

ANÁLISIS DE DATOS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE EMBARCACIONES EN UN ÁREA PORTUARIA

Ezequiel Bernal García

Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Pla de Palau, 08003 Barcelona, ezequiel.bernal@upc.edu

Rosa M. Fernández-Cantí

Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Pla de Palau, 08003 Barcelona, rosa.mari.fernandez@upc.edu

Antoni Isalgué Buxeda

Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Pla de Palau, 08003 Barcelona, antonio.isalgue@upc.edu

Resumen

Según el último informe de la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA), un gran número de incidentes de navegación con víctimas se producen en instalaciones portuarias. Para minimizar el número de accidentes es necesario contar con algoritmos de control eficientes que permitan decidir acciones en tiempo real por parte del operador. Se presentan las principales fuentes de los datos que permiten un control efectivo del control portuario. Se discuten las ventajas e inconvenientes de los datos suministrados por los sistemas AIS y RADAR. A partir de los requerimientos de seguridad para evitar colisiones, se analizan los principales datos relacionados con la embarcación y su entorno que son relevantes para un algoritmo eficiente del control de tráfico en puertos.

Palabras clave: VTS (*Vessel Traffic Service*), AIS (*Automatic Identification System*), RADAR (*Radio Detection and Ranging*), simulación, seguridad marítima.

1 INTRODUCCIÓN

La IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*) es una organización de ámbito internacional, no gubernamental y con fines exclusivamente técnicos sin ánimo de lucro [4]. Está integrada por tres clases de miembros: nacionales (servicios de ayudas a la navegación de diversos países), asociados (centros de investigación y consultores) e industriales (fabricantes y distribuidores de equipos y servicios). El máximo órgano de la Asociación es la Asamblea General, cuyas reuniones se celebran coincidiendo con las Conferencias Internacionales que tienen lugar cada cuatro años. Durante las Asambleas se elige,

entre los miembros nacionales, a los 21 que constituirán el Consejo y, en votación entre los Consejeros, a su Presidente y Vicepresidente. España forma parte del Consejo desde el año 1994 y durante el periodo 2014-2018 ostentó la Presidencia de esta Asociación Internacional.

Para el desarrollo de los trabajos técnicos existen cuatro comités y un foro:

- Comité de e-Navegación (e-NAV)
- Comité de Servicios de Tráfico Marítimo (VTS)
- Comité de Ingeniería (ENG)
- Comité de Gestión y Requisitos de las Ayudas a la Navegación (AMR)

En todos los Comités pueden tomar parte los miembros de la Asociación que lo deseen y colaborar en la realización de estudios y redacción de informes o recomendaciones sobre los diferentes temas que cada uno de los Comités tiene en su programa de trabajo.

A pesar de las recomendaciones de la IALA que incluyen la formación de los controladores y el equipamiento técnico necesario para el control del tráfico, la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) publicó, en su último informe de junio del 2020, que en el año 2019 en aguas europeas se produjeron 3062 incidentes, incluyendo 256 colisiones y 228 varadas [2].

Se ha observado un aumento continuo en relación con los buques pesqueros desde el 2014. Más de 1382 buques de carga y 933 de pasaje (un 8% más que en 2018) estuvieron involucrados en accidentes que resultaron en 60 muertes en 2019. Con un total de casi 120, los buques pesqueros siguen siendo la categoría de buques con mayor número de barcos perdidos durante el período 2011-2019. Ver Figura 1.

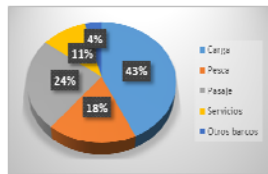


Figura 1: Barcos implicados en incidentes por categoría en aguas europeas en 2019 [2]

Por otro lado, 85 barcos calificados como “otros” estuvieron involucrados en algún accidente marítimo. A pesar del número limitado de tales barcos, esto resultó en un aumento de muertes y lesiones, principalmente en embarcaciones de recreo con motor o vela. La mitad de las víctimas estaban relacionadas con cuestiones de carácter de navegación. Lo más curioso de este informe es que indica que los incidentes ocurrieron principalmente en áreas de aguas interiores y puertos, donde el 44% de los incidentes desde 2014 fueron debidos a colisiones, contacto o varadas [2].

También cabe destacar el número de barcos implicados en la salidas, llegadas y fondeos en puerto. En el año 2019 los incidentes a la llegada (406) casi doblan a los incidentes en la salida (240) [2].

En el caso de España, según el reporte CIAIM (que incluye accidentes graves o muy graves, pérdida de vidas, heridos graves, perdida o hundimiento de embarcaciones, daños graves), entre 2000 y 2016, de 346 buques implicados en total, 197 eran de pesca [12].

Las Autoridades Portuarias cuentan con diferentes programas informáticos y simuladores de soporte al control del tráfico como, por ejemplo, el software VTS NAVI HARBOUR 4.6 de Wärtsilä (ver Figura 2).



Figura 2: Software VTS NAVI HARBOUR 4.6 (imagen cedida por Wärtsilä)

Este tipo de programas se revelan muy útiles y han aumentado considerablemente la seguridad, especialmente en puertos con mucho tráfico. Sin embargo, todavía ocurren accidentes debido, en muchas ocasiones, a la fiabilidad de los datos con los

que opera el centro de control y a los algoritmos de decisión empleados. En este sentido, interesa combinar las lecturas de los diferentes dispositivos a fin de mejorar la robustez de las medidas, así como desarrollar nuevos algoritmos que permitan extraer el máximo de información de los datos suministrados e incorporar datos complejos como son las simulaciones de la dinámica de los buques.

Así pues, el objetivo de este trabajo es establecer la base para un control efectivo del tráfico dentro de las instalaciones portuarias que permita aumentar la seguridad. La Figura 3 muestra las diferentes etapas del sistema de control de tráfico portuario.

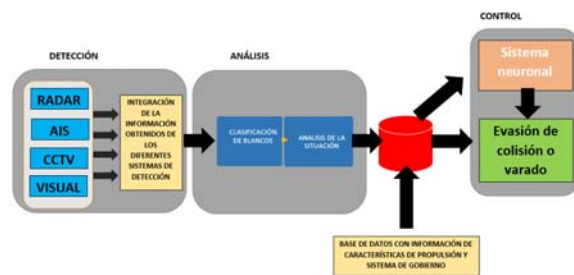


Figura 3: Etapas del sistema de control de tráfico

Los puntos clave del sistema son: los datos en tiempo real (tanto de las embarcaciones como del centro de control), modelos del comportamiento dinámico de los buques (obtenidos a partir de simuladores), y el algoritmo encargado de tomar las decisiones e interactuar con el operador. Esta contribución se centra en el primer paso, es decir, en la selección de los datos relevantes.

La organización del resto del documento es la siguiente: En la Sección 2 se discuten los pros y contras el uso de los blancos AIS (*Automatic Identification System*) y RADAR (*Radio Detection and Ranging*) en el control del tráfico portuario. En la Sección 3 se analizan los principales datos/parámetros que tienen relevancia en la evitación de colisiones. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones y apuntan líneas futuras de investigación.

2 OBTENCIÓN DE BLANCOS PARA GESTIÓN DEL TRÁFICO

Los actuales medios de localización de blancos se clasifican según si el blanco interviene o no.

Los medios en los que no interviene la embarcación dependen exclusivamente del equipamiento instalado en la estación de control de tráfico, o puntos estratégicos del puerto o zona portuaria para la

localización del blanco. En este grupo podemos incluir:

- Sistemas RADAR (*Radio Detection and Ranging*), que detectan los blancos y miden distancias por radio, con su ayuda ARPA (*Automatic Radar Plotting Aid*),
- Sistemas Radiogoniómetros, que permiten detectar la posición del blanco siempre y cuando transmitan en un canal de VHF,
- Cámaras de CCTV (Circuito cerrado de televisión),
- y por qué no incluir la visión directa del operador (nunca hay que subestimar el uso de nuestros sentidos).

Dentro del grupo donde intervienen los equipos instalados en el barco encontramos diferentes tecnologías que, en forma de señal radio, nos pueden transmitir su posición para localizar la embarcación. A continuación, se señalan los más importantes, aunque cabe mencionar que no todos los barcos poseen todo este equipamiento, ya que ello depende del tipo de barco, su carga, tonelaje, etc.

- LRIT (*Long Range Identification and Tracking*, Identificación y seguimiento de largo alcance). Regulación 19-1 de SOLAS [3], Capítulo V, accesible a la bandera y autoridades
- AIS (*Automatic Identification System*, Identificación automática). Regulación 19 de SOLAS, Capítulo V
- SSAS (*Ship Security Alert System*, Sistema de Alerta de Seguridad del Buque). Regulación 6 de SOLAS Capítulo XI-2, accesible a la bandera, armador y autoridades
- VHF DSC (*Digital Selective Call*, Llamada Selectiva Digital), SOLAS, Capítulo IV
- Otros equipos como algunos modelos de ECDIS (*Electronic Chart Distribution and Information System*, Sistemas de Información y Visualización de cartas Electrónicas), VSAT (*Very Small Aperture Terminal*, Terminal de apertura muy pequeña), Inmarsat C.

Los medios más usados para la adquisición de datos más utilizados en el Control de Tráfico son:

- Estaciones base de AIS
- RADAR (siguiendo recomendación IALA, ya sean Básico, Estándar o Avanzado, o combinación de radares de menos prestaciones)
- Radiogoniómetro
- Cámaras de CCTV

2.1 FIABILIDAD DE LOS BLANCOS AIS

Se han publicado numerosos estudios después de la aparición de los AIS, analizando los desplazamientos

de diferentes embarcaciones en un área o ruta determinada [5], [8], [10]. Las principales características del AIS son las siguientes:

- Permite el seguimiento de embarcaciones ya que intercambia automáticamente información sobre la identidad, el tipo, la posición, el rumbo, la velocidad y el estado de navegación de la embarcación con estaciones en tierra y otras embarcaciones
- Contribuye a la seguridad marítima mediante la identificación de amenazas a las fronteras soberanas de un país
- Ayuda a evitar colisiones trazando el rumbo y la velocidad de los buques dentro de un rango
- Mejora el tráfico portuario de monitoreo ya que permite la transferencia eficiente de embarcaciones entre puertos
- Mejora la comunicación directa de barco a barco

Sin embargo, los accidentes causados por la confianza de los navegantes en el AIS se producen cuando los buques no están equipados con sensores fiables de rumbo y posición, el equipo no está certificado o la instalación/configuración del equipo es incorrecta. Hoy en día, la mayoría de los capitanes no están familiarizados con la tecnología AIS y pueden utilizar la información de AIS en detrimento de la información de RADAR [8]. La conclusión es que un gran número de buques transmiten datos AIS incorrectos.

Lamentablemente, en el Control del Tráfico Marítimo realizado por las Autoridades Portuarias se atribuye bastante importancia desmerecida a los blancos recibidos de los terminales AIS, sin tener una seguridad plena de su fiabilidad, menospreciando otras fuentes como pueden ser el RADAR o la imagen de los CCTV. Este interés por los blancos de AIS se debe principalmente a la necesidad de obtener datos (Nombre, Número IMO, Distintivo de llamada, etc...) para alimentar la base de datos del PMS (*Port Management System*, Sistema de Gestión del Puerto) de la Autoridad Portuaria correspondiente. Existen puertos importantes con escenarios complejos que pasan por alto que hay embarcaciones exentas por regulación de llevar AIS, como son los barcos de índole militar y pequeños barcos de recreo. Otros barcos como los de pesca se aventuran a desconectarlo a pesar de la posible sanción, para evitar la competencia de la zona de pesca [1]. En otros casos, hay embarcaciones que simplemente tienen el equipo defectuoso.

2.2 FIABILIDAD DE LOS BLANCOS RADAR

Los sistemas RADAR tienen también sus limitaciones. El blanco se obtiene gracias a la

emisión de una señal de microondas que se ve “reflejada” en el blanco y se recibe de vuelta para ser tratada en el mismo equipo y obtener información de posición referente al transmisor y otros datos después de varios segundos como: rumbo, velocidad y, dependiendo del equipo, tamaño del blanco. Esto ocurre siempre que el blanco esté en la zona de cobertura del barrido de la antena RADAR y no haya por tanto elementos que se interpongan.

La ventaja de este equipo es que, tanto instalado a bordo de una embarcación como en una zona costera, su fiabilidad y la confianza del operador es mucho mayor que frente a los datos de AIS que recibe de un barco, donde es más una “prueba de fe” que tanto los datos de posición, rumbo e información del mismo barco como nombre, ETA (*Estimated Time of Arrival*, hora estimada de llegada), etc... sean correctos.

Los tipos de radares que podemos encontrar en el mercado son diferentes en lo que a tecnología se refiere (por ejemplo, apertura del haz) y dimensiones de la antena, determinante para la discriminación de blancos cercanos. No obstante, para uso de control de tráfico la recomendación IALA se debería anteponer a cualquier otro estándar marino o especificación de un fabricante.

La tecnología de los radares también sufre el avance tecnológico, provocando un constante goteo en el mercado de nuevos equipos o actualizaciones de los existentes, tanto en *hardware* como en *software*.

La integración de ambas fuentes RADAR y AIS se antoja necesaria para un buen Control de Tráfico de una zona o puerto [11]. Pero debemos contar con un tercer actor para que ambas tecnologías nos sean útiles: la capacidad del operador de tratar toda esta información, por lo que dependemos de la capacidad cognitiva del operador para predecir riesgos en el tráfico antes de que ocurran o que posea experiencia suficiente para la ordenación del tráfico en la zona, disminuyendo riesgos.

3 ANÁLISIS DE DATOS

En el caso de las colisiones, numerosos estudios se han publicado respecto a la prevención automática de estas y se han propuesto varios algoritmos [3], [9].

El proceso de toma de decisiones para prevención de colisiones de buques se comenzó a investigar a partir del estudio cualitativo del Reglamento internacional para prevenir colisiones en la mar (COLREGs) y al estudio cuantitativo del riesgo de colisión de buques en años precedentes a esa norma [6].

El riesgo de colisión se determina según el rumbo del barco y distancia, determinando el tiempo y la distancia de aproximación para evitar colisiones, según la distancia del punto más cercano de aproximación (DCPA) y tiempo hasta el punto más cercano de aproximación (TCPA).

Por otro lado, la EMSA (Agencia Europea de Seguridad Marítima) está actualmente debatiendo sobre los buques marítimos automáticos de superficie (MASS) por lo que se utilizan sistemas de análisis similares a los que se pueden usar en control de tráfico, pero dirigidos a la actuación directa sobre el gobierno de la embarcación.

A continuación, se analizan los diferentes parámetros a tener en cuenta para que el control automático de detección de la colisión sea lo más fiable posible.

3.1 PARÁMETROS RELATIVOS A LA EMBARCACIÓN

Los principales datos que hay que tener en cuenta son los siguientes:

3.1.1 Tipo de propulsión

La embarcación que se encuentra involucrada en una inminente colisión es dependiente del sistema de gobierno y por lo tanto de sistema de propulsión y condiciones en el momento de la detección del peligro. Los sistemas azimutales, por ejemplo, poseen mayor margen de reacción que un motor de 2 tiempos para realizar un cambio de sentido de la dirección.

3.1.2 Nivel de carga, tipo de carga

Es evidente que la respuesta de una embarcación frente a una maniobra de evasión de abordaje dependerá del nivel de carga que tenga la embarcación, si la carga es líquida o sólida. Las diferencias de calado del buque afectan también a sus condiciones de maniobra, teniendo los buques en carga, en general, una curva evolutiva de mayores dimensiones que cuando están en lastre.

3.1.3 Tonelaje, eslora y manga

Tanto las dimensiones del buque como su peso influyen en su comportamiento dinámico y en la inercia de las maniobras.

3.1.4 Velocidad y rumbo

Para un mismo ángulo de timón la duración de la evolución disminuye al aumentar la velocidad. Para igual velocidad el tiempo se reduce al incrementar el ángulo de timón. Para completar una caída en el

menor tiempo posible se debe usar todo el timón a la banda y máxima velocidad.

3.2 PARÁMETROS EXTERNOS A LA EMBARCACIÓN

Los siguientes parámetros deben obtenerse en tiempo real.

3.2.1 Fuerza y dirección del viento

El viento deforma la curva evolutiva típica y la modificación que sufre depende de la fuerza y dirección del viento con respecto al rumbo inicial del buque antes de iniciar la caída.

3.2.2 Corrientes superficiales y marea

Cuando el buque se desplaza sobre una masa de agua animada de velocidad uniforme, su curva evolutiva conserva la forma típica sobre el fluido, pero varía con respecto al fondo, alargándose en el sentido en que la corriente fluye. La corriente variará la posición de la embarcación del lugar en que inicia la caída

3.2.3 Posición y velocidad de otros blancos o áreas de peligro

La referencia del rumbo que poseen los otras embarcaciones y su velocidad permite conocer el vector de dirección y tiempos de contacto o varado.

3.3 SIMULACIÓN

Todos estos parámetros se pueden analizar con ayuda de simuladores. En concreto, el simulador NT PRO 5000 de Wärtsilä (ver Figura 4) emula el gobierno del barco en diferentes condiciones de navegación y el TECHSIM ERS5000 de Wärtsilä (ver Figura 5) emula la respuesta de un barco con varios modelos de propulsión y potencia.

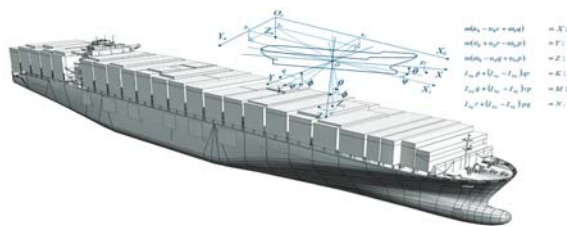


Figura 4: Software NT PRO 5000 (Imagen cedida por Wärtsilä)

El objetivo es conocer la respuesta ante diferentes escenarios y calcular los tiempos de reacción de los diferentes modelos. Esta información la tendrá en cuenta el algoritmo de control para predecir las

situaciones de peligro y poder proponer las acciones más adecuadas.



Figura 5: Modelos del Simulador ERS5000 TECHSIM de Wärtsilä

En la Figura 6 se observa la señal del RADAR y AIS a tiempo real. La información obtenida en pantalla permite al operador realizar un control del tráfico portuario aceptable, pero siempre dependerá del estado de estrés al que se vea sometido el operador y de las situaciones que se den en la zona portuaria.



Figura 6: Control portuario (imagen cedida por Prácticos de Valencia)

4 CONCLUSIÓN

La generación de modelos de la respuesta de diferentes embarcaciones, junto con la información en tiempo real, tanto meteorológica como del estado de los blancos obtenido por una combinación de dispositivos de ayuda a la navegación, son los elementos que permiten a los algoritmos de control de tráfico adelantarse a los acontecimientos que suponen riesgos a la vida humana y al medio ambiente, permitiendo:

- Aviso premonitorio de un peligro de abordaje.
- Recomendación de maniobra en caso de que el abordaje sea inminente para minimizar los daños.
- Obtención de tiempos de actuación a las autoridades (despliegue de barrera, *skimmers*, etc...) en caso de abordaje o varado para

minimizar daños al medio ambiente por derrame de hidrocarburo.

- Estimar los remolcadores necesarios para una maniobra dada en el puerto

Como líneas futuras de investigación se está trabajando en el desarrollo de un sistema neuronal de aprendizaje que nos permita, además de la información mencionada, tener en cuenta situaciones concretas como, por ejemplo, la pérdida de propulsión en una embarcación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Wärtsilä y a Prácticos de Valencia la cesión de las imágenes.

English summary

DATA ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC VESSEL CONTROL SYSTEM IN A PORT AREA

Abstract

According to the latest report from the European Maritime Safety Agency, a large number of boating incidents with casualties occur at port facilities. To minimize the number of accidents, it is necessary to have efficient control algorithms that allow the operator to decide actions in real time. The main sources of data that allow an effective control of port control are presented. The advantages and disadvantages of the data supplied by the AIS and RADAR systems are discussed. Based on the safety requirements to avoid collisions, the main data related to the vessel and its environment that are relevant for an efficient algorithm of traffic control in ports are analyzed.

Keywords: VTS (Vessel Traffic Service), AIS (Automatic Identification System), RADAR (Radio Detection and Ranging), simulation, maritime safety.

Referencias

- [1] Abuín, E., “Pesqueros gallegos denuncian que hay barcos que navegan con el AIS apagado”, (2017), *La voz de Galicia*.
- [2] Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents* (2020)

- [3] Huang, Y., Linying, C., Negenborn, R.R., van Gelder, P.H.A.J.M (2020) “Collision Avoidance Systems for Maritime Autonomous Surface Ships Considering Uncertainty in Ship Dynamics”, *IFAC-PapersOnLine*, 53(2).
- [4] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) <https://www.iala-aism.org>
- [5] Last, P. (2016) *Analysis of Automatic Identification System Data for Maritime Safety*, PhD Thesis, Jacobs University, Bremen.
- [6] Organización Marítima Internacional (OMI), Convenio sobre el Reglamento internacional para prevenir los abordajes, 1972 (Reglamento de abordajes)
- [7] Organización Marítima Internacional (OMI), Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (Convenio SOLAS)
- [8] Ramsvik, H. (2001) “AIS as a tool for Safety of Navigation and Security - Improvement or not?” *Maritime Technology and Production Centre, Det Norske Veritas*
- [9] Silveira, P.A.M. Teixeira, A.P. and Soares C.G.. (2013) “Use of AIS Data to Characterise Marine Traffic Patterns and Ship Collision Risk off the Coast of Portugal”, *Journal of Navigation* 66(06).
- [10] Sotirov, S, Alexandrov, C. (2017) “Improving AIS reliability”, *IAMU Annual Conference*, Varna, Bulgaria
- [11] Stateczny, A., Lisaj, A., (2006) “Radar and AIS Data Fusion for the Needs of the Maritime Navigation”, *Radar Symposium*.
- [12] Torné, A., Martínez de Osés, F.X., Isalgué, A. pendiente de publicación.



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).