

THÈSE

présentée par

Vincent STOCLIN

pour obtenir le grade de Docteur
de l'Université des Sciences et Technologies de Lille

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle

Développement de critères pour l'évaluation de filtres discrets de détection de contours dans les images numériques

Soutenue le 8 Décembre 2000

Président :	J.-P. Dubus	Professeur à l'U.S.T.L.
Rapporteurs :	D. Demigny	Professeur à l'ENSEA de Cergy-Pontoise
	M. Rudko	Professeur à Union Collège, Schenectady, USA
Co-Directeurs de Thèse :	J.-G. Postaire	Professeur à l'U.S.T.L.
	L. Duvieubourg	Maître de Conférences à l'U.L.C.O.
Examineur :	F. Cabestaing	Maître de Conférences à l'U.S.T.L.

Thèse préparée au Laboratoire d'Automatique I³D



NOM/PRENOM DU CANDIDAT : STOCLIN Vincent

JURY :

Président :

Jean-Paul DUBUS

Directeurs de Thèse :

Jack-Gérard POSTAIRE
Luc DUVIEUBOURG

Rapporteurs :

Didier DEMIGNY
Michel RUDKO

Membres :

François CABESTAING

TITRE DE LA THESE :

Développement de critères pour l'évaluation de filtres discrets de détection de contours dans les images numériques.

RESUME :

Dans ce mémoire, nous proposons de nouveaux critères pour l'évaluation des détecteurs discrets de détection de contours dans les images numériques. En utilisant un modèle de contour de type échelon discret nous définissons les critères de **détection**, de **localisation** et de **proximité**. Ces trois critères s'expriment simplement à partir de la réponse impulsionnelle discrète des opérateurs et s'appliquent sur les détecteurs procédant par une approche dérivative.

Le critère de détection permet de quantifier l'influence du bruit sur la réponse du détecteur à notre modèle de contour. Le critère de localisation quantifie l'écart entre la position réelle du contour et la position détectée en présence de bruit. Un modèle de contour ne présentant qu'une seule transition n'est pas très représentatif des images réelles. Afin de tenir compte de la présence d'un contour proche du contour à détecter nous définissons le critère de proximité. Il permet de fixer les limites sur l'erreur de localisation commise par le détecteur due au contour proche.

L'application de ces critères sur les filtres dérivatifs utilisant un masque de convolution (filtres RIF) ne posant aucun problème nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux détecteurs à réponse impulsionnelle infinie définis par une fonction de transfert du second ordre récursif. Pour ces détecteurs, nous exprimons nos critères en considérant les paramètres de cette fonction de transfert.

A partir de ces nouveaux critères il est possible d'évaluer les performances de l'ensemble des détecteurs discrets. Dans la partie résultat nous proposons deux méthodes d'utilisation de nos critères, l'une pour la sélection d'un filtre, l'autre pour la comparaison des détecteurs. La première approche consiste à considérer un détecteur et à déterminer les paramètres adéquats pour mettre en évidence un contour dans une configuration donnée. La seconde approche consiste à comparer à facteur d'échelle constant les différents détecteurs.

Table des matières

Remerciements	2
Introduction générale	8
Chapitre 1. La détection de contours dans une image numérique	11
1.1 Le contour dans une image numérique	11
1.2 Les filtres discrets de détection de contours	17
1.2.1 Introduction	17
1.2.2 Filtres obtenus à partir de la dérivée	19
1.2.2.1 Dérivée première	20
1.2.2.2 Dérivée seconde	22
1.2.3 Détecteurs optimaux	24
1.2.3.1 Principe de Canny	25
1.2.3.2 Détecteur de Canny	27
1.2.3.3 Filtres récursifs	28
1.3 Résumé et discussion	32
Chapitre 2. Méthodes d'évaluation des opérateurs de détection de contours	34
2.1 Introduction	34
2.2 Approche qualitative	37

2.2.1	Quelques travaux	37
2.2.2	Discussions sur l'approche qualitative	39
2.3	Approche quantitative	39
2.3.1	Mesures extraites de l'image résultat	40
2.3.1.1	Évaluation sur images réelles	40
2.3.1.2	Évaluation sur images de synthèse	41
2.3.2	Critères de performances	43
2.3.2.1	Évaluation des filtres continus	43
2.3.2.2	Évaluation des filtres discrets	46
2.3.3	Discussions sur l'approche quantitative	47
2.4	Conclusion	48
Chapitre 3. Nouveaux critères pour le domaine discret		49
3.1	Définition du signal contour	50
3.1.1	Modèle de contour discret	50
3.1.2	Présence du bruit	54
3.1.3	Présence d'un contour proche	55
3.2	Développement des critères	56
3.2.1	Critère de détection	56
3.2.1.1	Principe	56
3.2.1.2	Expression du critère	57
3.2.2	Critère de localisation	58
3.2.2.1	Principe	58
3.2.2.2	Erreur de localisation due au bruit	58

3.2.2.3	Expression du critère	59
3.2.3	Critère de proximité	60
3.2.3.1	Principe	60
3.2.3.2	Prise en compte de la configuration du contour	60
3.2.3.3	Erreur de localisation due à la présence d'un contour voisin	61
3.2.3.4	Expression du critère	63
3.3	Conclusion	64
Chapitre 4. Application des critères aux filtres récurrents du second ordre		66
4.1	Filtre du second ordre récurrent	67
4.1.1	Fonction de transfert	67
4.1.2	Normalisation des filtres	68
4.1.3	Contrainte de stabilité	69
4.1.4	Contrainte sur la réponse impulsionnelle	69
4.2	Expression des critères	71
4.2.1	Critère de détection	72
4.2.2	Critère de localisation	72
4.2.3	Critère de proximité	73
4.3	Expression des critères pour d'autres opérateurs	75
4.3.1	Filtres récurrents du premier ordre	75
4.3.2	Filtrage par masque de convolution	75
4.4	Conclusion	76
Chapitre 5. Sélection et comparaison des opérateurs de détection de contours		77
5.1	Introduction	77

5.2	Cadre des expérimentations	79
5.2.1	Paramétrage des détecteurs RII	79
5.2.2	Paramétrage des signaux	81
5.2.3	Paramétrage de l'erreur de localisation limite	84
5.3	Sélection des opérateurs	85
5.3.1	Principe de sélection d'un filtre	85
5.3.2	Sélection d'un filtre RII	86
5.3.2.1	Filtre de Deriche	86
5.3.2.2	Filtre de Shen et Castan	88
5.3.2.3	Filtres de Wan	89
5.3.3	Sélection d'un filtre R.I.F	90
5.3.3.1	Dérivée première du filtre Gaussien	91
5.3.3.2	Filtre DOB	93
5.3.4	Analyse des résultats	94
5.4	Comparaison des détecteurs	95
5.4.1	Choix d'un facteur d'échelle	95
5.4.2	Performances des détecteurs	96
5.5	Conclusion	99
	Conclusion générale	101
	Annexe A. Calcul de l'erreur sur l'échantillonnage de la dérivée	104
A.1	Échantillonnage de la dérivée et calcul de l'erreur résultante	104
A.1.1	Calcul de l'erreur	104
A.2	Synthèse d'opérateurs dérivés avec erreur préfixée	106

Annexe B. Erreur de localisation due à la présence d'un contour voisin	108
---	------------

Annexe C. Expression des critères discrets à partir des paramètres b_1 et b_2	110
--	------------

C.1 Calcul du critère de détection	110
--	-----

C.2 Calcul du critère de localisation	113
---	-----

Introduction générale

Le but d'un système de vision est de fournir, à partir d'une ou plusieurs images d'une scène réelle constituant ses entrées, une description globale ou partielle du contenu de cette scène considérée comme sortie du système. Pour cela, un système de vision effectue une succession de tâches, à plusieurs niveaux, qui permettent une transformation progressive des informations contenues dans l'image initiale vers la description de la scène.

Les frontières des objets constituent une information pertinente pour obtenir cette description. Ces frontières sont généralement caractérisées par des variations locales significatives du niveau de gris. La détection des contours a comme objectif de mettre en évidence ces variations. De nombreuses méthodes de détection de contours ont été proposées au cours de ces 25 dernières années. Dans cette thèse, nous nous intéressons plus particulièrement aux méthodes dérivatives. L'image étant disponible sous forme numérique, la dérivée est approchée par un opérateur de différenciation opérant par différences finies sur la fonction de niveau de gris.

Malheureusement, la différenciation de l'image se détériore relativement rapidement en présence de bruit. La technique dite de régularisation [PT85a], qui correspond à un lissage préalable de l'image, permet de rendre la différenciation moins sensible au bruit car le processus de lissage diminue l'influence du bruit présent dans l'image initiale. Ce schéma très classique de la détection de contours consiste donc à utiliser en cascade un filtre passe-bas pour diminuer le bruit, suivi d'un opérateur différentiel pour détecter les contours.

Comme la détection de contours est une phase de pré-traitement [Pog87], les performances de l'opérateur choisi conditionnent grandement l'efficacité et la validité des traitements ultérieurs. Le problème réside dans le choix de l'opérateur de détection de contours le plus approprié pour l'application envisagée. Une solution triviale pour effectuer ce choix, et utilisée par un grand

nombre de concepteurs de systèmes de vision, consiste à calculer des images de contours avec différents filtres, ou encore avec différents paramètres d'un même filtre, puis à comparer visuellement les résultats. Cette stratégie très intuitive résulte du fait qu'il n'existe pas d'opérateur qui soit supérieur à tous les autres pour toutes les images. Chaque opérateur possède un domaine d'application pour lequel il fournit de bons résultats.

Cependant, cette méthode de comparaison des opérateurs sur des images réelles est très subjective. Ainsi, de façon plus rigoureuse, certains auteurs proposent des protocoles de comparaison utilisant généralement des images de synthèse où l'on connaît précisément la position des contours et le rapport signal à bruit. D'autres auteurs définissent des critères mathématiques s'appliquant à la fonction de transfert du filtre qui permettent d'obtenir un filtre optimal. Ces critères, définis dans le domaine continu, conduisent à des filtres optimaux continus. Par la suite, ces filtres continus sont transposés dans le domaine discret pour être appliqués aux images numériques.

Dans cette thèse, nous proposons de définir des critères mathématiques permettant de comparer les performances des détecteurs de contours directement dans le domaine discret. Ces critères s'appliquent à la fonction de transfert discrète du filtre et concernent les méthodes de détection de contours par filtrage utilisant une différenciation de la fonction de niveau de gris.

Dans le premier chapitre, nous étudions le principe de la formation des contours dans une image suivant le processus qui les génère. Les différents types de contours sont définis dans le domaine continu et conduisent ensuite à des approximations discrètes. Nous exposons ensuite brièvement les méthodes de détection de contours et principalement les méthodes dérivatives.

Dans le second chapitre, nous effectuons une synthèse bibliographique concernant les approches permettant de comparer, ou de quantifier, les performances des opérateurs de détection de contours. Nous distinguons les approches qualitative et quantitative. Cette dernière est divisée en deux catégories, selon que les critères s'appliquent sur l'image résultat ou sur la fonction de transfert du filtre.

Dans le troisième chapitre, nous exposons notre approche qui permet d'évaluer directement les opérateurs de détection de contours. Nous proposons de travailler directement dans le do-

maine discret. Dans un premier temps, nous définissons notre modèle de contour discret puis, nous introduisons nos critères numériques d'évaluation des détecteurs de contours, applicables dès que l'on connaît la réponse impulsionnelle des filtres.

Le quatrième chapitre est consacré à l'application de ces critères aux détecteurs linéaires de contours approchant une dérivée première. Nous nous intéressons plus particulièrement aux filtres du second ordre à réponse impulsionnelle infinie.

Dans le cinquième chapitre consacré aux résultats nous proposons deux façons d'utiliser nos critères. La première approche consiste à considérer un détecteur et à déterminer les paramètres adéquats pour mettre en évidence un contour dans une configuration donnée. La seconde approche consiste à comparer l'ensemble des détecteurs ayant le même facteur d'échelle.

Enfin ce travail se termine par une conclusion générale.

Bibliographie

- [AP79] I. E. Abdou et W. H. K. Pratt. Qualitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detector. *IEEE Trans. on PAMI*, 67(5):753–763, Mai 1979.
- [BB79] D. J. Bryant et D. W. Bouldin. Evaluation of edge operators using relative and absolute grading. Dans *Proc. of the Pattern Recognition and Image Processing Conf., PRIP'79*, pages 138–145, Chicago, IL, Août 1979.
- [BS92] K. L. Boyer et S. Sarkar. Assessing the state of art in edge detection: 1992. Dans *Proc. of SPIE: Application of Artificial Intelligence X: Machine Vision and Robotics*, pages 353–362, Orlando, FL, Avril 1992.
- [Can86] J. F. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. on PAMI*, 8(6):679–698, 1986.
- [CHP97] M. Cord, F. Huet, et S. Philipp. Optimal adjusting of edge detectors to extract at best close contours. Dans *Proc. of the 10th Scandinavian Conf. on Image Analysis, SCIA'97*, pages 627–633, Lappeenranta, Finland, Juin 1997.
- [CP95] J.-P. Coquerez et S. Philipp. *Analyse d'images : filtrage et segmentation*. Masson, 1995.
- [Dav75] L. S. Davis. A survey of edge detection techniques. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 4:248–270, 1975.
- [Der87] R. Deriche. Using Canny's criteria to derive a recursively implemented optimal edge detector. *International Journal of Computer Vision*, 1(2):167–187, 1987.
- [Der90] R. Deriche. Fast algorithms for low-level vision. *IEEE Trans. on PAMI*, 12(1):78–87, 1990.
- [Der93] R. Deriche. Recursively implementing the Gaussian and its derivatives. Rapport technique, INRIA, 1993.
- [DK97] D. Demigny et T. Kamlé. A discrete expression for canny's criteria for step edge detector performance evaluation. *IEEE Trans. on PAMI*, 19(11):1199–1211, 1997.
- [FD75] J. R. Fram et E. S. Deutsch. On the quantitative evaluation of edge detection schemes and their comparisons with human performance. *IEEE Trans. on Computers*, 24(6):616–627, Juin 1975.

- [Har84] R. M. Haralick. Digital step edges from zero-crossings of second directional derivative. *IEEE Trans. on PAMI*, 6:58–68, 1984.
- [Hea96] M. D. Heath. *A robust visual method for assessing the relative performance of edge detection algorithms*. PhD thesis, University of South Florida, 1996.
- [HSSB97] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki, et K. W. Bowyer. A robust visual method for assessing the relative performance of edge detection algorithms. *IEEE Trans. on PAMI*, 19(12):1338–1359, Décembre 1997.
- [HSSB98] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki, et K. W. Bowyer. Comparison of edge detectors. *Computer Vision and Image Understanding*, 69(1):38–54, Janvier 1998.
- [Hue73] M. Hueckel. A local visual operator which recognizes edges and lines. *Journal of the ACM*, 20(4):634–647, Octobre 1973.
- [Jur64] E. I. Jury. *Theory and application of the Z-Transform method*. John Wiley, masson edition, 1964.
- [Kam94] T. Kamlé. *Implantation d'algorithmes de traitement de signaux bidimensionnels en flot de données sur Asics et circuits reconfigurables*. Thèse de l'Université, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 1994.
- [Kir71] R. Kirsch. Computer determination of the constituent structures of biomedical images. *Computer and Biomedical Research*, 4(3):315–328, 1971.
- [KR81] L. Kitchen et A. Rosenfeld. Edge evaluation using local edge coherence. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 11(9):597–605, Septembre 1981.
- [Lal98] O. Laligant. Une famille de détecteurs de contours de type Canny-Deriche. Dans *Traitements d'Images et Systèmes de Vision Artificielle, TISVA'98*, pages 19–30, Oujda, Maroc, 1998.
- [LH87] J. S. J Lee et R. Haralick. Morphological edge detection. *IEEE Journal on Robotics and Automation*, 3(2):142–155, 1987.
- [MF77] J. W. Modestino et R. W. Fries. Edge detection in noisy images using recursive digital filtering. *Computer Graphics Image Processing*, 6:409–433, 1977.
- [MH80] D. Marr et E. C. Hildreth. Theory of edge detection. *Proceedings of Royal Society of London*, 207:187–217, 1980.
- [NB86] V. S. Nalwa et T. O. Binford. On detecting edges. *IEEE Trans. on PAMI*, 8:699–714, 1986.
- [PK91] M. Petrou et J. Kittler. Optimal edge detectors for ramp edges. *IEEE Trans. on PAMI*, 13(5):483–491, 1991.
- [PM82] T. Peli et D. Malah. A study of edge detection algorithms. *Computer Graphics Image Processing*, 20(1):1–21, 1982.
- [Pog87] T. Poggio. Computer vision. Dans *Proceedings of the SPIE, Image pattern Recognition*, pages 755 : 54–62, 1987.

- [Pre70] J. M. S. Prewitt. *Object Enhancement and Extraction*, Dans *Picture Processing and Psychopictorics*, pages 75–149. B. S Lipkin and A. Rosenfeld, Academic Press, 1970.
- [PT85a] T. Poggio et V. Torre. A regularized solution to edge detection. Artificial Intelligence lab. Memo 833, Massachusetts Institute of Technology, 1985.
- [PT85b] T. A. Poggio et V. Torre. On edge detection. *IEEE Trans. on PAMI*, 8(2):147–163, Mars 1985.
- [RAK99] Vénérée RAKOTOMALALA. *Reconstruction bidimensionnelle de vaisseaux rétinienens par analyse d'images couleur de fond d'oeil*. Thèse de doctorat, Université Lille 1, decembre 1999.
- [SB91] S. Sarkar et K. L. Boyer. Optimal infinite impulse response zero crossing based edge detectors. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 53:224–243, 1991.
- [SBG96] M. Salotti, F. Bellet, et C. Garbay. Evaluation of edge detectors: Critics and proposal. Dans *Proc. of the ECCV Workshop on Performance Characteristics of Vision Algorithms, ECCV'96*, pages 81–97, Cambridge, UK, Avril 1996.
- [SCL89] T. Simchony, R. Chellapa, et Z. Lichtenstein. Pyramid implementation of optimal step conjugate search algorithms for some low level vision problems. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 19:1408–1426, 1989.
- [SDG79] K. S. Shanmugam, F. M. Dickey, et J. A. Green. An optimal frequency domain filter for edge detection in digital pictures. *IEEE Trans. on PAMI*, 1:37–49, 1979.
- [Sob70] I. E. Sobel. Camera models and machine perception. *Stanford AI*, pages 277–284, 1970.
- [Spa86] A. Spacek. Edge detection and motion detection. *Image and Vision Computing*, 4:43–56, 1986.
- [Sta87] V. J. Stanger. A comparative study of practical image segmentation techniques. Dans *Proc. of the 5th Scandinavian Conf. on Image Analysis, SCIA'87*, volume 2, Stockholm, Sweden, Juin 1987.
- [Wan96] Y. F. Wan. *Un Opérateur Hyperbolique pour la Détection de Contours dans les Images Numériques*. Thèse de l'Université, Université des Sciences et Technologies de Lille, 1996.
- [Zhu96] Q. Zhu. Efficient evaluations of edge connectivity and width uniformity. *Image and Vision Computing*, 14:21–34, 1996.