

# Bibliografía anotada

Javier Rojas

19 de septiembre de 2005

## Referencias

- [1] Scott T. Acton and Dipti Prasad Mukherjee. Area operators for edge detection. *Pattern Recognition Letters*, 21:771–777, 2000.

El artículo explora la morfología de área como método de detección de bordes. Esta morfología no hace necesario definir un elemento estructurante particular para ser aplicada.

El artículo es relativamente autocontenido, en tanto que las definiciones necesarias se hacen en él. El método es contrastado con el operador de Canny, y los resultados mostrados sugieren que es mejor detectando bordes, si bien en mi opinión algunos de los «bordes» detectados son tal vez ruido. Se clasifican más bordes correctos, pero también entra algo de ruido.

- [2] G. Anelli, A. Broggi, and G. Destri. Decomposition of arbitrarily shaped binary morphological structuring elements using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20:217–224, 1998.

Se presenta un esquema usando algoritmos genéticos para descomponer un elemento estructurante en otros más sencillos. La motivación para hacer operaciones de este tipo es poder usar sistemas como los *SMID Cellular Systems* para llevar a cabo el procesamiento de la imagen, con la ventaja de que estos sistemas son altamente paralelizables.

El criterio de elegibilidad de la población en el algoritmo genético tiene en cuenta cosas como la complejidad de aplicación de una dilatación con un elemento estructurante particular. El funcionamiento del algoritmo es descrito de manera detallada, describiendo los criterios de elegibilidad y de modificación de los genomas de la población.

El artículo hace una buena presentación del funcionamiento de los algoritmos genéticos, describiendo cada una de sus etapas de manera general y mostrando cómo se aplicó al caso particular.

El trabajo es relevante considerando que no se hacen restricciones sobre el elemento estructurante a descomponer, lo que representaba una gran dificultad al usar otros métodos (deterministas) para descomponer un elemento estructurante.

El sistema inicialmente es un programa para procesamiento serial, multiplataforma y con código libre. Al momento de escribir el artículo se estaba trabajando en pasar el sistema a procesamiento en paralelo usando MPI.

- [3] A. B. Arehart, L. Vincent, and B.B. Kimia. Mathematical morphology: The hamilton-jacobi connection.

El artículo muestra una aproximación a la morfología matemática basada en un esquema geométrico y diferencial. En el documento se plantean varias ideas básicas que enlazan las operaciones morfológicas —teniendo ciertas restricciones en mente— con cambios en la geometría del objeto transformado:

- una expansión es un movimiento en la dirección de la normal de la superficie en un punto particular
- Basta con considerar los cambios en las fronteras
- Operaciones con elementos estructurantes pequeños pueden simularse con menos operaciones y elementos estructurantes grandes

Los autores no buscan solucionar un problema tangible; sólo quieren mostrar los vínculos entre operaciones de morfología matemática y cambios de la geometría del objeto. Presentan la justificación matemática pertinente para afirmar que las operaciones morfológicas pueden simularse mediante ecuaciones diferenciales que describen el cambio del objeto.

En el artículo se presentan ciertos resultados generales que podrían llegar a ser usados como medidas de confiabilidad o estabilidad de las operaciones sobre una imagen particular: se dan cotas sobre aspectos como cambios en el área al realizar una transformación, independientemente del elemento estructurante.

- [4] A. Baraldi and P. Blonda. A survey of fuzzy clustering algorithms for pattern recognition. II. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 29:786–801, 1999.

El trabajo es un *survey* de varios métodos de clasificación para reconocimiento de patrones. Los métodos revisados fueron:

- *Self Organizing Maps.*
- *Fuzzy Learning Vector Quantization.*
- *Fuzzy Adaptive Resonance Theory.*
- *Growing Neural Gas.*
- *Fully Self-Organized Simplified Adaptive Resonance Theory.*
- *Fuzzy Simplified Adaptive Resonance Theory.*

Los autores definen un marco teórico con frente al cual comparan los métodos evaluados: definiciones de tipos de conjuntos y de conceptos como conjuntos difusos. Usando estas definiciones evalúan en cada método características como su naturaleza cooperativa, criterios de distancia usados, rata de aprendizaje, etc.

Este artículo podría ser una revisión pertinente si no fuera posible determinar los bordes de las curvas buscadas mediante *thresholding*.

- [5] Grigory Begelman, Eran Gur, Ehud Rivlin, Michael Rudzsky, and Zeev Zalevsky. Cell nuclei segmentation using fuzzy logic engine.

Los autores justifican el uso de métodos de lógica difusa en detección de núcleos considerando las características de este tipo de imágenes, principalmente la gran cantidad de ruido que tienen y lo bien que se maneja con lógica difusa.

El método usado es entrenar un clasificador difuso, estimando de antemano distribuciones de probabilidad para las características color, circularidad y tamaño, y usando estas distribuciones para el entrenamiento.

Por ejemplo, la distribución del color se considera como una *mixture* de gaussianas, y los parámetros se hallan usando EM (*Expectation Maximization*).

El artículo hace presentaciones (muy) pequeñas de trabajo previo en el área y de lógica difusa.

- [6] Noël Bonnet. An unsupervised generalized hough transform for natural shapes. *Pattern Recognition*, 35:1193–1196, 2002.

El autor propone una extensión a la transformada Hough para reconocimiento de formas naturales (o libres), en el que el principal aporte es la reducción en la cantidad de ejemplos necesarios para «entrenar» la operación de transformación; sólo se requiere de uno, y los «otros» (que se usan para determinar la variabilidad de la forma) se construyen mediante erosiones y expansiones.

- [7] Christopher J. C. Burges. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2):121–167, 1998.

se desea presentar a la técnica de *Support Vector Machines* (SVM) para el reconocimiento de patrones. una de las ventajas de esta técnica es que no requiere de conocimiento previo del problema; sin embargo, hay trabajo orientado a este problema. Este artículo es una revisión de la investigación desarrollada alrededor de las SVM para el reconocimiento de patrones.

- [8] O. Cuisenaire and B. Macq. Fast euclidean distance transformation by propagation using multiple neighborhoods. *Computer Vision and Image Understanding*, 76:163–172, 1999.

Se presenta un algoritmo para el cálculo de transformaciones de distancia euclídeas. Este algoritmo funciona de manera iterativa, hallando una aproximación inicial y mejorándola usando información de la vecindad de cada pixel.

Este algoritmo tiene la ventaja de ser una aproximación iterativa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones con requerimientos de tiempo real, por ejemplo. Además es más rápido que varios métodos similares para el cálculo de las transformaciones de distancia.

- [9] Olivier Cuisenaire. *Distance transformations: fast algorithms and applications to medical image processing*. PhD thesis, Université Catholique de Louvain, 1999.

Este documento es un buen resumen de la variedad de aplicaciones en que son pertinentes las transformaciones de distancia: cubren aspectos como segmentación, registro, realidad aumentada, etc. El aporte de la tesis es la presentación de un método para hacer transformaciones de distancia de manera rápida.

El documento es relevante, una de las aplicaciones revisadas es la segmentación de neuronas realizada por el autor y por mi director de proyecto, un trabajo que se constituye en la hoja de ruta del trabajo que estoy desarrollando.

- [10] Olivier Cuisenaire, Eduardo Romero, C. Veraart, and Benoit M. M. Macq. Automatic segmentation and measurement of axons in microscopic images. In *Image Processing*, 1999.

Se presenta un método de detección de mielina alrededor de células nerviosas de tejido animal. El problema se presta para una clasificación de zonas relevantes usando *thresholding*. Debido a las condiciones de iluminación, un *thresholding* global no es adecuado; hace falta binarizar de manera local y con un umbral diferente, usando un tamaño de ventana predefinido.

Otro problema resuelto por los autores es el solapamiento de formas, que se resuelve en este caso usando transformaciones de distancia.

El artículo es muy relevante para mi proyecto; resuelve una cantidad de problemas importante y brinda una variedad de guías para afrontar el problema. Además se trata de un trabajo ya terminado, con el que se puede comparar resultados o proponer mejoras.

- [11] A. Danckaert, E. Gonzalez-Couto, L. Bollondi, N. Thompson, and B. Hayes. Automated recognition of intracellular organelles in confocal microscope images. *Traffic*, 3:66, 2002.

Ubicar los objetos de interés en la imagen es complicado dado que entran en juego factores como la granularidad, textura, forma y tamaño. El primer paso es descartar imágenes irrelevantes de acuerdo a la cantidad de píxeles claros (blancos). Luego se aplica una serie de filtros a la imagen (erosión, dilatación, *threshold*, etc) y se pasa el resultado a una red neuronal (aparentemente perceptrones multicapa), que se encarga de determinar el tipo de organelo detectado. Se obtienen resultados de cerca del 80 %.

Podría ser una buena referencia sobre el uso de redes neuronales en reconocimiento de patrones; sin embargo, no hay medidas de rendimiento, ni en tiempo ni en espacio, como tampoco se presentan aspectos como el tiempo de entrenamiento ni el tamaño del conjunto de muestras necesario para obtener un resultado aceptable.

- [12] T. Dey, H. Edelsbrunner, and S. Guha. *Computational topology*, 1999.

Este es un *survey* sobre topología matemática y sus diferentes aplicaciones en Ciencias de la Computación. Se presentan de manera amable conceptos como los *skeletons*, *warping* y *morphing*, modelado de sólidos, modelado de proteínas, entre otros, que son aplicaciones particulares de topología en Ciencias de la computación.

Se hace además presentación de varios conceptos particulares a la topología, como superficies y descomposiciones.

- [13] Joseph Yossi Gil and Ron Kimmel. Efficient dilation, erosion, opening, and closing algorithms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24:1606–1617, 2002.

Se presenta un algoritmo que implementa las operaciones de dilación y erosión con un orden de complejidad de  $O(\frac{\lg^2(p)}{p})$  para toda la imagen.

Es un avance importante, al momento de la presentación del artículo el algoritmo propuesto es el más rápido para este tipo de operaciones.

- [14] Bernd Gärtner. Fast and robust smallest enclosing balls.

Lo más pertinente es traducir hasta cierto punto el resumen:

Se presenta un programa que calcula la bola más pequeña que encierra un conjunto de  $n$  puntos de un espacio  $n$ -dimensional. El programa es pequeño, rápido y robusto (para  $n < 20$ ).

- [15] H.M. Hamdan, A.B. Youssef, and M.E. Rasmy. The potential of mathematical morphology for contour extraction from ultrasound images. *Engineering in Medicine and Biology Society, 1996. Bridging Disciplines for Biomedicine. Proceedings of the 18th Annual International Conference of the IEEE*, 2:881–882, 1996.

Los autores presentan un método de segmentación de endocardio en imágenes de ultrasonido. Es un ejemplo de aplicación práctica de morfología matemática: se usan las operaciones de apertura y cierre para suavizar la imagen, con lo que la detección de curvas cerradas (el miocardio) es sencilla.

Un aporte (tal vez el único) es la comparación con otras técnicas como *snakes* para la detección de bordes.

- [16] AC Jalba, MH Wilkinson, and JB. Roerdink. Automatic segmentation of diatom images for classification. *Microscopy Research and Technique*, 65:72–85, 2004.

Los autores evalúan una variedad de técnicas para detectar diatomeas (algas) en imágenes de microscopia. Entre otras evalúan *thresholding*, segmentación por regiones, segmentación mediante *watershed*, *Clustering*, etc.

El artículo toma relevancia al considerar la cantidad de técnicas evaluadas; al final se da una evaluación cualitativa de los métodos y se sugiere a los métodos basados en *watershed* más marcadores para hacer la segmentación de las figuras de las diatomeas.

El artículo muestra un posible enfoque para la solución de la segmentación de los bordes de las glándulas en el proyecto en el que trabajo.

- [17] Joakim Lindblad, Carolina Wählby, Ewert Bengtsson, and Alla Zaltsman. Image analysis for automatic segmentation of cytoplasm and classification of rac1 activation. *Cytometry*, 53:22–33, 2003.

Básicamente se buscan formas de células en imágenes. La segmentación de las células se logra mediante un clasificador estadístico. La estrategia para segmentar la célula es segmentar primero el núcleo mediante segmentación *watershed* y usar los resultados obtenidos como semilla para la segmentación del citoplasma, de nuevo usando *watershed*. Se presentan referencias a artículos que muestran como usar *watershed* junto con la información dada por las semillas.

Dado que el objetivo no era exclusivamente segmentar las células, se presenta trabajo relativo a la caracterización de las células segmentadas. La clasificación de cada célula se hace usando clasificadores estadísticos como *Linear Discriminant Analysis*.

El trabajo hecho por los autores es la unión de una cantidad de métodos apuntando a resolver un problema particular. Como trabajo de investigación puro no representa un gran avance pero es un muy buen caso de uso, y es en definitiva un sistema complejo, construido sobre técnicas también complejas.

- [18] Sven Loncaric. A survey of shape analysis techniques. *Pattern Recognition*, 31:983–1001, 1998.

El artículo hace una presentación detallada de varios esquemas de representación y análisis de formas. Se hace un repaso de aspectos como la percepción humana de las formas y su relevancia para el análisis sistemático de las mismas.

Se revisan varios esquemas de representación de formas, como *Boundary Scalar Transformations*, *Boundary Space Domain*, *global Scalar Transform*, *Global Space Domain* y otros.

Cuenta una lista muy detallada de referencias, que puede ser de gran ayuda tanto como punto de partida para búsquedas sobre el tema como referencia rápida de una técnica particular. sin embargo, el *survey* ya tiene algo de tiempo encima.

- [19] Constantinos G. Loukas and Alf Linney. A survey on histological image analysis-based assessment of three major biological factors influencing radiotherapy: proliferation, hypoxia and vasculature. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 74:183–199, 2004.

El artículo es un resumen de técnicas usadas para el análisis de imágenes histológicas. Entre los aspectos cubiertos se encuentran *thresholding*, el análisis y clasificación de imágenes a color, la detección de límites (*edge detection*), la comparación con plantillas, análisis de texturas, *clustering* y otros.

El artículo presenta varios estudios en los que se han usado las técnicas descritas, y comenta de manera somera los resultados obtenidos. un aspecto importante de su contenido es que considera las imágenes de color, y el color como tal como una característica importante de este tipo de imágenes, y da muestras de trabajos en los que se usa la imagen a color y se hacen análisis y clasificaciones de acuerdo a esta característica.

Se ofrece también un sumario de las características de estos esquemas de análisis, sobre detalles como complejidad, confiabilidad estadística, etc.

- [20] Junji Maeda, Takuya Iizawa, Tohru Ishizaka, Chiharu Ishikawa, and Yukinori Suzuki. Segmentation of natural images using anisotropic diffusion and linking of boundary edges. *Pattern Recognition*, 31:1993–1999, 1998.

Se presenta un método de extracción de bordes y unión de segmentos (*edge linking*). la característica principal de la unión de segmentos es que se lleva a cabo mediante una función de potencial direccional (DPF); en cada pasada se consideran ocho direcciones posibles y se avanza a través de la que tiene un valor más alto al evaluar la DPF.

Después de la unión de segmentos se aplica un filtro anisotrópico para suavizar los bordes. Los resultados son bastante buenos. La técnica de

conexión de bordes amerita una revisión adicional en tanto que puede ser útil; aparentemente no depende de la orientación de los pixeles del borde.

- [21] L.Ñajman. Using mathematical morphology for document skew estimation. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 5296:182–191, 2004.

En este artículo se presenta un operador morfológico para determinar la inclinación de una imagen; el problema que se quiere resolver es el análisis de documentos escaneados.

El autor logra dar una definición matemática formal del grado de inclinación de la imagen. Usando este resultado define un operador morfológico parametrizable que va alineando la imagen conforme el parámetro se acerca a la inclinación del documento.

- [22] Tim W. Nattkemper. Automatic segmentation of digital micrographs: A survey. *medinfo*, 2004.

Se presenta el problema de clasificación de imágenes de microscopia. Una técnica llamada *digital micrographs* crea una gran cantidad de imágenes, con la desventaja de que algunas pueden ser irrelevantes. El artículo resume las técnicas de clasificación y segmentación de este tipo de imágenes.

El autor resume técnicas como:

- Transformada Hough. Usada para buscar formas como círculos o elipses.
- Operadores morfológicos y binarización de imágenes.
- Técnicas de Inteligencia Artificial, como redes neuronales, *Support Vector Machines*, que han aprendido de ejemplos previos las asociaciones entre pixeles y etiquetas (categorías).

El artículo no profundiza demasiado en ninguna de las técnicas; hace un resumen de las ventajas y desventajas de cada una de ellas y brinda referencias a puestas en práctica de los métodos.

Este artículo tiene la ventaja de ser reciente, pero es tal vez demasiado general, y se siente algo incompleto; sin embargo hay que considerar que es un tema muy específico (*microarrays*).

- [23] A.Ñedzved, S. Ablameyko, and I. Pitas. Morphological segmentation of histology cell images. *International Conference on Pattern Recognition*, 1:1500, 2000.

Se presenta un esquema para la extracción de bordes en imágenes, que se basa en adelgazamiento (*thinning*) de la imagen y en un análisis pixel a pixel, teniendo en cuenta el punto estudiado y sus vecindades.

Para determinar los bordes de una imagen que ya ha pasado por *thinning*, se aplica un gradiente morfológico: la diferencia entre las salidas de una erosión y una dilación de la imagen.

- [24] Shiguo Nomura, Keiji Yamanaka, Osamu Katai, Hiroshi Kawakami, and Takayuki Shiose. A novel adaptive morphological approach for degraded character image segmentation. *Pattern Recognition*, 38:1961–1975, 2005.

Se presenta un método de reconocimiento de caracteres para identificar números de placas de carros en imágenes. El reconocimiento depende en gran medida de análisis sobre el histograma *vertical* de la imagen, para cosas como separar los caracteres, pegar segmentos separados de un caracter, etc.

La presentación es muy completa, se llega al nivel de mostrar algoritmos y definir todos los elementos que participan en él.

Un problema del artículo es que no se describe el procedimiento usado para binarizar la imagen. En vez de eso se pide al lector que revise la referencia pertinente.

- [25] S.D. Pathak, D.R. Haynor, and Y. Kim. Edge-guided boundary delineation in prostate ultrasound images. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 19:1211–1219, 2000.

Se presenta un método de detección de límites en imágenes de próstata. la detección usa información relativa a la forma de la próstata y presenta al usuario un conjunto de segmentos para que los una *manualmente*. La unión de bordes se hace manual para que el usuario pueda integrar cierta información anatómica particular de cada paciente en el proceso de detección.

Para la detección de bordes primero se ejecuta un procedimiento denominado *Weak Membrane Fitting* que halla bordes modelables por funciones a trozos. Luego aprovechando que se conoce de manera aproximada la forma buscada de descartan los bordes que están más allá de una distancia calculada para cada imagen.

El método presentado está muy bien justificado desde el punto de vista estadístico, pero no es descrito con la profundidad requerida; se depende mucho de referencias externas.

- [26] I. Pitasa and A.Ñ. Venetsanopoulos. Morphological shape representation. *Pattern Recognition*, 25:555–565, 1992.

Los autores presentan un esquema de representación de objetos mediante árboles, esta representación es un avance con respecto a otras existentes en la época, como el *skeleton* o los *Enclosing Structural Elements*.

La representación se forma de manera básica construyendo un árbol que tiene elementos estructurantes en las hojas y operadores morfológicos en los nodos padre. Para determinar qué elemento estructurante se usa y qué operación debe aplicarse los autores presentan los algoritmos correspondientes.

Esta representación puede llegar a ser muy útil para el reconocimiento de patrones y comparación de imágenes si se conoce de antemano qué tipo de formas se encontrará en la imagen analizada o si se puede dar una «base» adecuada de elementos estructurantes que puedan representar de manera razonable una imagen.

- [27] Matt Payne Qiuming Zhu and Victoria Riordan. Edge linking by a directional potential function (dpf). *Image and Vision Computing*, 14:59–70, 1996.

En el artículo se hace una presentación bastante completa del concepto de funciones de potencial, desde la perspectiva física de este concepto. Luego se exponen los elementos necesarios para usar esta función en el problema de conectar bordes.

Los segmentos se conectan considerando la dirección de las fuerzas en los píxeles de los bordes de los segmentos a conectar. De manera adicional, se tiene una clasificación de píxeles de acuerdo a la cual se asigna más o menos energía a cada píxel.

El artículo es definitivamente relevante para mi proyecto; es un método alternativo de unión de segmentos y de inmediato se ve que no depende de las orientaciones iniciales de los segmentos a conectar.

- [28] L. Robert and G. Malandain. Fast binary image processing using binary decision diagrams. *Computer Vision and Image Understanding: CVIU*, 72(1):1–9, 1998.

En el procesamiento de imágenes binarias gran parte del trabajo se invierte en analizar píxeles y sus vecinos correspondientes; el resultado de este análisis puede plantearse como una función booleana que toma  $n$  variables. Los autores proponen un «nuevo» esquema para la representación de estas funciones, mediante grafos dirigidos que tienen como nodos las variables y como nodos terminales los resultados de la función.

El sistema presentado es un paquete de *software* que es capaz de traducir el grafo dado a código C sencillo. En definitiva se tiene un sistema capaz de generar implementaciones eficientes de funciones booleanas. Los resultados muestran que en los problemas aplicados el factor de mejora llega a ser de unas 20 veces sobre el tiempo original.

El artículo es algo viejo (1996) y haría falta revisar qué se ha hecho hasta ahora. sin embargo el código producido es bastante limpio y directo.

- [29] Francisco J. Sanchez-Marin. Automatic segmentation of contours of corneal cells. *Comput Biol Med.*, 29:243–258, 1999.

Se presenta un método de detección de bordes de células de córneas en imágenes.

El procedimiento es bastante directo: se aplica un filtro para remover frecuencias bajas en la imagen, luego se sustrae de la original, y se aplican otras operaciones como aumento del contraste y binarización; finalmente los contornos de las células se hallan calculando el *skeleton* de la imagen resultante.

Es un caso bastante típico del procesamiento de imágenes de microscopía.

- [30] A. Santos, C. Ramiro, M. Desco, N. Malpica, A. Tejedor, A. Torres, M. Castilla M. J. Ledesma-Carbayo, and P. García-Barreno. Automatic detection of cellular necrosis in epithelial cell cultures. *SPIE*, 4322:1605–7422, 2001.

El problema a resolver es cuantificar las células vivas y «muertas» en cultivos de células. una restricción importante es que no se debe alterar la muestra biológica, por lo que ayudas como el teñido de tejidos no están disponibles.

La detección funciona buscando texturas dentro de la imagen analizada, y entregando una medida aproximada de la cantidad de células vivas o muertas calculada usando el área de la textura y el área promedio (dada

de antemano) de las células. Éste es uno de los problemas más graves de la técnica; es una asunción muy fuerte con respecto a los elementos buscados.

los parámetros que describen a las texturas buscadas se aprenden de un conjunto de ejemplos clasificado con anterioridad.

- [31] J. Schonfeld, D. Goutsias. Optimal morphological pattern restoration from noisy binary images. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 13:14–29, 1991.

El artículo presenta un método para suavizar imágenes binarias mediante operaciones de morfología matemática. El procesamiento para una imagen particular se presenta como una secuencia de filtros. Se hace una presentación de la teoría de filtros morfológicos, y de los problemas de parametrizar cada filtro. Un elemento importante para la restauración de una imagen es el elemento estructurante, básicamente la «figura geométrica» usada para aplicar el filtrado; dependiendo de ésta la restauración puede afectar la suavidad de los bordes de los objetos de la imagen de manera considerable.

Se espera del lector que maneje conceptos básicos de morfología, como aperturas y cierres; toda la presentación del método propuesto está justificada matemáticamente. Es relevante para el proyecto como referencia básica a los esquemas de reducción de ruido de imágenes binarias, ya que lo que se logra indirectamente es, a pesar de alterar bordes, disminuir la cantidad de objetos de la imagen a procesar.

- [32] Frank Y. Shih and Shouxian Cheng. Adaptive mathematical morphology for edge linking. *Information Sciences*, 167:9–21, 2004.

El artículo presenta un método para llenar los vacíos entre segmentos de curvas. Usa la operación (el operador) de dilación, con elipses de tamaños y orientaciones variables como elemento estructurante.

Este artículo y sus referencias son muy relevantes para el proyecto, ya que plantean una solución para un problema muy importante dentro del proyecto: cerrar curvas (bordes) rotos o desconectados. Cuenta además con una cantidad considerable de ejemplos visuales del funcionamiento del método.

Tal vez la única desventaja es que se trabaja sobre imágenes en las que los bordes que se deben conectar son básicamente la curva original «pintada» de manera puntuada; los píxeles están alineados, al menos localmente. Habría que probar qué tal funciona cuando la dirección de

los píxeles de las puntas de los segmentos se ha alterado mucho, como es el caso.

- [33] Frank Y. Shih and Vijayalakshmi Gaddipati. General sweep mathematical morphology. *Pattern Recognition*, 36:1489–1500, 2003.

El artículo explica un conjunto de definiciones dentro de la teoría de morfología matemática que permiten hacer operaciones morfológicas con elementos estructurantes mientras se varía su orientación e incluso su forma. Una aplicación práctica de esta teoría es un esquema para unir segmentos de curva [32].

Otra aplicación de este esquema es la determinación de rutas óptimas a través de un sitio con diversos obstáculos.

- [34] Lin Wei-Cheng Wayne. *Mathematical Morphology and Its Applications on Image Segmentation*. PhD thesis, National Taiwan University, 2000.

Esta tesis presenta un método semiautomático de segmentación de video basado en transformada *watershed* y operaciones morfológicas básicas. Se pretende aplicar los resultados de la segmentación en esquemas de codificación de video como MPEG-4.

El documento tiene una revisión adecuada de conceptos básicos de morfología y de la transformada *watershed*. Sobre el problema que se busca resolver, se obtienen resultados visualmente buenos, pero con la grave desventaja de tener que pedir al usuario una estimación inicial de los bordes del objeto a segmentar.

- [35] Joachim Weickert. Efficient image segmentation using partial differential equations and morphology. Technical report, University of Mannheim, 2000.

El autor propone un esquema eficiente de segmentación de imágenes usando transformada *watershed*. Para controlar la sobresegmentación que el método crea, se aplican a manera de preprocesamiento filtros basados en ecuaciones diferenciales parciales: una técnica de difusión para la mejora de bordes y otra de restauración, para disminuir el ruido. El autor presenta implementaciones «eficientes» de los métodos de preprocesamiento y muestra las ventajas de preprocesar las imágenes, segmentándolas con diversos «sabores» de la transformada *watershed*, señalando que aún métodos sencillos de segmentación pueden tener mejoras considerables gracias a los procedimientos previos aplicados.

- [36] S.S. Wilson. Theory of matrix morphology. *IEEE Transactions on Analysis and Machine Intelligence*, 14:636–652, 1992.

Este artículo presenta la teoría de morfología de matrices; básicamente se tiene dos matrices, una de imágenes y otra de elementos estructurantes, y esta teoría indica de qué manera se aplican qué transformaciones a qué elementos de la matriz de imágenes y de qué manera se combinan los resultados.

En la presentación hecha se indica que las operaciones de morfología escalar tienen un equivalente respectivo en la morfología de matrices. De igual manera extienden la teoría de morfología de matrices a el caso de imágenes en escala de grises.

Los autores presentan varios problemas en la que la teoría presentada tiene aplicación y que son difíciles de enfrentar mediante métodos tradicionales; muestran ejemplos de aplicación para la transformada *Hit and Miss*, usada para detectar formas, y problemas como el reconocimiento de caracteres; cada «primitiva» del caracter es una imagen en la matriz de imágenes.

Todo el artículo está escrito en un tono muy matemático, pero se hacen definiciones pertinentes de todos los términos que se usan, llegando a la teoría de conjuntos, además de hacer una presentación corta y sencilla de los conceptos de morfología escalar.

- [37] Hai-Shan Wu, Joseph Barba, and Joan Gil. A parametric fitting algorithm for segmentation of cell images. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 45:400–407, 1998.

El artículo presenta un método de detección de elipses en el que se usan funciones de penalización para ajustar los parámetros de la elipse buscada. los autores indican que el método tiene un rendimiento mayor, tanto en espacio como en velocidad, que la Transformada Hough. De la misma manera argumentan que funciona mejor que métodos de clasificación como bayes o *K-means*.

A primera vista el método puede ser generalizado a detección de primitivas cualesquiera, como líneas. El algoritmo no sólo usa información de los bordes de la imagen (imagen binarizada), sino de la imagen misma (escala de grises). Sin embargo esta generalización no se explora.

Una característica muy importante es que el método es capaz de detectar células (elipses) superpuestas.

- [38] Shuanhu Wu and Hong Yan. Microarray image processing based on clustering and morphological analysis. In *CRPITS '03: Proceedings of the First Asia-Pacific bioinformatics conference on Bioinformatics 2003*, pages 111–118, Darlinghurst, Australia, Australia, 2003. Australian Computer Society, Inc.

Los autores presentan un esquema de detección de formas en imágenes de microscopía —*microarrays*— basado en *K-means* y operaciones de morfología matemática.

La detección de puntos en las imágenes se lleva a cabo usando como característica la intensidad de la imagen, usando *K-means* para clasificar los píxeles en dos categorías: *foreground* y *background*. Finalmente se aplica una sucesión de erosiones y dilaciones para suavizar la imagen.

- [39] Thomas Würflinger, Jens Stockhausen, Dietrich Meyer-Ebrecht, and Alfred Böcking. Robust automatic coregistration, segmentation, and classification of cell nuclei in multimodal cytopathological microscopic images. *Elsevier Science*, 2003.

El artículo presenta un sistema de diagnóstico de cáncer basado en imágenes histológicas de células. Cada muestra es teñida varias veces, y las múltiples imágenes obtenidas se registran para dar lugar a una sola imagen, sobre la cual se hace la búsqueda de formas.

La búsqueda de formas se hace mediante *B-snakes*, y los bordes que dan la fuerza para el movimiento del *snake* se hallan mediante un filtro gaussiano derivativo. Para fijar la posición inicial de *snake* se usa información del color de la imagen.

El artículo muestra un caso en el que la información proporcionada por el color puede ser útil para dar estimaciones iniciales de dónde está la forma detectada. Además es un experimento al trabajar con imágenes multimodales y combinar la información obtenida con cada teñido; sin embargo, los resultados muestran que se obtienen mejores resultados al trabajar con una sola modalidad. Este es un punto en el que los autores señalan que debe haber más investigación.

- [40] Jianning Xu. Morphological representation of 2-d binary shapes using rectangular components. *Pattern Recognition*, 34:277–286, 2001.

El autor presenta un esquema de representación de formas mediante superposición de rectángulos. en el artículo se hace una buena introducción a los problemas que pueden resolverse mediante esta técnica, como la comparación de imágenes o la visión artificial.

La técnica está basada en la transformada morfológica *skelenton*; tiene la desventaja de no ser invariante con la rotación y el escalado.

- [41] H. Yamada, K. Yamamoto, and K. Hosokawa. Directional mathematical morphology and reformalized hough transformation for the analysis of topographic maps. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 15:380–387, 1993.

El problema enfrentado es la extracción de información de imágenes de mapas impresos, de manera más exacta, extracción de líneas (carreteras, etc) y símbolos (distancias, indicativos de tipos de edificios y otros).

La extracción de las curvas que definen caminos y carreteras fue hecha usando operaciones morfológicas sobre el *skeleton* de la imagen. Los criterios usados para ubicar las líneas fueron medir qué tan alineados están varios pixeles y considerar las vecindades entre ellos para obtener líneas rectas y curvas naturales.

La extracción de símbolos en el mapa se hizo mediante *Generalized Hough Transform*. El nivel de eficiencia alcanzado con esta técnica es de cerca del 80 %, descontando casos particulares en que la forma buscada se mezcla con la textura del fondo, donde se tiene una eficiencia del 70 %.

El sistema propuesto por los autores es paralelizable.

- [42] Faguo Yanga and Tianzi Jiang. Cell image segmentation with kernel-based dynamic clustering and an ellipsoidal cell shape model. *Journal of Biomedical Informatics*, 34:67–73, 2001.

Se presenta un método de segmentación de células en imágenes con «bastante» ruido. la manera de atacar el problema es sencilla: se hace detección de bordes con el operador de Canny, se descartan (de acuerdo a la cantidad de pixeles) aquellos bordes demasiado pequeños. Los pixeles resultantes se clasifican usando un método basado en *kernels* y finalmente se pone a un algoritmo genético a estimar los parámetros que ajusten los bordes a una elipse.

El uso de algoritmos genéticos me parece un tanto excesivo para el problema de estimación de elipses.

- [43] Li Yu and Runsheng Wang. Shape representation based on mathematical morphology. *Pattern Recognition Letters*, 26:1354–1362, 2005.

Se propone un esquema de representación de formas en términos de subformas convexas más pequeñas. El método obtenido es independiente de aspectos como translaciones, rotaciones o escalado.

- [44] V. Zharkova, S. Ipson, A. Benkhalil, and S. Zharkov. Feature recognition in solar images. *Artificial Intelligence Review*, 23:209–266, 2005.

El artículo es una revisión de una gran cantidad de técnicas usadas para el procesamiento de imágenes del Sol, aplicadas a una variedad de problemas, como reconocimiento de manchas solares, de erupciones, etc.

Inicialmente se presentan de manera global los diferentes tipos de soluciones presentadas a estos problemas: *thresholding*, métodos basados en derivadas de la imagen (detección de bordes), métodos de crecimiento de regiones, Inteligencia Artificial, y métodos de información global, como Bayes o transformada Hough.

El trabajo es una referencia importante para investigadores en estas áreas; es una recopilación de tamaño importante (57 páginas); sin ir más lejos, la bibliografía es una ayuda considerable, y es un artículo reciente, de 2005. Prácticamente cada técnica es presentada mediante un caso de uso, esto es, una aplicación real del método descrito. En varios casos las experiencias descritas son de los mismos autores de este artículo.