

Aplicación para el estudio de implantación de un sistema no satelitario de identificación de buques

M. Á. Gutiérrez^{a,*}, A. I. López^b, F. Herráez^b, C. Puente^c, S. Zobelzu^d

^a Departamento Tecnológico, Universidad Católica de Ávila, C/ Canteros S/N, 05005 Ávila, España.

^b Departamento de Desarrollo Sostenible, Universidad Católica de Ávila, C/ Canteros S/N, 05005 Ávila, España.

^c Departamento de Sistemas Informáticos, Universidad Pontificia de Comillas, Alberto Aguilera, no25, 28015, Madrid, España.

^d Director Técnico, ANSER Ingenieros S.L., C/ Carlos Hernández N° 31, 28017 Madrid, España.

Resumen

Con el objetivo de complementar al Automatic Identification System (AIS) aumentando su cobertura, se diseñó el Sistema Automático de Identificación de Buques por el Método de la Cuadrícula. Este sistema requiere de la existencia de rutas de tráfico marítimo con una densidad de tráfico mínima, por lo que es importante realizar simulaciones de la implantación del sistema antes de su puesta en marcha. Con este objetivo, se diseñó e implementa una aplicación que permite, de forma sencilla y rápida, modelar un entorno para la implantación de este sistema de identificación y comprobar sus condiciones de funcionamiento utilizando datos de densidades de tráfico marítimo existentes en la zona. *Copyright © 2012 CEA. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.*

Palabras Clave:

Modelado de entornos marítimos, seguimiento de buques, control de carga, sistemas de información geográfica, simulación.

1. Introducción

En la actualidad, existen sistemas no satelitarios que permiten la comunicación entre los buques que se encuentran en una determinada zona y la costa. Estos sistemas permiten intercambiar información de forma sencilla entre los Centros de Control de Tráfico (CCT) y los buques, lo que permite aumentar la seguridad en el mar, controlar la carga que transporta el buque, controlar posibles vertidos al mar, etc.

Uno de los sistemas más utilizados es el Automatic Identification System (AIS) (IMO, 2000). Este sistema permite la identificación de buques cercanos a las costas y, en base a sus datos, se implementan aplicaciones de muy distintos tipos: de control de vertidos de fuel (Endresen et al., 2007) (Schwehr et al., 2007), para evitar colisiones entre buques (Kao et al., 2007), de seguimiento de buques (Chen et al., 2008), etc.

Para poder superar el alcance del AIS se plantean muchos sistemas satelitarios (Cairns, 2005) (Eriksen et al., 2006) (Lessing et al., 2006). Estos sistemas permiten la identificación de los buques aunque estén muy alejados de las costas, pero su utilización supone un coste económico importante.

Para identificar buques alejados de las costas sin la utilización de técnicas satelitarias se plantea el Sistema Automático de

Identificación de Buques por el Método de la Cuadrícula (SAIBMC) (López, 2007). Se trata de un sistema automático de identificación de buques en onda media, resultado de la simbiosis de un transmisor, cuatro receptores, dos de los cuales deberán llevar incorporado un sistema de Llamada Selectiva Digital (LLSD) y un ordenador de control capaz, además, de soportar una determinada cartografía digital que se deberá implementar.

Esta cartografía se corresponderá con el área marítima que se pretenda controlar y estará constituida por una cuadrícula formada a base de celdillas. Estas serán cuadradas y de dimensiones que permitan que un mensaje radiado al principio de cada celda llegue al final de la siguiente. Todos los barcos que se encuentren situados sobre esta superficie elemental (celdilla) ajustarán, de forma automática, el transmisor y los receptores constituyentes del sistema para trabajar en una serie de canales predeterminados para cada celdilla, correspondientes al diapason de la onda media (OM) asignada al Servicio Móvil Marítimo. Dicha información se le suministrará al ordenador integrada en la cartografía digital de la zona a controlar.

El sistema permitirá que los barcos que naveguen dentro del área abarcada por la cuadrícula actúen como destinatarios, por tanto emisores de un acuse de recibo, de un mensaje lanzado desde un CCT, pero también podrán trabajar como simples

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: miguel.gutierrez@ucavila.es (M. Á. Gutiérrez), alfonso.lopez@ucavila.es (A. I. López), fernando.herraez@ucavila.es (F. Herráez), cpuente2@upcomillas.es (C. Puente), sergio@anseringenieros.es (S. Zobelzu)

estaciones repetidoras de un mensaje que no va destinado a ellos, debiendo contribuir para que avance en la cuadrícula y finalmente llegue al barco al que se está llamando.

Este sistema permite identificar buques alejados de las costas siempre que se encuentren en rutas de tráfico marítimo con una densidad de tráfico suficiente. Por lo tanto, es importante saber antes de implantar el sistema si la densidad de tráfico marítimo en la zona que se pretende controlar permitirá que el SAIBMC funcione correctamente. Para ello, se ha desarrollado una herramienta de simulación que permite modelar distintas implantaciones del SAIBMC con distintas densidades de tráfico marítimo para comprobar su operatividad. La aplicación permite simular a nivel estático la implantación del sistema en cualquier zona del planeta.

En el apartado 2 se hace una descripción de los elementos necesarios para generar distintos modelos de implantación del sistema. En el apartado 3 se describe la arquitectura software propuesta para la aplicación. En el apartado 4 se realiza una descripción de los detalles de implementación del sistema más relevantes. En el apartado 5 se presentan los resultados obtenidos para una implantación del sistema que permita controlar el tráfico marítimo alrededor de las costas de la Península Ibérica. En el apartado 6 se presentan las conclusiones obtenidas y en el apartado 7 se enumeran algunas de las líneas de trabajo futuro que podrían realizarse con la aplicación desarrollada.

2. Elementos del modelo del sistema de identificación

La simulación de la implantación del sistema en una determinada zona se realizará utilizando tres elementos fundamentales:

- Tráfico marítimo: se realiza a lo largo de rutas marítimas, de forma que es posible representar, mediante líneas, las distintas rutas que en su conjunto formen el entorno que se pretende simular. Como lo que se pretende es realizar una simulación a nivel estático, se supondrá que los barcos que navegan por la ruta marítima están distribuidos de forma uniforme a lo largo de dicha ruta.
- Cuadrículas: son el elemento que utiliza el Sistema de Identificación Automática de Buques por el Método de la Cuadrícula para la división del espacio marítimo. Una cuadrícula está formada por celdas cuadradas de un máximo de 44 millas de lado (López, 2007). Se utilizarán cuadrículas de una fila y de todas las columnas que sean necesarias para cubrir la zona que se pretende controlar.
- Centros de control de tráfico: cada uno se encargará de la monitorización de una o varias cuadrículas del entorno de simulación.

Además de estas clases básicas, se crean más clases relacionadas con las anteriores:

- Mapa: en la que se almacenarán todas las referencias relativas a los objetos que representan los elementos necesarios para la simulación.
- Barco: cada buque quedará representado por un objeto de esta clase, permitiendo identificarlos y posicionarlos de forma individual.
- Celda: las cuadrículas estarán formadas por elementos de este tipo, de forma que la clase Cuadrícula será un contenedor de objetos de tipo Celda.

Todas estas clases se implementan en una biblioteca de clases para su posterior uso en la aplicación de simulación. En

la figura 1 se observa el diagrama de clases realizado en UML (OMG - A, 2009)(OMG - B, 2009), donde se pueden observar las distintas clases y las relaciones existentes entre ellas, sus atributos más importantes y los métodos que implementan las clases para el acceso a sus atributos. Las relaciones entre clases están diseñadas para permitir el acceso a toda la información de la implantación del sistema que se vaya a simular desde cualquiera de sus elementos, lo que facilita la implementación de cualquier tipo de aplicación que desee utilizar estas clases.

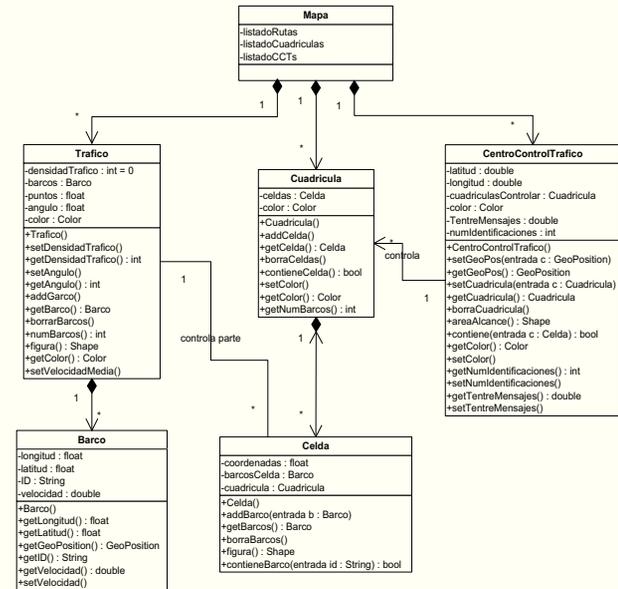


Figura 1: Diagrama de clases para la representación de elementos del SAIBMC.

3. Arquitectura software propuesta

Para la implementación de la aplicación de simulación se plantea la arquitectura software que puede observarse en la figura 2.

La arquitectura de la aplicación es una arquitectura cliente / servidor, en la que el cliente es la aplicación de simulación y el servidor es un servidor externo de Web Map Services (WMS) (UNSD, 2000).

3.1. WMS

El WMS, definido por el Open Geospatial Consortium (OGC), produce mapas de datos referenciados espacialmente de forma dinámica a partir de información geográfica. Este estándar internacional define un mapa como una representación de información geográfica en forma de un archivo de imagen (OGC, 2006). Las operaciones de acceso a un WMS pueden ser invocadas usando un navegador estándar mediante peticiones en la forma de URLs, incluyendo qué información debe ser mostrada en el mapa, qué porción de la tierra debe dibujar, el sistema de coordenadas de referencia, la anchura y la altura de la imagen de salida, etc.

El servicio WMS permite la creación de una red de servidores distribuidos de mapas, a partir de los cuales los clientes pueden construir mapas a medida. Las operaciones WMS también pueden

ser invocadas usando clientes avanzados SIG o aplicaciones propias, realizando peticiones en forma de URLs.

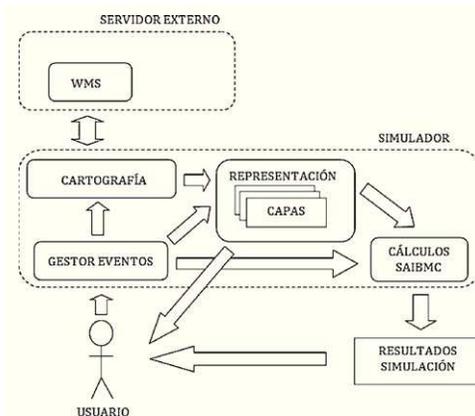


Figura 2: Diagrama de clases para la representación de elementos del SAIBMC.

3.2. Aplicación de simulación

Dentro de la aplicación de simulación podemos distinguir cuatro módulos que gestionan:

- la cartografía sobre la que se van a representar los elementos de la simulación.
- la representación, que superpone la cartografía y las distintas capas en las que se van añadiendo los elementos de la implantación del SAIBMC.
- los cálculos necesarios para conocer el rendimiento de la implantación del SAIBMC: tiempos de respuesta, cantidad de buques identificados, etc.
- los eventos de usuario, que permiten al usuario interactuar con la aplicación.

En función de la interacción del usuario con la aplicación, esta muestra una determinada cartografía obtenida del WMS. El usuario también puede incluir los distintos elementos que forman el SAIBMC. El módulo de representación muestra de forma conjunta los elementos del SAIBMC y la cartografía en la que se sitúan, utilizando para almacenar la información las clases descritas en el apartado anterior. Por último, cuando el usuario cree que la implantación del SAIBMC es la adecuada, podrá ejecutar los cálculos necesarios para comprobar el rendimiento del sistema con la implantación diseñada.

El módulo que implementa los cálculos incluirá una validación previa de la implantación, de forma que se comprobarán algunas características obligatorias de cualquier implantación del sistema. Por ejemplo, se comprueba que todas las cuadrículas estén controladas por un CCT, que las cuadrículas diseñadas se correspondan con rutas de tráfico marítimo, etc.

4. Implementación

4.1. Comunicación entre la aplicación y el servidor WMS

Dado que el WMS es un estándar, existen gran cantidad de posibles servidores y bibliotecas de clases que simplifican la realización de peticiones a los servidores. En muchos casos, la elección de un WMS implica utilizar una biblioteca de clases concreta para su acceso y viceversa.

Dado que los servicios WMS consumen muchos recursos, se opta por utilizar servidores WMS basados en baldosas. Este modelo consiste en dividir el mapa cartográfico, ofrecido por el servidor, en una pirámide de mallas donde cada nivel de la pirámide se corresponde con una resolución o escala del mapa y todas las celdas de la pirámide tienen un tamaño fijo en pixels (Scharl et al., 2007) (Sample et al., 2008). Existen muchos servidores de baldosas: Google Maps, OnEarth, OpenStreetMaps, etc. En la implementación realizada se utiliza OpenStreetMaps porque, además de ser de acceso libre, el servidor es rápido y muy fiable.

Para la implementación de las peticiones al WMS en función de las acciones del usuario se utiliza la biblioteca de clases Swingx-ws de SwingLabs (SwingLabs, 2010), también de uso libre.

4.2. Representación gráfica de la implantación del SAIBMC

Para la representación de forma conjunta de la cartografía y los elementos del SAIBMC se utiliza la clase CompoundPainter, que también pertenece al proyecto Swingx-ws. Esta clase permite manejar de forma sencilla las distintas capas en las que se divide la representación.

Para una correcta visualización de todos los elementos, es fundamental mantener la relación entre las posiciones geográficas de los elementos y su posición en la ventana de la aplicación. Para poder hacer esto de forma correcta es necesario trabajar y relacionar tres niveles distintos:

- Mapa completo, en la mayoría de los servidores WMS el mapa del mundo. Trabaja con coordenadas geográficas.
- Visualización del mapa en la ventana de la aplicación. A medida que se reduce la escala de visualización del mapa, aunque este se visualice con mayor detalle, se accede a una parte más pequeña del mapa completo en la ventana de la aplicación. También trabaja con coordenadas geográficas.
- Coordenadas de la ventana de la aplicación. Las coordenadas están expresadas en píxeles.

4.3. Proyección de la representación gráfica de los elementos del SAIBMC

Para realizar una representación gráfica correcta de los elementos del SAIBMC, es necesario tener en cuenta la proyección que se utiliza para la representación de la cartografía. En el caso del WMS seleccionado, este utiliza una proyección de Mercator, por lo que las representaciones gráficas de los elementos del SAIBMC deben utilizar esta proyección.

Para no sobrecargar la aplicación con los cálculos de las proyecciones, los segmentos se representan como pequeños subsegmentos que unen una serie de puntos para los que se calcula la posición correcta en la ventana de la aplicación teniendo en cuenta la proyección utilizada.

Esto reduce el tiempo de cálculo, pero hace que las representaciones no sean del todo exactas. Para calcular el error cometido en distintas latitudes y con distintas inclinaciones de los segmentos, se realiza un pequeño programa que calcula, para el punto intermedio de un subsegmento, donde el error es máximo, la distancia entre el punto correcto calculando la proyección y el punto estimado. Los resultados indican que la distancia nunca es superior a un metro, lo que es asumible para la aplicación desarrollada.

4.4. Cálculo del rendimiento del SAIBMC

Una vez finalizada la modelación del SAIBMC sobre una zona concreta, y tras una validación del modelo, la aplicación realiza una serie de cálculos que permiten obtener datos sobre el rendimiento del sistema con la implantación propuesta. Los más importantes son:

- Tiempo medio (en segundos) de estancia en celda de los buques: que se calcula asignando a los buques una velocidad media (V_{media}) durante su estancia en la celda.

$$T_{medio} = \frac{44}{V_{media}} 3600 \quad (1)$$

- Tiempo (en segundos) empleado en la identificación de todos los barcos de una cuadrícula:

$$T_{identTotal} = N_{identificaciones} \cdot \sum_{i=1}^{celdas} N_{barcos} \cdot i \cdot \frac{T_{entreMensajes}}{2} \quad (2)$$

El tiempo de identificación de un buque depende de la distancia en celdas al CCT. También interviene en la ecuación el número de veces que pretenda identificarse cada buque por estancia en celda ($N_{identificaciones}$), ya que puede ser necesario identificar cada buque más de una vez por estancia en celda. Por último, es importante tener en cuenta que un mensaje tarda en propagarse entre celda y celda la mitad del tiempo que entre mensajes de identificación emitidos por el CCT ($T_{entreMensajes}$), ya que el resto del tiempo se reserva para el tráfico de vuelta y repetición de mensajes (López, 2007).

- Número de cuadrículas superpuestas necesarias para realizar todas las identificaciones requeridas para una cuadrícula definida por el usuario:

$$N_{cuad} = \lceil \frac{T_{identTotal}}{T_{medio}} \rceil + 1 \quad (3)$$

Para obtener un número entero de cuadrículas se redondea el resultado de dividir el tiempo empleado en la identificación de todos los barcos de una cuadrícula (2) entre el tiempo medio de estancia en celda de los buques (1). En el caso de ser necesaria más de una cuadrícula para realizar todas las identificaciones requeridas, estas se situarían superpuestas, pero utilizarían distintos canales de comunicación.

- Canales de comunicación necesarios:

$$N_{canales} = 2 \cdot N_{celdas} \cdot N_{cuad} \quad (4)$$

El número de canales necesarios para una cuadrícula es el doble del número de celdas que forman la cuadrícula. La aplicación calcula los canales necesarios por cuadrícula teniendo en cuenta la posibilidad de que sea necesario superponer distintas cuadrículas (3). Conocer el número de canales de comunicación necesarios para la implantación del sistema permite estimar el ancho de banda necesario para su correcto funcionamiento.

5. Resultados obtenidos

La interfaz de la aplicación desarrollada puede observarse en figura 3. En ella se puede observar una propuesta de implantación del SAIBMC basada en datos de densidad de tráfico marítimo de las rutas que rodean la Península Ibérica extraídos de Ortega (2008). En la implantación propuesta existen tres CCT situados en Brest, Finisterre y Tarifa. El color de cada uno de los CCT coincide con el de las celdas de cada una de las cuadrículas controladas por el mismo.

Para comprobar la validez de la implantación del sistema, se asignan los valores mínimos de densidad de tráfico a las rutas de tráfico marítimo (tabla 1), desechando las rutas de tráfico marítimo con una densidad de tráfico inferior a 12 barcos por día. Esto permite observar el funcionamiento del sistema en las condiciones más restrictivas.

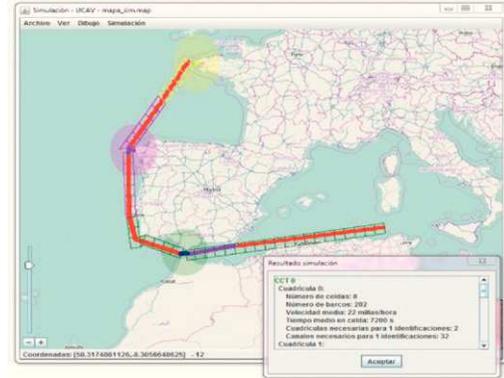


Figura 3: Ventana de la aplicación de simulación.

Se asigna como velocidad media de los buques 22 millas/hora en todas las rutas marítimas, lo que implica que cada buque estará en cada cuadrícula un tiempo medio (T_{medio}) de 7200s. Esta velocidad somete al sistema a unas condiciones más restrictivas que las que debería soportar en condiciones reales, ya que la velocidad media de los buques mercantes en las rutas puede estar en torno a las 18 millas/hora en las condiciones más favorables.

Tabla 1: Densidades de tráfico marítimo utilizadas.

Ruta de tráfico marítimo	Densidad de tráfico
Brest-Finisterre	96
Finisterre	144
Finisterre-Tarifa	96
Tarifa	195
Tarifa-Almería	144
Almería-Frontera Argelia	96

Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2: Resultados obtenidos.

	$T_{identTotal}$	N_{cuad}	$N_{canales}$
Tarifa-Noroeste	6885 s	2	32
Tarifa-Este	13072.5 s	4	160
Finisterre-Norte	3421.5 s	1	12
Finisterre-Sur	4567.5 s	2	24
Brest-Sur	1537.5 s	1	8

Los resultados indican que el SAIBMC es capaz de identificar la totalidad del tráfico que bordea las costas españolas. Esto permitiría evitar casos como el del buque Artic Sea, que durante el verano de 2009 permaneció ilocalizable durante varios días. El Artic Sea zarpó de Finlandia con destino Argelia con un cargamento de madera y se perdió su rastro frente a la costa de Brest (Francia), localizándose días más tarde en Cabo Verde. Según los datos obtenidos de la aplicación, el SAIBMC tiene una

operatividad del 100% desde Brest hasta las costas de Argelia, es decir, es capaz de identificar todos los buques que navegan por dichas rutas marítimas, por lo que se hubiera detectado un desvío en la ruta del buque al poco tiempo de producirse.

6. Conclusiones

La aplicación desarrollada permite la simulación a nivel estático del Método de Identificación de Buques por el Método de la Cuadrícula de forma sencilla, permitiendo obtener datos del rendimiento del sistema para evaluar las distintas opciones de las que se dispone en cada zona para la implantación del sistema de identificación.

Además, la aplicación está desarrollada utilizando software libre y una arquitectura abierta, lo que facilita su modificación y ampliación.

Por último, gracias a la simulación realizada con la aplicación desarrollada, se demuestra que una implantación del SAIBMC como la planteada permite controlar todo el tráfico que rodea la Península Ibérica. La aplicación es el medio adecuado para realizar el estudio previo a la implantación del SAIBMC para cualquier ruta.

7. Líneas de trabajo futuro

Tomando como punto de partida la aplicación que se presenta en este artículo, se pretende ampliar la funcionalidad de la misma para que sea capaz de simular el proceso de identificación de buques partiendo de datos obtenidos en tiempo real, y por lo tanto no ajustados a distribuciones homogéneas, de densidades de tráfico marítimo reales.

Una vez realizada esta implementación, será necesaria una revisión del protocolo de funcionamiento del sistema de identificación de buques para ajustarlo a las excepciones que se puedan encontrar en las simulaciones realizadas con datos reales. En este punto se incluiría un estudio de los problemas derivados de la implementación real del sistema, como pueden ser los retardos en las comunicaciones, ruido, pérdidas de mensajes, concurrencia, etc.

Posteriormente, se realizarán modelos de implementación del SAIBMC en rutas marítimas fundamentales donde actualmente no existe ningún sistema no satelitario que de cobertura a la totalidad de las mismas, utilizando distribuciones homogéneas de tráfico marítimo así como datos obtenidos en tiempo real.

Por último, se implementará de forma real el sistema en rutas marítimas previamente analizadas con la herramienta desarrollada.

English Summary

Application for the study of the implementation of a non-satellite system for vessels identification.

Abstract

In order to complement the Automatic Identification System (AIS) increasing its coverage, the Automatic Vessel Identification System has been designed using a grid method.

This process requires maritime sea routes with a minimum of traffic density, so it is important to perform system simulations before its launch.

With this objective, it has been designed and developed an application which allows, in an easy and fast way, the modeling of an environment for the implementation of this identification system, checking its working conditions using data of the maritime traffic density of the zone.

Keywords:

Maritime environments modeling, vessel tracking, cargo control, geographic information systems, simulation.

Referencias

- Cairns, W., 2005. AIS and long range identification & tracking. *Journal of Navigation* 58-2, 181-189.
- Chen, J., Hu, Q., Zhao, R., Guojun, P., Yang, C., 2008. Tracking a Vessel by Combining Video and AIS Reports. 2nd International Conference on Future Generation Communications and Networking, 857-861.
- Endresen, Ö., Eide, M. S., Brett, P. O., Ervik, J. L., Roang, K., 2007. Intelligent ship traffic monitoring for oil spill prevention: Risk based decision support building on AIS. *Marine Pollution Bulletin* 54-2, 145-148.
- Eriksen, T., Høy, G., Narheim, B., Jenslokk, B., Meland, B., 2006. Maritime traffic monitoring using a space-based AIS receiver. *Acta Astronautica* 58-10, 537-549.
- International Maritime Organization, 2000. Recommendations on Performance Standards for a Universal Shipborne Automatic Identification System (AIS). IMO Resolution MSC.74(69), Annex 3.
- Kao, S.-L., Lee, K.-T., Chang, K.-Y., Ko, M.-D., 2007. A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service. *Journal of Navigation* 60-1, 17-31.
- Lessing, P., Bernard, L., Tetreault, C., Chaffin, J., 2006. Use of the Automatic Identification System (AIS) on Autonomous Weather Buoys for Maritime Domain Awareness Applications. *Oceans 2006 Conference*, 1-6.
- López A. I., 2007. Planteamiento de un nuevo sistema, resultado de la interacción de los equipos radioeléctricos constituyentes del GMDSS con otros dispositivos. Una solución para aumentar el control sobre la navegación y la seguridad marítima. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y de la Construcción Naval.
- Object Management Group - A. OMG Unified Modeling Language (OMG UML), SuperStructure Specification. Versión 2.3. (formal/2010-05-03). URL: <http://www.omg.org/spec/UML/2.3/Superstructure/PDF/>.
- Object Management Group - B. OMG Unified Modeling Language (OMG UML), InfraStructure Specification. Versión 2.3. (formal/2010-05-03). URL: <http://www.omg.org/spec/UML/2.3/Infrastructure/PDF/>.
- Open Geospatial Consortium OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification. Versión 1.3.0. (OGC 06-042). URL: portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14416.
- Ortega A. R., 2008. Cálculo del índice de riesgo de accidente marítimo en aguas del cantábrico de responsabilidad SAR española. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y de la Construcción Naval.
- Sample, J. T., Shaw, K., Tu, S., 2008. *Geospatial Services and Applications for the Internet*. Springer, New York.
- Scharl, A., Tochtermann, K., 2007. The geospatial web: how geobrowsers, social software and the Web 2.0 are shaping the network society. Springer-Verlag, London.
- Schwehr, K. D., McGillivray, P. A., 2007. Marine ship Automatic Identification System (AIS) for enhanced coastal security capabilities: An oil spill tracking application. *Oceans 2007 Conference*, 1131-1139.
- SwingLabs. Swingx-ws Project. URL: <http://java.net/projects/swingx-ws/>.
- United Nations Statistical Division, 2000. Handbook on geographic information systems and digital mapping. URL: http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_79E.pdf.