

Estado del Arte

En este capítulo, describiremos brevemente algunas propuestas de solución que algunos investigadores han realizado haciendo uso de técnicas variadas para la extracción de líneas en mapas raster.

Estos procedimientos son buenas propuestas para dar solución al problema planteado y son sugerencias razonables; debe puntualizarse, sin embargo, que no son necesariamente una solución óptima al problema, son técnicas o métodos que atacan el problema desde un punto de vista particular.

De aquí obtendremos puntos de referencia con el objetivo de verificar la eficacia de la metodología propuesta en este trabajo, que pudiera, en su caso, ser considerada como una alternativa para solucionar el problema antes mencionado.

También se presentan sistemas comerciales muy utilizados en el ámbito mundial, que han ayudado a resolver en parte el problema aquí planteado.

3.1 Enfoques generales

Varios países están creando sus GIS's, a los datos nuevos se les está complementando con información que se encuentran representados en mapas en papel; parte de este trabajo de complementación se ha estado realizando en forma manual, para auxiliar estas pesadas labores, actualmente se están desarrollando algoritmos para automatizarla [Levachkine 2001¹].

El Instituto Nacional de Geografía de Francia (IGN; en francés, Institut Geographique National), está llevando a cabo un proyecto de interpretación de mapas topográficos que proporcione una interpretación automática total, con llamadas al operador sólo en los casos sospechosos que detecte el programa [Levachkine 2001¹].

Actualmente, está produciendo una base de datos de vectores con atributos topográficos llamado BD-Topo, que cubrirá todo el territorio francés con un metro de precisión geométrica absoluta y una precisión semántica ligeramente mejor que los mapas topográficos de 1:25,000; el proceso actual consiste esencialmente en una interpretación manual de imágenes aéreas y no será terminado antes del año 2015 [Deseilligny *et al* 1997⁷].

En México, “el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) es el organismo que tiene la responsabilidad de integrar los Sistemas de Información Estadística y Geográfica de México, además de promover y orientar el desarrollo informático en el país” [INEGI 2000¹¹].

Otras dependencias como el IFE (Instituto Federal Electoral), la CFE (Comisión Federal de Electricidad), PEMEX (Petróleos Mexicanos), etc. realizan sus propios levantamientos, ya que la INEGI actualiza sus mapas cada cinco años y los tiene disponibles con un retraso de hasta ocho años. Estos levantamientos son realizados en planos y posteriormente digitalizados a mano alzada para su conversión a un GIS [Velázquez 2001²⁰].

El Centro de Investigación en Computación, del Instituto Politécnico Nacional de México, está desarrollando una "Tecnología Integral para la Digitalización Automatizada de Mapas Raster", donde se está considerando en detalle a los tres procesos que intervienen en una conversión automática completa [Levachkine 2000⁵]:

- Preprocesamiento.
- Procesamiento.
- Postprocesamiento.

3.1.1. Doermann (1997)

Doermann [Doermann 1997²⁹] hace una revisión de resultados y tendencias de las herramientas que se utilizan en el procesamiento de gráficos (imágenes por computadora). Destaca la importancia que tienen la vectorización y segmentación en este proceso, ya que son usados para proporcionar una representación básica en donde funcionan los algoritmos de reconocimiento e interpretación. Aunque la naturaleza de su representación depende de la aplicación particular.

Vectores

Los vectores nos dan como resultado una representación de característica lineal, son más apropiados para líneas y componentes semejantes, no son adecuados para curvas continuas y regiones llenas.

Los métodos clásicos intentan convertir imágenes raster a una colección de vectores (secuencias de líneas), compuestos por uno o dos puntos, dirección y longitud.

Obstáculos:

- **La calidad de la imagen:** Es la principal causa, porque en una imagen degradada el comportamiento local de los bordes de las líneas llega a ser menos confiable.

- **La intersección de líneas:** Localmente esas regiones no parecen segmentos de líneas, ya que la meta es recuperar la trayectoria original de la línea.
- **La escala:** En una escala los componentes lineales son interpretados como líneas y en otras como regiones llenas.

Una mayoría de métodos procuran ajustar las líneas a características de bajo nivel de la imagen y un número pequeño de otros métodos procuran adaptarlas dinámicamente, “siguiendo” líneas en la imagen.

Hay dos métodos primarios para obtener una representación vectorial, y dos secundarios, los primeros son:

- **Adelgazamiento:** Es quizá el método directo más adelantado para generar un conjunto de características usadas para ajustar vectores. Tienen el problema de la distorsión causada por el ruido en los contornos.
- **Seguimiento de contornos:** se utiliza para tratar con algunos problemas inherentes a la generación de una línea fina de un proceso de adelgazado.

Cuando se tiene una representación conveniente los secundarios son básicos para generar vectores, que son:

- **Ajuste de líneas:** La mayoría de métodos requieren una última instancia, el ajuste de líneas de datos, esto no es trivial, comúnmente se utiliza la transformada de Hough.
- **Seguimiento de líneas:** Es otra alternativa de vectorización, se puede aplicar a cualquier conjunto intermedio de características o a la misma imagen. Tiene la ventaja de que es dinámico y puede adaptarse a la anchura y curvatura de la línea.

Evaluación de la vectorización

Es un asunto que ha recibido mucha atención en los últimos años, ya que la definición de una buena representación es claramente dependiente de la aplicación. En algunas aplicaciones la posición de los puntos es esencial, mientras que en otros la trayectoria original es importante. El tema de la calidad esta basada en la opinión humana como en la aplicación implicada.

Segmentación

La segmentación es igualmente importante que la vectorización, proporciona un medio para separar gráficos en primitivas básicas. A bajo nivel puede significar dividir grandes componentes conectados en segmentos, que constituyen sus líneas y arcos, además de requerir el reconocimiento de primitivas apropiadas, las técnicas que no requieren el reconocimiento se limitan a dividir las componentes basados en características fundamentales.

Conclusiones

Doermann [Doermann 1997²⁹] concluye que la vectorización y segmentación de gráficos en primitivas proporcionan una base para la extracción de características. El trabajo de esta área debe centrarse, sobre todo en métodos robustos para alcanzar estabilidad, una representación exacta en presencia de imágenes degradadas.

Es importante hacer énfasis que la metodología propuesta en esta tesis utiliza la segmentación/vectorización y reconocimiento simultáneamente.

3.2 Enfoques específicos

3.2.1. Dupont et al (1997)

Dupont *et al* [Dupont *et al* 1997¹⁵], trata con el problema de la reconstrucción automática de curvas de nivel de mapas escaneados, el enfoque está basado esencialmente con la topología global de las curvas de nivel (un conjunto de líneas cerradas no interseccionadas), usa además alguna información local y geométrica para guiar el razonamiento.

Muestran un método que empieza escaneando un mapa en RGB, posteriormente:

- La imagen es segmentada primero por un proceso de clasificación por color,
- Los objetos son esqueletizados y finalmente vectorizados, luego,
- Por un análisis local, ponderan y agregan algunos bordes hipotéticos, finalmente,
- Encuentran una solución topológicamente correcta mediante la solución del problema dual, esto es, un problema bicolor.

En el proceso de clasificación crean cuatro grupos, que son:

- **Negra:** Corresponde a los colores de las curvas de nivel.
- **Gris:** Son los colores de los elementos que pueden interrumpir a las curvas de nivel.
- **Fondo:** Que corresponde a todos los demás colores.
- **Blanca:** Que corresponde a la unión de la clase Negra con el Fondo.

Esqueletizan a la clase negra y gris para conservar la topología de las curvas de nivel al momento de reconstruirlas.

Conclusiones

Los errores de reconstrucción son debidos a la presencia de textos citados en curvas y a la presencia de muchas interrupciones largas en las curvas de nivel, frecuentemente debido a los caminos.

Para aumentar el rendimiento del sistema, recomiendan que los desarrollos futuros podrían incluir:

- La segmentación y tal vez el reconocimiento de citas (textos) de curvas.
- Un agrupamiento del mapa, como por ejemplo, mediante la reconstrucción en una primera etapa de las curvas de nivel maestras o los casos más simples de interrupción.
- El uso de más información contextual, por ejemplo, en el relieve de una cadena montañosa, los caminos que "siguen a" las curvas de nivel.
- El uso de datos externos, como los puntos de citas o un modelo de terreno digital calculado por correlación en imágenes de satélite, por ejemplo, ser capaces de calcular una orientación muy confiable de las líneas de elevación, o citas de las curvas.
- La implementación de una etapa de validación y una estrategia de retroceso.

3.2.2. Yamada et al (1993)

Yamada *et al* [Yamada *et al* 1993¹⁶] expone que uno de los problemas más difíciles e importantes en la digitalización automática de mapas geográficos es la identificación y separación digitalizada de diferentes clases de características, esencialmente en mapas topográficos, hay dos tipos de características geométricas:

- Lineales, tales como caminos y vías férreas que tiene una longitud arbitraria, y
- Símbolos, qué indica un tipo de edificio, área de uso de la tierra o incluso información numérica.

Estas características son extraídas y reconocidas usando métodos paralelos multiángulos (MAP), el método de funcionamiento MAP realiza el cálculo en paralelo en planos de características direccionales.

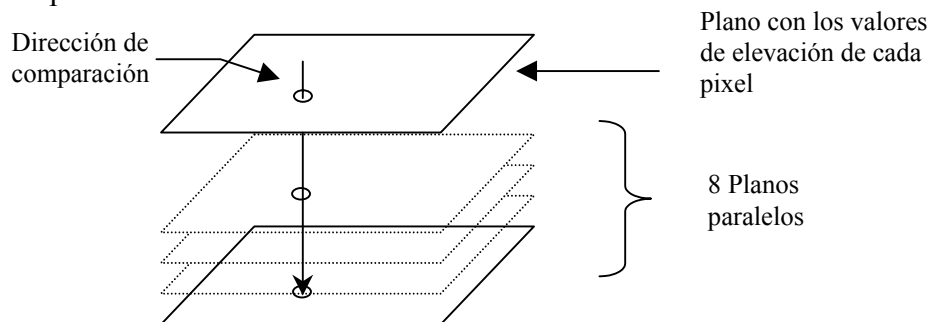


Fig. 3.1 Método de correspondencia MAP

- Las características lineales son extraídas usando operaciones de erosión y dilatación en planos de características direccionales, y
- Los símbolos son extraídos usando una versión paralela y reformada de la transformada generalizada de Hough en los mismos planos direccionales.

Los métodos fueron aplicados a un mapa en tres colores que la convierten a binario, con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada), con escala de 1/25,000.

Conclusiones

En esta propuesta, el método MAP, el cuál es una operación de vecinos no isotrópicos (no poseen las mismas propiedades en todas las direcciones) sobre planos de características direccionales, fue aplicado para extraer características geométricas a partir de un mapa, este método es capaz de extraer y reconocer casi toda la información lineal en el mapa.

Características básicas:

- El método MAP es adecuado para programarse en paralelo.
- Fundamentalmente distingue características lineales y características basadas en puntos

Sugieren para trabajo futuro:

- Considerar la extracción de líneas discontinuas.
- Considerar el proceso de aprendizaje en gran detalle
- La extracción de características debería ser hecha sobre la unificación de las operaciones erosión-dilatación y operaciones usando información de conectividad como el adelgazamiento

3.2.3. Yan et al (1994)

Yan *et al* [Yan *et al* 1994¹⁷], proponen una técnica basada en redes neuronales multicapa que es presentada para extraer caracteres y líneas de imágenes de color de mapas geográficos.

En este método, una red neuronal es entrenada primero con valores de un carácter conocido, pixeles de líneas y pixeles del fondo, entonces se usó para la clasificación de la imagen; el problema de la segmentación de la imagen se trata como un proceso de clasificación de patrones y la red neuronal el usado como clasificador para generar regiones de decisión no lineales, para separar el primer plano y el fondo de una imagen que puede contener un número de regiones no uniformes con colores diferentes; el método se ha verificado para trabajar bien con estudios experimentales.

Conclusiones

La extracción de caracteres y líneas desde mapas a color puede ser un problema difícil; en este método, los píxeles de la imagen son seleccionados desde áreas representativas y es evaluado un conjunto de características de colores para cada píxel; estas características son usadas como entradas a una red neuronal multicapa; después del entrenamiento con píxeles seleccionados, la red neuronal es usada para clasificar todos los píxeles en la imagen.

Comparado con los métodos de segmentación convencional, el clasificador red neuronal necesita solo seleccionar propiamente los ejemplos de entrenamiento pero no parámetros de control libre; el construir un clasificador basado en redes neuronales puede ser aplicable a imágenes con el mismo estilo de impresión como las imágenes usadas para entrenamiento.

Un clasificador más robusto puede ser construido para tratar con varios tipos de imágenes para el entrenamiento de estas con muchos ejemplos representativos.

3.2.4. Goodson et al (1990)

Goodson *et al* [Goodson *et al* 1990¹⁸], en este artículo revisan brevemente algunos métodos al problema de extraer características de líneas de imágenes.

El sistema utiliza una colaboración estrecha entre un sistema semiautomático para extracción de características y una regla tendiente al objetivo basado en un sistema encapsulado de alto nivel de conocimiento acerca del contenido de la imagen.

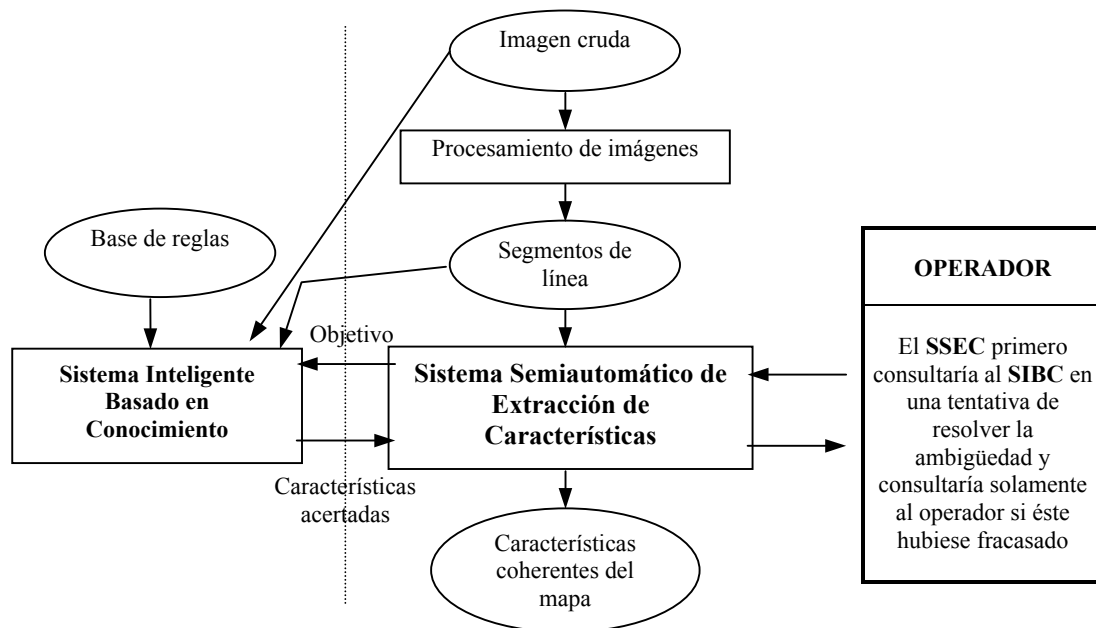


Fig. 3.2 Diagrama esquemático del sistema propuesto

Dividen las imágenes en niveles de gris, por cada uno de los componentes principales RGB:

- **Regiones:** Son áreas donde los valores de los niveles de gris son constantes o tienen suficiente relación de uno con el otro, de manera general.
- **Bordes:** Las regiones son limitadas por bordes, donde existe cierta discontinuidad marcadas por los miembros de una región.
- **Líneas:** Se pueden considerar como regiones que en un sentido o dimensión pueden tomar como estrechas y en otro extensas.

Clasifican a las líneas por:

- **Documentos hechos por el hombre** (dibujos de ingeniería, cartas hidrográficas, mapas, etc.).
- **Escenas naturales incontrolables** (imágenes de satélite).

En el caso ideal, las líneas se pueden considerar como imágenes binarias, pero en las imágenes naturales y documentos hechos por el hombre se debe procurar tratar con:

- Eliminación de ruido y
- Detección de discontinuidades de niveles de gris de bajo contraste.

Mencionan que: Se pueden aplicar, al menos teóricamente, las técnicas de extracción de bordes y regiones, estas pueden ser aplicadas a la extensión de líneas, pero por la geometría exclusiva de las líneas, estas técnicas distan mucho de ser exitosas como una base para rastrear líneas sin modificación o mejoramiento significativos.

Conclusiones

Una de las características de usar técnicas como un Sistema Inteligente Basado en Conocimiento (SIBC), es que la sofisticación del sistema es incrementada por el usuario final, quien deriva reglas basadas en la experiencia de interactuar con el sistema.

Una limitación de la investigación es que algunas de las cláusulas de condición y reglas deben referirse a propiedades de nivel mas bajo de la imagen segmentada, las cuales deben ser derivadas lo mejor posible de los procedimientos anteriores.

Sí una nueva propiedad de medición es requerida en un procedimiento, entonces debe ser escrita (por el usuario) para evaluarse y debe ser incorporada dentro del código del programa del SIBC.

El tiempo de procesamiento es también una desventaja usando el método basado en reglas.

3.2.5. Levachkine et al (2001)

Levachkine *et al* [Levachkine *et al* 2001³¹], presenta una metodología que incorpora simultáneamente la vectorización, segmentación y la interpretación automática de mapas cartográficos escaneados con imágenes a color. Incluye la separación de textos en gráficos involucrando un análisis detallado de caracteres y trazos, segmentando a grandes componentes conectados que constituyen líneas y arcos.

Actualmente están elaborando un sistema basado en conocimiento con aprendizaje y auto aprendizaje llamado D2R2V (From Drawing to Raster to Vector), en donde se utilizan varias técnicas adicionales, como son, “paso a paso”, “oruga”, “escalera”, “de escala gruesa a fina”, “elástica”, “striptease”, etc.,

Presentan un método nuevo de segmentación de imágenes a color, donde buscan separar caracteres alfanuméricos en mapas raster cartográficos a color usando el modelo de color RGB, problema no trivial dado que el texto se encuentra inmerso en componentes gráficos o tocándose entre sí.

En este método consideran las combinaciones de parejas de colores puros de RGB, además de la luminancia en el formato YIQ (Y - luminancia, I - tono, Q - saturación) de dicha selección, posteriormente binarizan la imagen y utilizan una red neuronal para identificar los caracteres alfanuméricos.

Actualmente la descomposición de componentes del color es muy utilizado en el tratamiento de imágenes, proponen un método nuevo de segmentación jerárquica compacta a base de sintetizar la imagen en objetos precisos. El método proporciona una representación compuesta de la imagen original y por medio de reducir los colores o componentes del tono y sus segmentos.

La imagen compuesta es una secuencia de imágenes binarias, que son empaquetadas en diferentes planos. Estas imágenes son el resultado de la clasificación de dos valores de la imagen original con alguna de las características de brillantez, área, momentos invariantes, etc.

El sistema computarizado D2R2V consta del reconocimiento cartográfico de patrones puntuales, alfanumérico y lineales, a donde este último corresponde el presente trabajo de tesis.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron:

- Métodos nuevos de segmentación de imagen en color donde se proponen separar diferentes objetos en imágenes raster cartográficas en color.

- Concepto novedoso de representación de imágenes compuestas para detección de componentes semánticas en imágenes en bajo nivel de procesamiento. Esencialmente esto es reconocimiento-detección de objetos de interés.
- Algunos módulos del sistema D2R2V para interpretación automática de imágenes raster escaneadas cartográficas en color.

Dentro de los cuatro grupos de componentes de un mapa temático, como son objetos puntuales, líneas, regiones y texto, concretamente en las líneas se tienen dos módulos actualmente independientes, una es la segmentación automática de líneas y la otra es la vectorización de las mismas, donde ambas combinadas forman una herramienta poderosa para interpretación de los mapas temáticos.

3.2.6. Software R2V

Actualmente uno de los sistemas comerciales para la conversión de mapas raster a vector, el más utilizado es el R2V.

El R2V tiene un programa completo de demostración en Internet para imágenes muy pequeñas, éste es ejecutable en Windows.

- Este sistema sólo está diseñado para realizar un automatizado parcial, como es el seguimiento de líneas en blanco y negro, y en colores de 8 bits.
- Trabaja satisfactoriamente con imágenes muy simples, para imágenes más complejas se debe procesar previamente la imagen.
- Deja errores en la representación de la topología, porque realiza un esqueletizado morfológico que deja ramas parásitas.
- No separa los objetos digitalizados por su tipo, por ejemplo, si un mapa contiene líneas y texto, en blanco y negro, las deja en la misma capa.
- No reconstruye líneas “rotas” de manera automática.

Su deficiencia principal es la generalización, porque está orientado a cualquier tipo de imágenes raster (dibujos de ingeniería, mapas geográficos, mapas geológicos, planos eléctricos, fotos aéreas y de satélite, etc.) [Levachkine 2000¹], por lo que en un caso específico funciona con mucha participación del usuario.

En el capítulo 6 veremos algunos resultados con esta alternativa.

3.2.7. Software LTP

Otro de los sistemas muy utilizados es LTP (Line Trace Plus, by US Geological Service), tiene el software libre en Internet para generar comentarios y señalar los fallos en el funcionamiento, esta creado para plataforma Xenix y SCO Unix [LTPPlus, 1998¹⁴].

La versión 4.14b esta trabaja con GRASS 4.2, GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) es un GIS de dominio publico y un procesador de imágenes para desarrollo en Unix, creado por los Cuerpos de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos [Grass¹⁵].

- LTP no es estable y esta siendo actualizado, específicamente el manejo del color esta en transición.
- Trabaja con color de 8 bits con resultados que no son buenos y con el uso de 24 bits tiene problemas.
- LTP trabaja solamente con los ficheros vectoriales ASCII.
- LTP necesita trabajar con llamadas de la biblioteca de GRASS.

Lo valioso de este programa es su algoritmo basado en Watershed.

3.2.8. Resumen

En este capítulo se analizaron las principales propuestas que intentan dar una solución al problema de la extracción y reconocimiento de líneas en un mapa raster; como se pudo observar, la mayoría de los autores se centran en la problemática del reconocimiento de líneas en tonos de gris, esto da como resultado múltiples métodos, unos más eficientes que otros.

En los diferentes sistemas presentados se ocupan de remarcar el centro de las líneas y delinear los bordes de las regiones, de manera gráfica, estos procesos trabajan en mapas o dibujos a 256 colores (8 bits).

En el capítulo 5 veremos que en la metodología propuesta no se necesita de la separación del mapa raster en sus diferentes canales para trabajarlo en forma separada; se vale de medios más sencillos y heurísticos para lograr el objetivo mencionado.

Veremos también que se incluye el proceso completo desde la digitalización de los mapas en papel hasta concluir con la base de datos relacionada a las líneas en el mapa en cuestión.

Las imágenes raster son tratadas con 16.7 millones de colores (24 bits), vectorizadas y referenciadas a una base de datos, además, son reconstruidas en donde la continuidad de las líneas se interrumpe.