

TAREAS DE ALTO NIVEL DE UN SISTEMA EXPERTO PARA DETECTAR Y MONITORIZAR AFLORAMIENTOS EN LA COSTA OESTE DE LA PENINSULA IBERICA

J.M. Cotos Yáñez, C. Hernández Sande

Laboratorio de Sistemas. Dpto. Electrónica y Computación, Facultad de Físicas. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Sur 15706. Santiago de Compostela. Tlf/Fax 981 520829. E-mail elmanel@usc.es

J.M. Torres Palenzuela

Dpto. de Física Aplicada Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo

A. Carollo Ramos

Dpto. de Física Aplicada. Facultad de Físicas. Universidad de Santiago de Compostela

RESUMEN.- Resumimos en este trabajo los tipos de tareas que un sistema experto basado en reglas, lleva a cabo en la detección y monitorización de afloramientos, particularizando los resultados en la costa oeste de la Península Ibérica. Este evento marino que se caracteriza por aportar a la costa aguas ricas en nitratos y fosfatos está directamente ligado a pesquerías de gran renombre internacional y a los procesos fitoplactónicos que perjudican en gran medida a la industria del marisco en las costas gallegas. Cualquiera de los dos motivos justifica el esfuerzo llevado a cabo por estudiar el afloramiento en aras a una mejor comprensión del fenómeno. Debido al dinamismo intrínseco del problema, hemos optado por introducir un conjunto de reglas heurísticas que, tal y como haría un experto biólogo, modifiquen el comportamiento del sistema en función de las entradas al mismo.

ABSTRACT.- We summarize in this paper the main tasks that a rule based system will carry out in order to detect and monitor upwelled waters in the Iberian Peninsula West Coast. This event that is characterized by bringing phosphates and nitrates to the coast was related with very important fisheries and, nowadays, is related with toxic algae blooms that affects to the shellfish that grows in the Galician estuaries. The intrinsic dynamics of this event makes us use an expert system to implement the heuristic knowledge that biologists have about the problem.

1.- INTRODUCCION

Manteniendo la continuidad con el trabajo presentado en la pasada reunión de la asociación titulado "Tareas de bajo nivel de un sistema experto para detectar y monitorizar eventos térmicos oceánicos" presentamos ahora las tareas de alto nivel, es decir la transcripción a un lenguaje informático del conocimiento que un experto en el área posee sobre el tema en cuestión (un biólogo en nuestro caso). Apenas encontramos referencias en la literatura a trabajos que incluyan auténticos sistemas basados en reglas aplicados al procesado clásico de imágenes (Gawith, 1987, Gerson et al, 1982, Triñanes, 1993) y ninguno basado en un lenguaje de programación que

separe claramente el motor de inferencias de la base de conocimiento. Podemos decir que la parte más innovadora de nuestro trabajo estriba en el uso de un sistema basado en reglas, en el que el motor de inferencias no sólo se encarga de gestionar el conocimiento implementado (en las reglas dedicadas a ello y en las que centramos este trabajo), sino que existe además otro grupo de reglas dedicado a la sistematización de los procesos a realizar, de forma que las imágenes a procesar para la obtención de resultados (a partir de una imagen global que obtenemos en nuestra estación receptora) son generadas por el propio sistema. Otra característica consiste en la separación de las reglas en tres grupos bien diferenciados: reglas de ejecución de tareas de bajo nivel, reglas de relación de datos y reglas de presentación de resultados. Estos bloques pueden crecer sin una transformación traumática debido a la característica intrínseca a los lenguajes de inteligencia artificial de introducir nuevas reglas que depuran o amplían el conocimiento implementado sin que ello tenga que suponer ningún cambio en el comportamiento del sistema, teniendo en cuenta además que este agrupamiento en tres clases es meramente conceptual. El objetivo principal que tratamos de alcanzar es la clasificación contextual de las aguas del afloramiento: si existe afloramiento en una determinada zona, su extensión aproximada, temperatura típica, gradiente térmico que lo caracteriza y su evolución temporal.

Para ello debemos cuestionamos la posibilidad de llevar a cabo esta tarea con las herramientas de que disponemos teniendo siempre presente las características propias de este evento. Veamos una simple descripción del fenómeno en la costa oeste de la Península Ibérica que será el área para la que particularicemos nuestros resultados: cuando el anticiclón de las Azores se encuentra situado más al norte en su recorrido estacional, esto es, durante los meses de verano, los vientos predominantes en la costa son norte-sur. Estos arrastran la capa superficial de agua según su dirección, pero la fuerza de Coriolis debida a la rotación de la Tierra hace que esa agua en movimiento hacia el sur vea desviada su trayectoria hacia el oeste, es decir, hacia alta mar. Las aguas subsuperficiales que al chocar con la plataforma continental se deflectan hacia la superficie son las encargadas de cubrir la vacante que allí había quedado. Estas aguas procedentes del fondo se caracterizan por tres parámetros principalmente: menor salinidad y temperatura que las aguas circundantes por proceder de los fondos marinos y una mayor cantidad de nitratos y fosfatos por no haber sido éstos empleados por la cadena de producción primaria que en el fondo es inoperativa. Basándonos en el uso de imágenes obtenidas a través del sensor AVHRR estamos en condiciones de decir que la detección automática del afloramiento es viable ya que la combinación de la resolución espacial que nos da AVHRR de 1.1 km. por pixel y su resolución espectral, capaz de facilitar temperaturas del orden de la décima de grado, son más que suficientes para detectarlo teniendo en cuenta que el afloramiento se adentra en el mar varias decenas de kilómetros y su temperatura es varios grados menor que la del agua circundante.

2.- METODOLOGIA

Ya hemos adelantado que las imágenes base proceden del sensor AVHRR instalado a bordo de la serie de satélites NOAA. El sistema genera imágenes térmicas a partir de los datos crudos que, en formato digital, obtenemos directamente del satélite. El estudio del afloramiento en esas imágenes, y de cara a obtener resultados ha sido limitado a la costa de Galicia y Portugal en siete puntos concretos:

LÍNEA	X	Y	LATITUD
1	220	68	43° 18' 36"
2	220	140	42° 35' 24"
3	235	220	41° 47' 24"
4	230	340	40° 35' 24"
5	190	470	39° 18' 00'
6	235	580	38° 12' 00"
7	225	700	37° 00' 00'

Tabla 1.- Posición de cada una de las líneas evaluadas sobre cada imagen térmica generada por el sistema

El hecho de escoger siete no limita al sistema, ya que ha sido diseñado de forma que este número pueda variar sin mas que alterar un coeficiente en las rutinas de bajo nivel. El hecho de que sean siete tampoco es aleatorio: hemos tomado las zonas extremas del afloramiento (líneas 1 y 7), la entrada de la ría de Arosa (línea 2), la desembocadura de los ríos Miño y Tajo (líneas 3 y 4 respectivamente) y las dos restante (5 y 6) rodean la desembocadura del Duero que es el más caudaloso de todos los que desembocan en esta costa. Están representados así las zonas características de toda el área de estudio.

Las entradas al sistema las constituyen una serie de variables numéricas que las tareas de bajo nivel extraen de diversas fuentes:

1.- Imágenes térmicas que el propio sistema genera a partir de los canales 4 y 5 de infrarrojo de la serie de satélites NOAA.

2.- Valores del transporte de Ekman en los puntos de la costa en que sean necesarios, y que se encuentran almacenados en una base de datos.

3.- Valores y conclusiones que el sistema ha alcanzado con anterioridad y que se encuentran en la memoria de trabajo.

Todas las rutinas de bajo nivel (cálculo de isotermas, valores del transporte de Ekman, generación de frentes térmicos, detección del primer pico de afloramiento, etc) las realizamos en lenguaje C, y como lenguaje de alto nivel (con el que se implementa el conocimiento disponible para abordar la tarea) hemos elegido el NEXPERT OBJECT. Hemos de destacar que todo el soporte hardware lo constituye una estación de trabajo Sparc-10 de Sun, que nos facilita una gran capacidad de cálculo y una muy alta resolución gráfica.

3.- ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Tunafis es un sistema modular compuesto por 4 bloques perfectamente diferenciados que como podemos ver en la figura 1, interactúan entre ellos de forma bidireccional excepto la interfaz de usuario que tan solo recibe datos del sistema.

El núcleo central lo constituyen las rutinas de alto nivel implementadas utilizando la herramienta de desarrollo NEXPERT-OBJECT.

Con un mínimo conocimiento en la base de datos del sistema, las rutinas de alto nivel llaman a las de bajo nivel para solicitarles información almacenada en disco. Estas extraen imágenes y datos que graban en la memoria de trabajo del sistema. Las rutinas de alto nivel manejan esos datos y obtienen conclusiones que son visualizadas en la interfaz del usuario. Esta última

se encarga también de monitorizar las tareas que el sistema lleva a cabo en cada momento.

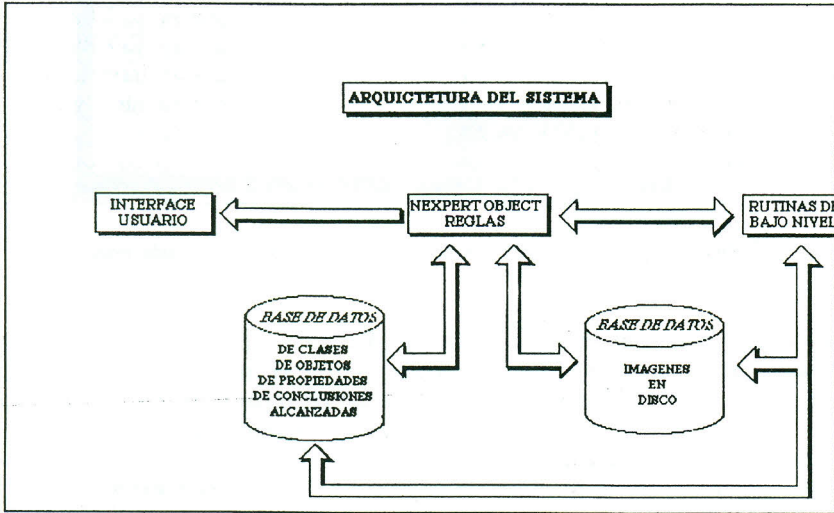


Figura 1.- Arquitectura modular del sistema

Una vez lanzado el proceso, el sistema obtiene información de imágenes nuevas generadas por él mismo. Cuando finaliza de procesar toda la información y ya no quedan hipótesis en la agenda se queda en un estado de reposo chequeando el directorio de trabajo en espera de que lleguen nuevas imágenes para continuar el proceso.

4.- DESCRIPCION DEL CONOCIMIENTO

Cuando pensamos en lo que sabemos, instintivamente mezclamos dos tipos de sabiduría: por un lado "conocemos" las cosas que nos rodean, o al menos intentamos hacerlo de forma que cuando realizamos una tarea determinada identificamos los objetos que atañen a esa tarea, diferenciándolos unos de otros por sus propiedades, agrupando en clases aquellos que poseen características similares; por otro lado relacionamos los objetos a través de sus utilidades y extraemos conclusiones con los resultados de las acciones realizadas con esos objetos. Esto mismo hemos de "comunicárselo" a la máquina. Para ello el lenguaje de desarrollo empleado nos facilita dos herramientas gráficas: un editor de clases, objetos y propiedades, con las que implementamos el conocimiento descriptivo, y un editor de reglas con el que hacemos lo propio con el conocimiento ejecutivo.

4.1.- Conocimiento descriptivo

En la figura 2 podemos ver como el objeto no11_14_l4jun, que representa una imagen global obtenida del NOAA 11 el 14 de junio de 1993, pertenece a la clase *avhrr* que a su vez es una subclase de la clase genérica *image*. Este objeto representado por un triángulo tiene como

propiedades en la memoria de trabajo el nombre del fichero al que representa, su tamaño en x e y, el número del satélite, del que fue adquirido, así como la fecha y la hora de adquisición. Además el objeto *i4_14_jun* que posee propiedades similares un subobjeto del anterior por ser parte de él: representa una imagen del canal 4 de infrarrojo, de tamaño 300x800, de 16 bits, que esta almacenada en disco con el nombre *i4_14_jun.vff*. Por ser de infrarrojo pertenece a la subclase *infrared* de la clase *image*. Así disponemos de 16 clases generales, y de 24 objetos iniciales, cada uno con sus propiedades características.

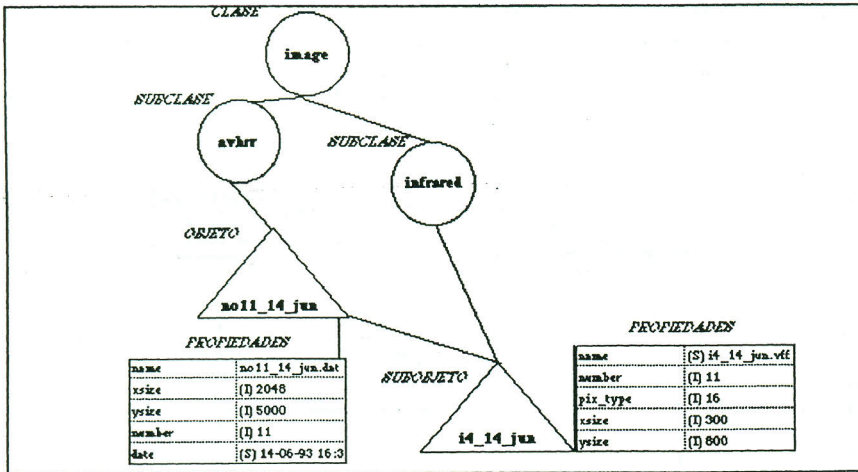


Figura 2.- Estructura de la información en clases, objetos, subclases y subobjetos

4.2.- Conocimiento ejecutivo

Este otro tipo de conocimiento está implementado en forma de reglas (Waterman, 1986),

If (LHS) Then hipótesis se confirma
 And (RHS) se llevan a cabo

dónde LHS simbolizan una serie de condiciones que, si y sólo si, son todas ciertas la hipótesis se confirma y las acciones especificadas como RHS tienen lugar en el sistema. Todas las tareas de alto nivel, como clasificación del afloramiento en función de su intensidad, evaluación de su crecimiento o decrecimiento, y clasificación en función de su intensidad están implementadas según esta estructura. El sistema está implementado con 50 reglas que han sido divididas en tres grandes grupos como podemos ver en la figura 3. A modo de ejemplo citamos en lenguaje natural una regla de cada grupo:

a) Reglas de ejecución de tarea, de bajo nivel: constituyen el bloque de comunicación con las subrutinas escritas en lenguaje C que son las encargadas de extraer información de las imágenes. Cualquiera de ellas acaba disparando la calibración de los datos de las posibles

imágenes existentes en el disco ya que prácticamente todas ellas trabajan sobre imágenes

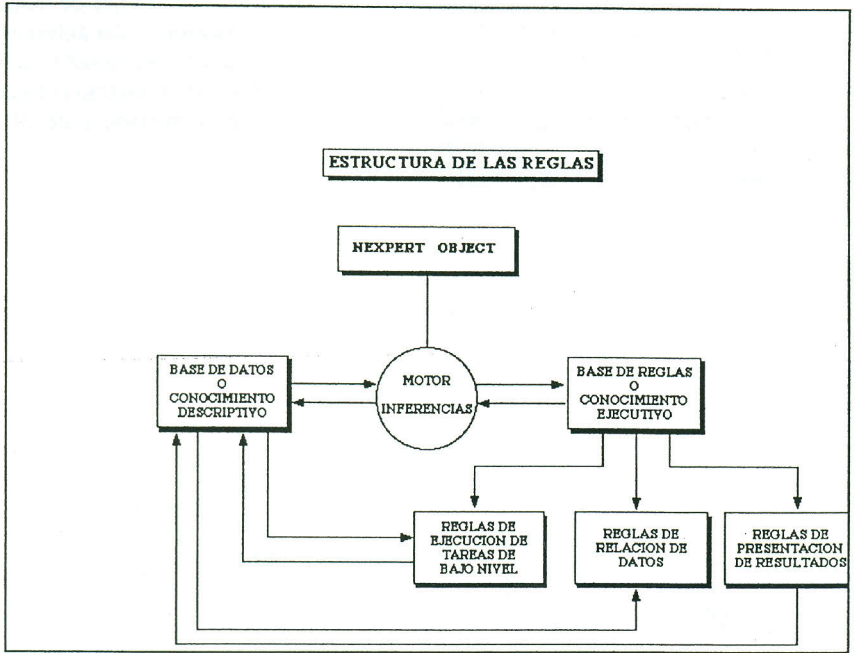


Figura 3.- Estructura relacional del conocimiento ejecutivo del sistema

térmicas. Este proceso está realizado encadenando hacia atrás varias reglas. Como ejemplo tenemos la encargada de generar mapas térmicos a partir de los canales 4 y 5 de las imágenes que hay en la memoria de trabajo sin procesar:

RULE: CALCULO_TEMPS (#4)

If

there is evidence of calibration

And STRFIND (<|infrared|>.name, "i4") is greater than or equal to 0

And <|infrared|>.number is equal to <|infrared|>.number

And Execute "ext_temps"(@ATOMID = <|infrared|>.name;)

Then calculo temps

is confirmed

And Execute "Write to" (@ATOMID <|infrared|>.name, <|infrared|>.number;

@STRING = "TRANSCRIPT,@TEXT =Numero de NOAA de los evaluados";)

Lo primero que realiza es comprobar que la calibración de las imágenes globales ha sido llevada a cabo. En caso de que *calibration* no tenga ningún valor todavía, el motor de inferencias coloca

en la agenda esta hipótesis. Estamos realizando un encadenamiento hacia atrás, motivado por la necesidad del fichero que convierte niveles digitales de radianza a temperaturas de brillo. Una vez que esa hipótesis ha sido evaluada cierta, el sistema genera una lista de todos los objetos pertenecientes a la clase infrared que sean del canal 4. Busca después el número de NOAA a que pertenecen que heredan del objeto avhrr (imagen global del que han sido extraídos) al que están asociados. La rutina de extracción de temperaturas se dispara y busca en la memoria de trabajo las imágenes necesarias del canal 5, para que, junto con la lista del canal 4 que le es pasada, pueda generar imágenes térmicas para las que creará el objeto correspondiente asociado a la clase thermal que asociará al objeto imagen-global correspondiente. En las acciones se realiza una llamada a la rutina de que muestra una lista de los objetos del canal 4 relacionados y el número de NOAA de la imagen de la que fueron extraídos. Todas las llamadas a rutinas que procesan imágenes siguen en gran medida este proceso que acabamos de detallar: generan una lista de objetos de interés que pasan a la subrutina correspondiente. Esta genera nuevas imágenes que graba en la memoria de trabajo.

b) Reglas de relación de datos: Que son las encargadas de procesar los datos generados por las rutinas de bajo nivel. En ellas está implementado la mayor parte del conocimiento experto.

RULE: CALCULO_TEMPS (#34)

If

there is evidence of upwelling_studied

And < |point_upwelling| > .average- < |point-upwelling| > .upwelling_umbral is less than or equal to 0

And < |point_upwelling| > .lat is not equal to 0.0

And < |point_upwelling| > .lon is not equal to 0.0

Then upwelling_true

is confirmed

And < |point_upwelling| > .upwelling is set to TRUE

La regla comienza asegurándose de que la hipótesis *upwelling_studied* ha sido verificada, ya que es la responsable de que la subrutina de bajo nivel correspondiente evalúe cada línea de imagen y grabe en la memoria de trabajo las variables de interés. Hemos establecido que existe afloramiento si la temperatura de la plataforma continental está, al menos 0.5 °C por debajo de la temperatura en mar adentro. Además, para asegurar que el valor de average es válido (pudiera suceder que toda la línea estuviese cubierta por nubes) la regla selecciona de entre todos los puntos que verifican la premisa de existencia de afloramiento, aquellas que poseen una latitud y longitud distinta de cero. La hipótesis *upwelling_true* toma el valor TRUE y slot *upwelling*, de aquellos objetos que verificaron toda la parte LHS pasa a ser TRUE.

c) Reglas de presentación de resultados: En esta etapa se presentan los afloramientos existentes clasificados combinando su extensión y su intensidad, así como los picos de afloramientos anormales detectados. Como ejemplo presentamos la regla que selecciona afloramientos débiles en intensidad y pequeños en extensión:

RULE: CALCULO-TEN" (#22)

If

there is evidence of upwelling_true

And < |point_upwelling| > .upwelling is TRUE

And < |point_upwelling| > .label_intensity is "weak"

And < |point-upwelling| > .label_extension is "little"

Then Upwelling_print

is confirmed

And Execute "WriteTo"(@ATOMID= < |1 point-upwelling| > .lat,

< |point_upwelling| > .lon;

@STRING= "@TRANSCIPRT,

@TEXT=AFLORAMIENTOS DEBIL

EN INTENSIDAD Y PEQUEÑO EN EXTENSION,@ADD");)

5.- INTERFAZ DE USUARIO

El modelo de interfaz que hemos desarrollado consta de una parte visual que muestra en pantalla información referente al estado de trabajo y otra auditiva que proporciona avisos al usuario, vía el altavoz que la estación de trabajo posee, de la tarea que TUNAFIS desarrolla en cada momento. El módulo gráfico se subdivide además en cuatro partes. La primera ventana, y quizá la más importante, es un menú con las posibles tareas que el sistema puede llevar a cabo que ilumina la actual. Proporciona además el tiempo transcurrido desde que el sistema fue activado. Es posible que las rutinas de bajo nivel detecten algún posible error durante la ejecución, tal como fallos de memoria, errores de cálculo o errores al acceder a la memoria de trabajo por lo que hemos desarrollado una ventana en la que el sistema visualiza el error detectado y no continúa trabajando hasta que el usuario agradece el error pulsando un botón en la ventana. Otra indica en todo momento la imagen que el sistema está procesando. Por último, grabamos todos los resultados de imágenes t@cas, con los picos superpuestos, las isoterms que caracterizan al afloramiento y las líneas estudiadas en disco y las visualizamos en una ventana gráfica diseñada para tal propósito. Quedan tan solo por mostrar las conclusiones alcanzadas. Hemos optado por realizar esta tarea en la propia ventana de salida que proporciona el entorno gráfico NEXPERT.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Gawith D. 1987. Autonomous extraction of an eddy-like structure from infrared images of the ocean. IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing. Vol. GE-25, n. 1, pp. 28-34.
- Gerson D., Khedouri E., Gaborski P. 1982. Detecting the Gulf Stream from digital infrared data pattern recognition. Processes in Marine Remote Sensing, pp. 19-39.
- Triñanes J. A. et al. 1993. Mapas SST de alta resolución mediante combinación de datos TM-AV-HRR. Revista de Teledetección, n. 2, pp. 37-44.
- Waterman D. A. 1986. A guide to expert systems. Ed. Addison Wesley.