

Détection de flèches dans des documents techniques à partir d'une agrégation de critères géométriques

Détection of Arrows in Line Drawing from the Aggregation of Geometric Criteria

Laurent Wendling, Salvatore Tabbone

LORIA

Campus Scientifique, BP 239 54 506 Vandœuvre-les-Nancy Cedex,
{wendling,tabbone}@loria.fr

Résumé

Une nouvelle méthode pour détecter les flèches dans des documents techniques est présentée dans cet article. Notre approche se fonde sur la définition théorique d'un tel symbole. À partir des propriétés inhérentes à une flèche nous proposons des critères que nous agrégeons par le biais de l'intégrale de Choquet. Nous montrons aussi la robustesse de notre approche au bruit et aux occultations. Des résultats expérimentaux attestent de l'aspect prometteur de notre approche.

Mots Clef

Analyse de document, détection de flèches, critères géométriques, intégrale de Choquet.

Abstract

A new way to detect arrows in line drawings is proposed in this paper. Our approach is performed from the definition of the basic structure of such a symbol. A set of criteria is deduced from the geometric properties of an arrow and are aggregated using the Choquet integral. The robustness of our approach to noise and occlusions is studied. At last experimental results show the interest of our approach.

Keywords

Line drawing analysis, arrow detection, geometric criteria, Choquet integral.

1 Introduction

Malgré la quantité importante de documents techniques existants, il existe peu d'études précises axées sur la détection de flèches dans les documents graphiques. Il est bien connu qu'un tel symbole peut apporter des

informations précieuses pour la compréhension des documents techniques (désignation d'objets, cotation, ...) et dans de nombreux systèmes de reconnaissance il est important d'avoir un opérateur robuste dédié à la reconnaissance d'un tel symbole. Une flèche peut être assimilée à un objet particulier, pouvant être associé à d'autres [21], à rechercher dans un ensemble de symboles hétérogènes contenus dans un document. Ceci nécessite des méthodes de reconnaissance de symboles efficaces [5]. La large variabilité de symboles que l'on peut rencontrer dans des documents techniques nécessite l'utilisation de descripteurs robustes et invariants à des transformations géométriques [24]. Néanmoins, les approches fondées sur des descripteurs caractéristiques [2, 7, 11] sont souvent sensibles au bruit et non robustes en présence d'occultations. Une approximation polygonale des objets [12] pourrait être une solution à ce problème. Cependant elle induit une perte d'information pouvant entraîner des taux de reconnaissance plus faibles. Dori et Velkovitch [6] ont proposé une méthode, pour la localisation de zones de texte dans des documents techniques, fondée sur la reconnaissance de pointes de flèches [4]. Une approche similaire a été proposée dans [17]. Les résultats obtenus sont intéressants mais restent limités à certains types d'application et nécessitent la reconnaissance de flèches ayant peu de distorsions et appartenant à un type standard (ISO, ANSI). Les méthodes structurales employées pour reconnaître des symboles graphiques [1, 14, 20] sont définies à partir de primitives avec une fonction de coût associée ce qui les rendent généralement sensibles aux déformations et au bruit. Valveny et Marti [22] ont proposé une approche pour reconnaître des flèches fondée sur un modèle proba-

biliste composé de lignes mais elle est dédiée à des symboles non bruités décrits par un ensemble de segments. De plus la gestion des occultations requiert la recherche de sous-graphes, ce qui engendre des temps de calcul conséquents lorsque les documents sont volumineux. Nous proposons une nouvelle approche pour définir et extraire des flèches dans des documents graphiques. Tout d'abord nous décrivons un modèle de base. Puis nous définissons une nouvelle représentation de ce symbole ainsi que le mécanisme utilisé pour la reconnaissance à partir de l'agrégation de critères par l'intégrale de Choquet. Enfin, une étude expérimentale sur une série d'exemples atteste de l'aspect prometteur de notre approche.

2 Propriétés des flèches

Le plan euclidien est reporté au repère orthonormé $(O, \vec{x}, \vec{y})$. Dans cet article une flèche bien construite est assimilée à l'union de deux figures géométriques : un triangle isocèle T – défini par trois points $A(x_a, y_a)$, $B(x_b, y_b)$ et $C(x_c, y_c)$ – relié à un rectangle – défini par quatre points $E(x_e, y_e)$, $F(x_f, y_f)$, $G(x_g, y_g)$ et $H(x_h, y_h)$ – (cf. figure 1). Nous posons : $c = d(A, B) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$, $b = d(B, C)$ et $a = d(A, C)$.

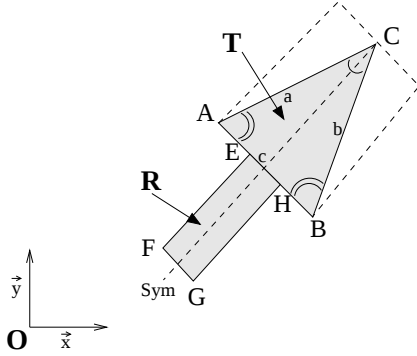


FIG. 1 – Description d'une flèche.

Par définition un triangle T est un polygone ayant trois cotés. Il possède des propriétés géométriques fondamentales comme [23] :

- [P1] Tous les triangles sont convexes.
- [P2] Un triangle avec deux cotés égaux ($a = b$) est appelé isocèle.
- [P3] La somme des angles d'un triangle est π .
- [P4] Trois angles spécifient un triangle seulement modulo un facteur d'échelle.

Beyer et Baker [23] ont proposé 110 formules pour calculer l'aire d'un triangle. Dans cet article nous utilisons la formule d'Heron :

$$\Delta = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

avec $s = \frac{1}{2}(a + b + c)$ le demi-périmètre.

La description d'une flèche requiert aussi la propriété suivante :

[P5] Un triangle isocèle (non équilatéral) a une bissectrice unique Sym qui est prolongée directement par la médiatrice du rectangle dans le cas d'une flèche bien formée.

Ceci implique dans notre cas que : $Sym(A) = B$, $Sym(C) = C$, $Sym(E) = H$, $Sym(F) = G$ et $EH \subset AB$; ce qui donne $AB \perp EF$ et $AB \perp GH$.

3 Définitions de signatures

Une flèche est assimilée à un triangle isocèle T relié à un rectangle R , vérifiant [P5]. Soit $Sec(a, c)$ le secteur défini par $[A, C]$ et $[A, B]$. Nous posons $\theta_B^A = \arctan(y_B - y_A / x_B - x_A) + k\pi$, avec $x_B - x_A \neq 0$ et $k \in \mathbb{N}$, l'angle entre (A, B) et (O, x) , et $\theta_C^A = \arctan(y_C - y_A / x_C - x_A) + k\pi$, avec $x_C - x_A \neq 0$, l'angle entre (A, C) et (O, x) .

Remarque: dans les expressions suivantes, la valeur de l'angle θ est toujours supposée incluse dans $Sec(a, c)$ pour simplifier l'écriture – ceci est étendu à tous les secteurs définis dans cet article –.

À partir de [P1], un point quelconque de T peut être relié par un segment inclus dans T à tout autre point de T . D'où :

[P6] Prenons le faisceau de lignes incluant A , noté $\mathcal{L}^A = \{D_\theta^A\}_{\theta \in [0, \pi]}$. Il existe un ensemble de segments I_A^θ porté par un faisceau de lignes contenu dans $Sec(a, c)$ qui décrit entièrement T .

Notons C_A le cercle centré en A de rayon $r = \max(a, c)$. Tous les segments I_A^θ , vérifiant [P6], sont inclus dans C_A : $V_A = \{I_A^\theta\}_{\theta \in [\theta_B^A, \theta_C^A]}$ est assimilé à la définition de T à partir de A (figure 2).

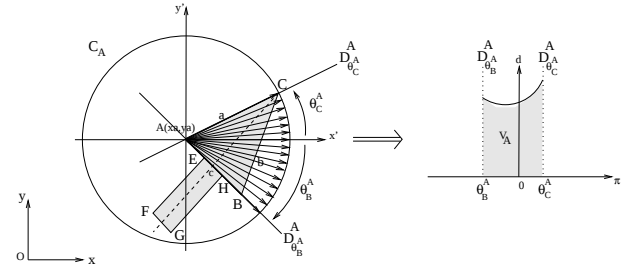


FIG. 2 – Signature V_A .

Le même schéma est appliqué pour définir V_B . V_C inclut aussi la définition de R (à partir de C_C centré en C de rayon $r = \max(a, d(C, F))$). Dans ce cas T et R sont entièrement décrits ($(CEFGH)$ est convexe).

En résumé, V_A , V_B et V_C représentent les signatures obtenues en traçant dans le plan des faisceaux de droites à partir de A , B et C . D'un point de vue applicatif V_A , V_B et V_C seront déterminés sur des données images et ensuite comparés à leur prototype théorique.

La définition de telles fonctions est maintenant présentée. Considérons n'importe quel triangle T' , qui consis-

te en trois points non alignés: X_1 , X_2 et X_3 . X_1 est assimilé à l'origine du repère orthogonal et θ' et θ'' les angles décrits par les segments $[X_1, X_2]$ et $[X_1, X_3]$ à partir de ce repère. Nous posons aussi $x = d(X_1, X_2)$ et $y = d(X_1, X_3)$ avec d la distance euclidienne.

La signature V_X est une autre définition du segment $[X_2, X_3]$ à partir de X_1 . Nous considérons dans ce qui suit une autre représentation S_X , continue, du segment $[X_2, X_3]$:

La signature $S_{X_1}(\theta) : [\theta', \theta''] \rightarrow \mathbb{R}_*^+$, associée à V_{X_1} est donnée par :

$$f(\theta, < x, y, \theta', \theta'' >) = \frac{x \cdot y \cdot \sin(\theta' + \theta'')}{x \cdot \sin(\theta - \theta') - y \cdot \sin(\theta - \theta'')}$$

Considérons les points A , B et C du triangle T .

Soit $S_A(\theta) : [\theta_B^A, \theta_C^A] \rightarrow \mathbb{R}_*^+$, la signature associée à V_A est donnée par :

$$S_A(\theta) = f(\theta, < a, c, \theta_B^A, \theta_C^A >)$$

De façon similaire l'expression de la fonction $S_B(\theta) : [\theta_C^B, \theta_A^B] \rightarrow \mathbb{R}_*^+$, associée à V_B , – dans ce cas, le repère orthogonal est centré en $B(x_B, y_B)$ –, correspond à :

$$S_B(\theta) = f(\theta, < b, c, \theta_C^B, \theta_A^B >)$$

La signature $S_C(\theta) : [\theta_A^C, \theta_B^C] \rightarrow \mathbb{R}_*^+$ relative au sommet du triangle est définie comme suit ($a = b$) :

Si R est un rectangle vide :

$$S_C(\theta) = f(\theta, < a, a, \theta_A^C, \theta_B^C >)$$

avec $\theta_A^C \leq \theta \leq \theta_B^C$ défini à partir du repère $C(x_C, y_C)$.

Sinon ($R \neq \emptyset$), 5 triangles sont étudiés :

$$a' = d(C, E) = d(C, H), a'' = d(C, F) = d(C, G)$$

L'expression de $S_C(\theta)$ est donnée par :

$$S_C(\theta) \rightarrow \begin{cases} \theta_A^C \leq \theta < \theta_E^C & f(\theta, < a, a', \theta_A^C, \theta_E^C >) \\ \theta_E^C < \theta \leq \theta_F^C & f(\theta, < a', a'', \theta_E^C, \theta_F^C >) \\ \theta_F^C < \theta \leq \theta_G^C & f(\theta, < a'', a', \theta_F^C, \theta_G^C >) \\ \theta_G^C < \theta \leq \theta_H^C & f(\theta, < a'', a', \theta_G^C, \theta_H^C >) \\ \theta_H^C < \theta \leq \theta_B^C & f(\theta, < a', a, \theta_H^C, \theta_B^C >) \end{cases}$$

La figure 3 donne la forme générale de S_C .

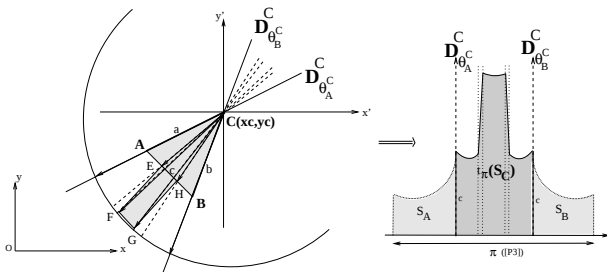


FIG. 3 – Signature $S_C(\theta)$.

Il est facile de montrer que tous les couples de signatures V_i et S_i sont équivalents. C'est-à-dire que :

$$[P7] V_A \Leftrightarrow S_A, V_B \Leftrightarrow S_B \text{ et } V_C \Leftrightarrow S_C$$

Nous pouvons maintenant considérer la signature globale S d'une flèche comme une union de signatures.

Soit t_π une translation de π (sur la signature modulo 2π), $S(T^{ABC}) = S_A \cup t_\pi(S_C) \cup S_B$ est une signature complète de T . De plus S est unique et nous pouvons directement déduire de [P7] que :

Soit t_π une translation de π , $V(T^{ABC}) = V_A \cup t_\pi(V_C) \cup V_B$ est une signature complète de T ($V \Leftrightarrow T$).

La signature S correspond donc à la représentation théorique d'une flèche à partir des trois points du triangle isocèle T associé. Nous allons maintenant nous intéresser à différentes propriétés de cette signature pour définir des critères (cf. paragraphe 4.1) :

[P8] $V_A \cap t_\pi(V_C) = V_B \cap t_\pi(V_C) = \{c\}$ et $V_A \cap V_B \cap V_C = \emptyset$.

[P9] $|V_A| = |V_B|$.

□ À partir de [P2, P6, P7] l'égalité, $\int_{\theta_C^A}^{\theta_B^A} S_A(\theta) d\theta = \int_{\theta_C^B}^{\theta_A^B} S_B(\theta) d\theta$ est vraie.

[P10] Il existe une symétrie $Sym / Sym(S_A) = S_B$.

[P11] S_C est une application symétrique. $\forall I_C^\theta \in V_C$, il existe un unique $I_C^{\theta'}$ tel que $Sym(I_C^\theta) = I_C^{\theta'}$. Il existe aussi un unique I_C^θ tel que $Sym(I_C^{\theta'}) = I_C^\theta$.

□ À partir de [P2, P5, P7], il est facile de montrer que $S_C(\theta^C - \theta'_C) = S_C(\theta^C + \theta'_C)$ avec $\theta'_C = \frac{\theta_B^C + \theta_A^C}{2}$.

Les signatures V et S permettent aussi de retrouver des propriétés géométriques fondamentales qui sont très utiles en reconnaissance des formes comme l'échelle (homothétie), la translation et la rotation.

[P12] S est invariant par translation.

□ Dans chaque cas, le calcul de V_A , V_B et V_C est réalisé à partir des sommets du triangle indépendamment de leur localisation dans le plan. Soit $t_{\vec{u}}$ une translation de $\vec{u}$: $f(\theta, < d(X_1, X_2), d(X_1, X_3), \theta', \theta'' >) = f(\theta, < d(t_{\vec{u}}(X_1), t_{\vec{u}}(X_2)), d(t_{\vec{u}}(X_1), t_{\vec{u}}(X_3)), \theta', \theta'' >)$

[P13] L'angle de rotation peut être déduit de S .

□ Une rotation d'angle α est assimilée à une translation de α dans S : $f(\theta, < x, y, \theta' + \alpha, \theta'' + \alpha >) = f(\theta, < x, y, \theta', \theta'' >)$ implique que f est invariant par rotation.

[P14] S -normalisé est invariant par l'échelle.

□ Soit k un facteur d'homothétie, nous avons :

$f(\theta, < k \cdot x, k \cdot y, \theta', \theta'' >) = k \cdot f(\theta, < x, y, \theta', \theta'' >)$ en respect avec [P4].

4 Détection de flèches

4.1 Critères

Soit A , B , et C un triplet de points à évaluer. Le paragraphe précédent nous permet de définir différentes mesures pour valider une flèche. L'ensemble de critères proposés ici est le suivant :

$$N = \{Sym, Card_{AB}, \bar{O}ver, Area, Proto\}$$

Dans le cadre de données réelles, un test binaire ne peut être adapté pour valider une propriété d'une flèche à cause des problèmes dus au bruit et à la discrétisation. Soit p la taille des signatures. Celles-ci sont supposées circulaires, c'est-à-dire que : $V^{p+i} = V^i$ (les signatures sont de période 2π). Considérons maintenant une définition numérique pour chaque critère.

[C1] Un degré de symétrie Sym propre à V est calculé pour avoir une approximation de [P10] et [P11] comme suit :

$$Sym^{even} = \max_{t \in [1, p/2]} \left\{ \frac{\sum_{i=1, p} \min(V^{t+i}, V^{t-i})}{\sum_{i=1, p} \max(V^{t+i}, V^{t-i})} \right\}$$

Nous considérons ici des parcours *pair* et *impair* de la signature pour obtenir un critère plus précis : $Sym = \max\{Sym^{odd}, Sym^{even}\}$. Nous pouvons remarquer que le critère [C1] combine [P10] et [P11]. Une autre solution serait de définir deux critères [C1A] et [C1B] vérifiant séparément [P10] et [P11] et aussi de considérer la différence entre les deux angles de symétrie trouvés. Cette information est néanmoins intégrée dans le critère de non-chevauchement [C3] et son utilisation n'apporte pas d'amélioration significative à la méthode. [C2] À partir de [P9] la cardinalité de V_A est proche de celle de V_B :

$$Card_{AB} = \min(|V_A|, |V_B|) / \max(|V_A|, |V_B|)$$

[C3] Une estimation du degré de non-chevauchement est nécessaire pour vérifier [P8].

$$Over = 1 - \frac{\sum_{i=1, p} \inf\{V_A^i, V_B^i, t_\pi(V_C^i)\} - 2 \cdot d(A, B)}{\sum_{i=1, p} \sup\{V_A^i, V_B^i, t_\pi(V_C^i)\}}$$

Nous pouvons remarquer que le chevauchement de segments est pris en compte par une telle expression.

[C4] Soit K l'aire commune obtenue à partir des balayages associés aux points A , B et C durant la construction de V_A , V_B et V_C . Par définition, si un triplet décrit un triangle plein dans une image numérique, la valeur de K devrait être proche du calcul de la formule de Heron, notée H , à partir de ces points :

$$Area = 1 - (K - H)/H$$

[C5] La signature numérique V obtenue en considérant un triplet de points est mise en correspondance avec le prototype théorique S d'une flèche (pour vérifier [P7]). Pour ceci nous considérons une approximation discrète de S , notée $\bar{S}$. D est un rapport de similarité.

$$Proto = D(V, \bar{S})$$

D'autres formules peuvent être évidemment utilisées pour définir de tels critères. Néanmoins le calcul de ces caractéristiques est essentiellement fondé sur la maximisation de l'index de Tanimoto (min sur max) dont le temps de calcul est peu élevé. De plus toutes les valeurs calculées à partir des critères sont dans l'intervalle $[0, 1]$ et peuvent donc être directement combinées.

4.2 Intégrale de Choquet

Une approche pour agréger ces différents critères serait d'utiliser une somme pondérée. Nous pouvons directement penser que [C1], [C3] et [C5] sont les principaux critères mais quel est le plus important? De plus des interactions devraient exister entre les critères puisqu'ils proviennent tous de la définition de la structure d'une flèche. Une telle dépendance ne peut être prise en compte à partir de combinaisons classiques. Nous nous sommes donc orientés vers l'intégrale de Choquet dont l'utilisation a été proposée par de nombreux auteurs (voir [8]). Nous reprenons ici le formalisme donné dans [13]. Soit $N = \{1, 2, \dots, n\}$ un ensemble fini de n critères – $n = 5$ dans notre étude – et soit $A = \{a, b, \dots\}$ un ensemble fini d'alternatives. Soit v une mesure floue sur N telle que [15, 19] : $v(\emptyset) = 0$, $v(N) = 1$ et $S \subseteq T \Rightarrow v(S) \leq v(T)$. Considérons maintenant une alternative $x^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)$, où pour n'importe quel critère j , x_j^i est le score de i relié à j [13]. $\forall v \in \mathcal{P}_N$, l'intégrale de Choquet sur $x \in \mathbb{R}^n$ est définie par :

$$C_v(x) := \sum_{i=1}^n x(i) [v(A_{(i)}) - v(A_{(i+1)})]$$

où $(.)$ est une permutation de N , effectuée sur les valeurs obtenues en calculant les critères sur un triplet de points, telle que $x(1) \leq \dots \leq x(n)$ et $A(i) = \{(i), \dots, (n)\}$ représente les $[i..n]$ critères associés par ordre croissant.

5 Reconnaissance de flèches

5.1 Listes de Points

Listes cardinales. Pour des raisons d'efficacité nous avons utilisé l'algorithme de Bresenham [3] dans notre implémentation. Supposons dans un premier temps que les flèches ne présentent pas d'occultation et que l'angle défini à partir de C est aigu ($Sec(a, b) < \pi/2$). Quatre balayages suivant les quatre directions cardinales sont nécessaires pour localiser n'importe quel point des triplets car les triangles recherchés sont supposés être isocèles.

Soit $L = \{L_1, \dots, L_4\}$ les listes des points trouvés lors des balayages de l'image. Un point est ajouté à une liste s'il n'appartient pas à une autre liste et s'il possède au moins un voisin. De plus, l'ensemble des segments partant de ce point est retiré de l'image. Les autres points du contour ainsi que le contenu de l'objet directement accessible à partir de ce point (suivant [P1]) ne sont donc pas considérés. L'image est réinitialisée après chaque balayage. La figure 4 présente une flèche ainsi que les listes associées. Nous pouvons remarquer que les contraintes précédentes diminuent le nombre de points à valider (assimilables dans ce cas au contour polygonal).

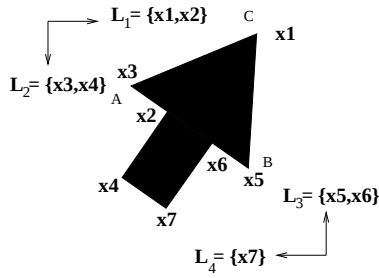


FIG. 4 – Listes de points.

Si l'angle entre $[C,A]$ et $[C,B]$ est obtus ($\text{Sec}(a,b) \geq \pi/2$), dans certains cas notre approche nécessite l'étude de points doubles pour bien localiser le sommet C . De tels points sont stockés et étiquetés «doublons» dans les listes cardinales. Des balayages parallèles, inclus dans le cercle de diamètre $[AB]$, sont réalisés pour estimer la position du point C (figure 5).

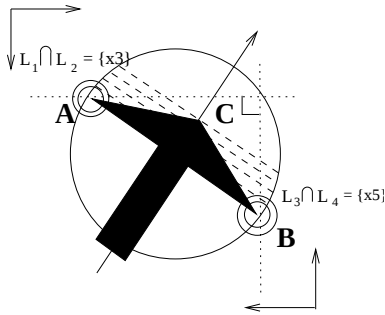


FIG. 5 – Recherche de C avec un angle obtu.

Si le document contient différents types de flèche, les triplets sont définis dans un premier temps à partir des angles obtus et ensuite seulement un point par doublon est considéré lors de la recherche de triplets dans les listes cardinales pour traiter les angles aigus.

Robustesse au bruit. Les zones de départ correspondant aux sommets A , B et C peuvent être déplacées si les données sont bruitées. Une zone de recherche circulaire a été initialisée pour déterminer les points définissant la signature la plus précise (en maximisant l'aspect symétrique de la signature). Un cercle de rayon $r = 1$ est suffisant pour les applications présentées dans cet article. La figure 6 montre une flèche dégradée provenant d'un dessin technique et les signatures obtenues à partir des meilleurs points trouvés. Nous pouvons remarquer que la forme de la signature discrète est proche de son approximation théorique. Un tel résultat est souligné par les valeurs élevées obtenues en calculant chaque critère (tableau 1).

Critères	<i>Sym</i>	<i>Card</i>	<i>Over</i>	<i>Area</i>	<i>Proto</i>
Valeurs	0,88	0,85	0,94	1	0,88

TAB. 1 – Valeurs obtenues en calculant les critères.

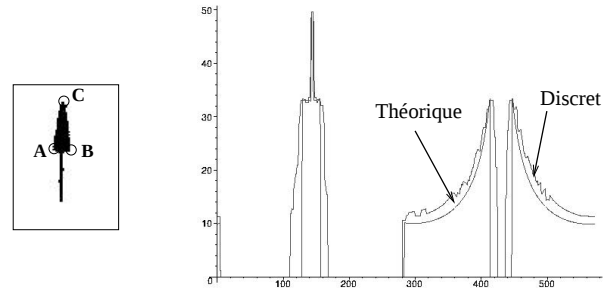


FIG. 6 – Signatures associées à une flèche bruitée.

Robustesse aux occultations. Deux types d'occultations peuvent arriver. Si les sommets A , B et C sont visibles, notre approche permet de trouver correctement une flèche même si des parties du symbole restent occultées (figure 7.a) car celles-ci n'interfèrent pas sur la structure générale de la signature de la flèche. Cependant les sommets d'une flèche peuvent être masqués dans des documents graphiques. Par exemple, une flèche peut être reliée à un objet ou à une ligne de rappel dans un document. Des caractères peuvent aussi être collés (figure 7.b). Il est donc important d'avoir une approche permettant d'avoir une estimation précise des sommets manquants pour calculer la meilleure signature possible.

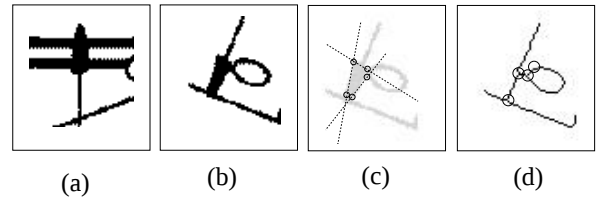


FIG. 7 – Flèches possédant des occultations.

Deux approches ont été étudiées pour estimer la position des points occultés. Dans un premier temps, ils ont été directement calculés à partir de l'intersection des droites passant par les points «doublons», contenus dans les listes cardinales les plus proches (figure 7.c). Ce traitement permet d'obtenir de bons résultats quand les occultations sont faibles (lignes ou caractères). Dans le cas contraire des étapes de squelettisation et d'amincissement [10] sont nécessaires pour gérer des occultations plus importantes. Les points de jonctions (figure 7.d) sont alors assimilés à des sommets potentiels. La liste des points manquants est concaténée à chaque liste cardinal puis étiquetée. Seulement un demi-plan est traité durant la construction de la signature et la taille des segments est limitée (comme dans le §5.2) durant la phase de reconnaissance pour pouvoir être en présence de données comparables. Enfin il est évident que plus l'occultation est importante, plus le taux de reconnaissance est faible.

5.2 Evaluation d'une flèche

Estimation du rectangle. Le rectangle (EFGH) est pris en compte durant le calcul des critères de symétrie et de non chevauchement. Par contre une estimation du rectangle (EFGH) est nécessaire pour calculer [C5] proprement en présence de données bruitées. Dans le cas contraire seulement des pointes de flèches sont traitées. À notre avis une flèche sans rectangle doit être considérée comme une version dégradée avec un taux de reconnaissance plus faible. Malgré cette constatation plus la longueur du rectangle est élevée, plus l'évaluation de [C5] est imprécise. Pour pallier ce problème, nous avons fixé deux frontières dans V_C où le rectangle doit être considéré (figure 8).

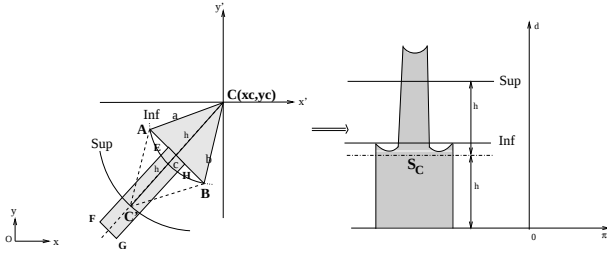


FIG. 8 – Intégration du rectangle dans le calcul de la signature. h est la hauteur du triangle.

La largeur [EH] du rectangle est directement calculée sur V_C à partir de Inf jusqu'à Sup (déterminé par le losange $(CBC'A)$) en conservant la valeur qui maximise la symétrie de la signature (P[10]). La nouvelle signature V_C est tronquée des valeurs supérieures. Si aucun rectangle n'est trouvé, l'estimation de la signature théorique est assimilée à une signature minimale correspond à un rectangle de base (Inf) et de largeur $[AB]/2$. Dans le cas d'angles obtus, on peut avoir $Inf \leq Sup$. Les deux valeurs sont alors permutées.

Mesure floue. Le calcul de l'intégrale de Choquet est fondée sur la définition d'une mesure floue. C'est-à-dire une évaluation de tous les ensembles v de $\mathcal{P}^N$, avec $N = 5$ critères dans notre étude. Par définition $v(\emptyset) = 0$ et $v(\{1, \dots, N\}) = 1$. Il existe de nombreux moyens pour déterminer les $2^N - 2$ valeurs restantes [8, 15]. Généralement la mesure floue est calculée à partir d'un ensemble d'apprentissage (données et valeurs attendues) transformé en un problème de minimisation qui est généralement résolu par la méthode Lemke (dual du simplexe). Dans le cadre de notre étude nous avons utilisé un algorithme de descente de gradient avec contraintes proposé par Grabisch [9], qui est une extension de la méthode développée par Muroshi et Sugeno [15]. Il permet de ne pas obtenir de résultats incohérents lorsque le jeu de données est trop petit (ou trop grand) car il se rapporte à une somme pondérée classique (intégrale de Lebesgue) si des arrangements de critères ne sont pas considérés.

Cinq séries de symboles ont été fixées pour définir la mesure floue (figure 9). La colonne y représente la valeur désirée en sortie après le calcul de l'intégrale pour chacun des échantillons de la série. Le premier ensemble regroupe plusieurs formes de flèches. À partir de données vecteurs la valeur de chaque critère serait maximale. Néanmoins de petites erreurs sont induites car le traitement est effectué sur des données discrètes. La valeur de chaque critère est ainsi proche de la valeur maximale. La seconde série regroupe des flèches dégradées. Les représentations rectangulaires, elliptiques ou les objets quelconques des séries 3 à 5 ont évidemment des formes éloignées.

SERIES	SYMBLES	y
1		1.
2		0.8
3		0.2
4		0.2
5		0.

FIG. 9 – Séries de symboles et valeurs désirées.

L'importance des critères ainsi que les interactions positives et négatives entre eux peuvent être établies à partir des valeurs de la mesure floue. L'importance de chaque critère [8] est obtenue à partir de l'indice de Shapley [16, 18] comme suit :

$$\Delta(x_i) = \sum_{A \subset N - \{x_i\}} \lambda_X(A) [v(A \cup \{x_i\}) - v(A)]$$

$$\text{Avec } \lambda_X(A) = \frac{(|N| - |A| - 1)! |A|!}{|N|!}$$

La valeur de shapley est multipliée par 5 (le nombre de critères) et ainsi un résultat plus grand que 1 détermine un attribut plus important que la moyenne (tableau 2). Le tableau 2 montre que les critères principaux sont *Over* et *Proto* (et non *Sym*!).

Critère	<i>Sym</i>	<i>Card</i>	<i>Over</i>	<i>Area</i>	<i>Proto</i>
Shapley	0,72	0,51	1,03	0,76	1,97

TAB. 2 – Importance des critères.

Une telle définition a été étendue [8, 16] pour mesurer l'interaction entre les critères comme suit (valeurs dans $[-1, 1]$) :

$$I(v)(x_i, x_j) = \sum_{A \subset N - \{x_i, x_j\}} \psi_X(A) I(v)(x_i, x_j | A)$$

$$\text{avec : } \psi_X(A) = \frac{(|N| - |A| - 2)! |A|!}{(|N| - 1)!}$$

et : $I(v)(x_i, x_j | A) = v(A \cup \{x_i, x_j\}) - v(A \cup \{x_i\}) - v(A \cup \{x_j\}) + v(A)$

Critères	<i>Sym</i>	<i>Card</i>	<i>Over</i>	<i>Area</i>	<i>Proto</i>
<i>Sym</i>	—	-0,05	-0,45	-0,14	0,55
<i>Card</i>	-0,05	—	-0,11	0,19	0,88
<i>Over</i>	-0,45	-0,11	—	0,54	0,02
<i>Area</i>	-0,14	0,19	0,54	—	0,41
<i>Proto</i>	0,55	0,88	0,02	0,41	—

TAB. 3 – Interaction entre critères.

Des corrélations négatives et positives existent entre les critères (tableau 3). En particulier entre *Card* – *Proto*, *Sym* – *Proto*, *Over* – *Area* et *Sym* – *Over* (négative).

Enfin, un seuil a été fixé à 0,75 pour décider si un triplet est associé à une flèche ou non après le calcul de l'intégrale de Choquet. Cette restriction est contraignante mais en concordance avec les échantillons utilisés pour définir la mesure floue. Une autre manière pour obtenir une méthode sans seuil serait de considérer le maximum entre la mesure floue et son "opposé" calculé en prenant comme sortie désirée la valeur 1- y (figure 9) pour chaque série.

Validation d'un triplet. Le but est d'obtenir un ensemble de triplets, à évaluer, à partir des quatre listes cardinales. Il est possible de considérer toutes les configurations de points. Néanmoins le temps de calcul augmente considérablement si on traite de grands documents techniques et de nombreuses configurations sont inconsistantes. Nous avons donc fixé des contraintes pour diminuer drastiquement le nombre de choix :

- Chaque triplet doit appartenir à la même composante connexe.
- Chaque point du triplet doit être «visible» des autres (ou au moins d'un).
- Les points sélectionnés doivent appartenir à des listes différentes.
- Si une flèche est trouvée, les points sont enlevés des listes cardinales (sauf pour les points issus des occultations).

Quand un triplet est trouvé, trois combinaisons de points sont évaluées par l'intégrale de Choquet :

(X_1, X_2, X_3) , (X_2, X_3, X_1) et (X_3, X_1, X_2) pour rechercher quel point est la tête la plus probable de la flèche. La valeur maximale obtenue est comparée au seuil de reconnaissance (paragraphe précédent) pour déterminer si le triplet est assimilé à une flèche ou non. Une description générale de l'approche est donnée dans la figure 10.

6 Résultats expérimentaux

Nous avons appliqué notre méthode sur plusieurs documents graphiques avec succès. Pour les exemples

Définition de la mesure floue

- Ensemble de données d'apprentissage
- Calcul de la mesure floue

Détection de flèches

- Calcul des listes cardinales
- Liste des triplets à évaluer

Pour chaque triplet

Pour chaque combinaison de points

- Calcul des critères C1 à C5
- Soit λ la valeur de Choquet

Si $\lambda >$ seuil prédéfini

- Etiqueter comme flèche
- Supprimer les points

Fin si

Fin pour

Fin pour

FIG. 10 – Description générale de la méthode.

présentés dans cet article le temps d'exécution est compris entre 4 secondes pour la figure 11.R1 et 17 secondes pour celui de la figure 11.R4 sans optimisation du code. La définition des listes cardinales ainsi que la phase de reconnaissance, dépendante du nombre de triplets, requiert un temps de calcul linéaire. De plus la phase d'apprentissage de la mesure floue est indépendante de l'application et n'est réalisée qu'une seule fois.

La figure 11.R1 montre l'application de notre approche sur un dessin technique. Les cercles dans les images L_1, L_2, L_3, L_4 représentent les listes de points (cf. cercles) obtenues à partir de balayages suivant les directions cardinales. La liste des points résultant des occultations est notée *Locc* et *Triplet* correspond à l'ensemble des triplets à évaluer. La dernière image présente les flèches détectées ainsi que le score associé. Pour avoir une idée de l'intérêt de l'intégrale de Choquet sur ces séries d'exemples nous avons comparé cette approche à la somme pondérée classique en initialisant les poids des critères en fonction des valeurs de Shapley précalculées. Nous pouvons remarquer que le caractère *f* est reconnu comme étant une flèche (cf. le losange sur la figure 11.R1) à partir de la somme pondérée. Le graphe donné dans la figure 11.R2 montre le taux d'erreur de symboles classés comme des flèches en fonction du seuil. L'agrégation fondée sur l'intégrale de Choquet est plus discriminante. Un tel résultat est souligné dans la figure 11.R3 où plusieurs symboles sont mal classés ou non reconnus à partir de la somme pondérée. La figure 11.R4 montre la robustesse de notre approche sur d'autres flèches déformées. Nous pouvons aussi remarquer que si des flèches sont trop bruitées ou trop occultées notre approche fournira évidemment des résultats moins précis (voir la figure 11.R5). Nous avons aussi comparé notre approche à deux méthodes

classiques. La figure 11.R3a représente les contours polygonaux des objets. Les zones noires dans la figure 11.R3b correspondent à une corrélation élevée. Nous pouvons remarquer que dans de nombreuses configurations ces approches ne permettent pas d'obtenir des résultats cohérents (voir les éléments entourés dans la figure 11.R3b and c).

Remarque : le critère *Proto*, pris seul, est moins discriminant en présence d'occultations et/ou de bruit importants. Dans ce cas, le rapport de similarité D n'est pas bien adapté. L'introduction d'autres critères, relatifs à des propriétés géométriques de la flèche, permet de palier ce problème et ainsi d'obtenir une approche plus robuste.

6.1 Extension à des flèches dégénérées

L'union d'un triangle isocèle et d'un rectangle est assimilée à une flèche bien construite. Les flèches présentées sur la figure 12 peuvent être considérées comme des versions dégénérées du premier symbole de la série.



FIG. 12 – Ensemble de flèches dégénérées.

À partir de telles flèches, les critères [C1], [C2] et [C3] sont encore appropriés parce que l'aspect symétrique de la flèche est conservé et par conséquent les notions de non-chevauchement et de cardinalité. Néanmoins des approximations de [C5] et [C6] sont nécessaires. Deux nouveaux points de jonctions A' et B' , ou un dans le cas limite, doivent être estimés à partir des listes cardinales pour prendre en compte la nouvelle forme des flèches. Dans ce cas le calcul de [C5] doit se référer soit à deux nouveaux triangles symétriques ($AA'C$) et ($BB'C$) soit à deux segments ($[AC]$ et $[BC]$) dans le cas limite. Le calcul de [C6] doit inclure les autres configurations de triangles. Par exemple, le balayage réalisé à partir de A est borné par C et A'' (ce qui correspond à l'intersection entre les lignes (AA') et (CB)). Dans le cas limite [C6] est déterminé à partir de trois segments. Plus la flèche est dégradée, plus les critères sont sensibles au bruit et aux distorsions. D'autres approches [22] peuvent être mieux adaptées pour traiter les segments dans ce cas limite. Une autre idée serait la prise en compte de distorsions possibles dans le calcul de chaque critère.

7 Conclusion

La définition de signatures discrètes et théoriques ainsi que l'agrégation de critères géométriques à partir de l'intégrale de Choquet permet d'obtenir une détection robuste de flèches dans des documents techniques. Nous travaillons sur une approche sub-pixel pour décroî-

tre le léger « aliasing » donné par l'algorithme de Bresenham et ainsi améliorer la précision de notre approche.

L'extraction de la cotation dans des documents techniques à partir de l'ensemble de flèches détectées et aussi à l'étude.

Références

- [1] C. Ah-soon and K. Tombre, Architectural symbol recognition using a network of constraints., *Pattern Recognition Letters*, 22(2):231–248, 2001.
- [2] S.O. Belkasim S. O., M. Shridar and M. Ahmadi, Recognition with Moment Invariants: A Comparative Study and New Results, *PR*, 24:1117–1138, 1991.
- [3] J.E. Bresenham, Algorithm for Computer Control of a Digital Plotter, *IBM Syst. Journal*, 4(1):25–30, 1965.
- [4] I. Chai and D. Dori, Extraction of text boxes from engineering drawings, *Proc. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers SPIE 1661*, 38-49, 1992.
- [5] L. P. Cordella and M. Vento, Symbol recognition in documents: a collection of techniques?, *IJDAR*, 3(2):73–88, 2000.
- [6] D. Dori and Y. Velkovitch, Segmentation and Recognition of Dimensioning Text from Engineering Drawings, *CVIU*, 69(2):196–201, 1998.
- [7] F. Ghorbel, A complete invariant description for gray level images by harmonic analysis approach, *Pattern Recognition Letters*, 15:1043–1051, 1994.
- [8] M. Grabisch, The application of fuzzy integral in multicriteria decision making, *European journal of operational research*, vol. 89:445–456, 1995.
- [9] M. Grabisch, *A New Algorithm for Identifying Fuzzy Measures and Its Application to Pattern Recognition*, FUZZ'IEEE 95, vol. 1:145–150, 1995.
- [10] C.P. Lai and R. Kasturi, Detection of Dimension Sets in Engineering Drawings, *ICDAR'93*, 606–613, 1993.
- [11] B. C. Lin and J. Shen, Fast Computation of Moment Invariants, *Pattern Recognition*, 24:807–813, 1991.
- [12] M. Maes, Polygonal Shape Recognition Using String-Matching Techniques, *PR*, 24(5):433–440, 1991.
- [13] J.-L. Marichal and M. Roubens, Determination of weights of interacting criteria from a reference set, *European Journal of Op. Research*, 124(3):641–650, 2000.
- [14] B.T. Messmer and H. Bunke, Automatic learning and Recognition of graphical symbols in engineering drawings, *kasturi & Tombre ed., Graphics Recognition: Methods and Applications*, Springer, 123–134, 1987.
- [15] T. Murofushi and M. Sugeno, An interpretation of fuzzy measure as an integral with respect to a fuzzy measure, *Fuzzy Sets and Systems*, 29:201–227, 1989.
- [16] T. Murofushi and S. Soneda, Techniques for reading fuzzy measure (iii): interaction index, 9th Fuzzy System Symposium, 693–696, in Japanese, 1993.
- [17] G. Priestnall, R.E Martson and D.G. Elliman, Arrowhead recognition during automated data capture, *PRL*, 17:277–286, 1996.
- [18] L.S. Shapley, A value for n-person games, in: H.W. Khun and A.W. Tucker (eds.), *Contributions to the*

Theory of Games, vol. II, (Annals of Mathematics Studies, 28), Princeton University Press, 307–317, 1953.

- [19] M. Sugeno, Fuzzy measures and fuzzy integrals – A survey, in: Gupta, Saridis and Gaines (eds.), *Fuzzy Automata and Decision Processes*, 89–102, 1977.
- [20] C.C. Tappert, C.Y. Suen and T. Wakahara, The state of the Art in Online Handwriting Recognition, *IEEE Trans. of PAMI*, vol. 12:787–808, 1990.
- [21] K. Tombre, Analysis of Engineering Drawings: State of the Art and Challenges, *In LCNS 1389, Springer-Verlag*, K. Tombre and A. K. Chhabra Ed., 1998.
- [22] E. Valveny and E. Marti, Learning of Structural Descriptions of Graphic Symbols using Deformable Template Matching, *In 6th ICDAR*, 455–459, 2001.
- [23] Eric W. Weissten, CRC Concise Encyclopedia of Mathematics, Chapman & Hall/CRC, 1834–1838, 1999.
- [24] J. Wood, Pattern Recognition: A Review, *Pattern Recognition*, 29(1):1–17, 1996.