



S. Sañudo, F. Masson, D. Alonso, P. S. Mandolesi, P. Julián

Detección Temprana de Derrames de Hidrocarburos en la Ría de Bahía Blanca

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y DE COMPUTADORAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Reporte Técnico Número. — 002-2006
Junio 2006

DETECCIÓN TEMPRANA DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN LA RÍA DE BAHÍA BLANCA

por

S. Sañudo, F. Masson, D. Alonso, P. S. Mandolesi, P. Julián

1. Introducción

Las redes de sensores son sistemas inalámbricos de bajo consumo que dispersos en gran cantidad modifican el paradigma del único sensor costoso y preciso y escasa capacidad de interpolación geográfica. Estos dispositivos son posibles hoy debido al avance en el desarrollo de circuitos integrados de bajo consumo. La perspectiva subyacente es la posibilidad de monitorear en cualquier lugar, en cualquier momento. En este informe se propone la aplicación de esta tecnología para la resolución de un problema de gran impacto ambiental: la detección temprana de derrames de hidrocarburos en la Ría de Bahía Blanca, en particular en la zona del Puerto de Bahía Blanca.

1.1. El Puerto de Bahía Blanca. — El Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca (CGPBB) es un ente público no estatal y sin fines de lucro que desde el 1 de septiembre de 1993 tiene a su cargo la administración y explotación del complejo portuario de Bahía Blanca. Es, en los hechos e históricamente, el primer puerto autónomo de la Argentina, circunstancia que se concretó en el marco del proceso encarado por el Gobierno de la Nación destinado a la privatización o transferencia de todo el sistema portuario argentino, que durante décadas fue operado exclusivamente por el Estado. El sistema portuario de Bahía Blanca ofrece un amplio espectro de servicios y alternativas de operaciones, con directa salida al Océano Atlántico. Es el único puerto de aguas profundas del país; ideal para las operaciones con supergraneleros y grandes buques tanques. Algunos aspectos sobresalientes del mismo son:

- Muelles con capacidad para operar todo tipo de buques y mercaderías.
- Cuatro terminales especializadas en la carga de cereales, oleaginosas y subproductos.
- Posta para inflamables, para carga y/o descarga de combustibles, gases y subproductos petroquímicos.
- Plazoletas para el almacenaje de contenedores y carga general.
- Provisión de agua potable, energía eléctrica y combustibles a buques.
- Instalaciones frigoríficas de gran capacidad, ubicadas a pie de los muelles.

1.2. Definición de redes de sensores orientada a su aplicación en el CGPBB. — El impacto social y económico de un sistema compuesto por cientos o miles de nodos ([45], [50], [52]) que sea capaz de establecer una red de comunicación, detectar ciertas variables de interés en una miríada de puntos, interpolar con sus vecinos la información de distinta índole o fuente para así lograr una estimación ([27], [28], [29], [30], [31], [32], [34], [43], [46], [53], [54]) certera de la situación que se intenta medir ya sea una magnitud o una imagen ([33], [49], [55], [56], [57], [60], [61]) y generar una alarma temprana es una solución que tiene un potencial significativo ([38], [41], [44]). Un nodo consta de tres componentes principales: el sensor propiamente dicho, que traduce una variable física en una variable eléctrica; el procesador, que toma la señal del sensor, realiza operaciones de filtrado y amplificación para acondicionarla y la procesa utilizando un algoritmo de cálculo; la unidad de comunicación, que transmite los datos producidos por el procesador y recibe datos de otros nodos o de un administrador central.

Estas redes son hoy posibles en parte por el avance en el desarrollo de circuitos integrados de bajo consumo (microprocesadores, trancivers, sensores) ([35], [36], [37], [38], [39], [40], [42], [47], [51]) que hacen que los nodos de esta red no necesiten mantenimiento alguno y su costo sea muy bajo en base a grandes escalas de integración. Un ejemplo de aplicación es el control ambiental, sea de contaminantes en aire o en aguas. El método usual de trabajo es la colocación de uno o pocos equipos que miden en puntos específicos elegidos en base a un análisis previo. Este análisis previo no permite identificar con la dinámica necesaria otros puntos de análisis nuevos ni correlacionar esa información con posibles causas. Mucho menos, generar alarmas tempranas de siniestros con el detalle deseable de la ubicación del evento para actuar con premura. Sin embargo una red de sensores desplegada en una zona amplia sí posee estas características deseables, aunque cada nodo individual no sea certero en términos de precisión numérica, el sistema tiene la ventaja de la multiplicidad de fuentes y de sensores que hacen que globalmente se logren resultados superiores que con un único dispositivo. Esa capacidad de integrar la información para tomar una decisión es el proceso de fusión de datos. Para la fusión de datos es importante contar con un modelo del sensor a utilizar que sea bueno y sencillo [59]. Para que esta herramienta sea útil, no se puede dejar de tratar como un conjunto a los algoritmos de estimación o fusión con las restricciones de los elementos de medición ([27], [28], [29], [30], [31], [32], [34], [43], [46], [53], [54]).

2. Aplicación en el puerto, puntos a resolver y soluciones posibles.

Una de las posibles aplicaciones en el CGPBB es la detección de derrames de hidrocarburos, para lo cual se podrían dispersar sensores en la zona portuaria que midan la presencia de manchas, verifiquen la hipótesis con sus vecinos y emitan por radio frecuencia un mensaje de alarma hacia fuera de la red.

Para resolver este punto es necesario resolver el mecanismo de medición, desarrollar el sensor y acoplarlo a un sistema de cálculo y transmisión. Todo esto debe realizarse bajo la perspectiva de bajo consumo para posibilitar que un sistema de estas características sea desplegado y no necesite mantenimiento por un lapso que se mida en años.

En el marco de ésta aplicación se realizó una investigación sobre los sensores y sistemas que se han desarrollado hasta el momento y sobre un algoritmo de estimación capaz de generar las alarmas.

A nivel regional la solución propuesta tiene como objetivo reducir al mínimo el impacto de una actividad deseable y prioritaria en la región como es la operación portuaria, sobre los recursos naturales presentes en la ría. Más aún, con las perspectivas de crecimiento

debido a la diversificación del tipo de cargas que se canalizarán y con presencia de zonas de reserva natural en un accidente geográfico de características únicas.

Soluciones parciales a este problema (utilizando sensores aislados) existen en el mercado pero son soluciones desarrolladas en otros países; no existen antecedentes regionales.

Para el CGPBB una solución del tipo de red de sensores permitiría identificar en forma temprana la situación de derrame. Esto facilitaría que las medidas existentes para contener el siniestro sean más efectivas y permitiría detectar a los responsables del siniestro y hacerlos responsables económica y legalmente de la situación, de ser necesario.

Representa en sí mismo el tipo de soluciones que permanentemente busca el consorcio de gestión del puerto para mejorar la calidad de vida de la región y su relevancia nacional e internacional.

3. Metodología de Detección

Los derrames de petróleo y productos relacionados, en el ambiente marino, tienen graves impactos biológicos y económicos. La efectividad de una respuesta de contención e incluso limpieza tiene que ver con los esfuerzos realizados para conocer la ubicación y extensión de la mancha derramada. En ese sentido los elementos de medición de la presencia y cantidad de producto derramado juegan un papel cada vez más importante. Con el uso de sistemas modernos de sensado remoto es posible controlar en el océano abierto una mancha en el término de veinticuatro horas. Con el conocimiento de la ubicación y el movimiento, el personal de respuesta puede planear más efectivamente las contramedidas y así disminuir los efectos de la contaminación. Para detectar los derrames de petróleo se utilizan sensores infrarrojos (o una combinación de infrarrojo y ultravioleta), sensores basados en la fluorescencia a partir de la emisión de un láser, sensores basados en radares, cámaras y escáners en la banda del espectro visible, sensores capacitivos y también imágenes satelitales. Los sensores que no necesitan del contacto con el agua o la mancha se denominan remotos y los sensores que necesitan de este contacto se denominan "in situ".

El primer gran grupo de sensores es el basado en el principio óptico. Las técnicas ópticas en el espectro visible constituyen la forma más común de sensado y son llevadas a cabo por cámaras, existiendo soluciones que incorporan imágenes de video con GPS ([1], [15]). En la región visible del espectro electromagnético (aproximadamente 400 nm a 700 nm), el petróleo tiene un reflectancia más alta que el agua de superficie, por ello aparece un brillo plateado y refleja la luz sobre una amplia región espectral debajo del azul. La región entre 500 nm a 600 nm a menudo se filtra para mejorar el contraste [2]. Se ha encontrado que en el espectro visible se puede lograr un contraste de hasta el 100% colocando la cámara en el ángulo de Brewster (53 grados de la vertical) y utilizando un filtro con polarización horizontal [2]. Las cámaras de video se utilizan en conjunción con filtros de la misma manera que las cámaras fijas. Este tipo de sistemas trabaja con baja luminosidad lo que permite que operen en la oscuridad.

Los escáners son dispositivos que trabajan en la región visible y constan de un espejo o prisma rotante que barre el campo de vista y dirige un haz de luz que luego es recogido por un detector. Tienen una buena sensibilidad y selectividad y sus señales pueden ser digitalizadas. Recientemente estos dispositivos mecánicos fueron reemplazados por "imagers" que en forma simultánea recogen todos los puntos a analizar.

La utilización de técnicas en el espectro visible está en su mayor medida restringida a la documentación de la existencia de la mancha dado que no es factible desarrollar un mecanismo que en forma positiva la detecte. Interferencias comunes como ondas en el agua

producidas por el viento, producen alarmas falsas. En resumen, su utilidad en la detección es muy limitada, pero representan una herramienta económica para la documentación.

El petróleo absorbe radiación solar y reemite una porción como energía termal en la región de los 8 μm a 14 μm . del espectro. En las imágenes infrarrojas una capa gruesa de petróleo aparece caliente, una intermedia fría y una delgada no se detecta. El espesor en el cual se producen estas transiciones no se conoce pero existe evidencia de que la transición de calor a frío se produce entre los 50 μm y 150 μm y la capa mínima detectable es entre 20 μm y 70 μm [3]. Este principio se utiliza en dispositivos como cámaras infrarrojas y escáneres, y su desventaja es que se necesita enfriar el sensor para evitar que el ruido térmico no oscurezca las señales útiles. La mayoría de los sensores infrarrojos de derrames operan en longitudes de onda de los 8 μm a los 14 μm [4] y su utilidad para la detección no es muy buena debido a las falsas alarmas.

Los sensores ultravioletas (UV) pueden ser utilizados para detectar resplandores de petróleo dado que poseen una alta reflectividad en esta banda, aún con espesores muy delgados, menores a 0.01 m [2]. De hecho, se puede fusionar esta información con infrarroja para producir mapas de espesor de derrames. Los sensores ultravioletas están sometidos a interferencias (reflejos solares por ejemplo) de distinta naturaleza que los sensores infrarrojos (IR), lo que hace que la combinación de sensores UV e IR pueda proveer una capacidad de detección más certera.

Los sensores láser de fluorescencia emplean la propiedad que poseen ciertos componentes (principalmente los hidrocarburos) de absorber la luz ultravioleta y reemitir una porción de esta energía en la región del espectro visible. Diferentes hidrocarburos dan diferentes formas espectrales e intensidades lo que hace que se puedan incluso diferenciar las clases de éstos en condiciones ideales ([5], [6]).

La mayoría de estos dispositivos utilizan un láser que opera entre los 300 nm y 355 nm [7]. En estas longitudes de onda existe un retorno de fluorescencia centrado en 420 nm debido al material orgánico presente. Esta señal puede ser filtrada fácilmente junto con la señal producida por la clorofila (que resulta en un gran pico en los 685 nm). La señal útil para detectar hidrocarburos está entre los 400nm y los 650 nm con picos en la región de los 480nm. Estos tipos de sensores son los que poseen mayor potencial para desarrollar un dispositivo que discrimine la presencia o no de hidrocarburos [5]. Existe otro fenómeno llamado dispersión Raman que involucra la transferencia de energía entre la luz incidente y las moléculas de agua. Las moléculas de agua absorben parte de la energía como energía rotacional-vibratoria y retornan la luz como la energía incidente menos la energía de rotación o vibración. La señal Raman para agua ocurre a 344 nm cuando la longitud de onda incidente es de 308 nm (Láser XeCl). La señal de Raman de agua es útil para mantener la calibración de longitud de onda del sensor láser de fluorescencia en operación. También ha sido utilizado en forma más limitada para estimar el espesor de la capa de petróleo, debido a que la fuerte absorción del petróleo en la superficie suprime la señal de Raman de agua proporcionalmente al espesor ([16],[17]).

Otro instrumento relacionado al principio de fluorescencia es el sensor pasivo "Fraunhofer Line Discriminator" que utiliza la irradiación solar en lugar de la luz láser, pero no es muy utilizado ya que tiene baja relación señal-ruido[2].

El océano emite radiación de microonda. El petróleo en el océano emite una radiación de microonda mucho más intensa que el agua lo que hace que el petróleo aparezca como una zona brillante en un área oscura. El factor de emisividad del agua es 0.4 comparado con los 0.8 del petróleo [2]. Un dispositivo pasivo puede detectar esta diferencia de emisividad y así detectar derrames. Como la señal varía en función del espesor, en teoría este dispositivo también puede ser utilizado para medir el espesor de la capa de petróleo. Si embargo, la

implementación de esta solución no ha resultado muy exitosa dado que se deben conocer varios parámetros específicos del ambiente y el petróleo ya que existe en la señal medida un comportamiento que tiene que ver con la relación entre el espesor y la longitud de onda, lo que produce una señal variante. Los materiales biogénicos también interfieren y otra desventaja es que la relación señal-ruido es baja. Además es difícil lograr alta resolución del espacio [18].

Algunos investigadores han experimentado con dispositivos trabajando en dos bandas de frecuencia [8], otros en una única banda e incluso con dispositivos utilizando contraste con polarizaciones ortogonales [9]. En resumen, el potencial de estos dispositivos es muy grande porque pueden operar en cualquier condición ambiental, sin embargo, hasta este momento su capacidad de detección es incierta.

Las ondas capilares en el océano reflejan la energía del radar produciendo una imagen brillante. Dado que el hidrocarburo en el agua amortigua alguna de estas ondas capilares, su presencia puede ser detectada como una zona oscura en el océano. Desafortunadamente no es el único fenómeno que produce este oscurecimiento (zonas calmas, por ejemplo, también dan este efecto) y es propenso a interferencias o indicaciones falsas [10]. A pesar de estas limitaciones, el radar es una herramienta importante porque es el único sensor que puede ser utilizado para medir grandes áreas y puede funcionar también de noche y con niebla.

Trabajos experimentales muestran que radares en la banda X funcionan mejor que otros, e incluso que es mejor utilizar antenas con polarización vertical [11]. En general, el desarrollo de un radar que optimice la detectabilidad de un derrame es útil para detecciones remotas de derrames en grandes áreas (desde aviones por ejemplo) y para situaciones de ambiente (neblina) y horarios que incluyen la noche, aunque es afectado por falsas alarmas y por otras limitaciones como los niveles de viento que afectan la capilaridad medida. También el radar es limitado por el estado del mar; cuando el mar está muy bajo no produce suficiente oleaje alrededor para contrastar con el petróleo y cuando el mar está muy alto se disemina el radar lo suficiente como para bloquear la detección dentro de zonas profundas [15].

Un esparcidor de microondas es un elemento que mide la expansión de microondas o la energía de radar respecto de un objetivo (un blanco); la presencia de petróleo reduce la expansión de las señales de microondas como lo hace para sensores de radar, aunque en éste caso también son afectados por falsos blancos. La ventaja del esparcidor de microondas es que permite la cobertura aérea como los sensores ópticos y puede operar en una geometría nadir (es decir, mirando directo hacia abajo). Como desventaja incluye la carencia de discriminación de petróleo y la carencia en la capacidad de imagen [15].

La utilización de imágenes satelitales es otra herramienta que puede competir con el patrullaje realizado con sensores ubicados en aviones en el caso de grandes derrames (por ejemplo el producido por el EXXON VALDEZ [12]). Su mayor inconveniente es la necesidad de un cielo limpio. Eso hace que la condición para detectar el derrame sea el pasaje del satélite por la zona y que en ese momento el cielo esté despejado. A esto se agrega que la imagen debe ser procesada luego de recibida en tierra (en el caso de EXXON VALDEZ eso demoró dos meses) lo que todo junto hace que esta herramienta no ofrezca mucho potencial en el desarrollo actual de la tecnología.

En [19] se realiza una comparación entre el uso de datos satelitales versus datos derivados de vehículos aéreos que muestra la carencia de resolución y de puntualidad de resultados de los primeros en varias aplicaciones de derrames de petróleo.

La capacidad es un parámetro eléctrico que es posible medir y su valor es proporcional al dieléctrico que separa dos conductores que forman sus terminales. El valor de la constante

dieléctrica del agua es alrededor de 80 y el del hidrocarburo es de 1.5, permitiendo entonces medir un cambio significativo de la capacidad con la presencia o no del derrame. Existen dispositivos comerciales que utilizando este principio miden capas de 5 mm de espesor, lo que los hace poco útiles en derrames pequeños. Sin embargo, son dispositivos muy económicos y que pueden instalarse en el lugar mismo donde potencialmente se pueda producir un derrame.

Una variedad de técnicas eléctricas, ópticas y acústicas han sido propuestas para medir el espesor de la capa de petróleo ([20],[21]). Dos técnicas prometedoras fueron probadas en mediciones de laboratorio. La primera es conocida como "mapeo térmico"[22], y utiliza un láser para calentar la región de petróleo. Los perfiles resultantes de temperatura sobre un área cercana a la calentada son examinados utilizando una cámara infrarroja. Los perfiles de temperatura creados dependen del espesor del petróleo. La segunda y más prometedora técnica involucra acústica laser ([23],[24]). El Sensor Laser Ultrasónico para Sensado de Espesor de Petróleo Remoto (LURSOT) consta de tres lasers, uno de los cuales está acoplado a un interferómetro para medir espesor en forma muy precisa [24]. El proceso de sensado comienza con un pulso termal creado por un pulso laser de CO₂ sobre la capa de petróleo; la expansión térmica ocurre cerca de la superficie donde el láser es absorbido lo que produce una elevación tipo escalón sobre la superficie muestreada, y un pulso acústico de alta frecuencia y gran ancho de banda, que viaja hacia la profundidad hasta alcanzar la interfase petróleo-agua, donde es parcialmente transmitido y parcialmente reflejado hacia la interfase petróleo-aire donde desplaza levemente la superficie de petróleo. El tiempo requerido es función del espesor y de la velocidad acústica en el petróleo. También se mide el desplazamiento de la superficie con un segundo láser y un rayo dirigido a la superficie. El movimiento de la superficie induce un desplazamiento de fase o frecuencia (efecto Doppler) en la sonda reflejada, y éste desplazamiento puede ser demodulado con un interferómetro [25].

Como sistemas de sensores comerciales podemos citar los de SpillWatch [26] basados en fluorescencia y multiespectro, que miden bajo cualquier clima (son in-situ) y operan continuamente midiendo el incremento en la concentración de hidrocarburos o del brillo en la superficie, ambos indicativos de un derrame. Al detectar un derrame se transmite una señal a la computadora base y de allí una alarma telefónica.

La aplicación de cualquiera de los principios de medición enunciados, sobre una plataforma como una red de sensores es una solución novedosa y diferente. La tecnología de redes de sensores es una tecnología clave para el futuro y así lo demuestra no sólo el interés de la comunidad académica [13], sino también los artículos de difusión pública [14]. Considérese el siguiente escenario: varios miles de sensores son desplegados rápidamente en ambientes inclementes (regiones remotas geográficamente, ubicaciones urbanas tóxicas, zonas de inseguridad personal) o más benignos pero donde el bajo mantenimiento es importante (interiores de aviones o grandes fábricas). Estos sensores se coordinan entre sí para establecer una red de comunicación dividiendo las tareas de localización y monitoreo de forma eficiente en términos de consumo de energía. Adaptan luego la precisión global de las variables a sensar y se reorganizan ante posibles fallas de forma que cuando se agregan nuevos sensores estos se reestructuran a sí mismos tomando las ventajas de los recursos incorporados.

Este tipo de dispositivos pueden actuar ante una catástrofe o derrame desarrollando un mapa con su ubicación pero además con información del espesor de la mancha, lo que, como se dijo, facilita las tareas de control y limpieza. Para esto es necesario desarrollar un sensor que sea capaz de determinar estas variables pero además que sea de bajo

consumo, restricción que impone la necesidad de que actúe en forma autónoma por un tiempo suficientemente prolongado.

Para la detección de derrames de hidrocarburos se debería, en primer lugar, desarrollar un sensor de presencia de hidrocarburos; basándonos en la investigación realizada deducimos que sería conveniente en términos de costos y confiabilidad el desarrollo de sensores capacitivos, sensores con lasers de fluorescencia y sensores con principio infrarrojo. Habrá que estudiar su viabilidad de funcionamiento en bajo consumo, su realizabilidad y construir prototipos para cumplir con los requerimientos en forma discreta. Aun cuando los sensores propiamente dichos no posean un consumo de potencia pequeño, es posible activar los sensores el mínimo lapso de tiempo necesario para realizar una medición, y luego mantenerlos inactivos el resto del tiempo.

La integración de todas las etapas en un mismo chip, permitiría en el futuro la realización de un nodo completo y de esta manera se dispondría de un nodo de sensado de hidrocarburos que agregue a la característica de bajo consumo el bajo costo.

4. Características de una solución basada en redes de sensores

El desarrollo de una solución basada en tecnología de redes de sensores requiere la realización coordinada de tres actividades. En primer lugar, es necesario conocer los requerimientos adecuados de la aplicación particular. En segundo lugar, una vez definidas las características de la aplicación, es necesario recolectar datos experimentales en el ambiente propio de la aplicación, por ejemplo: característica del agua, característica de los hidrocarburos, profundidades, etc. Con estos datos resulta posible analizar la problemática de modelado de las incertidumbres y ambigüedades para proponer diferentes algoritmos de representación, tanto de las variables medidas como de los umbrales de alarma, y ensayarlos utilizando los datos recolectados. El análisis de los resultados de las simulaciones y de sus posibles implementaciones electrónicas, permitiría definir la arquitectura tecnológica más adecuada.

La recolección de datos experimentales se debe desarrollar con sensores construidos a tal fin y enfocando cada una de las problemáticas. La posibilidad de obtener señales de buena calidad y representativas del problema es el desafío, dado que es necesario interactuar con actores de otras disciplinas. Los datos obtenidos deben por una parte permitir el análisis de características de sensado y por otra, proponer algoritmos adecuados de fusión de datos y representación tanto de las variables medidas como de los umbrales de alarma. El desarrollo de formas de representación de los elementos sensados en el ambiente y la construcción de los mapas de las variables sensadas en la presencia de fuentes heterogéneas de información es un desafío. Existen soluciones que en el campo de la navegación autónoma prometen resolver este problema. Estas técnicas se basan en una construcción híbrida entre mojones y grillas de ocupación. Se debería aplicar esta representación del ambiente a partir de los datos medidos y los resultados de la fusión. Una posibilidad es adaptar los resultados al procesamiento descentralizado ([27], [28], [29], [30], [31], [32], [34], [43], [46], [53], [54]). Se debe resolver también la factibilidad de propagar las alarmas para que estas lleguen a los puntos de adquisición o indicación. Para ello sería adecuado construir un protocolo para guiar la información. Como se mostró en [52], una alternativa es la relación entre el flujo de información y la fusión de las medidas.

5. Conclusiones.

Una red inteligente toma datos del medio, los almacena y los procesa en forma distribuida generando información que permite la toma de decisiones.

Como ya se ha mencionado, una red de sensores es un sistema muy complejo que puede tener características muy diferentes dependiendo de la aplicación. Por ello resulta imprescindible generar un conocimiento completo de la aplicación. Una vez realizado esto, es fundamental recolectar datos experimentales con sensores de características similares a los que se utilizarán, dado que esto permite definir en forma precisa las especificaciones y condiciones de contorno particulares. La disponibilidad de datos medidos, por otro lado, brinda una gran ventaja al permitir el ensayo de diferentes algoritmos y la elección de las mejores alternativas.

Como se ha mostrado, el impacto social y económico de una solución de este tipo es significativo. En aplicaciones de control ambiental el método usual de trabajo es la colocación de un equipo que mide en puntos específicos elegidos en base a un análisis previo. Este análisis previo no permite identificar con la dinámica necesaria otros puntos de análisis nuevos ni correlacionar esa información con posibles causas; mucho menos, generar alarmas tempranas de siniestros con el detalle deseable de la ubicación del evento para actuar con premura.

Para que esta herramienta sea útil no puede dejar de relacionarse con las restricciones de los elementos de medición. Por ello, se hace absolutamente necesario un análisis y desarrollo del conjunto algoritmo de fusión / representación / sensores. ⁽¹⁾

Referencias

- [1] W. J. LEHR. — *Oil Spill Monitoring Using a Field Microcomputer-GPS Receiver Combination* Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications, ERIM Conferences, Ann Arbor, Michigan, pp. I-435-439, 1994.
- [2] R. A. O'NEIL, R. A. NEVILLE AND V. THOMPSON. — *The Arctic Marine Oilspill Program (AMOP) Remote Sensing Study*, Environment Canada Report EPS 4-EC-83-3, Ottawa, Ontario, pp. 257, 1983.
- [3] M. F. FINGAS, C. E. BROWN AND J. V. MULLIN. — *The Visibility Limits of Oil on Water and Remote Sensing Thickness Detection Limits*. Proceedings of the Fifth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 2, pp. 411-418, 1998.
- [4] J. W. SALISBURY, D. M. D'ARIA AND F. F. SABINS. — *Thermal Infrared Remote Sensing of Crude Oil Slicks*. Remote Sensing in the Environment, Vol. 45, pp. 225-231, 1993.
- [5] C. E. BROWN, M. F. FINGAS, R. H. GOODMAN, J. V. MULLIN, M. CHOQUET AND J. P. MONCHALIN — *Airborne Oil Slick Thickness Measurement*. Proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 219-224, 2000.
- [6] T. HENGSTERMANN AND R. REUTER — *Lidar Fluorosensing of Mineral Oil Spills on the Sea Surface* Applied Optics, Vol. 29, pp. 3218-3227, 1990.
- [7] A. L. GERACI, F. LANDOLINA, L. PANTANI, AND G. CECCHI. — *Laser and Infrared Techniques for Water Pollution Control*. Proceedings of the 1993 Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp. 525-529, 1993.

⁽¹⁾El material incluido en el reporte es responsabilidad de los autores del mismo y podría no reflejar la opinión del Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica o del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras de la Universidad Nacional del Sur.

- [8] N. SKOU, B. M. SORENSEN AND A. POULSON. — *A New Airborne Dual Frequency Microwave Radiometer for Mapping and Quantifying Mineral Oil on the Sea Surface*. Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, ERIM Conferences, Ann Arbor, Michigan, Vol. 2, pp. 559-565, 1994.
- [9] S. A. PELYUSHENKO. — *The Use of Microwave Radiometer Scanning System for Detecting and Identification of Oil Spills*. Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 381-385, 1997.
- [10] H. HÜHNERFUSS, W. ALPERS AND F. WITTE. — *Layers of Different Thicknesses in Mineral Oil Spills Detected by Grey Level Textures of Real Aperture Radar Images*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, pp. 1093-1099, 1989.
- [11] N. BARTSCH, K. GRÜNER, W. KEYDEL AND F. WITTE. — *Contribution to Oil Spill Detection and Analysis with Radar and Microwave Radiometer: Results of the Archimedes II Campaign*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE.25, No. 6, pp. 677-690, 1987.
- [12] K. G. DEAN, W. J. STRINGER, J. E. GROVES, K. AHLINAS AND T. C. ROYER. — *The EXXON VALDEZ Oil Spill: Satellite Analyses*. Oil Spills: Management and Legislative Implications, M.L. Spaulding and M. Reed, eds., American Society of Civil Engineers, New York, pp. 492-502, 1990.
- [13] S. P. KUMAR AND H. GHARAVI. — *Special Issue on Sensor Networks and Applications*. Proceedings of the IEEE, Vol. 91, p. 8, 2003,
- [14] H. GREEN. — *Tech Wave 2: The Sensor Revolution* Business Week, 2003.
- [15] C. E. BROWN, M. F. FINGAS. — *Review of Oil Spill Remote Sensing*. Spillcon 2000, Darwin, Australia, 2000.
- [16] F. E. HOGE AND R. N. SWIFT. — *Oil Film Thickness Measurement Using Airborne Laser-Induced Water Raman Backscatter*. Applied Optics, Vol. 19, pp. 3269-3281, 1980.
- [17] J. PISKOZUB, V. DROZDOWSKA AND V. VARLAMOV. — *A Lidar System for Remote Measurement of Oil Film Thickness on Sea Surface*. Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 386-391, 1997.
- [18] R. H. LAMPORT. — *Remote Sensing Resolution and Oil Slick Inhomogeneities* Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications, ERIM Conferences, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 1-17, 1994.
- [19] M. F. FINGAS AND C. E. BROWN. — *Airborne Oil Spill Remote Sensors - Do They Have a Future?*. Proceedings of the Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 715-722, 1997.
- [20] E. R. REIMER AND J. R. ROSSITER. — *Measurement of Oil Thickness on Water from Aircraft; A: Active Microwave Spectroscopy; B: Electromagnetic Thermoelastic Emission*. Environmental Studies Revolving Fund, Ottawa, Ontario, No. 078, 1987.
- [21] L. GOODMAN, H. BROWN AND BITTNER. — *The Measurement of Thickness of Oil on Water*. Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 31-41, 1997.
- [22] J. D. AUSSEL AND J. P. MONCHALIN. — *Laser-Ultrasonic Measurement of Oil Thickness on Water from Aircraft*. Feasibility Study, Industrial Materials Research Institute Report, Boucherville, Québec, 1989.
- [23] J. C. KRAPEZ AND P. CIELO. — *Optothermal Evaluation of Oil Film Thickness*. Journal of Applied Physics, Vol. 72, No. 4, pp. 1255-1261, 1992.
- [24] M. CHOQUET, R. HÉON, G. VAUDREUIL, J. P. MONCHALIN, C. PADIOLEAU AND R. H. GOODMAN. — *Remote Thickness Measurement of Oil Slicks on Water by Laser Ultrasonics*. Proceedings of

- the 1993 International Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp. 531-536, 1993.
- [25] J. P. MONCHALIN. — *Optical Detection of Ultrasound*. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 33, No. 5, pp. 485-499, 1986.
- [26] <http://www.appliedmicrosystems.com/applications/early-warning-systems-for-oil-spills-environmental.html>
- [27] F. MASSON, J. GUIVANT, E. NEBOT. — *Robust Navigation and Mapping Architecture for Large Environments*. Journal of Robotics Systems, John Wiley & Sons, Vol. 20, No. 10, pp 621-634, 2003.
- [28] J. GUIVANT, J. NIETO, F. MASSON, E. NEBOT. — *Navigation and Mapping in Large Unstructured Environments*. International Journal of Robotic Research, (Accepted, 2003).
- [29] J. GUIVANT, F. MASSON, E. NEBOT. — *Simultaneous Localization and Map Building Using Natural Features and Absolute Information*. Journal of Robotics and Autonomous Systems. Vol. 40, No. 2-3, pp 69-90, 2002.
- [30] E. NEBOT, F. MASSON, J. GUIVANT, H. DURRANT-WHYTE — *Robust Simultaneous Navigation and Mapping for Very Large Outdoor Environments*. Experimental Robotics VIII Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Vol. ISBN 3-540-00305-3, pp. 200-209, 2003.
- [31] F. MASSON, E. NEBOT, J. GUIVANT. — *Robust Simultaneous Localisation and mapping for very large outdoor environments*. International Symposium on Experimental Research Bruno Siciliano eds., Ischia, Italy, 2002.
- [32] F. MASSON, J. GUIVANT, E. NEBOT. — *Hybrid Architecture for Simultaneous Localization and Map Building in Large Outdoor Areas*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots Systems, Lausanne, Switzerland, 2002.
- [33] R. VILLAMIL, G. DE VINCENTI, N. TUMINI, F. MASSON, O. AGAMENNONI. — *Gas Oil Color (ASTM) inference with Neural Network in an oil refinery distillation column*. 7th Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, VII LACPEC, Buenos Aires, 2001.
- [34] F. MASSON. — *Navegación autónoma Robusta en grandes superficies*. Tesis Doctoral, 2003.
- [35] S. P. KUMAR AND H. GHARAVI. — *Special Issue on Sensor Networks and Applications*. Proceedings of the IEEE, Vol. 91, p. 8, 2003,
- [36] H. GREEN. — *Tech Wave 2: The Sensor Revolution*. Business Week, 2003.
- [37] S. P. KUMAR AND CHEE-YEE CHONG. — *Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges*. Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 8, pp. 1247-1256, 2003.
- [38] J. J. GARSKA, D. S. ALBERTS AND F. P. STEIN. — *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*. Online Available <http://www.dodccrp.org/NCW/ncw.html>, 1999.
- [39] D. STEERE, A. BAPTISTA, D. MCNAMEE, C. PU AND J. WALPOLE. — *Research challenges in environmental observation and forecasting systems*. Proceedings 6th International Conference Mobile Computing and Networking (MOBICOMM), pp. 292-299, 2000.
- [40] D. ESTRIN, R. GOVINDAN, J. HEIDEMANN AND S. KUMAR. — *Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks*. Proceedings International Conference Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 263-270, 1999.
- [41] C. INTANAGONWIWAT, R. GOVINDAN, D. ESTRIN, J. HEIDEMANN AND F. SILVA. — *Directed diffusion for wireless sensor networking*. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16, 2003.
- [42] W. R. HEINZELMAN, A. CHANDRAKASAN, H. BALAKRISHNAN. — *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*. 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Vol. 8, 2000.
- [43] H. F. DURRANT-WHYTE, M. STEVENS — *Data Fusion in Decentralized Sensing Networks*. 4th International Conference on Information Fusion, Montreal, Canada, 2001.
- [44] D. ESTRIN, R. GOVINDAN, J. HEIDEMANN AND S. KUMAR. — *Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks*. Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Seattle, Washington, USA, pp. 263-270, 1999.

- [45] R. SHAH, S. ROY, S. JAIN, W. BRUNETTE. — *Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks*. http://www.intel-research.net/Publications/Seattle/012220031206_114.pdf, Vol. IRS-TR-03-001, 2003
- [46] F. MASSON, G. BORTOLOTO, A. DESAGES. — *Transformaciones no lineales de distribuciones de probabilidad. Aplicación al filtro de Información*. XV Simposio de Control Automático AADCA 96, Buenos Aires, pp. 1116-1121, 1996.
- [47] A. G. ANDREOU, K. A. BOAHEN, A. PAVASOVIC, P. O. POULIQUEN, R. E. JENKINS, K. STROHBEHN. — *Current-mode subthreshold MOS circuits for analog VLSI neural systems*. IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 2, pp. 205-213, 1991.
- [48] E. A. VITTOZ, M. G. R. DEGRAUWE, S. BITZ. — *High-performance crystal oscillator circuits: theory and application*. IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 23, pp. 774-783, 1988.
- [49] E. GAMAL, D. YANG, B. FOWLER. — *Pixel level processing - why?, what?, and how?*. Proceedings of the SPIE Electronic Imaging '99 Conference, San Jose C.A., USA, Vol. 3650, 1999.
- [50] *Special issue on sensor networks and applications*. Proceeding of IEEE, Second Edition, Vol. 91, 2003.
- [51] S. A. TUNHEIN - CHIPCON AS. — *Implementation of CMOS low cost and low power RF-ICs*. Proceeding Wireless Systems Design Conference and Expo, San Jose, CA, US., 2002.
- [52] A. MAINWARING, J. POLASTRE, R. SZEWCZYK, D. CULLER, J. ANDERSON. — *Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring*. Proceeding ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2002.
- [53] F. MASSON, D. PUSCHINI, P. JULIAN, P. CROCCE, L. ARLENGHI, P. S. MANDOLESI, A. G. ANDREOU. — *Hybrid Sensor Network And Fusion Algorithm For Sound Source Localization*. International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Vol. 3, pp. 2763-2766, 2005.
- [54] P. JULIÁN, F. MASSON, P. S. MANDOLESI, D. PUSCHINI, H. GUTIERREZ. — *Red Inalámbrica de Oídos Inteligentes para la Detección y Localización de Eventos Sonoros*. Reunión Ciencia, Tecnología y Sociedad, Buenos Aires, 2004.
- [55] L. O. CHUA. — *CNN: A vision of complexity*. International Journal of Bifurcation and Chaos, Special issue on Visions of Nonlinear Science in the 21st Century, Vol. 7, pp. 2219-2425, 1997.
- [56] L. O. CHUA, L. YANG. — *Cellular neural networks: Theory*. IEEE Transactions Circuits and Systems, pp. 1257-1272, 1988.
- [57] P. JULIÁN, R. DOGARU, L. O. CHUA. — *A piecewise-linear simplicial coupling cell for CNN gray-level image processing*. IEEE Transactions Circuits and Systems, pp. 904-913, 2002.
- [58] P. JULIÁN, A. DESAGES, O. AGAMENNONI. — *High level canonical piecewise linear representation using a simplicial partition*. IEEE Transactions Circuits and Systems, Vol. 46, pp. 463-480, 1999.
- [59] P. JULIÁN, A. DESAGES, B. D'AMICO. — *Orthonormal high level canonical PWL functions with applications to model reduction*. IEEE Transactions Circuits and Systems, Vol. 47, pp. 702-712, 2000
- [60] R. DOGARU, P. JULIÁN, L. O. CHUA. — *The Simplicial Neural Cell and its Mixed-Signal Circuit Implementation: An Efficient Neural Network Architecture for Intelligent Signal Processing in Portable Multimedia Applications*. IEEE Transactions Neural Networks, Vol. 13, pp. 995-1008, 2002.
- [61] P. S. MANDOLESI, P. JULIÁN, A. G. ANDREOU. — *A Simplicial CNN for on-chip image processing*. Proceedings of the 2004 International Symposium Circuits and Systems, Vol. 3, pp. 29-32, 2004.

Junio 2006

S. SAÑUDO, F. MASSON, D. ALONSO, P. S. MANDOLESI, P. JULIÁN, Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica Av. Alem 1253, 8000, Bahía Blanca, Argentina