

INTERPOLACIÓN DE DATOS TÉRMICOS PUNTUALES. COMPARACIÓN CON UNA IMAGEN SST DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA RÍA DE AROUSA.

I. Sordo Touza, J. García Seco, J. Vázquez Espiérrez, J. E. Arias Rodríguez
Laboratorio de Sistemas. Dpto. de Electrónica y Computación.
Facultad de Física. Campus Sur. 15706. Universidade de Santiago de Compostela.

RESUMEN

Presentamos en este artículo una aplicación de la interpolación estadística kriging sobre muestras puntuales para la obtención de una distribución continua de temperatura en la extensión de la ría de Arousa, la mayor productora de mejillón de las rías gallegas. Compararemos los resultados de dicha interpolación para la temperatura superficial con los obtenidos con una imagen de teledetección SST de alta resolución, obtenida con anterioridad a la fecha en nuestro grupo de investigación mediante la calibración de los niveles digitales de la banda 6 del Landsat y los valores obtenidos del procesamiento de las bandas térmicas del sensor AVHRR del NOAA-11. Se observa que la distribución térmica es similar en prácticamente toda la extensión de la ría, con lo que dicha interpolación puede ser de gran ayuda a la hora de realizar una distribución continua a partir de los datos procedentes de muestreos periódicos, y por tanto ayudar al análisis de las variables que afectan a la aparición de episodios tóxicos como las mareas rojas.

INTRODUCCIÓN

Las mareas rojas son un fenómeno producido por fitoplancton tóxico que afecta a la producción de moluscos bivalvos y que, todos los años, causa graves daños sociales y económicos en las Rías Gallegas, siendo mayor este daño en la Ría de Arousa debido a su mayor producción de mejillón.

La prevención y el control de estos episodios tóxicos pasan por la recogida de muestras periódicas en las rías, y su posterior análisis, para una mayor comprensión de los fenómenos tanto oceanográficos como biológicos que afectan a la aparición de los mismos.

Esta tarea está siendo realizada en los últimos años por el Centro para o Control da Calidade do Medio Mariño de Vilaxoán (CCCMM), dependiente de la Xunta de Galicia, centro con el cual nuestro grupo de investigación lleva colaborando desde 1991.

Hemos desarrollado un Sistema de Información Geográfica (SIG) para visualizar y

poder estudiar los datos de campo provenientes de las tomas periódicas de datos del CCCMM.

Debido al alto coste que conllevaría realizar tomas periódicas en toda la extensión de la ría, el CCCMM tiene determinadas una serie de estaciones base en las cuales se realizan las tomas periódicas de datos (concentración de distintas especies de fitoplancton, variables físico-químicas, concentración de nutrientes, etc). El problema surge a la hora del manejo de la información recogida, y su posterior análisis.

Lo ideal sería contar con un modelo numérico de circulación en las rías, y utilizar los datos primarios como condición de contorno. Consideramos que mientras se lleva a cabo este complejo trabajo de modelización es posible, basándonos en los datos de campo, utilizar un método de interpolación de forma que sea posible para los especialistas tener una representación continua de los parámetros en toda la extensión de la ría de Arousa.

Compararemos en este trabajo la imagen de SST de alta resolución espacial, con el resultado de la interpolación de los valores en las localizaciones geográficas en las que el CCCMM realiza sus tomas periódicas. Apreciaremos que los patrones de temperatura obtenidos son similares a los reales, lo que nos confirma en nuestra suposición de que interpolando los valores reales se puede tener una idea de la distribución continua en la ría del parámetro de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Sistema de Información geográfica desarrollado está basado en el software comercial ArcView 3.0a para PC, habiendo sido personalizado y programado con el lenguaje de programación propio de ArcView, Avenue. Esto nos ha permitido personalizar la interfaz para los objetivos específicos de nuestra aplicación, que no son otros que permitir analizar y gestionar los datos primarios de campo recogidos por el CCCMM. Ha sido necesario utilizar también Delphi 2.0 para realizar algunas cajas de diálogo, capacidades que se escapan fuera de las posibilidades actuales de Avenue.

Por último, las rutinas que llevan a cabo la interpolación de los datos, produciendo una

imagen cromática, han sido programadas en el lenguaje C.

Hemos realizado una interpolación kriging a partir de los datos de campo recogidos en las estaciones base de la ría de Arousa, y a partir de ellos producido una imagen cromática con la variación de la variable de estudio. El problema surge a continuación, cuando uno tiene que comprobar la validez de la interpolación realizada, comparando con una imagen de la distribución real. Para ello necesitaría una toma de datos continua en toda la extensión de la ría, tarea de gran coste económico y humano. La solución perfecta sería la comparación con una imagen SST de la ría, si bien aquí nos encontramos con el problema de que los sensores NOAA, que permiten determinar la temperatura con una precisión mayor que 0,1°C, tienen una resolución espacial de 1,1 km. Por otro lado, la resolución del sensor TM del Landsat nos da una resolución espacial de 120 m en la banda del infrarrojo, lo cual ya se acerca más a las necesidades de nuestro estudio. La calibración de una imagen del sensor TM del Landsat a partir de una imagen del NOAA de la misma fecha proporciona la posibilidad de obtener un mapa de la temperatura superficial del mar con una precisión similar a la obtenida con el NOAA, con lo que obtenemos una imagen de temperatura superficial del mar con alta resolución espacial.

La interpolación realizada ha sido la conocida como kriging. La teoría completa de la dicha interpolación queda fuera del objetivo del presente artículo [1], si bien esperamos que una pequeña introducción sea suficiente para la comprensión de la misma [2].

La interpolación kriging es un método que predice valores desconocidos a partir de datos observados en localizaciones dadas. En kriging ordinario, el valor desconocido \bar{v} en una situación geográfica z , es estimada por una combinación lineal de las muestras:

$$\bar{v} = \sum_{j=1}^n w_j v_j, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1,$$

donde v_1, \dots, v_n son los valores originales, y w_1, \dots, w_n serán los pesos. La condición de normalización garantiza que el valor estimado sea uniformemente insesgado.

El error medio estimado será:

$$R = E(\bar{v} - v) = E\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i - v\right),$$

siendo v el valor real en la localización z , que es desconocido.

La varianza estimada del error vendrá dada por:

$$\sigma_E^2 = E\left[\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i - \bar{v}\right)^2\right] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j c_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i c_{i0} + c_{00}$$

donde c_{ij} = covarianza de v_i y v_j .

El kriging ordinario minimizará σ_E^2 , la varianza del error. Derivando respecto a w_i , e igualando a cero, utilizando la técnica del multiplicador de Lagrange, tendremos:

$$\sigma_E^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j c_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i c_{i0} + c_{00} + 2\mu \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1\right)$$

donde μ es el multiplicador de Lagrange, siendo el último sumando nulo debido a la condición de normalización. Haciendo ahora la derivada de σ_E^2 con respecto a w_i y μ igual a cero, tendremos $C \cdot w = D$, siendo una igualdad matricial:

$$\begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{10} \\ \vdots \\ c_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Resolviendo para los pesos, que es lo que queremos calcular:

$$w = C^{-1} D$$

con lo que podremos sustituir en la primera ecuación, y calcular el valor desconocido. En la práctica, y en nuestra aplicación, las covarianzas son calculadas indirectamente via un semivariograma, función que se relaciona con la varianza según:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h)$$

En la interpolación kriging el semivariograma es modelado por una función de la distancia. En nuestro caso, hemos utilizado un variograma exponencial, uno de los más utilizados.

La rutina en lenguaje C interpola según el método arriba descrito los valores de los parámetros en las estaciones, produciendo una

imagen cromática en formato sun rasterfile. Dichas imágenes son cargadas en el ArcView para su visualización. Con el sistema desarrollado es posible visualizar imágenes a partir de las siguientes variables: temperatura, fluorescencia, concentración de oxígeno, transmitancia, densidad, salinidad y pH.

Las imágenes se han codificado con un código de colores, siendo representados como es usual los valores bajos en azul, y los valores altos en rojo. Esta codificación es particular de cada imagen, en función del valor máximo y mínimo que exista en la misma.

Como ya fue comentado en la introducción de la presente comunicación, la comprobación de la interpolación pasa por la comparación con una distribución continua real. Trabajaremos con la temperatura, debido a la posibilidad de obtener datos de la misma de imágenes de teledetección.

En primer lugar, parece interesante comparar los datos de la interpolación con las imágenes SST obtenidas a partir de las imágenes NOAA, recibidas diariamente en la estación receptora de nuestro laboratorio. Sin embargo, y dada la resolución de las mismas (1,1 km) nos encontramos con un número muy pequeño de pixels dentro de la ría, con lo que la comparación resulta poco apropiada. Optamos entonces por comparar con una imagen del sensor TM del Landsat. Como es sabido, este sensor tiene una resolución espacial de 30m en 6 de sus bandas, si bien en la banda que a nosotros nos interesa, la banda del infrarrojo (banda 6) la resolución espacial es de 120m. Es decir, por cada pixel en una imagen del NOAA tendremos casi 100 pixels en la imagen del Landsat. Esta densidad de pixel ya es suficiente para realizar la comparación deseada.

Necesitaríamos entonces una imagen de alta resolución espacial, pero que mantenga la precisión de la temperatura. Recurriremos para ello a una imagen TM del día 18 de Agosto de 1991. El proceso completo es similar al seguido por Paul Anuta y col. [3], y es el presentado en detalle por J. Triñanes y col. en [4],[5]. La idea general se describe a continuación.

La imagen de partida es la imagen TM del Landsat del 18 de Agosto de 1991, órbita 205, fila 30, en concreto la banda térmica (banda 6) y la zona de estudio queda delimitada a las rías gallegas.

Por otra parte, la imagen elegida para calibrar la anterior es la más próxima a la misma, con poca cobertura nubosa. Esta es la del NOAA-11 del 19 de Agosto de 1991. A pesar de que es un día después, las estructuras

térmicas son las mismas, aunque desplazadas. Tras realizar un análisis corrector de líneas y pixels perdidos, las bandas de infrarrojo son procesadas mediante algoritmos de extracción de temperaturas, con una precisión de 0,1°C. A continuación, se elige el área de estudio, que en este caso se delimita a la costa gallega.

Posteriormente, y tras referenciar ambas imágenes, se determinan las muestras que deben corresponder a los mismos pixels en ambas imágenes, teniendo en cuenta que las estructuras térmicas pueden estar desplazadas. Una vez hecho esto, se ajustarán los valores de la imagen TM del Landsat a los valores calculados de temperatura en la imagen del NOAA. De este modo, se obtiene en el trabajo comentado una imagen SST de alta resolución espacial (120m).

La imagen conseguida (recortada a la ría de Arousa) se muestra a continuación:

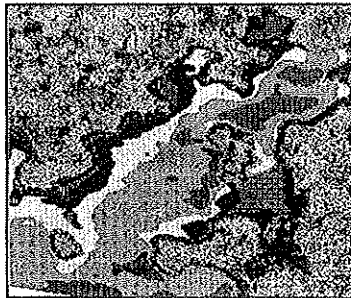


Fig 2. Imagen SST de alta resolución correspondiente a la Ría de Arousa.

RESULTADOS

A partir de esta imagen SST de alta resolución espacial, del 19 de Agosto de 1991, y dado que no están disponibles datos históricos pertenecientes a esa fecha, tomamos los valores que corresponden a las estaciones en la ría de Arousa en las cuales el CCCMM realiza periódicamente sus muestras. Estas estaciones son 10 habitualmente, en ausencia de episodios tóxicos, en las cuales se hace un estudio detallado de las distintas variables que existen en la columna de agua, desde la superficie hasta los 15m de profundidad. Compararemos en el presente trabajo, lo obtenido en la interpolación para la temperatura superficial.

Tomando los datos en las estaciones tendremos un array de valores para las 10 estaciones:

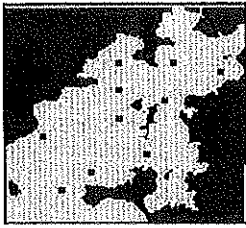


Fig 2. Localización geográfica de las estaciones en la Ría de Arousa.

Los valores son 17.1, 17.6, 17.8, 17.1, 17.3, 17.1, 17.4, 17.8, 17.6, 17.8 para las estaciones ordenadas de la A0 a la A9. La localización geográfica de dichas estaciones se muestra en la imagen anterior.

La imagen resultado de la interpolación se muestra a continuación:

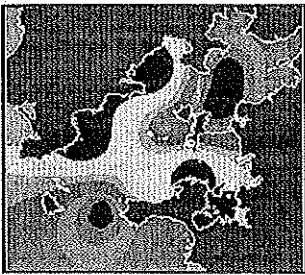


Fig 3. Imagen resultado de la interpolación.

La comparación visual entre ambas imágenes muestra una gran semejanza en las principales estructuras de temperatura, tanto las estructuras de agua caliente y com las de agua fría. Las estructuras frías del interior de la ría se aprecian en ambas imágenes, así como la mayor temperatura de la costa norte. Algunos de los puntos de control se distinguen, y las imágenes difieren ligeramente en el centro de la misma, si bien no es menos cierto que la idea general de la distribución continua de la temperatura superficial del agua en la ría también se hace patente.

CONCLUSIONES

Hemos descrito en este artículo la interpolación que se lleva a cabo en el SIG que se está utilizando en el Centro de Control de Calidad de Medio Mariño, desarrollado por los autores en el Laboratorio de Sistemas.

El problema encontrado tras haber realizado la interpolación era la no disponibilidad de datos de campo que cubrieran la totalidad del área de

estudio, que en nuestro caso cubre la totalidad de la Ría de Arousa. Dicho problema ha sido subsanado con la utilización de una imagen SST de alta resolución, conseguida con anterioridad en el mismo grupo de trabajo, mediante técnicas de calibrado de la banda 6 de una imagen TM del Landsat a partir de datos de temperatura obtenidos a partir de una imagen de NOAA-11.

Los resultados merecen el calificativo de aceptables, y pensamos que demuestran la utilidad de este tipo de interpolación para los objetivos planteados.

El camino a seguir pasa por una mejora de la interpolación, para la cual está previsto tanto la utilización del kriging median-polish, como la utilización de cokriging, en el cual los valores de temperatura medidos a distintas profundidades son también punto de partida para la interpolación del parámetro en superficie, y/o en capas inferiores.

Esperamos que el uso del sistema desarrollado proporcione una herramienta útil y manejable al personal especializado del CCCMM, y con el cual se pueda llegar a un mayor conocimiento de las variables que resultan críticas en la aparición de las mareas rojas en las rías gallegas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Cressie. "Statistics for spacial data". *Rev. de Wiley*, 1993.
- 2.- M. R. Ingss, R. T. Lord. "Interpolating Satellite Derived Wind Field Data Using Ordinary Kriging, with Application to the Nadir Gap". *IEEE Transactions and Geoscience and Remote Science*, VOL. 34, nº 1, Enero 1996.
- 3.- Anuta, Paul E. y colaboradores, "Landsat-4 MSS and Thematic Mapper Data Quality and Information Content Analysis", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. GE-22, nº 3, Mayo 1984.
- 4.- J. A. Triñanes, A. Tobar, C. Bóveda, C. Hernández, "High resolution SST Mapping using AVHRR-Calibrated TM Data", *Quatorzième Colloque sur le Traitement du Signal et des Images. Juan-les-pins*. vol.2, pp. 1375-1378. Septiembre 1993.
- 5.- J. A. Triñanes, J. M. Cotos, J. Torres, J. Arias "Mapas SST de alta resolución mediante combinación de datos TM-AVHRR". *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, nº2, pp. 37-44. Noviembre 1993.