Graphics Recognition : methods and applications (GREC'95)*, LNCS 1072., 1996, pp. 123–134.
- [MES 98] MESMER B., BUNKE H., A New Algorithm for Error-Tolerant Subgraph Isomorphism Detection, *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 20, n° 5, 1998, pp. 493–504.
- [PAR 03] PARK B., LEE K., LEE S., LEE J., Recognition of partially occluded objects using probabilistic ARG (attributed relational graph)-based matching, *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 90, 2003, pp. 217–241.
- [RAM 99] RAMEL J., BOISSIER G., EMPTOZ H., A structural representation adapted to handwritten symbol recognition, *Graphics Recognition : methods and applications (GREC'99)*, Jaipur, India., 1999, pp. 259–266.
- [TAB 02] TABBONE S., WENDLING L., Technical Symbols Recognition Using the Two-dimensional Radon Transform, *Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, Québec (Canada)*, vol. 2, août 2002, pp. 200–203.
- [TAB 03a] TABBONE S., WENDLING L., Binary shape normalization using the Radon transform, *Discrete Geometry for Computer Imagery, LNCS 2886, Naples, Italy*, vol. 2886, 2003, pp. 184–193.
- [TAB 03b] TABBONE S., WENDLING L., TOMBRE K., Matching of Graphical Symbols in Line-Drawing Images Using Angular Signature Information, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 6, n° 2, 2003, pp. 115–125.
- [TOF 96] TOFT P., The Radon Transform - Theory and Implementation, Phd. thesis, 1996, Department of Mathematical Modelling. University of Denmark, Denmark.
- [VEL 01] VELTKAMP R., HAGEDOORN M., State-of-art in shape matching, Uu-cs-1999-27, 2001, Utrecht University.
- [WEN 02] WENDLING L., TABBONE S., MATSAKIS P., Fast and Robust Recognition of Orbit and Sinus Drawings Using Histograms of Forces, *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, n° 14, 2002, pp. 1687–1693.
- [YAN 03] YAN L., WENYIN L., Engineering Drawings Recognition Using a Case-based Approach, *International Conference on Document Analysis and Recognition, Edinburgh*, vol. 2886, 2003, pp. 190–194.
- [YU 95] YU B., Automatic Understanding of Symbol-Connected diagrams, *International Conference on Document Analysis and Recognition, Montréal*, vol. 2, 1995, pp. 803–806.
- [ZHA 04] ZHANG D., LU G., Review of shape representation and description techniques, *Pattern Recognition*, vol. 37, n° 1, 2004, pp. 1–19.