

Gray Scale Morphologyの画像処理応用サーベイ

山本 眞司 江 浩
豊橋技術科学大学 知識情報工学系

あらまし: Mathematical Morphologyの画像処理応用に関する最近の文献検索を行った。既存データベースおよび筆者の手作業により、主として最近5カ年分(一部それ以前を含む)、合わせて123件のリストを作成した。

次いでこれを大きく6系統に分類し、そのうち、Gray Scaleで、かつ応用に関する分野の興味ある文献についてごく簡単な紹介を行った。

キーワード: マセマティカル・モルフォロジー, 画像処理, グレースケール・モルフォロジー

A survey of image processing by gray scale morphology

Shinji Yamamoto and Hao Jiang
Knowledge-based Information Engineering Department
Toyohashi University of Technology

Abstract: Recent papers (mainly in these 5 years) on image processing by mathematical morphology are retrieved and surveyed.

123 papers are gathered and classified into 6 categories. And brief explanations are made for some application-oriented papers of gray scale morphology.

Keywords: Mathematical morphology, Image processing, Gray scale morphology

1. まえがき

Mathematical Morphology (M.M.)の研究は、過去10年ほどの間に長足の進歩を遂げ、今なお研究が盛んに行われている。本報告はこのM.M.研究の動向、特にGray Scale M.M.の画像処理応用の動向を探るため、主として最近5カ年の文献検索を行い整理してみた。本調査は、静岡大学阿部圭一教授の勧めにより実施したものであるが、調査期間がごく短期間であったため、残念ながら内容の詳細な検討を完了するに至らなかった。とりえず文献リストの整理とおおざっぱな分類を行っており、今後の詳細調査のための第1ステップを踏むに止まったことをあらかじめご容赦いただきたい。

2. 検索の範囲、条件

検索の範囲をGray Scaleに限定するのはなかなか難しいので、結局M.M.全般にわたって行った。検索手段は下記2系統で行い、最終的に両者を合成した。

(1) 既存データベースの利用

- ・データベース名； NACSIS-IR, およびJOIS
 - ・キーワード； (M.M.)*(Image processing)
 - ・期間； 1989～1994 (4月1日現在)
 - ・抽出件数； NACSIS-IRが89件, JOISが159件。
- 上記をタイトル名で選別し、計82件に限定。

(2) マニュアル検索

・下記17雑誌の5年分 (*印の雑誌は10年分)を追調査し、上記(1)による検索漏れを補完。

さらに孫引きにより、1989以前の重要論文を追加。

- ・調査雑誌名； CVGIP*, CVGIP-IU, IEEEのAES, ASSP, BE, IP, MI, PAMI*, IEICEのIS, の各誌, Proc. IEEE, PR, SP, 情処研報, 信学技報, 信学論*, 信学誌, 計測制御論。なお、略号の意味は後述。
- ・抽出件数； 41件。

(1)と(2)合わせて、合計123件。

3. 全般的傾向

検索した論文リストは筆頭著者のアルファベット順に整理し、またすべて発表年を付記した。

この123件の論文を表1に示すように大きく6系統に分類した。すなわち、縦軸には2値(Binary)のM.M.と多値(Gray Scale)のM.M.に分け、横軸には理論またはアルゴリズム(実証実験を含む)、応用、サーベイないし解説、の3系統に分類した。この分類は論文によってはなかなか難しいものがあるので、およその目安程度に考えたい。特に横軸の系統はあいまいさの残る論文が散見される。なお、縦軸で、2値、多値両方に触れている文献は多値の側に統一した。ま

た、code labelled画像を扱った論文は2値側に入れた。

主として最近5カ年とすることで検索したため、やはり、多値のM.M.に関する文献が多くなっていることがわかる。特に、今回の主題である応用に関しては、医用応用やリモートセンシング分野で比較的多くの発表があることが注目される。それに反して、Industrial InspectionやRobotics, Human Interface等の分野での発表が少ないのは意外であった。もっとも論文の表題に表れていないだけで、実際には盛んに使われている可能性もあるので、この結果だけで判断するのは危険かもしれないが。

なお、文献リストには参考までに上記分類を $[\alpha, \beta]$ の形式で入れておいた。 α としては、B, G, およびB/Gで表記した。B/Gは2値、多値両方を含む場合である。 β としては、T, T/E, A, およびSで表記した。Tは理論、T/Eは実験を含むアルゴリズム系、Aは応用、Sはサーベイ、及び解説である。

また、M.M.に適した専用のハードウェアの開発も進められているが、これに関係した論文には、特に(ハード)という表記を追加しておいた。

文献リスト内の論文名略号の意味はリストの前にまとめておいた。また文献リストの後に参考著書をおいたが、これは私の手元に現在ある著書と言う意味で、必ずしもM.M.に関する発行済み図書のすべてを調査した訳ではない。

以下では多値の応用例のうち、私が興味を持った2～3の事柄について簡単にコメントする。

4. トピックス

4. 1 構造要素に対する工夫

M.M.では、原画像に作用させる関数(フィルタ)のことを構造要素と呼んでいるが、この構造要素を対象画像向きに工夫する研究が多い。

その一例が画像中の孤立性陰影の抽出を狙ったquoitフィルターであり(Isobe-93, Yamamoto-93-1,2), フィルタ形状(実際はフィルタの定義域)を工夫することにより肺癌、乳癌などの抽出に成功している。

フィルタリング処理としてもっとも良く用いられる(効果が大)のはオープニング処理、または原画像とオープニング画像との差画像を作る、いわゆるトップハット処理であるが、これらに対する改良も色々試みられている(Jin-92,93, Kraske-92, Safa-89, Vincent-93)。特に線状部分と点状部分(孤立性、塊状)を明確に区別して抽出する手法として、4方向ないし8方向の1次元構造要素を用意し、それらとの処理画像の最大、最小をとる処理などが頻繁に用いられている。

また、構造要素を1画面全域で一定にするのでなく、画像の性質に応じて適応的に可変にする研究も始

まっており、今後の発展が期待される(Verley-93).
 さらに、画像理解におけるトップダウン(モデルベース)とボトムアップ(画像処理)手法相互間に存在する処理系のギャップがよく問題になるが、3次元のモデル形状をM.M.の構造要素(の定義域)そのものにしてしまうことにより、両者のギャップを埋める試みも行われている(Jiang-93,Matsunoshita-93).

4. 2 2値画像への変換に対する工夫

文字認識など本来2値である画像に対するしきい値設定法への応用も行われており、悪条件の照明系でも効果を上げ始めている。処理法としては、スケルトン処理(Cheng-92-2)、トップハット処理(Takahashi-90,93)が用いられている。

4. 3 ピラミッド型のM. M.

マルチレゾリューションのいわゆるピラミッドタイプのM.M.研究も幾つかあるが、これをプリント回路の

検査に応用したところ、いわゆるガウシアン-ラプラシアンフィルタより結果が良いと言う報告もある(Seaton-92).

5. あとがき

以上、大ざっぱなサーベイに終わってしまったが、今後理論、アルゴリズム部分も含めて内容を深めていきたい。また、既に十分調査されている方がおられるかもしれないが、その場合はその旨お知らせいただき、上記報告の誤り部分などをご教示頂ければ幸いです(電子メール; yamamoto@white.tutkie.tut.ac.jp).

表1 論文の分類

	理論, アルゴリズム (T, T/E)	応用 (A)	サーベイ, 解説 (S)
2 値 (B)	Deguchi-94, Dougherty-90-2, Dougherty-91, Dougherty-92-1, Gong-88, Haralick-88-2, Imiya-93, Jang-90, Ji-92, Kelly-93, Maragos-86, Maragos-90-3, Mathew-93, Pitas-87, Pitas-90, Roerdink-88, Sahasrabudhe-90, Shih-92-1, Shih-92-2, Shih-92-3, Shoji-91, Takuma-93, Talbot-92, Toczay-92, Trahanias-92, Xu-91, Zhuang-86	<u>Medical Imaging:</u> Acharya-88, Brummer-93, Jin-93 <u>Remote Sensing:</u> Daida-91 <u>Industrial Inspection:</u> Shapiro-87 <u>Document Analysis:</u> Bloomberg-92, Concepcion-92, Go-92, Yamada-93 <u>Hardware:</u> Diamantaras-90, Kojima-93, Shih-89 <u>Others:</u> Chen-89, Liang-93, Postaire-93, Yoda-93	Vincent-89,
多値 (G)	Asada-93, Banon-93, Bleau-92-1, Bleau-92-2, Bloch-93, Brockett-92, Cheng-92-1, Crimmins-85, Davidson-93, Dougherty-90-1, Dougherty-92-2, Gader-90, Gader-91, Haralick-87, Haralick-89, Heijmans-90, Heijmans-91, Hsueh-92, Jeulin-89, Kraus-91, Maragos-87-1, Maragos-87-2, Maragos-89-1, Maragos-89-2, Maragos-90-1, Morales-90, Preston-90-1, Preston-90-2, Ronse-90, Ronse-91, Shih-91, Shih-92-4, Sinha-92-1, Sinha-92-2, Yang-93	<u>Medical Imaging:</u> Isobe-93, Jiang-93, Jin-90, Jin-92, Klingler-88, Matsunoshita-93, Skolnick-86, Sternberg-83, Vincent-91, Vincent-93, Yamamoto-93-1, Yamamoto-93-2 <u>Remote Sensing:</u> Boulanger-90, Esselman-87, Kraske-92, Safa-89, Soille-90, Verly-93, <u>Industrial Inspection:</u> Kuczborski-89, Seaton-92, <u>Document Analysis:</u> Cheng-92-2, Takahashi-90, Takahashi-93, <u>Hardware:</u> Lin-92, Wendt-86, <u>Others:</u> Demin-91, Meyer-86, Pei-91, Pei-92,	Flouzat-89, Haralick-88-1, Mase-91, Meyer-89-1, Meyer-89-2, Meyer-90, Noble-92, Preston-90-3, Preston-91, Schmitt-89, Serra-86, Serra-92, Sternberg-86, Ueda-91

Abbreviations:

B: Binary Morphology
G: Gray Scale Morphology
T: Theory
T/E: Algorithm & Experiment
A: Application
S: Survey & Review

CVGIP

Computer Vision, Graphics, and Image Processing

CVGIP: IU

CVGIP: Image Understanding

CSSP

Circuits Systems Signal Process

IEEE Trans. MI

IEEE Transaction on Medical Imaging

IEEE Trans. PAMI

IEEE Transaction on Pattern Analysis
and Machine Intelligence

IEEE Trans. AES

IEEE Transaction on Aerospace and
Electronic Systems

IEEE Trans. ASSP

IEEE Transaction on Acoustics, Speech,
and Signal Processing

IEEE Trans. BE

IEEE Transaction on Biomedical Engineering

IEEE Trans. IP

IEEE Transaction on Image Processing

IEICE Trans. IS

IEICE Transaction on Information and Systems

IJPRAI

International Journal of Pattern Recognition
and Artificial Intelligence

IVC

Image and Vision Computing

JVCIR

Journal of Visual Communication and
Image Representation

Opt. Eng.

Optical Engineering

Proc. IEEE

Proceedings of the IEEE

Proc. IEEE ISCS

Proc. IEEE International Symposium
on Circuits and Systems

Proc. IEEE ICASSP

Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech
and Signal Process.

Proc. ICPR

Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition

Proc. ICCV

Proc. Int. Conf. on Computer Vision

PR

Pattern Recognition

PRL

Pattern Recognition Letters

SP

Signal Processing

情処研報

情報処理学会研究会報告

信学技報

電子情報通信学会研究会報告

信学論

電子情報通信学会論文誌

信学誌

電子情報通信学会誌

計測制御論

計測自動制御学会論文集

Bibliography:

Acharya-88 [B,A]

R.S.Acharya and R.Laurette: Mathematical morphology
for 3-D image analysis, Proc. 1988 IEEE ICASSP,
Vol.2, pp.952-955, 1988

Asada-93 [G,T/E]

浅田卓哉, 井宮 淳, 市川 薫: 集合演算による
濃淡画像の解析とその記述, 情処研報, CV-85-2,
pp.9-16,1993

Banon-93 [G,T]

G.J.F.Banon and J.Barrera: Decomposition of mappings
between complete lattices by mathematical morphol-
ogy, Part I. General lattices, SP, Vol.30, No.3, pp.299-
327, 1993

Bleau-92-1 [G,T/E]

A.Bleau, J.Guise and A-R.LeBlanc: A new set of fast al-
gorithms for mathematical morphology, I. Idempotent
geodesic transform, CVGIP: IU, Vol.56, No.2, pp.178-
209, 1992

Bleau-92-2 [G,T/E]

A.Bleau, J.Guise and A-R.LeBlanc: A new set of fast al-
gorithms for mathematical morphology, II. Identifica-
tion of topographic features on grayscale images, CVGIP:
IU, Vol.56, No.2, pp.210-229, 1992

Bloch-93 [G,T]

I.Bloch: Fuzzy connectivity and mathematical morphol-
ogy, PRL, Vol.14, No.6, pp.483-488, 1993

Bloomberg-92 [B,A]

D.S.Bloomberg: Multiresolution morphological analysis
of document images, Proc. SPIE, Vol.1818, part.2,
pp.648-662, 1992

Boulanger-90 [G,A]

P.Boulanger, F.Blais P.Cohen: Detection of depth and
orientation discontinuities in range images using math-
ematical morphology, Proc.10th ICPR, Vol.1, pp.729-
732, 1990

Brockett-92 [G,T/E]

R.W.Brockett and P.Maragos: Evolution equations for
continuous-scale morphology, Proc. 1992 IEEE
ICASSP, Vol.3, pp.125-128, 1992

Brummer-93 [B,A]

M.E.Brummer, R.M.Mersereau, R.L.Eisner and
R.R.J.Lewine: Automatic detection of brain contours in
MRI data sets, IEEE Trans. MI, Vol.12, No.2, pp.153-
166, 1993

- Chen-89 [B,A]
M-H.Chen and P-F.Yan: A multiscale approach based on morphological filtering, IEEE Trans. PAMI, Vol.11, No.7, pp.694-700, 1989
- Cheng-92-1 [G,T]
F.Cheng and A.N.Venetsanopoulos: Feature oriented image sequence processing and 3-D adaptive morphology -- formulation and properties, Proc. 1992 IEEE ISCS, Vol.6, pp.2633-2636, 1992
- Cheng-92-2 [G,A]
J-C.Cheng and H-S.Don: Segmentation of bilevel images using mathematical morphology, IJPRAI, Vol.6, No.4, pp.595-628, 1992
- Concepcion-92 [B,A]
V.P.Concepcion and M.P.Grzech: Using morphology and associative memories to associate salt-and pepper noise with OCR rates in document images, Proc. SPIE, Vol.1661, pp.18-26, 1992
- Crimmins-85 [B/G,T]
T.R.Crimmins and W.M.Brown: Image algebra and automatic shape recognition, IEEE Trans. AES, Vol.21, No.1, pp.60-69, 1985
- Daida-91 [B,A]
J.M.Daida and J.F.Vesecky: Mathematical morphology for automated analysis of remotely sensed objects in radar images, IGARSS-1991, Vol.3, pp.1795-1799, 1991
- Davidson-93 [G,T/E]
J.L.Davidson and F.Hummer: Morphology neural networks: An introduction with applications, CSSP, Vol.12, No.2, pp.177-210, 1993
- Deguchi-94 [B,T/E]
出口光一郎, 篠沢恭子, 森下 巖: Morphologyによる図形分解における構造化要素の評価法, 計測制御論, Vol.30, No.2, pp.240-242, 1994
- Demin-91 [G,A]
W.Demin, V.Haese-Coat and A.Bruno: Adaptive segmentation of textures using mathematical morphology, Proc. 1991 IEEE ICASSP, Vol.4, pp.2685-2688, 1991
- Diamantaras-90 [B,A] (ハード)
K.I.Diamantaras, K.H.Zimmermann and S.Y.Kung: Integrated fast implementation of mathematical morphology operations in image processing, Proc. 1990 IEEE ISCS, Vol.2, pp.1442-1445, 1990
- Dougherty-90-1 [G,T]
E.R.Dougherty: Characterization of gray-scale morphological granulometries, Proc. SPIE, Vol.1350, pp.129-137, 1990
- Dougherty-90-2 [B,T]
E.R.Dougherty: Hausdorf-metric interpretation of convergence in the Matheron topology for binary mathematical morphology, Proc. ICPR, Vol.1, pp.870-875, 1990
- Dougherty-91 [B,T/E]
E.R.Dougherty: Conditional-expectation-based implementation of the optimal mean-square binary morphological filter, Proc. SPIE, Vol.1451, pp.137-147, 1991
- Dougherty-92-1 [B,T/E]
E.R.Dougherty: Optimal mean-square N-observation digital morphological filters, I. Optimal binary filters, CVGIP: IU, Vol.55, No.1, pp.36-54, 1992
- Dougherty-92-2 [G,T]
E.R.Dougherty: Optimal mean-square N-observation digital morphological filter, II. Optimal gray-scale filters, CVGIP: IU, Vol.55, No.1, pp.55-72, 1992
- Esselman-87 [G,A]
T.R.Esselman and J.G.Verly: Some applications of mathematical morphology to range imagery, Proc. 1987 IEEE ICASSP, Vol.1, pp.245-248, 1987
- Flouzat-89 [G,S]
G.Flouzat: Review on image analysis with mathematical morphology in remote sensing, IGARSS-1989, Vol.4, pp.2424-2429, 1989
- Gader-90 [G,T]
P.D.Gader and S.Takriti: Decomposition techniques for gray-scale morphological templates, Proc. SPIE, Vol.1350, pp.431-442, 1990
- Gader-91 [G,T/E]
P.D.Gader: Separable decomposition and approximation of greyscale morphological templates, CVGIP: IU, Vol.53, pp.288-296, 1991
- Go-92 [B,A]
呉世正, 祁巍, 朱青, 富永英義: モルフォロジーと漢字の構造解析, 1992画像電子学会年大予稿集, pp.13-17, 1992
- Gong-88 [B,T]
W.Gong: On decomposition of structure element for mathematical morphology, Proc. 9th ICPR, Vol.2, pp.836-838, 1988
- Haralick-87 [B/G,T/E,S]
R.M.Haralick, S.R.Sternberg and X.Zhuang: Image analysis using mathematical morphology, IEEE Trans. PAMI, Vol.9, No.4, pp.532-550, 1987
- Haralick-88-1 [B/G,S]
R.M.Haralick: Mathematical morphology and computer vision, Proc.22nd Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers, pp.468-479, 1988
- Haralick-88-2 [B,T]
R.M.Haralick, X.Zhuang, C.Lin and J.Lee: Digital morphological sampling theorem, Proc. 1988 IEEE ISCS, pp.2789-2793, 1988
- Haralick-89 [B/G,T/E]
R.M.Haralick, X.Zhuang, C.Lin and J.S.J.Lee: The digital morphological sampling theorem, IEEE Trans. ASSP, Vol.37, No.12, pp.2067-2090, 1989
- Heijmans-90 [B/G,T]
H.J.A.M.Heijmans and C.Ronse: The algebraic basis of mathematical morphology, I. Dilations and erosions, CVGIP, Vol.50, No.3, pp.245-295, 1990
- Heijmans-91 [G,T]
H.J.A.M.Heijmans: Theoretical aspects of gray-scale morphology, IEEE Trans. PAMI, Vol.13, No.6, pp.568-582, 1991
- Hsueh-92 [G,T/E]
Y-C.Hsueh: Mathematical morphology on l-images, SP, Vol.26, No.2, pp.221-241, 1992
- Imiya-93 [B,T]
A.Imiya, K.Wada and T.Nakamura: Coded morphology for labelled pictures, IEICE Trans. IS, Vol.E76-D, No.4, pp.411-419, 1993
- Isobe-93 [G,A]
磯部義明, 大久保なつみ, 山本真司, 鳥脇純一

- 郎, 小畑秀文: 孤立性陰影抽出用Quoitフィルタの性質とその乳癌X線陰影抽出への応用, 信学論D-II, Vol.J76-D-II, No.2, pp.279-287, 1993
- Jang-90 [B,T]
B-K.Jang and R.T.Chin: Analysis of thinning algorithms using mathematical morphology, IEEE Trans. PAMI, Vol.12, No.6, pp.541-551, 1990
- Jeulin-89 [G,T]
D.Jeulin: Morphological modeling of images by sequential random functions, SP, Vol.16, No.4, pp.403-431, 1989
- Ji-92 [B,T/E]
L.Ji and J.Piper: Fast homotopy-preserving skeletons using mathematical morphology, IEEE Trans. PAMI, Vol.14, No.6, pp.653-664, 1992
- Jiang-93 [G,A]
H.Jiang, M.Imao and S.Yamamoto: Top-down image recognition system TOPS and its application to 3D images of head MRI, Proc. Asian Conf. Computer Vision'93, pp.499-502, 1993
- Jin-90 [G,A]
金華榮, 松本一男, 小畑秀文: 構造線解析及び数理形態学的解析に基づく乳癌の自動診断—腫瘍陰影候補領域の抽出—, 信学技報, PRU-90-130, pp.33-38, 1990
- Jin-92 [G,A]
金華榮, 小畑秀文: 多重構造要素を用いたモルフォロジーフィルタによる微小石灰化画像の抽出, 信学論D-II, Vol.J75-D-II, No.7, pp.1170-1176, 1992
- Jin-93 [B,A]
金華榮, 小畑秀文: 乳房X線像における悪性腫瘍影の自動検出, 信学論D-II, Vol.J76-D-II, No.2, pp.288-295, 1993
- Kelly-93 [B,T/E]
P.A.Kelly and F.Chen: Iterative segmentation algorithms using morphological operations, Proc. 1993 IEEE ICASSP, Vol.5, pp.49-52, 1993
- Klingler-88 [G,A]
J.W.Klingler, Jr, C.L.Vaughan, T.D.Fraker, Jr and L.T.Andrews: Segmentation of echocardiographic images using mathematical morphology, IEEE Trans. BE, Vol.35, No.11, pp.925-934, 1988
- Kojima-93 [B,A] (ハード)
小島昭二, 海老澤嘉伸, 宮川達夫: 大きな構造要素が使える画像の高速モルフォロジーハードウェア, 信学論D-II, Vol.D-II-J76, No.6, pp.1106-1113, 1993
- Kraske-92 [G,A]
W.F.Kraske: Resolvable analysis and synthesis of synthetic aperture radar imagery, Proc. SPIE, Vol.1826, pp.317-326, 1992
- Kraus-91 [G,T]
E.J.Kraus: Domain variant gray scale morphology, Proc. SPIE, Vol.1451, pp.171-178, 1991
- Kuczborski-89 [G,A]
W.Kuczborski and Y.Attikiouzel: Visual inspection system based on the gray scale morphology, Proc. SPIE, Vol.1197, pp.35-42, 1989
- Liang-93 [B,A]
E-H.Liang and E.K.Wong: Hierarchical algorithms for morphological image processing, PR, Vol.26, No.4, pp.511-529, 1993
- Lin-92 [G,A] (ハード)
R.Lin and E.K.Wong: Logic gate implementation for gray-scale morphology, PRL, Vol.13, No.7, pp.481-487, 1992
- Maragos-86 [B,T/E]
P.A.Maragos and R.W.Schafer: Morphological skeleton representation and coding of binary images, IEEE Trans. ASSP, Vol.34, No.5, pp.1228-1244, 1986
- Maragos-87-1 [G,T/E]
P.Maragos and R.W.Schafer: Morphological filters -- Part I: Their set-theoretic analysis and relations to linear shift-invariant filters, IEEE Trans. ASSP, Vol.35, No.8, pp.1153-1169, 1987
- Maragos-87-2 [G,T/E]
P.Maragos and R.W.Schafer: Morphological filters -- Part II: Their relations to median, order-statistic, and stack filters, IEEE Trans. ASSP, Vol.35, No.8, pp.1170-1184, 1987
- Maragos-89-1 [G,T]
P.Maragos: A representation theory for morphological image and signal processing, IEEE Trans. PAMI, Vol.11, No.6, pp.586-599, 1989
- Maragos-89-2 [G,T/E]
P.Maragos: Pattern spectrum and multiscale shape representation, IEEE Trans. PAMI, Vol.11, No.7, pp.701-716, 1989
- Maragos-90-1 [G,T/E]
P.Maragos and R.D.Ziff: Threshold superposition in morphological image analysis systems, IEEE Trans. PAMI, Vol.12, No.5, pp.498-504, 1990
- Maragos-90-2 [B/G,S]
P.Maragos and R.W.Schafer: Morphological systems for multidimensional signal processing, Proc. IEEE, Vol.78, No.4, pp.690-710, 1990
- Maragos-90-3 [B,T]
P.Maragos: Affine morphology and affine signal models, Proc. SPIE, Vol.1350, pp.31-43, 1990
- Mase-91 [B/G,S]
間瀬 茂, 上田修功: モルフォロジーと画像解析 - I -, 信学誌, Vol.74, No.2, pp.166-174, 1991
- Mathew-93 [B,T/E]
A.V.Mathew, E.R.Dougherty and V.Swarnakar: Efficient derivation of the optimal mean-square binary morphological filter from the conditional expectation via a switching algorithm for discrete power-set lattice, CSSP, Vol.12, No.3, pp.409-430, 1993
- Matsunoshita-93 [G,A]
松野下純一, 赤松茂男, 山本眞司: トップダウン型画像認識システムTOPSとそのMRI画像認識への応用, 信学論D-II, Vol.J76-D-II, No.2, pp.304-314, 1993
- Meyer-86 [G,A]
F.Meyer: Automatic screening of cytological specimens, CVGIP, Vol.35, No.3, pp.356-369, 1986
- Meyer-89-1 [G,S]
F.Meyer and J.Serra: Contrasts and activity lattice, SP, Vol.16, No.4, pp.303-317, 1989

- Meyer-89-2 [G,S]
F.Meyer: Skeletons and perceptual graphs, SP, Vol.16, No.4, pp.335-363, 1989
- Meyer-90 [G,S]
F.Meyer and S.Beucher: Morphological segmentation, JVCIR, Vol.1, No.1, pp.21-46, 1990
- Morales-90 [G,T/E]
A.Morales and R.Acharya: Non-linear multiscale filtering using mathematical morphology, Proc. SPIE, Vol.1247, pp.169-181, 1990
- Noble-92 [G,S]
J.A.Noble: Images as functions and sets, IVC, Vol.10, No.1, pp.19-29, 1992
- Pei-91 [G,A]
S.C.Pei and F.C.Chen: Subband decomposition of monochrome and color images by mathematical morphology, Opt. Eng., Vol.30, No.7, pp.921-933, 1991
- Pei-92 [G,A]
S.-C.Pei and F.-C.Chen: 3-D spatiotemporal subband decomposition of image sequences by mathematical morphology, Proc. 1992 IEEE ISCS, Vol.5, pp.2489-2492, 1992
- Pitas-87 [B,T/E]
I.Pitas and A.N.Venetsanopoulos: Shape decomposition by mathematical morphology, Proc. 1st ICCV, pp.621-625, 1987
- Pitas-90 [B,T/E]
I.Pitas and A.N.Venetsanopoulos: Morphological shape decomposition, IEEE Trans. PAMI, Vol.12, No.1, pp.38-45, 1990
- Postaire-93 [B,A]
J-G.Postaire, R.D.Zhang and C.Lecocq-Botte: Cluster analysis by binary morphology, IEEE Trans. PAMI, Vol.15, No.2, pp.170-180, 1993
- Preston-90-1 [G,T/E] (ハ-ド)
K.Preston,Jr: Fundamentals of three-dimensional mathematical morphology, Proc. 10th ICPR, Vol.2, pp.422-425, 1990
- Preston-90-2 [G,T/E]
K.Preston,Jr: Three-dimensional mathematical morphology algorithms, Proc. SPIE, Vol.1246, pp.190-195, 1990
- Preston-90-3 [G,S]
K.Preston,Jr: Three-dimensional mathematical morphology applications, Proc. SPIE, Vol.1247, pp.134-144, 1990
- Preston-91 [G,S]
K.Preston,Jr: Three-dimensional mathematical morphology, IVC, Vol.9, No.5, pp.285-295, 1991
- Roerdink-88 [B,T]
J.B.T.M.Roerdink and H.J.A.M.Heijmans: Mathematical morphology for structures without translation symmetry, SP, Vol.15, No.3, pp.271-277, 1988
- Ronse-90 [G,T]
C.Ronse: Why mathematical morphology needs complete lattices, SP, Vol.21, No.2, pp.129-154, 1990
- Ronse-91 [G,T]
C.Ronse and H.J.A.M.Heijmans: The algebraic basis of mathematical morphology, II. Openings and closings, CVGIP: IU, Vol.54, No.1, pp.74-97, 1991
- Safa-89 [G,A]
F.Safa and G.Flouzat: Speckle removal on radar imagery based on mathematical morphology, SP, Vol.16, No.4, pp.319-333, 1989
- Sahasrabudhe-90 [B,T/E]
S.C.Sahasrabudhe and S.Banerjee: Morphological shape descriptor, Proc. SPIE, Vol.1350, pp.56-67, 1990
- Schmitt-89 [G,S]
M.Schmitt: Mathematical morphology and artificial intelligence: An automatic programming system, SP, Vol.16, No.4, pp.389-401, 1989
- Seaton-92 [G,A]
J.Seaton and A.L.Abbott: A comparison of multiresolution morphological and Laplacian techniques for automated inspection, Proc. SPIE, Vol.1708, pp.789-800, 1992
- Serra-86 [B/G,S]
J.Serra: Introduction to mathematical morphology, CVGIP, Vol.35, No.3, pp.283-305, 1986
- Serra-92 [B/G,S]
J.Serra and L.Vincent: An overview of morphological filtering, CSSP, Vol.11, No.1, pp.47-108, 1992
- Shapiro-87 [B,A]
L.G.Shapiro, R.S.MacDonald and S.R.Sternberg: Ordered structural shape matching with primitive extraction by mathematical morphology, PR, Vol.20, No.1, pp.75-90, 1987
- Shih-89 [B,A]
F.Y.-C.Shih and O.R.Mitchell: Threshold decomposition of gray-scale morphology into binary morphology. IEEE Trans. PAMI, Vol.11, No.1, pp.31-42, 1989
- Shih-91 [G,T/E]
F.Y.-C.Shih and O.R.Mitchell: Decomposition of gray-scale morphological structuring elements, PR, Vol.24, No.3, pp.195-203, 1991
- Shih-92-1 [B,T/E]
F.Y.-C.Shih and O.R.Mitchell: A mathematical morphology approach to Euclidean distance transformation, IEEE Trans. IP, Vol.1, No.2, pp.197-204, 1992
- Shih-92-2 [B,T]
F.Y.Shih and C.C.Pu: Morphological shape description using geometric spectrum on multidimensional binary images, Proc. SPIE, Vol.1818, pp.907-918, 1992
- Shih-92-3 [B,T]
F.Y.Shih and C.C.Pu: Morphological shape description using geometric spectrum on multidimensional binary images, PR, Vol.25, No.9, pp.921-927, 1992
- Shih-92-4 [G,T]
F.Y.Shih and H.Wu: Optimization on Euclidean distance transformation using grayscale morphology, JVCIR, Vol.3, No.2, pp.104-114, 1992
- Shoji-91 [B,T/E]
K.Shoji: Quadtree decomposition of binary structuring elements, Proc. SPIE, Vol.1451, pp.148-157, 1991
- Sinha-92-1 [G,T]
D.Sinha and E.R.Dougherty: An intrinsically fuzzy approach to mathematical morphology, Proc. SPIE, Vol.1607, pp.477-488, 1992
- Sinha-92-2 [G,T]
D.Sinha and E.R.Dougherty: Fuzzy mathematical mor-

- phology, JVCIR, Vol.3, No.3, pp.286-302, 1992
- Skolnick-86 [G,A]
M.M.Skolnick: Application of morphological transformation to the analysis of two-dimensional electrophoretic gels of biological materials, CVGIP, Vol.35, No.3, pp.306-332, 1986
- Soille-90 [G,A]
P.J.Soille and M.M.Ansoult: Automated basin delineation from digital elevation models using mathematical morphology, SP, Vol.20, No.2, pp.171-182, 1990
- Sternberg-83 [G,A] (ハード)
S.R.Sternberg: Biomedical image processing, IEEE Computer, Vol.16, No.1, pp.22-34, 1983
- Sternberg-86 [G,S]
S.R.Sternberg: Grayscale morphology, CVGIP, Vol.35, No.3, pp.333-355, 1986
- Takahashi-90 [G,A]
高橋裕子: 影の中の文字抽出, 情処研報, CV-67-1, pp.1-6, 1990
- Takahashi-93 [G,A]
Y.Takahashi, A.Shio and K.Ishii: Morphology based thresholding for character extraction, IEICE Trans. IS, Vol.E76-D, No.10, pp.1208-1215, 1993
- Takuma-93 [B,T/E]
詫間直樹, 出口光一郎, 森下 巖: Morphological Skeletonを用いた図形分割法, 計測制御論, Vol.29, No.11, pp.1361-1368, 1993
- Talbot-92 [B,T/E]
H.Talbot and L.M.Vincent: Euclidean skeletons and conditional bisectors, Proc. SPIE, Vol.1818, part 2, pp.862-876, 1992
- Tocnaye-92 [B,T]
J-L.De Bougrenet De La Tocnaye and N.A.Hillio: Optical modeling of mathematical morphology: A link between convolution of images, dilation and erosion, SP, Vol.26, No.2, pp.243-246, 1992
- Trahanias-92 [B,T/E]
P.E.Trahanias: Binary shape recognition using the morphological skeleton transform, PR, Vol.25, No.11, pp.1277-1288, 1992
- Ueda-91 [B/G,S]
上田修功, 間瀬 茂: モルフォロジーと画像解析 - II -, 信学誌, Vol.74, No.3, pp.271-279, 1991
- Verly-93 [G,A]
J.G.Verly and R.L.Delanoy: Adaptive mathematical morphology for range imagery, IEEE Trans. IP, Vol.2, No.2, pp.272-275, 1993
- Vincent-89 [B,S]
L.Vincent: Graphs and mathematical morphology, SP, Vol.16, No.4, pp.365-388, 1989
- Vincent-91 [G,A]
L.Vincent and P.Soille: Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations, IEEE Trans. PAMI, Vol.13, No.6, pp.583-598, 1991
- Vincent-93 [G,A]
L.Vincent: Morphological grayscale reconstruction in image analysis: Applications and efficient algorithms, IEEE Trans. IP, Vol.2, No.2, pp.176-201, 1993
- Wendt-86 [G,A] (ハード)
P.D.Wendt, E.J.Coyle and N.C.Gallagher, Jr.: Stack filters, IEEE Trans. ASSP, Vol.34, No.4, pp.898-911, 1986
- Xu-91 [B,T]
J.Xu: Decomposition of convex polygonal morphological structuring elements into neighborhood subsets, IEEE Trans. PAMI, Vol.13, No.2, pp.153-162, 1991
- Yamada-93 [B,A]
H.Yamada, K.Yamamoto and K.Hosokawa: Directional mathematical morphology and reformalized Hough transformation for the analysis of topographic maps, IEEE Trans. PAMI, Vol.15, No.4, pp.380-387, 1993
- Yamamoto-93-1 [G,A]
山本眞司, 山中正人, 田中一平, 松本満臣, 館野之男, 飯沼 武, 松本 徹: 肺癌検診用CT(LSCT)の診断支援を目的とした3D画像処理・表示法について, Proc. 3D Image Conf.'93, pp.101-105, 1993
- Yamamoto-93-2 [G,A]
山本眞司, 田中一平, 千田昌弘, 館野之男, 飯沼武, 松本 徹, 松本満臣: 肺癌検診用X線CT(LSCT)の基本構想と診断支援用画像処理方式の検討, 信学論D-II, Vol.J76-D-II, No.2, pp.250-260, 1993
- Yang-93 [G,T/E]
J-Y.Yang and C-C.Chen: Decomposition of additively separable structuring elements with applications, PR, Vol.26, No.6, pp.867-875, 1993
- Yoda-93 [B,A]
依田育士, 山本和彦, 山田博三: GAによる階層的モルフォロジー手順の獲得, 信学技報, PRU-93-71, pp.17-22, 1993
- Zhuang-86 [B,T]
X-H.Zhuang and R.M.Haralick: Morphological structuring element decomposition, CVGIP, Vol.35, No.3, pp.370-382, 1986

Books:

- C.R.Giardina and E.R.Dougherty
Morphological Methods in Image and Signal Processing
Prentice-Hall, New Jersey, 1988
- J.Serra
Image Analysis and Mathematical Morphology
Vol.1
Academic Press. Inc., San Diego, 1989
- J.Serra, ed.
Image Analysis and Mathematical Morphology
Vol.2: Theoretical Advances
Academic Press. Inc., San Diego, 1988
- I.Pitas and A.N.Venetsanopoulos
Nonlinear Digital Filters:
Principles and Applications
Kluwer Academic Publishers, 1990