Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2013, Vol.14, No.1, pp.51- 59, ISSN 1729-3790

Semántica y Descriptores Invariantes para el Procesamiento de Imágenes de Teledetección

Rainer Larin-Fonseca* [(1),] Eduardo Garea-Llano [(1)] y Yasser Chacón-Cabrera [(1)]

[(1)]*Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada, 7ma No. 21406 esq. 216, Siboney, Playa, La Habana, Cuba*
Email: rlarin@cenatav.co.cu, egarea@cenatav.co.cu , ychacon@cenatav.co.cu

Recibido: julio 12, 2012	Aceptado: diciembre 21, 2012

Resumen

La detección y recuperación de regiones en imágenes de teledetección es una tarea compleja. Esto se debe al gran volumen de este tipo de imágenes y su gran extensión espacial. El problema principal que se trata es la detección y recuperación de regiones con valor informativo, sobre la base de su abstracción semántica. Se propone el empleo de técnicas de representación semántica para la detección y recuperación de regiones sobre la base del uso de las Ontologías de Representación de Datos combinadas con ontologías de Nivel Superior, mediante la representación de rasgos de bajo nivel invariantes a la escala y a la rotación y la representación de la abstracción semántica de estas regiones. Se considera además el uso de consultas en Lenguaje Natural para la recuperación de las regiones. Para la validación de esta propuesta se presenta un experimento para la detección y recuperación de regiones en imágenes satelitales.

Palabras clave: Detección, Ontologías, Recuperación, Teledetección

Semantics and Invariant Descriptors for Remote Sensing Image Processing

Abstract

The detection and retrieval of regions in remote sensing images is a complex task. This is due to the large volume of such images and their large spatial extension. The main problem treated is the detection and retrieval of regions with informative value based on their semantic abstraction. The use of Data Representation Ontologies combined with High Level Ontologies through the representation of low level features invariant to scale and rotation and the semantic representation of regions is proposed. We consider also the use of queries expressed in Natural Language for the region retrieval. To validate this proposal we present an experiment for the detection and recovery of regions in satellite images.

Key Words: Detection, Ontologies, Retrieval, Remote Sensing**.**

1. Introducción

La representación semántica de los datos geográficos contribuye de manera significativa a que los diferentes sistemas puedan no solo interpretar sino también comprender estos datos. Además favorece en gran medida tanto la integración de datos heterogéneos como la interoperabilidad entre los diferentes sistemas.

Las imágenes de teledetección son una de las Fuentes de datos más comúnmente utilizadas en los Sistemas de Información Geoespacial (SIG). Con el desarrollo de las nuevas tecnologías el volumen de imágenes de teledetección ha aumentado considerablemente así como su resolución espacial. Buscar y recuperar objetos contenidos en estas imágenes son tareas caras y complejas desde el punto de vista computacional.

Sin embargo el obtener mecanismos que permitan realizar estas operaciones de forma automática resulta vital para el cumplimiento de tareas como la detección y recuperación de objetos y regiones de interés. El uso de ontologías en la detección y recuperación de objetos puede reducir la brecha semántica a partir de que las mismas pueden ser utilizadas como una capa intermedia entre el usuario final y la computadora propiciando un mejor entendimiento entre ambos.

En este trabajo proponemos un enfoque en la detección y recuperación de objetos en imágenes de teledetección basado en ontologías. Asumimos que los objetos a ser detectados y recuperados están contenidos en más de un pixel y pueden tener problemas de escala y rotación. Además la detección de objetos en imágenes de teledetección es una tarea compleja y retadora debido a que en muchos casos el tamaño del objeto buscado es mucho menor que la resolución espacial de la imagen. Otro aspecto a tener en cuenta es el número insuficiente de instancias del objeto a ser recuperado por lo que los miles de ejemplos de entrenamiento requeridos por muchos de los algoritmos de clasificación no están disponibles.

La propuesta que presentamos en este estudio está basada en ontologías y utiliza tres ontologías para proporcionar la semántica del contexto de dominio y del contexto de tarea. Ellas son la Ontología de Representación de Datos (ORD) y dos Ontologías de Nivel Superior (ONS) (ontología de tarea y ontología de dominio), estos términos fueron propuestos en (Larin-Fonseca y Garea-Llano, 2011a).

La ORD es utilizada para representar los rasgos de bajo nivel invariantes a la escala y rotación de cada objeto a ser recuperado. La ontología de tarea es utilizada para ayudar en el proceso de recuperación y la ontología de dominio para representar la abstracción semántica de los objetos en el dominio de contexto.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2, se revisan los trabajos relacionados. En la sección 3 se presenta la propuesta de procesamiento semántico para la recuperación de objetos en imágenes de teledetección. En la sección 4 se muestran los principales resultados experimentales y finalmente se presentan las conclusiones en la sección 5.

2. Materiales y métodos

2.1 Trabajos relacionados

Para ubicar nuestra investigación en el contexto de la recuperación de objetos espaciales en imágenes de teledetección resumiremos algunos de los trabajos principales relacionados.

Algunos métodos basados en ontologías han sido propuestos por diversos autores (Sun *et al,* 2005; Duran *et al*; 2007, Farah *et al*, 2008; Almendros-Jiménez *et al*, 2010). Estos métodos utilizan las ontologías para estructurar y manejar el conocimiento. Las ontologías han ganado un interés creciente también porque son esenciales para crear interfaces hombre-computadora que permiten enfrentar el problema de la brecha semántica. Un ejemplo de esto es que el uso de ontologías como una capa intermedia entre las consultas del usuario y las características de bajo nivel de las imágenes añaden un nivel conceptual que permite el uso de conceptos semánticos directamente en la consulta.

Por otra parte estudios realizados demuestran que los usuarios prefieren interfaces en LN (Kaufmann y Bernstein, 2007) para realizar consultas en sistemas de recuperación de información de forma general. En muchos de los sistemas de recuperación de imágenes basados en ontologías, las mismas se utilizan solamente para resolver la ambigüedad entre las palabras (Hwang *et al*, 2007). Por tanto se necesitan herramientas que comuniquen el LN utilizado por los usuarios con la representación lógica de las ontologías, para una correcta explotación del conocimiento.

2.1.1 Detección y Recuperación de objetos en imágenes de Teledetección

Algunos trabajos como CBIR (Hwang *et al*, 2006) utilizan rasgos de bajo nivel como el color, la textura y la forma para recuperar imágenes, sin embargo los resultados no son todavía buenos. Esto se debe fundamentalmente a la brecha semántica entre los rasgos visuales y los conceptos semánticos.

En (Matsuyama y Hwang, 1990), se presenta el método SIGMA, que es estrictamente dependiente del dominio a partir de que el conocimiento previo sobre la escena está integrado en los algoritmos para el entendimiento de la imagen. Por otra parte el mismo utiliza bases de conocimiento que son difíciles de producir.

Algunos trabajos recientes como los presentados en Hsieh *et al* (2005) y Yang *et al* (2011) están basados en los rasgos de forma en la segmentación de objetos. Sin embargo ellos pueden ser utilizados en algunos casos específicos.

Los métodos basados en maquinas de aprendizaje como el que presentan Yao y Zhang (2005) tienen una aplicabilidad limitada en aplicaciones reales cuando existen insuficientes datos de aprendizaje disponibles. Sin embargo el uso de descriptores locales invariantes puede proporcionar resultados relevantes para la tarea específica de la recuperación de objetos (Bay *et al.*, 2006).

En cuanto a la baja resolución de las imágenes de teledetección el problema está en que en muchas aplicaciones reales donde se requiere la detección y recuperación de objetos necesitan de imágenes de alta resolución (2m x pixel) no disponibles. En las imágenes de baja resolución los objetos no están claramente definidos. En este trabajo estamos considerando por ende imágenes que tienen entre 10-20m x pixel.

Trabajos recientes utilizan las ontologías para describir explícitamente el conocimiento de un dominio. Farah et al (2008) y Almendros-Jiménez et al, (2010) presentan propuestas de metodologías para la representación semántica y el proceso de recuperación semántica basadas en el uso de ontologías en imágenes de teledetección. En Durand *et al* (2007) los autores proponen un método de reconocimiento basado en una ontología. Este método utiliza imágenes de teledetección de muy alta resolución (espacial o espectral), sin embargo el mismo no enfrenta los problemas presentes en las imágenes de baja resolución. Maillot *et al* (2004) presentan un método que involucra las maquinas de aprendizaje y las técnicas de representación del conocimiento. El problema principal de estos enfoques es que se necesitan datos de aprendizaje.

2.1.2 Recuperación de imágenes utilizando LN

En la actualidad encontramos muchos trabajos enfocados en realizar consultas en LN sobre la base de conocimiento (principalmente utilizando ontologías). Hwang *et al* (2006), proponen un sistema de recuperación de imágenes en LN basado en ontologías. Utilizan dos tipos de ontologías para manejar la consulta en LN. Una de ellas es la ontología de dominio, que contiene las relaciones de los conceptos en las imágenes; la otra es la ontología espacial, que contiene tres relaciones básicas y muchas palabras sobre las relaciones.

Otros trabajos convierten la consulta en LN a un lenguaje formal, en la mayoría de los casos SPARQL. Por ejemplo el sistema "Panto" (Wang *et al,* 2007), es una Interfaz en LN para consultar ontologías, que acepta consultas genéricas en LN y las transforma a SPARQL. Se apoyan primeramente en el analizador gramatical de Stanford, e diccionario "WordNet" y algoritmos de métricas de cadenas. Otro ejemplo es el presentado por Kaufmann *et al.* (2006) en el mismo las consultan la analizan con el analizador gramatical de Stanford y construyen un esqueleto de la misma, seguidamente buscan los sinónimos de cada palabra en "WordNet" y se la agregan al esqueleto, luego se buscan patrones definidos previamente en las consultas resultantes.

La gran mayoría estos sistemas son independientes del dominio lo cual constituye una debilidad comparados con sistemas con un dominio especifico en el cual el lenguaje pude ser mas acotado. En la propuesta de Fernandez *et al* (2008) previamente se crea una Base de Conocimiento con el objetivo de conocer las diferentes y múltiples maneras con las que se pueden solicitar información sobre el dominio especifico, se analizan las preguntas y se agruparon automáticamente y a cada agrupación se le asocio manualmente una sentencia SPARQL.

Una interfaz en LN para la detección y recuperación de objetos en imágenes de teledetección que se base en el uso de ontologías facilitará el trabajo de los usuarios ya que no tendrán que lidiar con las exactitudes de un lenguaje formal como SPARQL para realizar las consultas. Además, como la idea es trabajar en un dominio especifico se pueden utilizar diferentes técnicas (Fernandez *et al*, 2008; Damljanovic *et al*, 2012), para mejorar el tiempo computacional y la exactitud en el análisis de la consulta. En este trabajo se presenta una propuesta en este sentido.

2.2 Procesamiento semántico para la recuperación de objetos en imágenes de teledetección

La ORD como base para la detección y recuperación de objetos en imágenes de teledetección

Larin-Fonseca y Garea-Llano (2011b) proponen métodos para la representación semántica de los datos geoespaciales en el también propuesto Espacio Semántico Multidimensional. Se propone además un nuevo tipo de

Ontología, la Ontología de Representación de Datos (ORD). El objetivo de esta propuesta es cubrir el vacío existente sobre la representación semántica subyacente en estos datos y las relaciones existentes entre ellos, aspecto que no es tomado en cuenta en la concepción de las ontologías propuestas en la literatura. En este trabajo también se presenta una modificación a la arquitectura de los Sistemas de Información Geográfica Gobernados por Ontologías para la generación automática de conocimiento a partir de fuentes de datos heterogéneas.

La ORD, contiene las definiciones necesarias para la representación de los rasgos característicos y relaciones que modelan y dan significado a objetos pertenecientes a un dominio desde un punto de vista semántico. Constituye la proyección semántica de los objetos geoespaciales. Estos objetos se describen sobre la base de una misma estructura por lo que se hace posible entonces un acceso uniforme a ellos independientemente del formato o estándar en el que han sido almacenados. En la ORD los objetos geoespaciales no son representados a través de conceptos sino a través de una estructura un poco más compleja. Esta estructura es denominada como *Nodos de Representación de Datos* (NRD).

La estructura de los NRD está basada en la representación de las características temáticas, espaciales y temporales de los objetos geográficos, a través de tres subestructuras (ctemat, cespac y ctemp).

- El NRD se representa por la 5–tupla (*id, rel, ctemp, ctemat, cespac*) donde:
  - ***id***: Es el identificador del NRD.
  - ***rel***: Es el conjunto finito de relaciones.
  - ***ctemp***: Representa las características temporales de la entidad geográfica representada.
  - ***ctemat***: Representa las características temáticas de la entidad geográfica representada.
  - ***cespac***: Representa las características espaciales de la entidad geográfica representada.
- La estructura *ctemat* se representa por la 2–tupla (*nombre, (...))* donde:
  - ***nombre***: Nombre de la entidad geográfica representada.
  - ***(…)***: Propiedades Temáticas de la entidad geográfica representada que la definen semánticamente.

En este trabajo proponemos una modificación a la estructura de la ORD donde la estructura *ctemat* se representa por la 2–tupla (*nombre, (...))* donde:

- ***nombre***: Nombre de la entidad geográfica representada.
- ***(…)***: Rasgos de bajo nivel invariantes a la escala y rotación del área de la imagen que contiene al objeto o región de interés del objeto.

Nuestra propuesta utiliza tres ontologías, ellas son: la Ontología de Representación de Datos y dos Ontologías de Nivel Superior (una ontología de tarea y una ontología de dominio). La ontología de tarea es utilizada en el proceso de recuperación y la de dominio para representar la abstracción semántica del dominio en cuestión.

Implementación del Sistema

La implementación del Sistema se basó en el desarrollo de tres módulos principales.

Módulo de Pre-procesamiento Semántico del Objeto: En este módulo los objetos a ser recuperados son preprocesados. Este pre-procesamiento se indica a continuación:

1. Por cada objeto a ser recuperados son extraídos y representados en la ORD los rasgos de bajo nivel invariantes a la escala y la rotación. El vector descriptor es formado con el algoritmo SURF(Speeded Up Robust Features) (Bay *et al*, 2006) y SIFT (Scale-Invariant Features Transform)(Lowe, 2004). Entonces cada Nodo de Representación de Datos (NRD) Larin-Fonseca y Garea-Llano (2011a) contiene a ambos, rasgos semánticos y rasgos descriptivos que representan a cada objeto.
2. Una vez que la ORD es generada los objetos son contextualizados desde el punto de vista semántico. Esto se realiza mediante el enlace de los NRD existentes en la ORD con la ontología de dominio.

La fase de pre-procesamiento se presenta en la Fig. 1

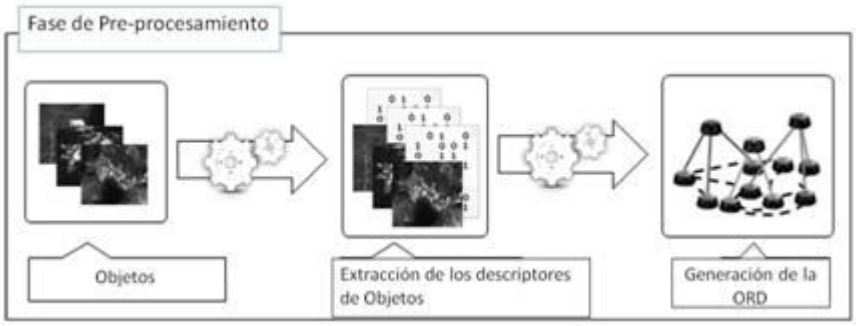


Fig. 1. Diagrama de la fase de pre-procesamiento de los objetos

Módulo de Procesamiento: de la Consulta de Usuario: Este módulo procesa las consultas de usuario en lenguaje natural para la recuperación de objetos. El procesamiento de la encuesta se realiza como se explica a continuación.

1. Primeramente se crea un lexicón de forma automática con los recursos (clases, instancias, propiedades, valores de propiedades) de la ontología y se etiquetan de acuerdo a su tipo. El lexicón es enriquecido utilizando un diccionario de sinónimos.
2. Se realiza un proceso de desglose de la consulta. Primero se elimianan las llamadas stop words (preposiciones, conjunciones, artículos, pronombres, signos de puntuación, etc.). Las palabaras restante se buscan en el lexicón y de acuerdo a la etiqueta de la misma se trata de formular la consulta. Esto se realiza utilizando la herramienta Freeling (Atserias *et al*, 2006). También se utiliza un diccionario de sinónimos. En el desarrollo futuro del proyecto se pueden considerar también las relaciones topológicas entre los objetos y las stop words.
3. Se reformula la consulta a un lenguaje formal, en este caso SPARQL.
4. Finalmente se realiza la busqueda en la ontología y los rasgos descriptivos para el objeto son obtenidos. Este resultado es utilizado como parámetro de entrada en la fase de detección de objetos.

El diagrama de la fase de procesamiento de la consulta se muestra en la Fig. 2.

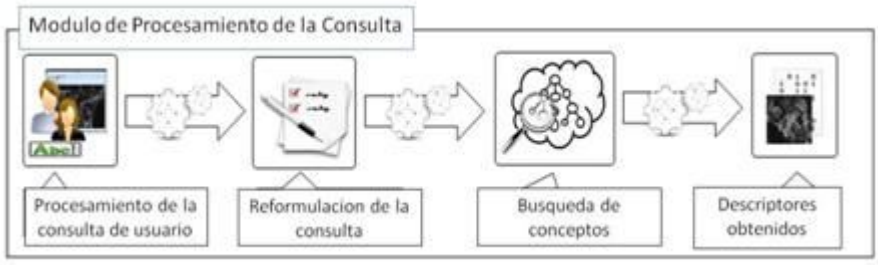


Fig. 2. Diagrama de la fase de procesamiento de la consulta

Módulo de Detección: Este modulo procesa imágenes de entrada para el reconocimiento de objetos. El proceso se muestra a continuación

1. El primer paso en esta fase es la extracción de los rasgos invariantes a escala y rotación de bajo nivel en las imágenes de entrada. Las imágenes de entrada tienen una extensión espacial muy elevada, sin embargo cada imagen es procesada por regiones .Utilizamos ambos tipos de algoritmos de extracción de rasgos. SURF y SIFT para detectar y describir estas imágenes. Como resultado se obtiene un vector descriptor combinado.
2. El otro paso es el proceso de comparación de descriptores para identificar la instancia del objeto en la imagen mediante el cotejo de los descriptores de la imagen con los descriptores del objeto. Para determinar que descriptores de la imagen corresponden con los descriptores del objeto, se utiliza un clasificador del vecino más cercano con rechazo y la distancia Euclidiana. El valor del umbral de rechazo es 0.8 como se propone en. Lowe (2004). Como resultado se obtiene la localización del objeto.

El diagrama de la fase de detección se muestra en la Fig.3.

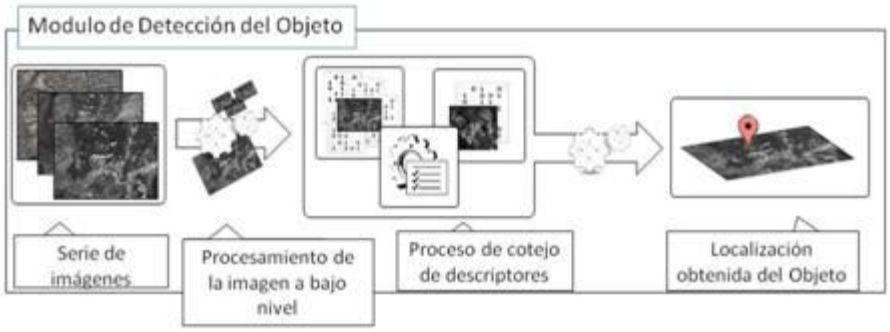


Fig. 3. Diagrama de la fase de detección de los objetos

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados experimentales

Con el objetivo de comprobar la validez de la propuesta se desarrolló un experimento para demostrar como el sistema permite enfrentar las tareas de detección y recuperación de la información mediante su aplicación en la detección y recuperación de objetos geoespaciales en imágenes de teledetección.

En el experimento se utilizaron dos bases de datos de imágenes SPOT (Spot, 2012) pancromáticas de resolución espacial 20 m. La primera de ellas es una base de objetos geográficos que contiene los objetos que serán buscados en las imágenes de teledetección. Esta base de datos contiene dos tipos diferentes de objetos, objetos artificiales y objetos naturales. La otra es una base de datos de imágenes satelitales que pueden o no contener los objetos buscados. En las Tablas I y II se presentan algunas descripciones de esas bases de datos.

Las imágenes contenidas en ambas bases de datos pueden tener tanto problemas de rotación como de escala incluyendo que estas imágenes no están geo-referenciadas. Esta propuesta se implementó en una plataforma experimental sobre la cual se realizaron los experimentos. Esta plataforma contiene tres secciones, ellas son:

Tabla I. Descripciones Generales de las bases de datos utilizadas

Base de Datos de Obj. Geográficos		*Base de datos de imágenes satelitales*
Nº de Objectos		Nº de imágenes
Artificiales	Naturales	16
7	5	

Tabla II. Nº de objetos geográficos por imagen satelital

Objetos Geográficos	*Nº de imágenes en las cuales los objetos están contenidos*
1	3
2	1
3	2
4	4
5	2
6	4
7	2
8	1
9	1
10	3
11	2
12	2

1. *Sección Management:* En esta sección se realizan todas las configuraciones de la plataforma.
2. *Sección Pre-Processing:* Esta sección implementa el módulo de pre-procesamiento semántico de los objetos, ver Fig. 4 – A.

3. *Sección Semantic Objects Retrieval:* En esta sección se implementan los módulos de Procesamiento de la Consulta de Usuario (ver Fig. 4 – B1) y de Detección de Objetos (ver Fig. 4 – B2). En el panel de procesamiento de la consulta de usuario pueden realizarse consultas en lenguaje natural por los usuarios para seleccionar los objetos que serán detectados en la base de datos de imágenes. Como resultado de la consulta de usuario son cargados en el panel de galería los objetos semánticamente representados en la ORD (ver Fig. 4 – B2).De la galería de objetos los usuarios pueden seleccionar los objetos que serán detectados.

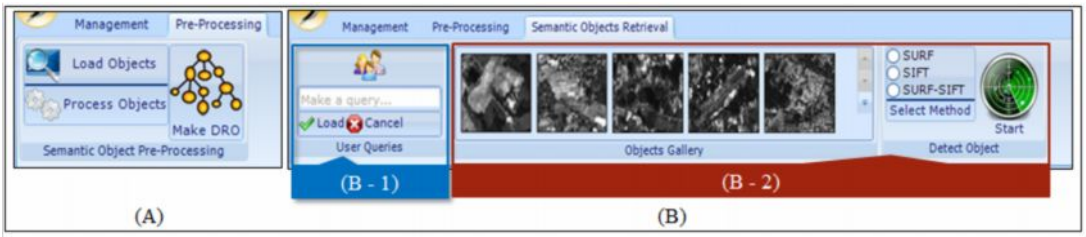


Fig. 4. Representación Grafica de dos secciones de la plataforma (A) Sección de Pre-procesamiento Semántico de los Objetos. (B) Sección de Recuperación Semántica de Objetos

Los pasos que se desarrollaron en el experimento fueron los siguientes:

1. Se realizó el pre-procesamiento de la base de datos que contiene los objetos a detectar en el módulo de *Pre-procesamiento Semántico de Objetos* utilizando los descriptores SIFT y SURF (tabla 1).
2. Se realizó el procesamiento de dos consultas a la base de datos de imágenes satelitales para la recuperación de objetos naturales y objetos artificiales en el módulo de *Procesamiento de la Consulta de Usuario.*
3. Se realizó la detección de los objetos contenidos en ambas consultas en el modulo de *Módulo de Detección de Objetos.*
4. Se realizó la medición del parámetro Precisión *(Pr)* que se define como la razón entre número de objetos recuperados y el número total de objetos a recuperar.
5. Se realizó la selección, extracción y salva en ficheros de los patrones correspondientes a los objetos a detectar
6. Se realizó la detección de los objetos en la base de datos de imágenes satelitales mediante la clasificación supervisada de las mismas utilizando el clasificador paramétrico de Máxima Probabilidad ya que este hace uso de una figura geométrica para ubicar dentro de sus contornos los puntos pertenecientes a una clase. El término "paramétrico", entonces, se refiere a los parámetros que describen la figura geométrica. (Gil *et al*, 2002)
7. Se realizó la medición del parámetro *Pr* para este proceso.
8. Se compararon los resultados, en cuanto a eficacia medida por el parámetro *Pr.*

Tabla III. Comparación del desempeño utilizando diferentes vectores de descripción

Objetos Geográficos	Clasificación Supervisada			Método Propuesto		
	Pr			Pr		
	SURF	SIFT	SURF-SIFT	SURF	SIFT	SURF-SIFT
Objetos Artificiales						
Objeto 1	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9
Objeto 2	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9
Objeto 3	0.5	0.7	0.7	0.8	0.9	1
Objeto 4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9
Objeto 5	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1
Objeto 6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
Objeto 7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1
Objetos Naturales						
Objeto 8	0.4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9
Objeto 9	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
Objeto 10	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8
Objeto 11	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9
Objeto 12	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1

En la Tabla III se presenta la comparación del desempeño del método propuesto con el desempeño del enfoque de clasificación supervisada (Gil *et al*, 2002) para la recuperación de objetos geoespaciales utilizando tres descriptores de rasgos para la base datos de prueba (Base de datos de imágenes satelitales). Como puede observarse en todos los casos la precisión (Pr) alcanzada en la recuperación mediante el método propuesto es mayor que la alcanzada por el método de clasificación supervisada lo que pone de manifiesto que el proceso de recuperación realizado en el nivel semántico posibilita una mayor eficacia que realizarlo mediante la comparación de los rasgos de los pixeles seleccionados como patrones contra los pixeles de las imágenes a clasificar.

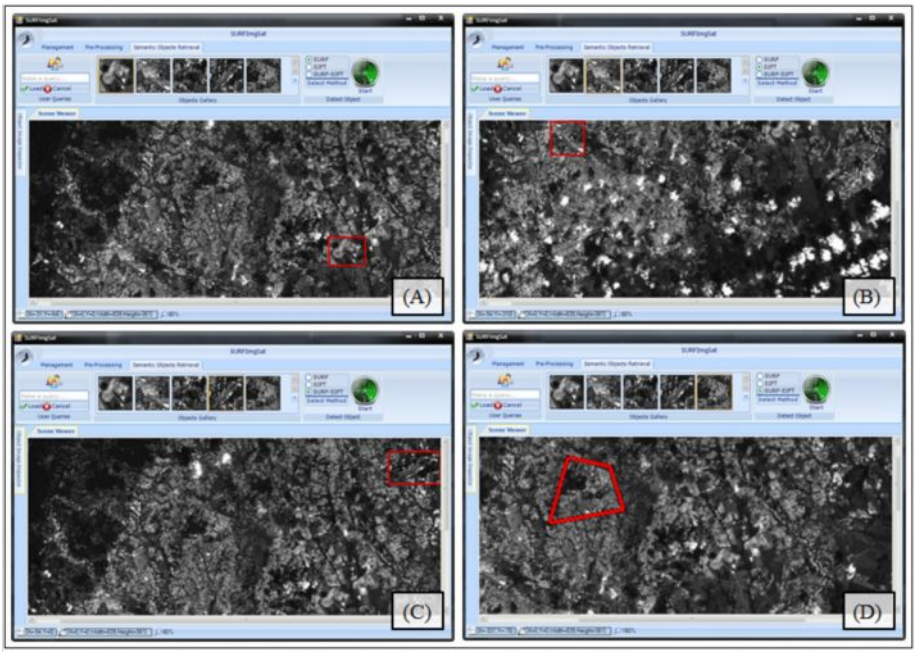


Fig. 5. Representación Grafica de los resultados de la detección de objetos en imágenes satelitales

En la Fig. 5, se presentan algunos ejemplos de la detección de objetos. Estos ejemplos fueron tomados utilizando diferentes descriptores de rasgos.

Por otro lado como resultado adicional del experimento, se comprobó que el uso combinado de los descriptores provistos por los algoritmos SURF y el SIFT rechazan eficientemente sub-aéreas similares que no contienen el objeto de interés por lo que muestran mejores resultados que cada uno de ellos de forma individual. En la Fig. 5-D se puede ver un ejemplo de ello

Conclusiones

En este trabajo se presentó la propuesta de un sistema sobre la base del uso de la ORD combinado con técnicas de procesamiento de imágenes lo que permite enfrentar las tareas de detección y recuperación de la información mediante su aplicación en la detección y recuperación de objetos geoespaciales en imágenes de teledetección de forma automática aumentando la eficacia de este proceso.

Queda demostrado además que el uso de la ORD en la representación semántica de estos objetos permite la combinación de rasgos de bajo nivel con abstracciones semánticas disminuyendo así la brecha semántica existente entre Hombre-Máquina. Además, abre la posibilidad de que la recuperación de los objetos de interés sea sobre la base del procesamiento de consultas realizadas en lenguaje natural.

Por otro lado es posible aseverar que, los descriptores SURF y SIFT pueden ser utilizados para la detección de objetos geográficos en imágenes de teledetección y su uso combinado proporciona una detección eficiente de objetos con gran volumen de problemas de escala y rotación en las imágenes.

Referencias

Almendros-Jiménez, J.M., J.A. Piedra, M. Cantón (2010): An ontology-based modeling of an ocean satellite image retrieval system. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010* IEEE International 2010: p. pages. 2237 - 2240

Atserias, J., B. Casas, E. Comelles, M. González, L. Padró, M. Padró.(2006): *FreeLing 1.3: Syntactic and semantic services in an open-source NLP library.* Proceedings of the Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2006), Genoa, Italy, 2006.

Bay, H., T. Tuytelaars, L.V. Gool (2006): Surf: Speeded up robust features. *In ECCV, 2006*: p. pages. 404 - 417.

Damljanovic, D., M. Agatonovic, H. Cunningham (2012), FREyA: an interactive way of querying linked data using natural language, in *Proceedings of the 8th international conference on The Semantic Web*2012, Springer-Verlag: Heraklion, Crete, Greece. p. 125-138.

Durand, N., S.Derivaux, G. Forestier, C. Wemmert, P. Gancarski (2007): Ontology-Based Object Recognition for Remote Sensing Image Interpretation, in *Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence - Volume 01*2007, IEEE Computer Society. p. 472-479.

Farah, I.R., W. Messaoudi, K.S. Ettabâa (2008): Satellite Image Retrieval Based On Ontology Merging *ICGST-GVIP Journal, 2008.* Volume 8, Issue 2.

Ferrández, O., R. Izquierdo, S. Fernández y J.L. Vicedo (2008), Un sistema de búsqueda de respuestas basado en ontologías,implicación textual y entornos reales. *Procesamiento del lenguaje Natural,* nº 41, 2008: p. 47-54.

Gil Rodríguez, J.L., E. Garcia, M. Vega (2002), Enfoques para la Clasificación Digital de Imágenes Mono y Multiespectrales y su Implementación en el Software Cubano Tn Estudio V2.0. *[CD-ROM] Memorias III Congreso Internacional de Geomática, en Informática*. 2002. Ciudad de La Habana.

Hsieh, J.W., J.M. Chen, C.Chuang, K. Fan . (2005): Aircraft type recognition in satellite images. *IEEE Proc.-Vis. Image Signal Process*. 152(3). 307-315.

Hwang M., H. Kong, S. Baek, P. Kim (2006): A Method for Processing the Natural Language Query in Ontology-Based Image Retrieval System. *Adaptive Multimedia Retrieval 2006*: 1-11

Kaufmann, E., A. Bernstein (2007): How useful are natural language interfaces to the semantic web for casual end-users?, in *Proceedings of the 6th international The semantic web and 2nd Asian conference on Asian semantic web conference,* 2007, Springer-Verlag: Busan, Korea. p. 281-294.

Larin-Fonseca, R., E. Garea-Llano (2011a): Automatic Representation of Geographical Data from Semantic Point of View throughout a New Ontology and Classification Techniques *Transaction in GIS. Blackwell Publishing Ltd,* 2011. Vol 15(Issue 1). p 61-85.

Larin-Fonseca, R., E. Garea-Llano (2011b): Automatic Generation of the Data-Representation Ontology for Semantic Integration of Heterogeneous Geographical Data. *[CD-ROM] Memorias VII Congreso Internacional GEOMATICA 2011, Memorias*, 2011.

Lowe, D.G.(2004), Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004. Volume 60 Issue 2. p 91-110.

Maillot, N., M. Thonnat, C. Hudelot (2004): Ontology Based Object Learning and Recognition: Application to Image Retrieval. *16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'04)*, 2004: p.620-625.

Matsuyama, T., V.-S. Hwang (1990): SIGMA - A Knowledge-Based Aerial Image Understanding System. *Perseus Publishing. Plenum Press New York USA*, 1990. 300p.

Spot Image (2012). SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre). Consulta: 26 Junio. 2012. Disponible en: http://www.astrium-geo.com/en/143-spot-satellite-imagery.

Sun, H., S. Li, W. Li, Z. Ming (2005): Semantic-based retrieval of remote sensing images in a grid environment. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE 2005*: p. pages. 440 - 444

Wang, C., M. Xiong , Q. Zhou , Y. Yu (2007): PANTO: A Portable Natural Language Interface to Ontologies, in *Proceedings of the 4th European conference on The Semantic Web: Research and Applications*2007, Springer-Verlag: Innsbruck, Austria. p. 473-487.

Yang, B., P. Sharma, R. Nevatia (2011): Vehicle detection from low quality aerial LIDAR data. *Proceedings of the 2011 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV). IEEE Computer Society*.