

Description et discrimination procédurale de dessins acquis en ligne

Ney Renau-Ferrer, Céline Rémi

► **To cite this version:**

Ney Renau-Ferrer, Céline Rémi. Description et discrimination procédurale de dessins acquis en ligne. RFIA 2012 (Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle), Jan 2012, Lyon, France. pp.978-2-9539515-2-3. hal-00660983

HAL Id: hal-00660983

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00660983>

Submitted on 20 Jan 2012

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.

Description et discrimination procédurale de dessins acquis en ligne

Ney Renau-Ferrer

Céline Rémi

IRISA, Université de Rennes 2, France

Laboratoire LAMIA, Université Des Antilles et de la Guyane, BP 250 Pointe à Pitre, GUADELOUPE
cremi@univ-ag.fr

Résumé

Nous présentons une méthode pour la simulation des capacités d'évaluation de la dissemblance de stratégies de construction de dessins. Cette méthode exploite un descripteur structurel des procédures, l'OPSRL, ainsi qu'une mesure de dissemblance que nous présentons. La polyvalence des types de traitements qui peuvent être mis en œuvre grâce à cette méthode est illustrée sur des jeux de tracés de formes géométriques qui ont été acquis en ligne au moyen de tablettes à digitaliser.

Mots Clef

Stratégie de dessin, OPSRL, descripteur procédural, reconnaissance de formes

Abstract

The purpose of this paper is the presentation of a method allowing the measure of the dissimilarity between strategies involved in drawings of geometrical shapes. This method is based on a new procedural feature named OPSRL. As illustration of the versatile character of this method we describe some applications on hand-drawn geometrical figures which were recorded with digitizer tablets.

Keywords

Drawing strategy, OPSRL, procedural feature, pattern recognition

1 Introduction

L'analyse de l'activité de dessin peut être considérée selon divers angles. Il peut s'agir de reconnaître voire de caractériser la forme résultant de l'activité de dessin [1]. Mais l'analyse du dessin peut avoir comme finalité non pas la reconnaissance de la forme qui a été dessinée mais de la façon dont elle fut dessinée. Ce type d'information est utile dans certaines situations d'accompagnement de l'apprentissage scriptural de jeunes enfants ou de l'apprentissage de commandes gestuelles par exemple. Les possibilités d'acquisition en ligne des activités de dessin au moyen d'équipements tels que les tablettes à digitaliser permettent l'accès à des informations sur la trajectoire du stylo ou de tout autre dispositif compatible de tracé au cours du temps. Ces informations rendues ainsi disponibles peuvent aider à la fois à la caractérisation et à la reconnaissance automatique de la façon de dessiner d'un scripteur.

Dorénavant, nous emploierons le terme « procédure » en référence à la façon dont un scripteur dessine. Le travail présenté dans cet article s'inscrit dans le cadre d'un projet dont l'objectif est la conception et le développement d'outils permettant à une machine de simuler le processus humain d'analyse de la procédure de tracé d'un scripteur. Nous proposons une méthode

pour l'extraction et la discrimination de procédures de tracé que nous dénommons *analyse procédurale*. Nous avons voulu que cette méthode soit suffisamment flexible et générique pour autoriser son usage dans des contextes applicatifs différents. Les résultats que nous présenterons illustreront cet aspect.

2 Etat de l'art

L'analyse de l'activité de dessin est couramment utilisée en psychologie pour le diagnostic de troubles neuropsychologiques ou de difficultés d'apprentissage [2], [3]. Selon [4], les travaux menés dans ce domaine peuvent être classifiés dans deux catégories : ceux qui concernent l'analyse des caractéristiques dynamiques des mouvements de tracé et ceux qui analysent les stratégies d'organisation / de structuration de parties au sein de la forme finale. L'analyse dynamique considère l'évolution au cours du temps de tracés de données telles que la pression exercée sur le stylo [5] ou la vitesse de tracé [6], etc. Les caractéristiques stratégiques incluent par exemple l'ordre d'apparition des éléments composant le dessin. En d'autres termes : l'analyse procédurale concerne ce qui relève de la planification des gestes tandis que l'analyse de la dynamique de tracé est en rapport avec la problématique du contrôle moteur des gestes. Beaucoup de travaux furent consacrés aux problématiques de l'analyse automatique ou de la modélisation de la dynamique des gestes de tracé. On pourra pour cet aspect se référer par exemple à [7] ou [8]. Les travaux consacrés à l'analyse automatique et à la modélisation des procédures de tracé sont moins nombreux. On peut toutefois recenser des travaux consacrés au diagnostic de certains troubles ou au renforcement des performances des méthodes de reconnaissance qui fondent leurs approches sur la prise en compte des procédures mises en jeu par les scripteurs lors de tracés de formes. Ainsi, Guest [9] utilise l'analyse de séquences de construction de formes géométriques pour l'aide au diagnostic des troubles visuo-spatiaux. Sezgin [10] propose l'utilisation de l'encodage de certains aspects des procédures mises en jeu par un scripteur, comme l'ordre d'apparition des éléments de la forme ou l'orientation de ceux-ci, pour améliorer les performances de méthodes de reconnaissance de forme. Cependant, bien qu'il ait proposé de modéliser ces aspects de la procédure sous forme de HMM, il n'a pas proposé de méthode d'extraction de ces modèles à partir des données disponibles pour ces traitements.

3 Problématique et données d'entrée

D'un point de vue général, la procédure correspond à la façon de faire, d'entreprendre et "de s'y prendre". Nous définissons dans le cadre de ce travail la procédure comme l'ordonnement des gestes qui conduisent à la création d'une forme visuelle par

l'agencement de primitives géométriques simples telles que des segments de droite et des arcs de cercle. D'un point de vue cognitif, la procédure relate par la planification intentionnelle des gestes permettant de tracer et d'ordonner de telles formes.

Prenons l'exemple du tracé d'un carré. Cette réalisation peut a priori être opérée par un scripteur expert en adoptant une des procédures qui permet de planifier et d'exécuter 4 segments rectilignes de même longueur, sécants 2 à 2 en leurs extrémités dont 2 sont verticaux et les 2 autres sont horizontaux. L'analyse procédurale de l'activité de dessin de ce scripteur, rendue possible grâce à son enregistrement en ligne au moyen d'une tablette à digitaliser, a pour finalité l'extraction automatique et fiable de descripteurs relatant, par exemple, l'ordre temporel selon lequel les côtés du carré ont été tracés et le type de points caractéristiques qui les délimitent. Pour mettre en œuvre ce traitement, les données dont nous disposons en entrée grâce à une phase de segmentation analogue à celle de [11] sont :

- La liste ordonnée temporellement des primitives géométriques approximant chaque partie du dessin,
- Le type de ces primitives : segment de droite ou arc de cercle,
- La liste ordonnée temporellement des types de l'ensemble des points caractéristiques qui délimitent chaque partie du dessin approximée par les primitives. Un point peut être soit un point du type Rupture, soit un point où survient un événement lever/poser de stylo, un point de Rupture étant un point où survient un changement de direction au cours du tracé.

4 Description procédurale d'un tracé

A partir de la définition de la procédure posée, nous pouvons lister l'ensemble des données qui semblent pertinentes et nécessaires pour l'analyse procédurale de formes géométriques. Ces données concernent :

- l'ordre d'apparition des primitives,
- le type de primitives : arc de cercle ou segment de droite,
- la direction des primitives : horizontale, verticale, oblique droite, oblique gauche,
- le sens suivant lequel les primitives ont été tracées : positif (de gauche à droite ou de bas en haut) ou négatif (de droite à gauche ou de haut en bas), horaire, anti horaire,
- le type de points caractéristiques entre deux primitives : poser/lever de stylo, point de rupture, point d'intersection, reprise
- les relations structurelles entre deux primitives consécutives : parallèles, colinéaires, perpendiculaires, sécantes.

4.1 Approche proposée

Les données utilisées par un observateur humain qui tente de décrire une procédure d'exécution de tracé sont des données structurelles. L'utilisation de graphes est largement répandue pour la représentation et la classification de telles données. Le problème de la classification procédurale dans ce contexte revient

alors à un problème de mise en correspondance de graphes. Cependant, l'appariement de graphes est un problème NP-complet. Yin [12] propose de transformer les graphes représentant ces données en une Chaîne Ordonnée de Relations Topologiques (OTRC) pour en faciliter et en réduire le coût de traitement. La problématique traitée par Yin ne concernant que la reconnaissance de formes, il choisit de définir une OTRC comme une liste temporellement ordonnée relatant les types des primitives ainsi que les relations topologiques entre deux primitives consécutives.

Du concept d'OTRC, compte-tenu de notre problématique, nous tirons la définition de ce que nous appellons Ordered Procedural and Structural Relation List : OPSRL. Une OPSRL est un quartet de chaînes (O,P,T,S) où : O,P,T,S sont des séquences ordonnées temporellement définies comme suit :

- O est la séquence représentant l'orientation de chaque portion du tracé délimitée par deux points caractéristiques, chaque O_i provient de l'ensemble : {Horizontale+, Horizontale-, Verticale+, Verticale-, ObliqueDroite+, ObliqueDroite-, ObliqueGauche+, ObliqueGauche-, Circulaire+, Circulaire-}
- P est la séquence représentant les types de points caractéristiques, chaque élément P_i est défini sur l'ensemble {Rupture, Poser/Lever, Intersection, Tangent, Voisin, Rebroussement},
- T est la séquence représentant les types des primitives, chaque T_i prend sa valeur dans l'ensemble {Arc, Segment},
- S est la séquence représentant les relations structurelles entre chaque paire de primitives temporellement consécutives. Chaque élément S_i appartient à l'ensemble : {Parallèles, Perpendiculaires, Colinéaires, Obtus, Aigu, Superposées, Non Applicable}

4.2 Construction des séquences

Séquence des orientations (O)

Pour la construction de la séquence O nous exploitons un X-T spatio-graphe et un Y-T spatio-graphe qui représentent l'évolution des composantes X et Y de la position spatiale de la pointe du stylo au cours du temps de tracé dans le référentiel attaché au support de tracé lors de l'acquisition. La figure 1 montre le X-T et le Y-T spatio-graphe correspondant au tracé d'un carré. Par association des portions de graphes, section par section, nous pouvons déterminer la séquence O en utilisant les règles d'associations suivantes :

- ObliqueDroite+(OD+) : X-T croissant, Y-T croissant
- ObliqueDroite-(OD-) : X-T décroissant, Y-T décroissant
- ObliqueGauche-(OG-) : X-T croissant, Y-T décroissant
- ObliqueGauche+(OG+) : X-T décroissant, Y-T croissant
- Horizontal+ (H+) : X-T croissant, Y-T constant
- Horizontal- (H-) : X-T décroissant, Y-T constant
- Vertical+ (V+) : X-T constant, Y-T croissant
- Vertical- (V-) : X-T constant, Y-T décroissant

Ces règles sont illustrées à la figure 1.

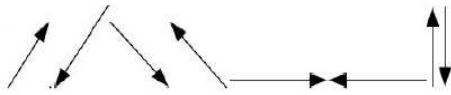


Figure n°1 : illustration de la gauche vers la droite selon l'ordre dans le texte, des types d'orientations : OD+, OD-, OG-, OG+, H+, H-, V+, V-

La figure 2 présente pour un « carré » tracé à main levée (a) un exemple de cas d'extraction de la séquence O (b) à partir de ses X-T et Y-T graphes :

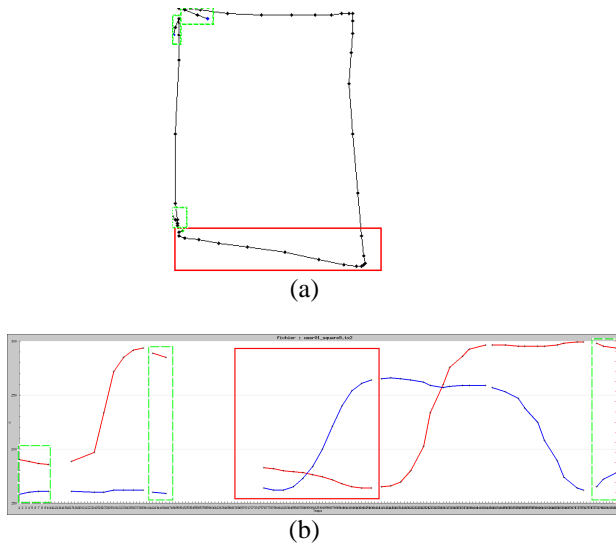


Figure n°2 : exemple d'extraction de séquence O pour un tracé (a) réalisé à main levée. Les courbes rouges sur (b) correspondent au X-T graphe et celles en bleu au Y-T graphe. Le rectangle rouge sur (b) englobe les parties des X-T et Y-T graphes relatives à la portion de tracé circonscrite en rouge sur (a). La séquence O complète vaut pour ce tracé {V-, V+, V-, H+, V+, H, H+}

Séquence des Points d'intérêt (P)

Nous illustrons dans cet article les points caractéristiques des types suivants : Rupture (figure 3d), Lever/Poser (figure 3a) qui sont disponibles comme données d'entrée pour la modélisation procédurale des reproductions de figures géométriques. Les Ruptures sont des points où on peut observer une discontinuité de la courbure tandis que les Poser/Lever sont des points où l'on observe un changement de l'état du stylo (levé ou posé au contact de la surface de tracé). Chacune de ces catégories peut être subdivisée, ou spécialisée [13]. Ainsi, une Reprise est une spécialisation d'un Lever/Poser qui survient quand l'utilisateur lève son stylo pendant qu'il dessine un côté et qu'il le repose pour continuer la même portion (cf. figure 3b). Un Repassage survient lorsque le dessinateur repasse sur une portion du dessin qui a déjà été tracée. Cette spécialisation peut être soit une spécialisation du type Lever/Poser ou du type Rupture. Le premier cas est illustré dans la figure 3c, par chacun des points de début ou de fin de côté repassé. La figure 3e illustre le second cas où chacun des côtés redessiné est délimité par des Ruptures. Ces Ruptures seront donc classifiées comme des points de Repassage. Un

Rebroussement est une spécialisation d'un Repassage lorsque ce dernier est une spécialisation d'une Rupture. Ceci survient lorsque le dessinateur procède à un repassage sur une portion précédente sans lever son stylo. Un Rebroussement est présenté à la figure 3f.

Notre méthode de description se veut assez souple pour ne pas être dédiée à la spécification et l'extraction exclusive des types de points présentés auparavant. On pourrait bien sûr en rajouter à loisir en fonction de la méthode de segmentation utilisée pour la production des données d'entrée ou en fonction des besoins spécifiques de chaque utilisateur. Par exemple, l'utilisateur pourrait trouver intéressant le fait qu'un dessinateur ralentisse ou s'arrête lors du dessin d'une figure ; dans ce cas il faudrait rajouter les types "Ralentissement" ou "Arrêt" par exemple.

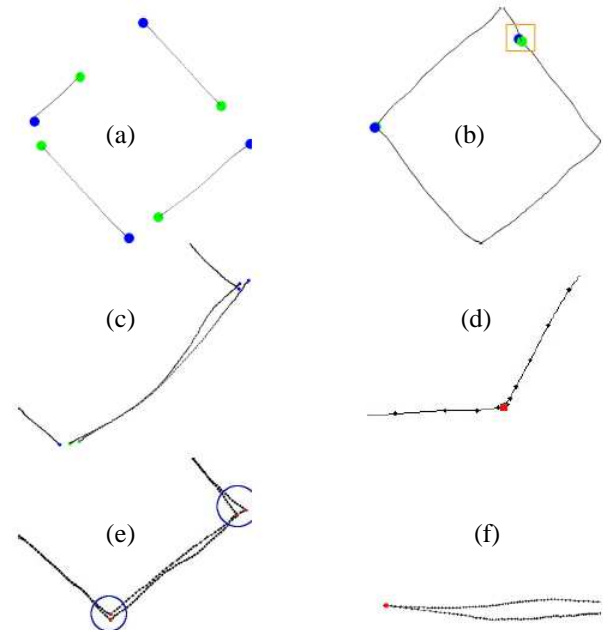


Figure n°3 : exemples de points caractéristiques et de leurs spécialisations

Séquence des types de primitives (T)

La séquence T représente le type des différentes primitives composant le tracé. Le type des primitives est obtenu à l'issue de la phase de segmentation. Chaque primitive est étiquetée selon son type lors de la phase de pré traitements [12].

Séquence des relations structurelles (S)

La séquence S représente les relations structurelles existant entre les primitives temporellement consécutives. L'évaluation de ces relations se base sur l'évaluation de la valeur de l'angle d_i pour chaque point caractéristique P_i entre les vecteurs Q_i et Q_{i+1} définis par les points suivant et précédant P_i :

$$d_i = (\overrightarrow{Q_i}, \overrightarrow{Q_{i+1}})$$

Avec :

$$\overrightarrow{Q_i} = \overrightarrow{P_i P_{i-1}} \text{ et } \overrightarrow{Q_{i+1}} = \overrightarrow{P_{i+1} P_i}$$

Un problème se pose tout de même. Il s'agit du problème de la connectivité des portions de tracé.

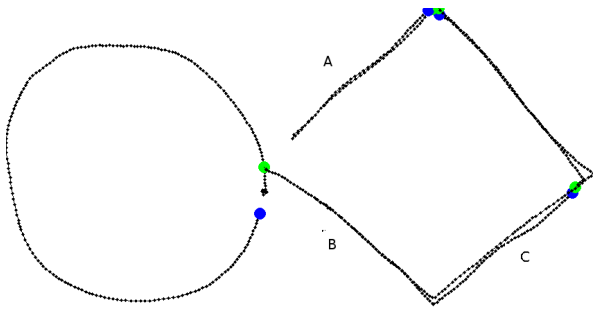


Figure n°4 : exemple de problème de connectivité de portions de tracé

Des portions de tracés censées être connectées, telles que les côtés d'un carré, ne le sont souvent pas du fait de l'imprécision du dessinateur. Prenons comme base de réflexion l'exemple présenté en figure 4 : pour la séquence de primitives ABC, sachant que la figure représente un carré, on sait que BC sont perpendiculaires. Le problème se pose cependant pour A et B. En effet, compte tenu des règles de géométrie, on sait que A et B sont "censés" être perpendiculaires, on peut d'ailleurs supposer que le dessinateur a eu comme cheminement intellectuel, même inconscient : "je trace B, la perpendiculaire à A". Bien que l'on constate que l'on pourrait effectivement considérer les segments A et B comme perpendiculaires car les droites qui les portent le sont, nous ne pouvons pas admettre cela comme règle générale. En effet les droites support (une droite support d'un segment est la droite portant ce segment) peuvent parfois être perpendiculaires sans qu'aucune relation structurelle entre les segments ne soit voulue par le dessinateur.

Comme dans le cadre de la description spatio-graphique, nous définissons une zone de rayon fixée empiriquement et considérerons que :

S'il existe deux segments dont les droites supports sont perpendiculaires et si l'un au moins des points d'un des segments se situe dans une zone de rayon r autour d'un des points caractéristiques délimitant l'autre segment, alors les deux primitives sont considérées comme perpendiculaires.

Si l'on va plus loin, on constate que le problème se posera également pour toutes les relations basées sur la connectivité, comme c'est le cas pour Obtus et Aigu. Nous étendons par conséquent notre définition pour dire que :

S'il existe deux segments dont les droites supports sont sécantes et si l'un au moins des points d'un des segments se situe dans une zone de rayon r autour d'un des points caractéristiques délimitant l'autre segment, alors les deux primitives sont considérées comme connexes.

– Perpendiculaires : deux primitives sont perpendiculaires si elles sont connexes et forment un angle de 90° à un seuil près.

– Obtus : deux primitives sont Obtuses si elles sont connexes et si elles forment un angle obtus à un seuil

près.

– Aigus : deux primitives sont Aigües si elles sont connexes si elles forment un angle aigu à un seuil près.

– Colinéaires : deux primitives consécutives sont dites colinéaires si elles sont connexes si elles forment un angle plat à un seuil près.

– Superposées : deux primitives consécutives sont dites superposées si elles sont connexes et forment un angle nul

– Parallèles : deux primitives consécutives sont dites parallèles si elles ne sont pas connexes et qu'elles forment un angle plat ou nul.

La figure 5 illustre sur des cas réels les différentes relations structurelles.

Les composants du tracé sont numérotés dans leur ordre d'apparition, les points rouges représentent les points d'intérêt. Pour la figure de gauche les primitives 1 et 2 sont Aigus, 2 et 3 ainsi que 3 et 4 seront étiquetées Colinéaires, 4 et 5 sont Obtus et enfin 5 et 6 sont notées Parallèles. Pour la figure de droite, les primitives 1 et 2 sont Perpendiculaires tandis que 2 et 3 sont Superposées, le dessinateur ayant rebroussé chemin et effectué un repassage sur le trait 2. Enfin 3 et 4 sont Perpendiculaires.

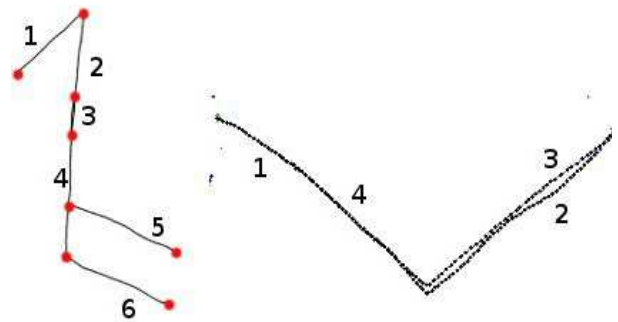


Figure n°5 : Illustration de relations structurelles entre des portions réelles de tracé

5 Mesure de dissimilarité

Une fois les procédures extraites et modélisées sous forme d'OPSRL, nous souhaitons être en mesure de calculer une distance entre deux OPSRL qui serait révélatrice de leur dissemblance. Nous ne souhaitons pas uniquement reconnaître et classifier les procédures. Nous voulons également avoir une idée du degré de dissemblance qu'elles entretiennent entre elles.

Tout d'abord, nous définissons la dissemblance entre deux OPSRL comme une somme pondérée de la dissimilarité de chacune des sous séquences O, P, T et S. Une pondération est nécessaire car, certains éléments de la stratégie peuvent être plus discriminants que d'autres, suivant les besoins de l'utilisateur. Ainsi, une variation dans l'ordre d'apparition des primitives peut être plus discriminante que le type de points caractéristiques. Une variation de l'orientation est parfois plus importante qu'une variation du sens, etc. Bien entendu, les différences que nous avançons dans l'importance de tel ou tel élément pour l'analyse procédurale d'un tracé sont purement empiriques et arbitraires. Encore une fois la méthode se veut souple, l'utilisateur de la méthode ayant toute liberté de pouvoir changer les pondérations en fonction de son

besoin et de son expertise.

Nous définissons la dissimilarité entre deux OPSRL Q et P comme la fonction f définie par la formule suivante :

$$f = K_o D_o(P;Q) + K_p D_p(P;Q) + K_s D_s(P;Q) + K_t D_t(P;Q)$$

Avec :

K_o la pondération de la séquence O,

K_p la pondération de la séquence P,

K_s la pondération de la séquence S,

K_t la pondération de la séquence T.

Et

D_o la distance entre les séquences O de P et Q,

D_p la distance entre les séquences P,

D_s la distance entre les séquences S,

D_t la distance entre les séquences T.

Nos données étant modélisées sous forme de chaînes, nous avons choisi d'utiliser une distance d'édition de type Distance de Damerau-Levenshtein.

6 Cas pratique

Afin d'illustrer le fonctionnement de notre méthode de représentation procédurale et la mesure de dissimilarité nous allons étudier un cas pratique simple. La figure 6 montre cinq figures, représentant des carrés dessinés par cinq utilisateurs différents.

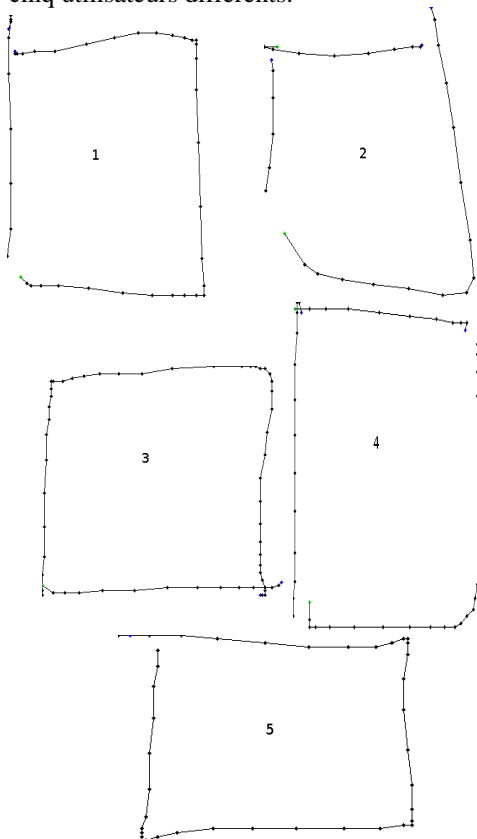


Figure n°6 : Exemples de 5 représentations de la forme « carré » tracées par 5 utilisateurs différents.

Les procédures extraites pour ces tracés sont les suivantes :

1. {V+,H+,V+,H-},{Début,L/P,Rupt,Rupt,Fin},{Per,Per,Per},{Seg,Seg,Seg,Seg}

2. {V+,H+,V+,H+},{Début,L/P,rupt,L/P,Fin},{Per,Per,Per},{Seg,Seg,Seg,Seg}

3. {V+,H+,V-,H+},{Début,rupt,rupt,L/P,Fin},{Per,Per,Per},{Seg,Seg,Seg,Seg}

4. {V+,H+,V+,H+},{Début,rupt,rupt,rupt,Fin},{Per,Per,Per},{Seg,Seg,Seg,Seg}

5. {V-,H+,V+,H-},{Posé,rupt,rupt,rupt,levé},{Per,Per,Per},{Seg,Seg,Seg,Seg}

Avant d'aller plus loin et de parler de mesure de similarité, étudions un moment ces procédures. Tous les utilisateurs ici font apparaître le même ordre d'apparition de verticales et d'horizontales : verticale, horizontale, verticale, horizontale. Si l'on se contentait dans notre mode de représentation de la procédure, de rechercher le sens sans se préoccuper de la direction, on ne pourrait faire de différence.

Mais cela ne suffit pas. En effet, on constate que la séquence O numéro 2 est similaire à la 4. Cependant la séquence P des types de points caractéristiques est différente.

Le résultat du calcul des distances d'édition entre les différentes chaînes O, P, S et T pour les 5 figures tracées est présenté dans le tableau 1.

Forme n°	1	2	3	4	5					
1	0	0	1	1	2	2	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	1	1	0	2	2	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	2	1	1	0	0	1	1	3	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	2	1	1	0	0	2	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	2	2	3	1	2	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 1 : Valeurs des mesures de dissemblance calculées entre les formes 1 à 5 pour chacune des séquences O (en haut à gauche), P (en haut à droite), S (en bas à gauche), T (en bas à droite) dans chacune des cellules (i, j) i et j indiquant le n° des formes comparées du point de vue procédural

Analysons maintenant le calcul des valeurs de dissimilarité entre les formes considérées deux à deux. Ces valeurs sont obtenues en appliquant la formule de la fonction f dans le cas où la pondération K vaut 1 pour chaque séquence O, P, T et S. Les valeurs de la

fonction f obtenues pour chaque paire de formes sont répertoriées dans le tableau 2.

Procedure number	1	2	3	4	5
1	0	2	4	2	2
2	2	0	2	2	4
3	4	2	0	2	4
4	2	2	2	0	2
5	2	4	4	2	0

Tableau 2 : Matrice des distances entre les OPSRL extraites pour les 5 tracés.

Comme nous pouvons le voir, les cinq procédures étant différentes, elles ont toutes des distances non nulles entre elles. Cependant, l'utilisation de cette méthode met en évidence l'existence, ici aussi, d'une hiérarchie dans la dissimilarité. Ainsi par exemple, si les séquences 2 et 3 diffèrent toutes deux de la 1, on constate que la 3 est plus éloignée de la 1 que ne l'est la 2. Ou encore, les séquences 2 et 3 bien que différentes entre elles, sont aussi dissemblables l'une que l'autre par rapport à la séquence 5.

Ces résultats se basent sur la procédure globale. Cependant l'expert peut parfois chercher à savoir uniquement quelle différence il y a entre les utilisateurs au niveau de leurs levers de stylo ?

On peut par exemple chercher à catégoriser les utilisateurs réalisant leurs formes en un trait et ceux levant une à plusieurs fois le stylo. Dans ce cas, il suffit de mettre à 0 les pondérations des séquences O,S,T. On retombe alors sur la matrice de distances de la séquence P (tableau 1). Sur cette matrice également, on voit émerger la hiérarchie de dissimilarité. On peut de plus tirer plusieurs analyses : par exemple les procédures 4 et 5, différentes au niveau global, sont ici similaires. Si les orientations des portions de tracés diffèrent dans l'ordre d'apparition, les utilisateurs utilisent cependant la même procédure au niveau des posers et levers de stylo : tous deux dessinent la forme d'un seul trait.

On peut aussi considérer la procédure comme l'ordre d'apparition de relations structurelles. Dans son analyse de la procédure, Jore [13] ne se soucie pas de points caractéristiques. De plus quand elle analyse l'ordre d'apparition des parties d'une figure géométrique lors de la réalisation d'un croquis, elle ne le fait pas selon leur orientation et direction, mais selon leurs propriétés géométriques. Pour utiliser notre mode de représentation dans cette situation, nous devons juste analyser l'ordre S.

Considérons maintenant trois procédures pour dessiner un carré :

1 {H+,H+,V-,V-},{Début,L/V,L/V,L/V,Fin}, {Pa,Pe,Pa}

2 {H-,H+,V+,V-},{Début,L/V,L/V,L/V,Fin}, {Pa,Pe,Pa}

3 {V+,V-,H+,H-},{Début,L/V,L/V,L/V,Fin}, {Pa,Pe,Pa}

Les procédures figurant ci-dessus sont toutes différentes puisque les séquences O (premier bloc {...}) sont différentes. Cependant, si nous regardons

seulement les séquences S qui représentent les relations structurelles, une procédure commune est perceptible : dans les trois cas, les dessinateurs construisent les côtés parallèles consécutivement.

Si on s'intéresse à la façon dont des dessinateurs planifient la construction de parties parallèles au sein de leurs représentations de formes faisant intervenir ce concept alors, les OPSRL peuvent s'avérer utiles pour l'analyse de cet aspect à partir de leurs esquisses de telles formes. Ceci, dès lors que les pondérations mises en œuvre lors de l'évaluation de la dissimilarité entre les procédures examinées sont réglées de sorte de ne considérer que les séquences S.

La représentation de procédures d'exécution de tracés par un OPSRL et l'utilisation d'une distance d'édition, couplée avec la capacité d'équilibrer le poids de chaque séquence dans le calcul de la mesure de dissimilarité permet non seulement de découvrir si ces procédures sont semblables ou différentes, mais aussi d'ordonner des procédures différentes en fonction de leurs degrés de similitude. De plus, nous pouvons nous concentrer sur un aspect particulier de la procédure, en annulant l'effet des autres lors de l'évaluation de la similitude des démarches de construction.

Ces différents aspects fondent le caractère polyvalent de cette approche.

7 Applications

Les résultats que nous présentons ici en guise de test de notre méthode portent sur l'ensemble des tracés des classes "Carré", "triangle" et "parallélogramme", de la base HHreco [14]. Les tracés que compte cette base ont été réalisés à la main levée par 19 scripteurs expérimentés en guise de reproductions des modèles de figures géométriques qui leur étaient présentés au cours de l'expérimentation. 600 exemples ont été pris en compte pour chaque classe soit un total de 1800 formes. Pour chacun de ces exemples, un OPSRL a été construit automatiquement sur la base des règles présentées dans [13]. Une description a été par ailleurs produite par un expert humain. Les résultats obtenus ont été comparés pour identifier les cas et taux d'accord entre les résultats des deux démarches, automatique et humaine, de construction des OPSRL. Le tableau 3 montre les résultats obtenus. La dernière ligne représente le pourcentage d'OPSRL automatiquement extraits par notre méthode qui était en accord avec les OPSRL construites par un observateur humain. Le taux d'accord global est égal à 91,11%.

Figure	Carré	Triangle	Parallélogramme
nb	600	600	600
%d'accord	92.6%	89.5%	91.3%

Tableau 3 : Taux d'accords entre les décisions automatiques et les décisions humaines

Pour expliquer ce taux, examinons les taux d'accord pour chacun des 19 scripteurs ayant contribué à la production des tracés qu'intègre la base HHreco. Le taux d'accord entre le résultat du traitement

automatique et celui de l'expert humain est très bon dans certain cas. Par exemple, pour les utilisateurs 6, 9, 10, 14 il est de 100 %. Il est cependant bien plus faible dans d'autres cas comme ceux des utilisateurs 5 et 15 qui sont établis respectivement à 71.14 % et 72.22 %. Pour illustrer la principale raison que nous avons pu relever comme expliquant ces taux faibles nous présentons le dessin d'un carré réalisé par un de ces deux scripteurs en figure 7.

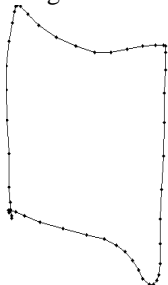


Figure n°7 : Exemple de tracé pour lequel il n'y a pas eu d'accord entre la réponse de notre méthode et l'avis de l'expert humain.

Dans cette représentation particulière du modèle « carré » fourni aux scripteurs pour être reproduit, les deux sections assimilables aux côtés horizontaux du carré à reproduire sont assimilées par notre méthode à des Obliques tandis que l'observateur humain les a qualifiées lors de la construction de son OPSRL d'Horizontales. L'examen visuel de la forme tracée à main levée qui est représentée en figure 7 nous montre que la décision du système ne peut être considérée comme inexacte. C'est seulement parce que l'observateur humain savait que le dessinateur traçait un carré qu'il a classifié ces sections comme étant des Horizontales. Une réponse analogue à celle de l'expert humain ne peut être obtenue d'un système automatique sans prise en compte d'une connaissance a priori sur la nature de la forme intégrant ces sections comme le fait Hse [14]. Sinon, le gain obtenu sur les accords de qualification des procédures lors des tracés de l'objet « carré » risque de s'accompagner d'une progression des erreurs de décision lors de l'analyse de procédures de tracés tels que ceux représentant le « parallélogramme ».

Conclusion

Dans cet article, nous avons exposé une approche qui autorise la reconnaissance et l'analyse automatique des procédures employées par des scripteurs lors du tracé de formes géométriques. Cette approche se fonde sur un descripteur structurel que nous avons choisi d'appeler OPSRL. Un OPSRL modélise la démarche d'un dessinateur sous la forme de 4 séquences dont les éléments sont temporellement ordonnés qui sont :

- L'orientation et la direction de chaque partie de la forme,
- Le type de chaque point caractéristique identifié au sein de la description spatio-temporelle acquise en ligne,
- La relation structurelle entre les parties temporellement consécutives lors de l'esquisse de la

forme,

- Le type des primitives correspondant à chaque partie de l'esquisse à main levée de la forme. Nous avons expliqué comment extraire chacune de ces 4 séquences procédurales.

La discrimination des procédures décrites au moyen d'OPSRL est opérée grâce à une mesure de dissimilarité adaptée. Celle-ci est définie comme étant la somme pondérée des distances d'édition calculable pour chacune des quatre séquences d'une OPSRL. La possibilité de réglage des facteurs de pondération permet de pouvoir prendre en considération uniquement certaines séquences, donc certains aspects de la procédure à l'exclusion des autres dont leurs facteurs de pondération sont fixés à zéro. Elle permet par ailleurs de pouvoir accorder de l'importance plus ou moins aux séquences retenues pour la discrimination de procédures d'exécution de dessins en fonction du type d'application visée.

Les premiers résultats présentés dans cet article nous paraissent prometteurs pour envisager une assistance informatique lors de l'analyse procédurale objective et reproductible d'activités graphiques dans des situations particulières d'accompagnement des apprentissages. Ce nouveau type d'assistance viendrait enrichir celle fondée sur l'analyse automatique de la forme [1] ou l'analyse manuelle déjà mise en œuvre par l'expert humain à partir des éléments qu'il peut capturer en examinant la forme du tracé final. Nous citerons comme exemple de champ possible d'application : les tâches d'évaluation de reproductions de séquences de formes graphiques élémentaires traditionnellement mises en jeu avec les petits scripteurs à la maternelle pour les préparer à l'apprentissage ultérieur de l'écriture.

Notre représentation des procédures par un OPSRL couplée à l'utilisation d'une distance d'édition, et à la capacité d'équilibrer le poids de chaque séquence dans le calcul de la dissimilarité, offre une nouvelle possibilité pour aider l'utilisateur humain à établir non seulement si les procédures sont semblables ou différentes, mais également à les classifier en fonction de leurs degrés de similitude avec une procédure donnée. Enfin, grâce au facteur K de pondération qu'il est possible d'annuler si nécessaire il est possible de se concentrer si nécessaire sur un aspect particulier de la procédure, ce qui rend la méthode polyvalente en termes d'applications possibles

Soulignons que nous avons voulu que notre méthode soit la plus générique possible. De ce fait nous avons choisi de ne pas fonder celle-ci sur la prise en compte de connaissance a priori sur la nature de la figure pour laquelle la procédure est extraite. Comme le montrait les types d'erreurs illustrés par la figure 7 ceci a pour conséquence de « fausser » le résultat obtenu par notre approche par rapport à celui attendu si on préjuge de la nature de la forme représentée et de ses éléments constitutifs. Cependant, dans le cas de la mise en œuvre de notre méthode de description procédurale une application spécifique où le fait de préjuger de la nature des formes est important, une telle connaissance peut être utilisée pour restreindre le champ des propositions possibles pour certaines des 4

séquences qu'intègre une OPSRL.

Une méthode d'analyse procédurale automatique des productions d'apprenants scripteurs fondée sur les principes exposés dans cet article présenterait a priori le double intérêt de pouvoir fournir une indication consistante sur le degré de dissemblance de procédures d'exécution et de pouvoir expliciter les facteurs de similitudes ou de dissemblance des démarches d'exécution de tracés sous une forme aisément compréhensible par l'analyste humain.

Bibliographie

- [1] N. Renau-Ferrer, C. Remi, "A Method for Visuo-Spatial Classification of Freehand Shapes Freely Sketched", in 14th International Conf. on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition, Las Vegas, 2010, pp. 216.
- [2] S. Bouaziz and A. Magnan, Contribution of the visual perception and graphic production systems to the copying of complex geometrical drawings : A developmental study, *Cognitive Development*, Vol. 22, 2007, pp5-15.
- [3] J.J. Muir, L.C. Kirk, S.C. Casey, M.K. Morris, R.D. Morris, Neuropsychological predictors of constructional abilities : Drawing and assembling, *Archives Of Clinical Neuropsychology*, Vol. 14, 1999, pp734-735.
- [4] M. C. Fairhurst, T. Linnell, S. Glénat, R. M. Guest, L. Heutte and T. Paquet, Developing a generic approach to online automated analysis of writing and drawing tests in clinical patient profiling, *Behavior Research Methods*, Vol. 40, 2008, pp290-303.
- [5] Khalid, P.I., Yunus, J. and Adnan, R. 2010. Extraction of dynamic features from hand drawn data for the identification of children with handwriting difficulty. *Research in Developmental Disabilities*, Vol. 31, pp. 256-262.
- [6] M. Djioua, R. Plamondon 2009. A Comparison of Some Analytical Models Describing the Velocity Profiles of Rapid Movements. 14th Biennial Conference of the International Graphonomics Society, IGS09, p. 221-225.
- [7] R. Plamondon, 2008. La théorie cinématique des mouvements humains rapides : développements récents. In *Dixième Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document*. (Rouen, France, October 28-30 2008),
- [8] K.R. Radhika, M.K. Venkatesha, G.N. Sekhar, Trajectory Generation Methods, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 1, No. 2, May 2009, pp. 258-260.
- [9] R. Guest, S. Chindaro, M.C. Fairhurst & J.M. Potter, "Automatic classification of hand drawn geometric shapes using constructional sequence analysis", in 7th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, Scotland, 2003, pp. 990.
- [10] T. Sezgin and R. Davis, "HMM-based efficient sketch recognition", In 10th Int. Conf. on Intelligent User Interfaces, , California, 2005, pp.281.
- [11] N. Renau-Ferrer, C. Rémi, "Automatic analysis of online-sketch based on use of local descriptors", in 14th Conf. of the International Graphonomics Society, France, 2009, pp 60
- [12] J. Yin and Z. Sun, An Online multi-stroke sketch recognition method integrated with stroke segmentation, *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 3784, 2005, pp. 803.
- [13] N. Renau-Ferrer, C. Remi, Dominant points for spatio-graphic and procedural analysis of online drawings , International Conference of the Graphonomics Society - IGS, Cancun (Mexique), June 2011.
- [14] H. Hse, M. Shilman, A. R. Newton. "Robust Sketched Symbol Fragmentation using Templates", in Int. Conf. on intelligent user interfaces, Portugal, 2004, pp. 156
- [15] F. Jore, "Analyse de tests de géométrie plane dans le cadre de la formation des futurs professeurs des écoles". *Troisièmes Rencontres Internationales A.S.I.* , 2005, pp. 199