

Detección Automática de Eventos en el Taller de Tuberías del Astillero 4.0

Los buques actuales cuentan con entre 15.000 y 50.000 tubos, por lo que su fabricación y montaje son claves en un astillero. De cara a optimizar dichos procesos, Navantia ha creado dentro de su proyecto Astillero 4.0 un Sistema Ciber-Físico (Cyber-Physical System, CPS) que permite llevar a cabo la detección automática de eventos asociados a la gestión de tubos en los procesos de fabricación de barcos. Estos eventos requieren de la identificación simultánea de numerosas tuberías y su trazabilidad, desde su origen y a través de su ciclo de vida. El CPS es capaz de transmitir señales periódicamente, proporcionando una plataforma para desarrollar aplicaciones estratégicas e innovadoras en la planificación de los procesos del astillero. Este trabajo presenta el diseño y la implementación de un sistema de monitorización en tiempo real usando tecnología RFID (Radio Frequency Identification) activa, técnicas de fingerprinting y técnicas de estabilización del nivel de señal recibida (Received Signal Strength, RSS) como son el filtro de Kalman o el procesamiento multi-antena en el receptor. Adicionalmente se muestra el módulo de visualización diseñado y cómo los eventos significativos del taller son detectados y presentados a los operadores.

Unidad Mixta de
Investigación Navantia-
Universidade da
Coruña UDC

 proxecto.umi@udc.es

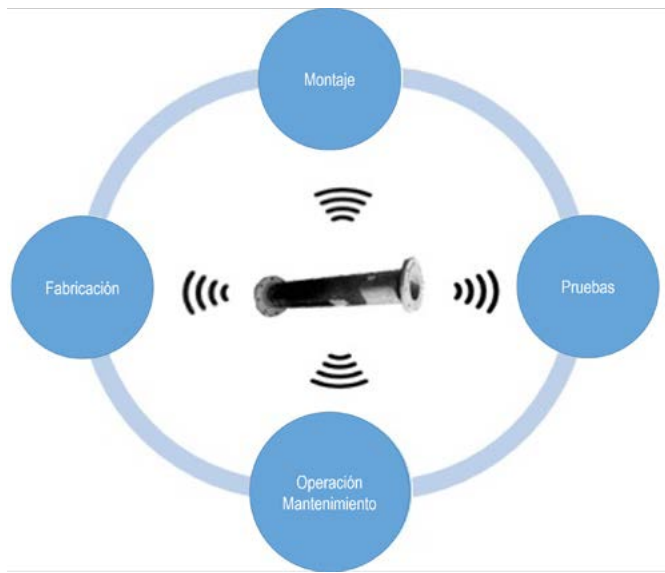


Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernández-Caramés, Diego Noceda-Davila, Manuel A. Díaz-Bouza, Miguel Vilar-Montesinos, José D. Pena-Agras y Luis Castedo

Navantia, compañía naval que lleva casi 300 años construyendo barcos civiles y militares de alta tecnología, está trasladando los principios de la Industria 4.0 al astillero. La Industria 4.0 plantea el uso de los últimos avances tecnológicos (por ejemplo, en Internet de las cosas, robótica o realidad aumentada) con el objetivo de aumentar la integración de los procesos para optimizar su ciclo de vida. La trazabilidad de los tubos es el objeto de una línea de investigación dentro de la Unidad Mixta de Investigación (UMI) Navantia-Universidade da Coruña (línea de Auto-ID de Tuberías), una colaboración en la que desde 2015 se trabaja en la aplicación de las últimas innovaciones tecnológicas en la mejora de procesos industriales existentes.

La construcción de un buque es una tarea compleja en la que intervienen multitud de procesos. Uno de ellos es la fabricación de tubos, los cuales constituyen una parte fundamental de un buque. Los tubos forman el "sistema circulatorio" del buque transportando combustible y refrigerante para los motores, el agua potable para el consumo, conduciendo los residuos a las plantas de tratamiento, así como otros muchos servicios. En concreto, es habitual que un buque cuente entre 15.000 y 50.000 tubos, los cuales difieren en su tamaño, material, y accesorios que los constituyen. Debido a esta variada tipología, y a la importancia de los tubos, el control de su trazabilidad y de los procesos a los que son sometidos es de alto interés para Navantia.

El objetivo de la actuación Auto-ID de Tuberías es incorporar el uso de "productos inteligentes conectados" al astillero. El sistema de Auto-ID creado se basa en el concepto de "tubo inteligente", un tubo capaz de remitir información sobre su identificación y ubicación (e.g. en qué fase del proceso de fabricación se encuentra, a qué procesos ha sido sometido o qué máquinas y operarios han ejecutado tales procesos) en las distintas áreas por las que circula. Dicha información permite enviar eventos relevantes a los operarios y supervisores que lo requieran. Por ejemplo, puede ser de interés para un supervisor saber que hay tubos listos para que sean aplicadas las verificaciones de calidad oportunas. Igualmente, ciertos operarios pueden co-



Tubo inteligente

Diseño y arquitectura del sistema

En el sistema diseñado, cada tubo inteligente consta de una etiqueta electrónica que contiene la información necesaria para la identificación del tubo. Dicha información es recolectada por una infraestructura de balizas que mediante algoritmos matemáticos realiza una estimación de su posición.

La arquitectura del sistema consta de diversos módulos que permiten adquirir los niveles de señal transmitido por las etiquetas electrónicas adheridas a los tubos (RSS, *Received Signal Strength*) y realizar su procesamiento para estimar la ubicación de estos.

Igualmente, el sistema consta de un módulo de *Business Intelligence* para la detección de eventos, de un módulo para conectarse a SAP y a sistemas MES (Manufacturing Execution System), y de un módulo para la visualización de toda la información relevante.

La arquitectura del sistema fue diseñada explícitamente de manera modular para que, en caso de que alguno de los sistemas con los que se interactúa cambiase, la actuali-

nocer automáticamente qué tubos ya están listos para ser trasladados a la siguiente fase de fabricación. A partir de esta información, el sistema puede desencadenar, de forma automática, las tareas administrativas relativas al alta del producto en el inventario, el consumo de materiales o el registro de horas de trabajo.

Durante la investigación realizada, centrada en el taller de tubería de Navantia-Ferrol, se detectaron al menos las siguientes necesidades que, de ser cubiertas, se estima que mejorarían de manera significativa la eficiencia de la cadena de procesamiento de tubos:

- ▶ Automatización de la identificación de los tubos en el taller.
- ▶ Localización automática de los tubos.
- ▶ Identificación de los tubos embarcados.
- ▶ Optimización de los tiempos que van desde la fabricación hasta su colocación en el barco.
- ▶ Optimización de la estiba.

- ▶ Localización de los tubos embarcados para su montaje.

- ▶ Optimización de rutas desde su fabricación hasta el montaje.

Cada una de las necesidades detectadas tiene una problemática completamente distinta, lo cual implica pruebas de concepto y, posiblemente, tecnologías distintas. La fase inicial de la línea de Auto-ID de Tuberías se centró en las tres primeras con el objetivo de desarrollar un piloto de prueba en el taller de tuberías de Navantia-Ferrol y en el muelle anexo a éste.



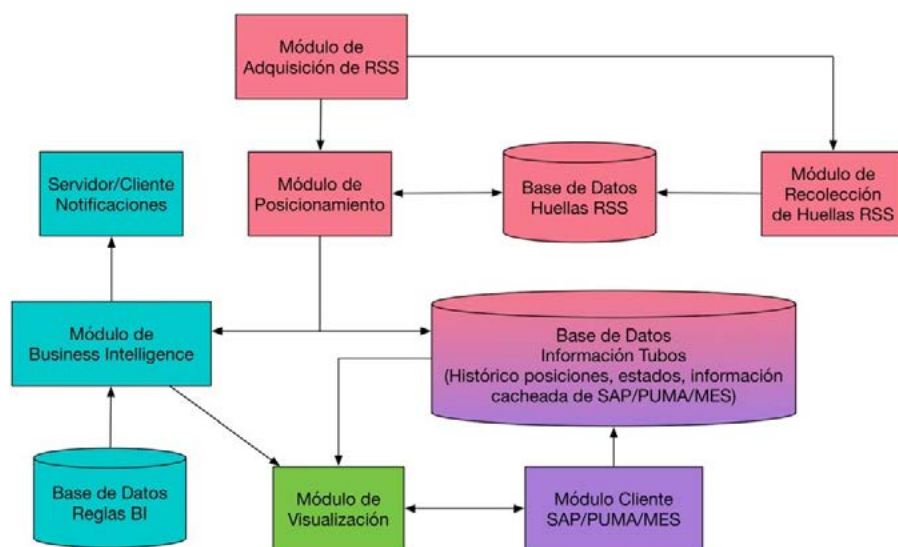
Zona de almacenamiento externo en el muelle anexo al taller.

zación del sistema de Auto-ID fuese inmediata.

Entre los elementos más críticos que pueden ser modificados está la tecnología de identificación de los tubos. En el proyecto se investigaron múltiples tecnologías que potencialmente pueden ser utilizadas y se realizó una comparación detallada de la que se concluyó que RFID UHF activo es la que mejor se adapta a las necesidades de un taller de tuberías.

Los algoritmos del módulo de localización se diseñaron considerando el uso de RFID UHF activo. Este módulo obtiene las coordenadas de cada tag después de procesar la RSS recibida mediante técnicas de fingerprinting. Adicionalmente, se incluyó un mecanismo para refinar las coordenadas. En él se hace uso de un parámetro adicional que determina la velocidad con la que un tubo se mueve dentro de un taller. Este parámetro, dependiente del escenario, sirve para obtener un compromiso entre la estabilidad del sistema y la velocidad de convergencia del cálculo de la posición.

Para evitar las oscilaciones derivadas de la presencia de obstáculos,



Módulos del sistema desarrollado.

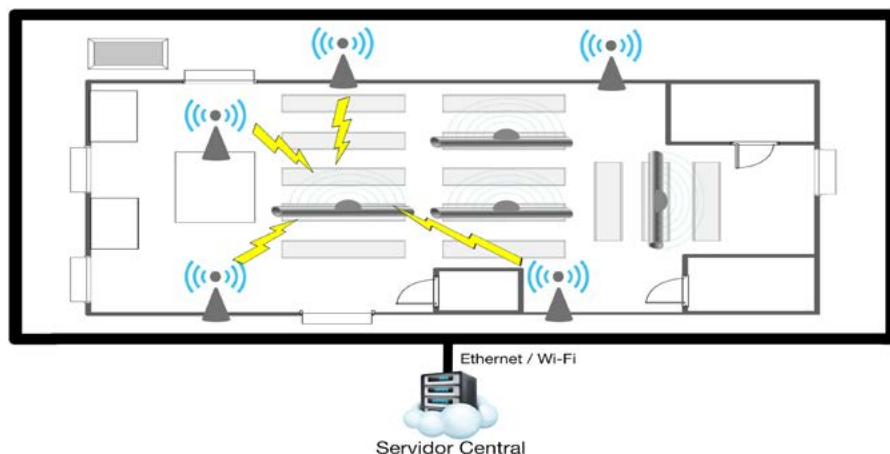
reflexiones y distintas fuentes de interferencia, se implementaron dos técnicas de estabilización de la RSS: el filtro de Kalman, para reducir el ruido, y técnicas multi-antena en el receptor (Single-Input Multiple-Output, SIMO). En este último caso, se adaptaron los algoritmos tradicionales Equal Gain Combiner (EGC), Maximum-Ratio Combiner (MRC), Selection Combiner (SC), Switch-and-Stay Combiner (SSC) y Scanner Combiner (ScanC) para estimar la

RSS percibida por varias antenas receptoras.

Experimentos

Para verificar el correcto funcionamiento del CPS desarrollado se usó un lector RFID activo NPR ActiveTrack-2 que con antenas omnidireccionales alcanza una distancia de lectura de 45 m. De los modelos de tags robustos compatibles con el lector elegido se escogieron los Active RuggedTag-175S, que sólo pesan 51g y poseen dimensiones reducidas. Durante el proceso de fabricación los tubos se exponen a operaciones muy agresivas, como tratamientos con ácidos, sustancias corrosivas o galvanizado. Para asegurar la durabilidad del tag y su resistencia ha sido necesario someterlos a los mismos procesos que los tubos. Los tags elegidos superaron las pruebas de resistencia con éxito.

Respecto a los algoritmos desarrollados, se obtuvo una precisión de aproximadamente 1 metro hasta los 10 metros de distancia. Nótese que esa precisión decrece rápidamente



Sistema de tubos inteligentes que transmiten información a las balizas de manera inalámbrica.



Tests de resistencia de los tags

representan los tubos o un conjunto de tubos dentro de un radio de 2 metros (esto es útil para palés que llevan múltiples tubos). Considerando que se visualizan múltiples tubos mientras se mueven a través del taller, se puede usar un filtro para mostrar un tubo específico o un subconjunto que cumple ciertos criterios. Adicionalmente, los operarios pueden hacer zoom en el mapa del taller para observar áreas específicas.

Los operarios, además de visualizar los tubos en un mapa, pueden acceder a cierta información sobre ellos. Esta funcionalidad implica obtener datos de parámetros específicos (e.g. el identificador del tubo, área o material).

Módulo de tracking

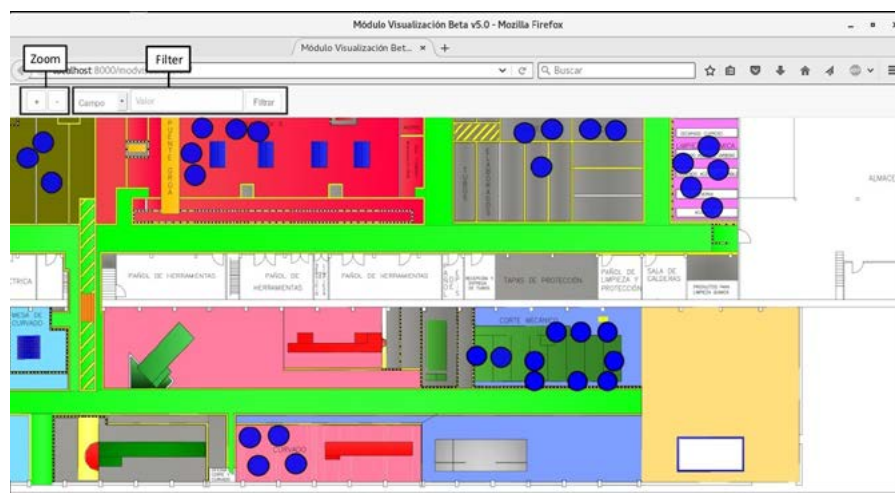
Como punto de partida de un sistema de *data mining* que analice el recorrido de un tubo a lo largo de su vida en el taller, se ha implementado un módulo de tracking. Este módulo permite conocer en tiempo real la posición en la que el sistema sitúa al tubo. Su objetivo es generar una traza del estado del tubo a lo largo del tiempo. Además, se implementó una herramienta que permite cono-

con distancias mayores. Por ejemplo, aumentar la distancia de lectura de 16 a 17 metros implica una pérdida de precisión de 50 cm. Por otro lado, se comprobó que el uso del filtro de Kalman aumenta significativamente la precisión del sistema, y entre las técnicas de diversidad implementadas, la versión filtrada de MRC es la que obtiene mayor precisión. Debe destacarse también que cuanto mayor sea la distancia entre el lector y un tubo, menos precisión tienen las estimaciones, incluso usando técnicas de estabilización de la RSS. Respecto al algoritmo de fingerprinting, es necesario considerar en su diseño parámetros como el ángulo de lectura del tag, el ángulo de las antenas lectoras, la altura, la existencia de múltiples fuentes de interferencia o incluso el apilado de tubos.

Módulo de visualización del sistema de localización

El sistema propuesto facilita la visualización en tiempo real o casi-re-

al de la ubicación de los tubos del taller. Una vez instalado el sistema software y hardware, los resultados obtenidos pueden ser vistos por los operarios gracias a un interfaz web al que se puede acceder a través de cualquier dispositivo con un navegador (i.e. desde PCs, Mac, smartphones, tablets...). Los círculos azules



Mapa del taller de tubería con la localización de los tubos (círculos azules).



Ejemplo de ejecución del sistema de notificaciones.

cer el error cometido por el sistema en metros.

Sistema de notificaciones

El módulo de *Business Intelligence* desarrollado es actualmente capaz de monitorizar constantemente la posición de los tubos y determinar cuándo se produce un cambio de zona. Este módulo ha sido verificado in-situ en el taller y se ha comprobado su perfecto funcionamiento que, obviamente, se ve condicionado por la precisión del sistema para ofrecer

estimaciones sobre la ubicación. En el momento en el que un tubo cambia de área y ha transcurrido un tiempo prefijado, se muestra un *pop-up* en la parte derecha de la pantalla, que indica el evento.

Este sistema es un ejemplo de las facilidades que aporta un sistema de posicionamiento de los tubos que permite crear "tubos inteligentes" que automatizan tareas del taller. Aunque actualmente se proporcionen datos de cambios de zona, con los datos adecuados, dicho sistema será capaz

de ofrecer eventos relacionados con la ubicación concreta, obtener métricas sobre el tiempo de procesado real por tubo, o determinar si un tubo sigue la ruta adecuada en el taller en función de su tipología. En este sentido, las posibilidades que ofrece el sistema de Auto-ID suponen una fuente valiosa de datos de cara a optimizar los procesos del taller. ☺

* El artículo completo estará disponible en las actas del Congreso "The Digital Transformation: A Challenges for ICT Engineers".

Enabling Automatic Event Detection for the Pipe Workshop of the Shipyard 4.0

In the era of Industry 4.0, Navantia is creating a Cyber-Physical System (CPS) for enabling automatic event detection in their pipe workshops. The enhanced identification of the numerous pipes of a shipyard and their traceability, from their origin and through their life-cycle, increase productive capacity and efficiency in the processes. The CPS proposed is

able to transmit signals periodically, providing a pipe monitoring platform to leverage safety and strategic benefits, and giving support for emerging and innovative applications in process planning. This paper presents the design and implementation of an active UHF Radio Frequency Identification (RFID) realtime monitoring pipe system that makes

use of fingerprinting and Received Signal Strength (RSS) stabilization techniques (Kalman filtering and Single-input Multiple-output (SIMO) techniques). Furthermore, it shows a first glimpse of the designed display module and how significant events in the pipe workshop are automatically detected and presented to the operators.