

APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS A LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL MARCO DE LOS SERVICIOS GRID INTELIGENTES ESTADO DEL ARTE

GENETIC ALGORITHMMS APPLICATION TO SATELLITE IMAGE CLASIFICATION IN AN INTELLIGENT GRID SERVICES FRAMEWORK STATE OF THE ART

Jorge Gabriel, Hoyos Pineda

Ingeniero de Sistemas Universidad Antonio Nariño. Docente Catedrático Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento – GICOGÉ. Teléfonos: (098)7403369 cel. 310-2969319 y 301-2832713. Tunja (Boyacá - Colombia). E-mail: hoyospi@yahoo.com.

José Nelson, Pérez Castillo

Ingeniero de Sistemas Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Informática. Investigador y Docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento – GICOGÉ. Teléfono móvil 310-4785328. Bogotá D.C. (Colombia). E-mail: jnperezc@gmail.com

Fecha de recepción: Septiembre 17 de 2007

Fecha de aprobación: Noviembre 2 de 2007

RESUMEN

Los servicios Web han atendido durante muchos años el problema de la interoperabilidad sintáctica entre aplicaciones, dejando a un lado la semántica. Con el gran volumen de información disponible en la Web, y la aparición de nuevos paradigmas como la Computación Grid, ha surgido la necesidad de mejorar los servicios Web mediante la inclusión del componente semántico para lograr un mayor aprovechamiento de estos recursos y de los elementos necesarios para que dichos servicios puedan ser utilizados dentro de un ambiente Grid. En el campo de la inteligencia Web se han hecho varias propuestas, entre ellas la aplicación de técnicas de computación flexible como la computación evolucionaria. En este documento se realizará una revisión sobre el desarrollo actual de la Grid y otros temas relacionados como la Web semántica y los servicios Web, además de los diferentes enfoques acerca de la aplicación de los Algoritmos Genéticos al problema de la clasificación de imágenes de satélite.

PALABRAS CLAVE: Grid, Web Semántica, Algoritmos Genéticos, Clasificación de Imágenes.

ABSTRACT

During many years, the web services have been interested about the syntactic interoperability problem among applications, but forgetting semantics. With the great amount of available information in the Web, and the emergence of news paradigms as Computing Grid, it is necessary to improve the web services by including the semantic component in order to achieve a better benefit from these resources and from necessary elements to be used in a grid environment. In the Web intelligence field, have been proposed several projects, among them, the application of soft computing techniques, such as, evolutionary computation. In this paper we will carry out a review about the Grid current development and other related topics, such as, Semantic Web and Web Services, as well as, the different approaches about the genetic algorithms application in satellite image classification problem.

KEY WORDS: Grid, Semantic Web, Genetic Algorithms, Image classification.

INTRODUCCIÓN

El impulso dado a la computación Grid por el desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación que soportan mayores anchos de banda, además de posibilitar las redes de alta velocidad, ha incentivado la conformación de comunidades científicas que ahora pueden compartir sus recursos geográficamente dispersos para lograr fines específicos (Tianfield, 2005) (recursos tales como datos, hardware, software, instrumentos, y redes temáticas de investigación). Existe una extensa literatura relacionada con el futuro y las tendencias de estas comunidades denominadas organizaciones virtuales (Zhai, Qu et al., 2004), (Foster, Kesselman et al., 2001), y de la misma manera múltiples propuestas (Zhai, Qu et al., 2004), (Zhuge, 2005), (Wang, Wen et al., 2006), (Tianfield, 2005) acerca de lo que debería ser la infraestructura a desarrollar para hacerlas realidad.

A nivel mundial se vienen generando colecciones de datos en escalas de terabytes (Jiang and Yu, 2005), (Buttenfield, Gahegan et al., 2002). Dentro de estas grandes colecciones de datos están aquellas de tipo geoespacial (imágenes satelitales entre otros), requeridas por las diversas comunidades académicas y científicas.

La información actual disponible en la Web, acerca de las imágenes de satélite, se limita a la información de metadatos, como son las coordenadas geográficas, la fecha de adquisición, el tipo de sensor y el modo de adquisición. Esta restricción restringe seriamente la utilidad de los datos para los usuarios. En aras de superar esta limitación e incrementar la utilidad de los datos geoespaciales, se requiere la adopción de nuevas tecnologías que hagan posible el acceso a la información de percepción remota en base a contenidos y semánticas (Durbha and King, 2005). Dentro de los procedimientos que hacen posible extraer mayor información de las imágenes, se encuentra la clasificación de las mismas. Para este efecto se han desarrollado diferentes métodos que pueden a su vez ser implementados a través de diferentes técnicas. En la actualidad se está investigando el uso de otras técnicas diferentes a las tradicionales, y en este sentido la computación flexible, y dentro de

ella la computación evolucionaria se presenta como un campo con grandes posibilidades de desarrollo.

1. GRID SEMÁNTICA

La Grid semántica intenta reunir las ventajas de la Grid con los enfoques de la Web Semántica y los Servicio Web (Zhuge, 2004). La comunidad de la Grid Semántica prevé que la próxima generación de Grids deberá incluir funcionalidades para descubrir y gestionar el conocimiento. En este sentido se habla de la “Grid Inteligente” como un nuevo campo de investigación que estudia la forma de adquirir, integrar, representar e intercambiar la información disponible en la Grid para producir conocimiento útil, dicha funcionalidad estaría encapsulada en los llamados servicios Grid Inteligentes (Roure, Jennings et al., 2003). Un ejemplo de este tipo de servicios es el proyecto FEARLUS-G (Pignotti, Edwards et al., 2004) que explora la aplicación de las tecnologías de la Grid y la Grid Semántica para extender una herramienta existente de modelado del uso de la tierra a un entorno Grid y obtener un servicio Grid Semántico.

1.1 LA GRID

La computación Grid a diferencia de la computación distribuida tradicional, se enfoca en el uso compartido de recursos a gran escala, aplicaciones innovadoras, y en algunos casos la orientación al alto desempeño. El uso de la Grid busca garantizar la posibilidad de utilizar recursos y dar solución a problemas en forma coordinada en organizaciones virtuales dinámicas y multi-institucionales (Foster, Kesselman et al., 2001).

Aunque la Grid soluciona en gran medida el uso compartido de recursos físicos, es necesario prestar atención al otro importante elemento, la información y más precisamente el conocimiento que de ella se puede extraer, esto constituye uno de los principales retos para los investigadores. Como respuesta a estas necesidades se ha venido hablando de Grid del Conocimiento o Knowledge Grid definida en (Zhuge, 2004) como *“un ambiente sostenible de interconexión hombre-máquina que hará posible que los humanos o artefactos computacionales conocidos como agentes generen, capturen, publiquen, compartan, administren y promuevan conocimiento en forma efectiva, para procesar cualquier tipo de información a través de las máquinas, y su posterior transformación de una u otra forma”*. Los anteriores requerimientos originan una alta exigencia en cuanto a temas como la tolerancia a fallos, la confiabilidad, el rendimiento y la seguridad (Foster, Kesselman et al., 2002).

La OGSA (Open Grid Service Architecture) apunta a definir un conjunto principal de capacidades y comportamientos para los sistemas Grid. En (Corcho, Alper et al., 2006) se propone una arquitectura de referencia que extiende OGSA para soportar un manejo semántico. Esta arquitectura es llamada Semantic-OGSA o S-OGSA y define un modelo, las capacidades y los mecanismos para una Grid semántica. El enfoque de OGSA busca combinar los servicios Web tradicionales con requerimientos y técnicas de la Grid.

1.2 WEB SEMÁNTICA

La Web semántica esta orientada a la organización del contenido en vocabularios especializados, llamados ontologías, que adicionan nuevas capacidades a las herramientas Web ya existentes (Golbeck, Alford et al., 2003).

Un primer elemento de la Web Semántica es la utilización de lenguajes para anotar el contenido Web y marcar qué información es accesible para los agentes y las aplicaciones. La Web semántica hace uso de un conjunto de lenguajes tales como Resource Description Framework (RDF), DAML+OIL, y más recientemente Web Ontology Language (OWL) (Paolucci and Sycara, 2003), (McIlraith, Son et al., 2001). Un segundo elemento es un conjunto de ontologías que proporcionan modelos conceptuales para la interpretación de la información. Estos dos elementos proporcionan los mecanismos básicos para extraer la información de las páginas Web y el conocimiento básico que los servicios Web usarán en todas las transacciones. En (Zhuge, 2004) se presenta una comparación de los diferentes lenguajes de la Web semántica.

1.2.1 Ontologías

Cuando hablamos de Web Semántica necesariamente debemos referirnos al tema de las ontologías. Las ontologías se usan para favorecer la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones, lograr la interoperabilidad entre sistemas informáticos, razonar automáticamente y para la ingeniería de software (Abian, 2005).

Las ontologías corresponden a una aplicación de la Inteligencia artificial que establece un vocabulario común para las personas y las aplicaciones y buscan facilitar el reuso y el compartimiento del conocimiento. Una definición comúnmente aceptada es que una ontología es una especificación explícita de una conceptualización común que se sostiene en un contexto particular (Cristani and Cuel, 2004).

Se han desarrollado un buen número de lenguajes y herramientas para crear ontologías buenas y efectivas. En (Cristani and Cuel, 2004) se presenta una breve descripción de algunas de las metodologías que han sido propuestas por varias comunidades que ven la Web como un objeto de interés desde el punto de vista semántico, entre ellas: DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering), Ontology Development 101, OTK Methodology, Methontology, TOVE (Toronto Virtual Enterprise), Natural Language Interface Generator (GISE) y Business Object Ontology. En forma similar en (Fernandez, 1999) y (Jones, Bench-Capon et al., 1998) se realiza una revisión más amplia de las diferentes metodologías usadas para construir ontologías.

1.2.2 Servicios Web Semánticos

La arquitectura de los servicios Web actuales está soportada en los dos estándares más populares SOAP y WSDL. SOAP define un formato para el intercambio de mensajes entre los servicios Web, y WSDL describe la interfase de cada servicio. Recientemente se pro-

pusieron otros estándares como Web Service Choreography Interface (WSCCI) y Business Process Execution Language for Web Services (BPEL4WS), los cuales proporcionan mecanismos para describir la forma en que múltiples servicios Web pueden ser ensamblados para participar conjuntamente en un proceso de negocio (Paolucci and Sycara, 2003). Por otro lado, el registro de los servicios Web es una parte importante de la infraestructura de la Web Semántica, que facilita la ubicación del servicio. El estándar Universal Description, Discovery, and Integration (UDDI), proporciona un conjunto de funcionalidades de publicación y visualización para que los desarrolladores puedan encontrar los servicios Web que requieren.

Sin embargo el descubrimiento mediante UDDI presenta serias limitaciones. En UDDI, un servicio Web puede describir su funcionalidad, pero las búsquedas que se pueden hacer sobre estas descripciones resultan muy pobres. Otra deficiencia radica en el uso de XML para describir su modelo de datos, debido a que este lenguaje carece de una semántica explícita (Srinivasan, Paolucci et al., 2006).

Este conjunto de estándares sólo soluciona los problemas de interoperabilidad sintáctica. Sin embargo un problema mucho más complejo lo constituye la heterogeneidad estructural y semántica de los mensajes intercambiados por los servicios Web. En (Nagarajan, Verma et al., 2006) se presenta un resumen muy completo del tipo de conflictos que se pueden generar por este concepto, y se hacen recomendaciones sobre como se podrían resolver mediante el uso de anotaciones semánticas y/o el mapeo entre servicios.

Con el fin de facilitar el descubrimiento y la integración de los servicios Web, limitada especialmente por el gran número de servicios disponibles, se propuso por parte de los investigadores en Web semántica enriquecer a los servicios Web con una descripción semántica de su funcionalidad (Sabou, 2006). Estas descripciones pueden ser catalogadas como de dos clases:

- Ontología de servicio Web genérica. Especifica aspectos independientes del dominio de operación del servicio, como pueden ser las entradas, salidas.
- Ontología de servicio Web de dominio. Complementa la descripción genérica con conceptos que denotan entidades en el dominio de operación.

En este mismo sentido, y como respuesta a las limitaciones de UDDI, apareció OWL-S. OWL-S es una ontología de servicio Web que especifica un marco conceptual para describir servicios Web semánticos (Srinivasan, Paolucci et al., 2006). Usa una búsqueda basada en capacidades, para descubrir servicios Web, basándose en las entradas y precondiciones requeridas y las salidas y efectos esperados. Las precondiciones especifican las condiciones que son necesarias para poder utilizar el servicio, y los efectos describen el estado resultante después de la ejecución del servicio. Tales precondiciones y efectos pueden ser expresados también con WSDL-S. WSDL-S proporciona un mecanismo para introducir anotaciones semánticas a la descripción del servicio Web y de esta manera facilita una especificación del comportamiento de las diferentes operaciones de un servicio Web (Sinha and Paradkar, 2006).

1.2.3 Web Semántica Geoespacial

La semántica de la información espacial es un dominio rico de la Web semántica que requiere de una atención especial. La gran variedad de codificaciones de las semánticas geoespaciales generan un desafío particular para procesar peticiones de información de este tipo. Los trabajos en el área de la interoperabilidad GIS y el trabajo conducido por el Open GIS Consortium (OGC) apuntan a algunos problemas básicos, relacionados en primer término a la geometría de las entidades geoespaciales (Egenhofer, 2002).

El lenguaje de marcación geográfica (Geography Markup Language) GML proporciona una aproximación sintáctica a la representación de la información geoespacial, a través de un lenguaje en el cual los símbolos necesitan ser interpretados por los usuarios, ya que no se incluye el significado de los mismos (Egenhofer, 2002).

En (Probst and Lutz, 2004) se identifican algunos de los problemas de interoperabilidad que se pueden derivar de la heterogeneidad semántica de los servicios Web para información geográfica y describe como dichos problemas pueden ser resueltos utilizando un sistema de referencia semántico. Uno de los mencionados sistemas está propuesto en (Kuhn, 2005) como un framework para resolver los problemas de interoperabilidad. En el mismo documento se destacan las partes de la información espacial que requieren ser especificadas semánticamente con el fin de alcanzar dicha interoperabilidad.

En la búsqueda de solucionar el problema de la interoperabilidad entre aplicaciones SIG (Sistemas de Información Geográfica), se han realizado varias propuestas como la presentada en (Bernard, Einspanier et al., 2004) donde se describe una arquitectura para el descubrimiento y recuperación de información geográfica basada en ontologías, desarrollada en el proyecto meanInGs, que busca solucionar los problemas de las herramientas tradicionales utilizadas para la recuperación o consulta sobre datos geoespaciales. También en (Linková and Nedbal, 2007) se plantea un enfoque ontológico para ser empleado en una aplicación de dominio SIG, llamada VirGIS. VirGIS es una plataforma que proporciona una vista integrada virtual de datos geográficos.

2. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

La clasificación de una imagen es el proceso mediante el cual se definen las clases o categorías presentes en la imagen y cada píxel que hace parte de la misma es asignado a una de estas categorías. En (Sheikholeslami, Zhang et al., 1975) se plantea como objetivo de la clasificación de imágenes geográficas la categorización de imágenes de acuerdo al tipo de cobertura o uso del suelo, por ejemplo para distinguir entre áreas forestales y residenciales.

En (Chuvienco, 2002) se trata en forma detallada la clasificación digital, partiendo de la consideración de que es posible abordar este proceso teniendo en cuenta únicamente los Niveles Digitales de la imagen. En este contexto se entiende por nivel digital, un valor

numérico que define el nivel de gris aplicado a cada píxel durante la visualización de la imagen, dicho valor corresponde a la medición de la radiancia efectuada por el sensor en el momento de adquirir la imagen. El proceso de clasificación se compone de tres fases: entrenamiento, asignación, comprobación y verificación de resultados (Chuvienco, 2002):

1. **Entrenamiento.** Consiste en la definición de las categorías.
2. **Asignación.** Consiste en el agrupamiento de los píxeles en las categorías definidas. El problema en la fase de asignación está en definir que criterio aplicar para el agrupamiento de los píxeles, es decir, se debe establecer cuando se considera que el nivel digital de un píxel es similar u homogéneo a otro. Algunos métodos de clasificación usan sólo la información espectral (píxel por píxel), y otros buscan mejorar los resultados utilizando las relaciones existentes entre cada píxel y sus vecinos (Sheikholeslami, Zhang et al., 1975).
3. **Comprobación y verificación de resultados.** Tradicionalmente se ha aceptado la división de los métodos de clasificación en dos grupos (Chuvienco, 2002):
 - **Supervisado.** El interprete define zonas (grupos de píxeles) representativas de una clase o categoría, basándose en un conocimiento previo de la zona de estudio. Más adelante estas definiciones son utilizadas para clasificar cada píxel en función de la similitud de sus niveles digitales con los de los píxeles utilizados como referencia. Las clases resultantes son llamadas también clases informacionales.
 - **No supervisado.** No se requiere conocimiento previo de la zona de estudio. Este método desarrolla una clasificación automática mediante el agrupamiento de valores homogéneos dentro de la imagen. Las clases resultantes son llamadas también espectrales.

En la tabla 1 se relacionan algunas técnicas de reconocimiento de patrones, aplicadas a la clasificación de imágenes, las cuales se encuentran brevemente descritas en (Tso and Mather, 2001).

Tabla 1. Técnicas de reconocimiento de patrones, aplicadas a la clasificación de imágenes.
(Adaptado de B. Tso and P. Mather, Classification Methods for Remotely Sensed Data)

No Supervisadas	Algoritmos de agrupamiento con migración de las medias (o centros)	
	ISODATA	
	Refinamiento de agrupación	
	Agrupamiento difuso	
	Detección Vacuum shell	
Supervisadas	Métodos estadísticos	Paralelepípedos
		Mínima distancia
		Máxima probabilidad
	Redes Neuronales artificiales	
	Basadas en el conocimiento	Árboles de decisión
		Extracción automática de reglas difusas

Además de las anteriores técnicas, se han explorado otros métodos que combinan los resultados obtenidos usando diferentes reglas de decisión, como reglas de elección, redes bayesianas (Grossman and Domingos, 2004), razonamiento probatorio, múltiples enfoques de redes neuronales (Cetin, Kavzoglu et al., 2004), autómatas celulares (Rosin, 2006) y algoritmos evolutivos (Quirin, Korczak et al., 2004), (Larch, 1994), (Lee and Antonsson, 2000) y (Lozano and Larrañaga, 1998).

De igual forma en la literatura se encuentran otras propuestas alternativas a las técnicas y algoritmos ya mencionados. Es el caso de (Vatsavai, Shekhar et al., 2006) donde se presenta un conjunto de nuevos algoritmos de clasificación, agrupados bajo el nombre de *Miner, que fueron investigados y desarrollados como parte del proyecto TerraSIP financiado por la NASA. Estos nuevos algoritmos son resultado de la combinación de otras técnicas. Por ejemplo, el Clasificador espectral, espacial y temporal basado en el conocimiento SSTKC (Spectral, Spatial, and Temporal Knowledge-based Classifier), una fusión de sistemas basados en el conocimiento y el clasificador de máxima probabilidad, dirigido a la clasificación de imágenes multi-espectrales utilizando conocimiento de bases de datos espaciales auxiliares. El sistema de clasificación híbrido HCS (Hybrid Classification System), tiene por objetivo combinar métodos estadísticos de reconocimiento de patrones con sistemas de clasificación basados en el conocimiento. Los clasificadores espaciales o contextuales, buscan incorporar la dependencia espacial a los problemas de clasificación. Se distinguen en este grupo dos modelos, los campos aleatorios de Markov MRF (Markov Random Field) y la autoregresión espacial SAR (Spatial Auto-regression).

3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda inspirados en los mecanismos de selección natural de las especies y la combinación genética que se presenta en la reproducción de los individuos.

Estos algoritmos utilizan una estructura de datos simple llamada cromosoma para representar posibles soluciones a un problema específico, y aplica a esas estructuras diferentes operadores y combinaciones de ellos de forma que la información importante sea preservada. Los algoritmos genéticos generalmente han sido asociados a funciones de optimización, pero el rango de problemas a los cuales han sido y pueden ser aplicados es bastante amplio (Whitley, 1993). En (Gascón, 2006) se presenta una propuesta de clasificación en cuatro grandes áreas de aplicación: Decisión y Estrategia, Diseño y parametrización, Planificación y asignación de recursos, y Predicción. Los elementos básicos de un algoritmo genético son los siguientes (Naeim, Alimoradi et al., 2004), (Goldberg, 2005):

- **Población:** Es un conjunto de individuos que representan posibles soluciones al problema. Estos individuos son cadenas de bits que son evaluadas después de ser decodificadas a números reales o enteros que representan las variables del problema. Generalmente la población inicial es generada en forma aleatoria. A partir de un proceso de selección natural aplicado sobre la población inicial y mediante el uso de ope-

radores genéticos, como el cruzamiento y la mutación, se originan los descendientes que constituirán una nueva generación.

- **Gen o Cromosoma:** Conocido también como genotipo. Es un individuo o elemento de la población, que representa una posible solución al problema.
- **Función Fitness:** Conocida también como función de aptitud. Es una expresión matemática para evaluar la aptitud (calidad) de los individuos en una generación. Lo clave a la hora de definir una función de aptitud es que esta debe devolver los valores más altos cuando es aplicada a los individuos que más se aproximan a la solución óptima.
- **Selección natural de padres:** Es un mecanismo de selección aplicado sobre una población o una generación en forma probabilística de acuerdo al valor de la función de aptitud de cada individuo. Los individuos mejor calificados de acuerdo a esta función tendrán una mayor oportunidad de ser escogidos como padres para producir la siguiente generación.
- **Operadores genéticos:** Son los operadores que permiten obtener una nueva generación a partir de una población. Los operadores genéticos más comunes son el crossover (cruce o recombinación genética) y el operador de mutación.
- **Crossover:** Es el proceso mediante el cual dos individuos se aparean para producir descendencias individuales. Esto se realiza intercambiando segmentos de los cromosomas de los padres. Se han propuesto diferentes modelos de crossover como el punto simple, el punto múltiple y el cruzamiento uniforme.
- **Mutación:** Es un mecanismo necesario para asegurar la diversidad en la población. En forma aleatoria se selecciona un individuo para sufrir la mutación, el algoritmo cambia un bit también en forma aleatoria. Esto tiene como objetivo evitar un modelo fijo de soluciones que haya sido propagado a través de todas las diferentes generaciones.

Habiendo definido los elementos, podríamos resumir el algoritmo de la siguiente forma:

- Se define una población inicial de individuos (cromosomas).
- Se aplica la función de aptitud a cada uno de los individuos.
- Se realiza el proceso de selección natural de padres.
- Al conjunto de padres se aplican los operadores genéticos (cruzamiento y mutación), obteniendo una nueva generación.
- La generación obtenida es asumida como la nueva población y empieza nuevamente el ciclo. El proceso se repite hasta que se encuentre una solución óptima o se complete un determinado número de generaciones.

3.1 LOS ALGORITMOS GENÉTICOS Y LA WEB

En cuanto a las aplicaciones de algoritmos genéticos, y, en general de algoritmos evolutivos, relacionadas con la interacción con la Web, se encuentran varios trabajos. En (Merelo,

2002) se describe el módulo *Algorithm: Evolutionary*, un módulo en Perl para algoritmos evolutivos, que pretende crear una biblioteca bien integrada con XML, flexible, que admita cualquier paradigma de computación evolutiva y que sepa aprovechar las características del lenguaje. En el mismo artículo se hace un recuento de los diferentes esfuerzos por combinar XML y algoritmos evolutivos. Se destacan aquí: *EAML*, *eaWeb* y *eaLib*. En (Alba and Nieto, 2005) se hace referencia además a otros sistemas que ofrecen una interfaz gráfica de usuario (GUI) para facilitar la creación y posterior ejecución de nuevos algoritmos a partir de componentes agrupados en bibliotecas propias, como son *Evolvica* y *EAVisualizer*.

3.2 ALGORITMOS GENÉTICOS Y LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

En relación con la utilización de los algoritmos genéticos en el proceso de clasificación de imágenes, se encuentran tres enfoques. El primero se refiere a la aplicación de estos algoritmos directamente al proceso de clasificación de imágenes no clasificadas. El segundo enfoque plantea la aplicación de esta técnica en la extracción (aprendizaje) de reglas de clasificación sobre imágenes previamente clasificadas por expertos. Un tercer enfoque utiliza los algoritmos genéticos para generar un nuevo algoritmo clasificador a partir de la combinación de operadores de bajo nivel aplicables a las imágenes.

En (Larch, 1994) se encuentra un ejemplo del primer grupo, donde se propone un método que utiliza algoritmos genéticos para optimizar las reglas usadas en la clasificación de coberturas en imágenes Landsat. Las reglas optimizadas son obtenidas mediante la comparación de los resultados de las reglas con datos reales del terreno, usando una función objetivo que minimiza el número de falsos positivos y falsos negativos. Un ejemplo del segundo grupo se encuentra en (Quirin, Korczak et al., 2004) en donde se describen dos sistemas de clasificación aprendida, que pueden ser usados para clasificar imágenes de percepción remota. Un primer sistema utiliza ICU (Quirin, 2002), que es un sistema de descubrimiento de reglas que combina un algoritmo genético, una población de reglas de clasificación que describen las restricciones para cada píxel de los datos, y un conjunto de métodos usados para la selección de las reglas y la asignación de la exactitud. El segundo sistema utiliza XCS (Wilson, 1998), en este caso la función de aptitud se basa en la exactitud de la predicción y en que las cadenas de bits clásicas de los sistemas clasificadores son reemplazadas por vectores de valores reales (Wilson, 2000). En ambos casos se trata de la extracción de reglas de clasificación de una imagen previamente clasificada por expertos, y de la aplicación de dichas reglas a imágenes no clasificadas. Se habla aquí de la minería de reglas como el proceso de descubrir un conjunto de clasificadores, donde cada uno de ellos toma como entrada un píxel y devuelve su clase. En esta categoría cae también el trabajo presentado en (Benton, 1995) donde los algoritmos genéticos son utilizados para identificar, dentro de un conjunto de píxeles ya clasificados, aquellos que resulten representativos de una categoría de clasificación, y a partir de esta selección automatizar la labor de clasificación de los píxeles en imágenes similares. Como muestra del tercer enfoque, se encuentra en (Brumby, 2004) una descripción de una aplicación llamada *Genie*, que en lugar de optimizar un único algoritmo, toma varios algoritmos de procesamiento de imágenes individuales (detección de bordes, medición de texturas, operaciones espectra-

les, filtros morfológicos) como miembros de la población inicial. Sobre esta población se aplica el algoritmo genético, produciendo un nuevo algoritmo de clasificación supervisada. Genie está escrito en una mezcla de código Perl y C, y corre sobre estaciones de trabajo Linux estándar.

Adicionalmente, y como un tema estrechamente relacionado se encuentran varios trabajos sobre clustering con estrategias evolutivas (Lee and Antonsson, 2000), (Lozano and Larrañaga, 1998). El clustering es uno de los mecanismos más utilizados en el proceso de clasificación, y consiste en el agrupamiento de píxeles con valores digitales similares.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La Web semántica busca dotar de contenido semántico a la información disponible en la Web mediante el uso de algunas herramientas como las ontologías. Dentro del campo de la Web semántica, uno de los temas que despierta mayor interés es el de los servicios Web semánticos, también llamados servicios Web inteligentes.

En la actualidad se está dando un gran desarrollo en las aplicaciones y servicios que pueden ser utilizados en un ambiente Grid, por esta razón surge la necesidad de proveer a los servicios Web de los elementos necesarios para tal fin.

Por otro lado, en la Web actual existen tecnologías emergentes que presentan alternativas de solución a cierto tipo de problemas, entre las que se encuentra la computación flexible, y dentro de esta área temas como las redes neuronales y la computación evolucionaria, destacándose en esta última los Algoritmos Genéticos que pretenden reproducir los mecanismos de selección natural y sobrevivencia del más fuerte presentes en la naturaleza, aplicándolos a la solución de problemas complejos.

Teniendo en cuenta las grandes potencialidades de la computación evolucionaria frente al tema de procesamiento de imágenes de percepción remota, se hace necesario integrar los métodos de clasificación ya existentes y que se apoyan en los algoritmos genéticos con una nueva arquitectura como la planteada por la Grid. A partir de este punto y buscando responder a las exigencias actuales de la Web, se debe buscar la incorporación de elementos semánticos, aportando de esta forma al desarrollo de una Web inteligente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABIAN, M. A., (2005). Ontologías: Qué son y para qué sirven. En *Web Semántica Hoy*. No. 30.
- [2] ALBA, E. y NIETO, J. (2005). ROS (Remote Optimization Service). Informe Técnico ITI 05-08 , Dpto. de Lenguajes y CC.CC., Universidad de Málaga.

- [3] BENTON, R. G., (1995). Using Genetic Algorithms to Improve Interpretation of Satellite Data. En *Proceedings of the 33rd Annual on Southeast Regional Conference*. Clemson, South Carolina. pp. 143-145.
- [4] BERNARD, L., et al., (2004). Ontology-Based Discovery an Retrieval of Geographic Information in Spatial Data Infrastructures.
- [5] BRUMBY, S. P., (2004). Adaptative Remote Sensing Software Tools for Improving Regional Water Stewardship. En *Identifyng Technologies to Improve Regional Water Sterwardship: North-Middle Rio Grande Corridor*.
- [6] BUTTENFIELD, B., et al., (2002). Geospatial Data Mining and Knowledge Discovery. En *UCGIS White Paper on Emergent Research Themes*.
- [7] CETIN, M., et al., (2004). Classification of Multi-Spectral, Multi-Temporal and Multi-Sensor Images Using Principal Components Analysis and Artificial Neural Networks: Beykoz Case. P. o. X. I. Congress. Estambul, Turkia. pp. 951-956.
- [8] CORCHO, O., et al., (2006). An overview of S-OGSA: a Reference Semantic Grid Architecture. En *Journal of Web Semantics*. Vol. 4, No. 2.
- [9] CRISTANI, M. y CUEL, R., (2004). Methodologies for the Semantic Web: state-of-the-art of ontology methodology. En *Sigsemis Bulletin*. Vol. 1, No. 2 pp. 103-112.
- [10] CHUVIECO, E. (2002). Teledetección Ambiental. Barcelona, Ariel Ciencia.
- [11] DURBHA, S. S. y KING, R. L., (2005). "Semantics-Enabled Framework for Knowledge Discovery From Earth Observation Data Archives. En *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*. Vol. 43, No. 11.
- [12] EGENHOFER, M. J., (2002). Toward the Semantic Geospatial Web. En *Proceedings of the 10th ACM international Symposium on Advances in Geographic information Systems*. ACM Press.
- [13] FERNÁNDEZ, L. M., (1999). Overview of Methodologies for Building Ontologies. En *Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5)*. Estocolmo, Suecia.
- [14] FOSTER, I., et al., (2002). The Physiology of de Grid: Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. GGF4. pp. Citado en C. Goble y D. De Roure, The Grid: An Application of de Semantic Web.
- [15] FOSTER, I., et al., (2001). The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. En *Int. J. High Perform. Comput. Appl*. Sage Publications, Inc. Vol. 15 No. 3 pp. 200-222.

- [16] GASCÓN, M. D. L. H., (2006). Notas sobre computación evolutiva. En *GAIA-Red Científica*.
- [17] GOLBECK, J., et al., (2003). Organization and Structure of Information using Semantic Web Technologies. En *Handbook of Human Factors in Web Design*. Lawrence Erlbaum Associates, NJ.
- [18] GOLDBERG, D. E. (2005). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley.
- [19] GROSSMAN, D. y DOMINGOS, P., (2004). Learning Bayesian Network Classifiers by Maximizing Conditional Likelihood. En *Proceeding of de 21th International Conference on Machine Learning*. Banff, Canadá.
- [20] JIANG, W.-S. y YU, J.-H., (2005). Distributed Data Mining On The Grid. En *Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. Guangzhou, pp. 18-21.
- [21] JONES, D., et al., (1998). Methodologies for Ontology Development. En *Proc. IT&KNOWS Conference, XV IFIP World Computer Congress*. Budapest.
- [22] KUHN, W., (2005). Geospatial Semantics: Why, of What, and How? En *Journal on Data Semantics III*. pp. 1-24.
- [23] LARCH, D., (1994). Generic Algorithms for terrain categorization of Landsat images. En *SPIE*. Vol. 2103, pp. 14-19.
- [24] LEE, C. Y. y ANTONSSON, E. K., (2000). Dynamic Partitional Clustering Using Evolution Strategies. En *Proceedings of de Third Asia Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning*.
- [25] LINKOVÁ, Z. y NEDBAL, R., (2007). Ontology approach to integration of geographical data. En *WETDAP 2007, Proceedings of the 1st Workshop Evolutionary Techniques in Data-processing, In Conjunction with Znalosti (Knowledge) 2007*. Ostrava, República Checa, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, VSB -- Technical University of Ostrava, pp. 35-41.
- [26] LOZANO, J. A. y LARRAÑAGA, P., (1998). Aplicación de los algoritmos genéticos al problema del clustering jerárquico. En *Inteligencia Artificial*, No. 5.
- [27] MCILRAITH, S. A., et al., (2001). Semantic Web Services. En *IEEE Intelligent Systems*. Vol. 16, No. 2 pp. 46-53.
- [28] MERELO, J. J. (2002). Algoritmos evolutivos en Perl. Ponencia presentada en el V Congreso Hispalinux.

- [29] NAEIM, F., et al., (2004). Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design Using Genetic Algorithms. En *Earthquake Spectra*. Vol. 20, No. 2 pp. 413-426.
- [30] NAGARAJAN, M., et al., (2006). Semantic Interoperability of Web Services - Challenges and Experiences. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS'06)*. IEEE Computer Society. pp. 373-382.
- [31] PAOLUCCI, M. y SYCARA, K., (2003). Autonomous Semantic Web Services. En *IEEE Internet Computing*. Vol. 7, No. 5 pp. 34-41.
- [32] PIGNOTTI, E., et al., (2004). FEARLUS-G: A Semantic Grid Service for Land-Use Modelling. P. o. t. I. W. o. S. I. M. f. t. W. a. t. Grid. Valencia, España.
- [33] PROBST, F. y LUTZ, M. (2004). Giving Meaning to GI Web Service Descriptions. pp. 23-35.
- [34] QUIRIN, A., (2002). Découverte de règles de classification: classifieurs évolutifs. En *Mémoire DEA d'Informatique, Universidad Louis Pasteur, LSIIT UMR-7005 CNRS*. Strasbourg.
- [35] QUIRIN, A., et al., (2004). Learning Classifier Systems for Hyperspectral Images Processing. En *IlliGAL Report NO. 2004023*.
- [36] ROSIN, P. L., (2006). Training Cellular Automata for Image Processing. En *IEEE Transactions on Image Processing*. Vol. 15, No. 7 pp. 2076-2086.
- [37] ROURE, D. D., et al. (2003). The Semantic Grid: A Future e-Science Infrastructure pp. 37.
- [38] SABOU, M., (2006). Building Web Service Ontologies. Amsterdam, Universidad de Vrije, pp. 187.
- [39] SHEIKHOLESLAMI, G., et al., (1975). Geographical Image Classification and Retrieval. P. o. t. t. I. W. o. A. i. G. I. Systems. Las Vegas, USA. pp. 58-61.
- [40] SINHA, A. y PARADKAR, A., (2006). Model-Based Functional Conformance Testing of Web Services Operating on Persistent Data. a. Proceedings of the 2006 workshop on Testing, and verification of web services and applications Portland, Maine, USA. pp. 17-22.
- [41] SRINIVASAN, N., et al., (2006). Semantic Web Service Discovery in the OWL-S IDE En *Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences* IEEE Computer Society. Vol. 6.

- [42] TIANFIELD, H., (2005). Towards agent based grid resource management. En *International Symposium on Cluster Computing and the Grid*. IEEE Computer. Vol. 1, pp. 590-597.
- [43] TSO, B. y MATHER, P. (2001). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. New York, Taylor & Francis Inc.
- [44] VATSAVAI, R. R., et al., (2006). *Miner: A Suit of Classifiers for Spatial, Temporal, Ancillary, and Remote Sensing Data Mining. S. N. D. M. Workshop:, I. a. A. i. E. S. w. t. t. S. o. t. Inter- and S. a. A. face of Computing Science.
- [45] WANG, G., et al., (2006). A Knowledge Grid Architecture based on Mobile Agent. En *Second International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid, SKG06*. IEEE Computer.
- [46] WHITLEY, D. (1993). *A Genetic Algorithm Tutorial*. Computer Science Department, Colorado State University, Technical Report CS-93-103.
- [47] WILSON, S., (1998). Generalization in the XCS classifier system. En *Proceedings of the Third Annual Genetic Programming Conference*. pp. 665-674.
- [48] WILSON, S., (2000). Get Real! XCS with Continuous-Valued Inputs. En *Learning Classifier Systems (LNAI 1813)*. pp. 209-219.
- [49] ZHAI, Y., et al., (2004). Agent-Based Modeling for Virtual Organizations in Grid. En *International Workshop on Information Grid and Knowledge Grid (IGKG'2004)*. Berlin/Heidelberg. Vol. 3252, pp. 83-89.
- [50] ZHUGE, H., (2005). The Future Interconnection Environment. En *IEEE Computer*. Vol. 38, pp. 27-33.
- [51] ZHUGE, H., (2004). *The Knowledge Grid*. Singapur, World Scientific Publishing Co.

