

Desarrollo de un sistema de toma de decisiones autónomo y ejemplo de aplicación a servicios de seguridad bajo demanda

Francisco J. Estévez, Jose M. Palomares, Juan C. Gámez, Joaquín Olivares y Jose M. Castillo

Resumen—Existen multitud de sistemas de adquisición de datos autónomos basados en diferentes metodologías, muchos de ellos se imparten en la educación universitaria y otros por el contrario surgen de un exhaustivo trabajo de investigación científica. Estos sistemas se aplican hoy en día en un gran número de áreas, siendo todas ellas muy diversas aunque con importantes nexos comunes. En el presente artículo se propone, a partir de un proyecto fin de carrera, un sistema autónomo de adquisición de datos y reconocimiento del entorno, con un alto índice de escalabilidad e integración a nuevos espacios. Para probar su eficacia se propone también una aplicación robotizada que utiliza estas características en el área de la seguridad, un campo en el que resultan especialmente claras las propiedades diferenciadoras del método propuesto.

Index Terms—Adquisición de datos, sistema autónomo, toma de decisiones, seguridad, robot.

I. INTRODUCCIÓN

EN el presente artículo inspirado de un proyecto fin de carrera y que extrae gran parte de su información del conocimiento acumulado durante la titulación de Ingeniería Informática desarrollada en la Universidad de Córdoba, se exponen multitud de sistemas de adquisición de información tanto conocidos y estudiados en la propia universidad como nuevos y en auge a partir de la investigación científica. En estos artículos se pueden destacar sistemas basados en la optimización, en la predicción, en la obtención de un alto grado de veracidad con la realidad y así un largo etcétera de posibilidades.

Las necesidades de adquisición de información del mundo real se hacen más importantes a medida que nuestra sociedad avanza e interacciona más estrechamente con la tecnología. Las nuevas tecnologías conllevan un mayor grado de comunicación entre el ser humano y la tecnología. En este escenario aparecen nuevos retos en el aspecto que concierne a la adquisición de información en nuestro entorno, lo cual repercute directamente en una ingente cantidad de nuevas necesidades para los sistemas autónomos [1] de los que disponemos actualmente. En el presente artículo se hace especial hincapié en la necesidad de automatizar las tareas de recolección e interpretación [2] de la información recopilada del mundo real [3], independientemente de las características específicas del mismo. La propuesta que aquí se presenta tiene como principales características su amplia escalabilidad y la capacidad de interpretación y evaluación de la información obtenida de cara a la posterior toma de decisiones por parte del sistema. El presente artículo expone en un primer lugar la tarea de la adquisición de datos

[4], exponiendo las opciones disponibles y profundizando en la seleccionada. Además se profundiza en las tareas a desempeñar por lo sensores y actuadores. A continuación se presenta la aplicación desarrollada específicamente para comprobar los resultados de esta propuesta, analizando dicha aplicación en profundidad, para finalizar con una conclusión acerca de este tipo de sistemas y de las opciones elegidas para el mismo.

II. ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos se realiza hoy en día en base a sensores en muchos casos analógicos. Estos sensores realizan internamente conversiones analógicas-digitales y transmiten posteriormente estos datos ya pre-procesados. Este hecho es en gran medida uno de los focos que mayor atención centró originalmente en los sistemas de procesamiento de la información, debido a la imprecisión original de muchos de estos instrumentos. Con el avance de la tecnología este instrumental ha ganado en precisión y capacidades ofreciendo hoy en día un más que aceptable grado de fiabilidad en cuanto a los valores registrados.

Los centros de adquisición de información autónomos que existen hoy en día suelen ser centros permanentes que recogen la información en base a numerosos sistemas en muchos casos analógicos, siendo estos equipos pesados y difícilmente portables. Aún con el reciente auge en las redes de sensores inalámbricos, mediante el uso de tecnologías como *ZigBee* o *6LoWPAN*, estas tecnologías no están en amplio uso y lo habitual es localizar estaciones centrales de procesamiento de la información recogida, siendo otro importante problema a tratar el de la transmisión de esta información en muchos casos sensible, fuera del centro de recogida de datos. En la figura 1, se puede observar una estación de recogida de datos habitual hoy en día.

Como se ha comentado anteriormente, se han utilizado sensores analógicos para el desarrollo del sistema y su posterior implementación. Para más detalles, no solo se han utilizado sensores analógicos, también se han utilizado actuadores siendo éstos, de nuevo, analógicos. Estos elementos han permitido realizar un intensivo testeo de los resultados del sistema además de permitir una simulación específica de cara a su aplicación en una situación y un entorno reales. El modelo de sistema desarrollado está caracterizado por poseer dos tipos de sensores: sensores para el desarrollo de



Figura 1. Sistema de recogida de datos centralizado, basado en sensores analógicos

tareas de *feedback* y sensores para la toma de decisiones global. Algunos de estos instrumentos se pueden englobar en ambas categorías.

II-A. Sensores para la toma de decisiones globales

La tarea principal de estos sensores es recopilar información del entorno, interpretarla y categorizarla. El sistema se caracteriza por ser multimodal debido a que combina datos de muy diversos sensores antes de tomar una decisión. En el caso de aplicación desarrollado para el presente artículo estos sensores eran particularmente: un sensor de presión, un sensor de ultrasonidos, un sensor giróscopo y un sensor compás magnético. Con este instrumental se recoge la información, se normaliza en el propio sensor antes de insertarla en los buses de datos, reduciendo así el consumo de ciclos de reloj, lo cual resulta de especial interés en sistemas empujados. Una vez realizada esta tarea se categoriza en el núcleo [hardware] del sistema. Concluido este paso la información se interpreta y en función de su valor se toma una decisión.

Cabe destacar que para desarrollar un aumento de la certeza del sistema en la toma de decisiones, se debe sacrificar parte de la celeridad del sistema dado que se toman diversas medidas con un mismo sensor, realizando posteriormente una media entre estas lecturas. Tras diversas pruebas de rendimiento, se considero que el número de mediciones que menos comprometía la velocidad de respuesta del

sistema era de tres. Este resultado permite realizar una media ponderada en la que si alguno de los valores recogidos por el sensor en una lectura consecutiva supera la media aritmética resultante de las otras dos mediciones esta lectura queda inmediatamente excluida de los cálculos a desarrollar. Para este cálculo utilizamos la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{x_i + \dots + x_{(i+n-2)} + x_{(i+n-1)}}{n}$$

, donde n es el número de mediciones.

La fórmula anterior se cumple si se producen las siguientes condiciones:

$$x_i \geq -3 * \frac{x_{(i+n-2)} + \dots + x_{(i+n-1)}}{n-1}$$

$$x_i \leq 3 * \frac{x_{(i+n-2)} + \dots + x_{(i+n-1)}}{n-1}$$

, donde n es, nuevamente, el número de mediciones.

Como ya se ha comentado anteriormente, en el hipotético caso de que la media no se encontrara entre estos márgenes se procedería a realizar la media entre las dos mediciones anteriores, obteniendo como resultado una media sesgada, pero igualmente válida debido a que la información recopilada por los sensores debe ser almacenada en un histórico de forma que pueda compensar informaciones erróneas y permita al sistema tomar decisiones de la forma más adecuada posible.

II-B. Sensores para tareas de feedback

Estos sensores se caracterizan por recopilar y formatear información que será mostrada e interpretada por el sistema y que permitirá confirmar la validez de los resultados obtenidos globalmente.

El sistema está diseñado para proporcionar métodos de autocorrección en caso de errores o problemas externos. Este motivo es el que ha propiciado la introducción en el sistema de la capacidad de realizar *feedback* de forma retrospectiva. Debido a esta propiedad que se encuentra identificada como una de las principales características del aprendizaje y del desarrollo de actividades de forma eficiente en los seres humanos.

La capacidad de realizar tareas con *feedback* otorga la posibilidad de corregir inmediatamente el mal funcionamiento, lo que resulta sumamente importante en los nuevos sistemas que se están desarrollando. Como se puede observar esta característica se antoja muy necesaria en toda propuesta de sistema autónomo que se presente en la actualidad.

III. EJEMPLO DE APLICACIÓN: SERVICIOS DE SEGURIDAD BAJO DEMANDA

Se presenta aquí un ejemplo de aplicación del sistema de adquisición de información autónomo desarrollado. Se ha elegido el campo de la seguridad debido a la gran demanda reciente y en especial por las características de este sector que permitirán ver de forma clara la aplicación a un sistema real. Las principales características de un sistema de seguridad son el procesamiento de la información en tiempo real, el gran volumen de información recopilada, la veracidad de los datos obtenidos y cada vez se hace más deseable una amplia



Figura 2. Prototipo desarrollado para la demostración de funcionamiento del sistema autónomo presentado

autonomía tanto energética como de actuación. En base a estos factores se puede observar como el sistema desarrollado encaja de forma muy próxima con las necesidades de los servicios de seguridad.

El sistema de adquisición se ha adaptado adecuando las dos principales partes que lo componen a las necesidades específicas de los sistemas de seguridad, añadiendo adicionalmente otra característica deseable, como es la de un sistema motriz, siendo el caso particular el de una unidad robótica. Este

III-A. Aplicación del sistema de automatización

El sistema de automatización utiliza las características desarrolladas para la toma de decisiones globales. Es decir, se utilizan sistemas de adquisición de la información para el reconocimiento del entorno [5], obteniendo así datos suficientes como para poder desarrollar estrategias de funcionamiento autónomo.

Para el desarrollo de una unidad robótica destinada a suplir necesidades en materia de seguridad, resulta de interés utilizar sensores de posicionamiento y reconocimiento. En el ejemplo aquí expuesto se propone la utilización de sensores de presión, de sensores de ultrasonido, sensores de direccionamiento y sensores de cálculo de giro. El prototipo desarrollado para el presente artículo, el cuál se puede observar en la figura 2, muestra la utilización y disposición de cada uno de estos sensores.

Como se puede observar, se han dispuesto los sensores anteriormente citados de forma que permitan a la unidad robótica obtener información precisa de su entorno. Se ha utilizado además un sistema que asegure la ejecución en tiempo real y que es conocido como *OSEK* [6]. Adicionalmente se ha aprovechado el sistema de eventos que proporciona este lenguaje de programación en conjunto con el lenguaje de programación *C* sobre un hardware altamente modulable

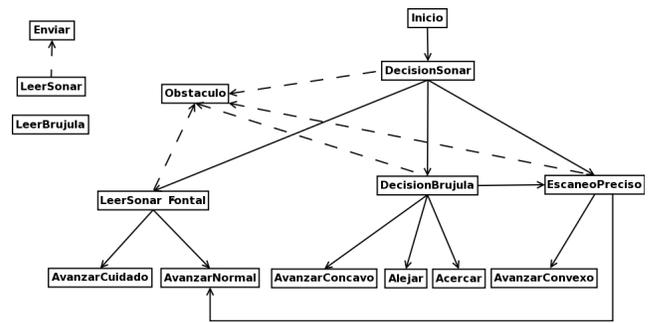


Figura 3. Sistema de toma de decisiones jerarquizado

y escalable como son los robots *Legó Mindstorms* [7]. Los eventos anteriormente citados, permiten disparar alertas en función de lo ocurrido en el entorno, dando al procesamiento de la información del entorno un carácter de máxima prioridad. La información de los sensores es categorizada y procesada por la propia unidad robótica, de forma que en base a un sistema de toma de decisiones jerarquizado es posible articular la mejor respuesta para resolver los conflictos surgidos del funcionamiento autónomo.

En la figura 3 se puede apreciar el esquema de toma de decisiones utilizado para esta demostración. El desarrollo de un esquema de toma de decisiones de estas características, conlleva dotar de prioridades a cada una de las componentes presentes en la información recopilada del entorno. Este es un punto de crítica importancia en la propuesta aquí realizada, ya que si se realiza una categorización de los distintos datos que se esperan recoger, se puede modelar de forma precisa el comportamiento del sistema. Este punto nos lleva a aconsejar una evaluación previa de la situación en la que aplicar el sistema y a realizar una baremación de la información a recopilar, estructurando así la toma de decisiones.

La información obtenida para esta prueba se ha compuesto de lecturas de distancia con respecto a obstáculos, proporcionadas por el sensor de ultrasonidos. También se ha obtenido información de la dirección seguida por el robot [8] de forma que él mismo conozca su localización en términos de desvío de una dirección específica. Otro de los elementos a analizar del entorno del robot es el ángulo de giro, lo cuál permite tomar decisiones de cara al control del funcionamiento autónomo [9]. Por último, una de las características más importantes de un sistema autónomo es la posibilidad de detectar un fallo crítico que comprometa la autonomía del sistema en términos globales, por ello, para un artefacto móvil como es un robot, se hace necesario un último sistema de alerta como es un sensor de pulsación, para que llegado el caso de un encadenamiento de errores que conduzcan a una mala toma de decisiones, se pueda rectificar y actuar de forma segura para salvaguardar la integridad del sistema.

III-B. Aplicación del sistema de feedback

El sistema de *feedback* representa una forma de autorregulación de los sistemas autónomos. Es decir, esta característica dota al sistema de la capacidad de conocer su propio estado, lo cuál es una característica sumamente importante, y que por

ejemplo, participa activamente en la capacidad de aprendizaje y corrección que poseemos los seres humanos.

En este sentido es de destacar que para el desarrollo de esta función, se ha aprovechado una de las características de los robots *Legó Mindstorms*. Dicha característica es la aplicación de tecnologías inalámbricas y en este caso concreto, del estándar *IEEE 802.15*, también conocido como *Bluetooth*. Mediante la utilización de esta tecnología se permite compartir el *feedback* desarrollado por el robot con otros sistemas e incluso con un operador humano. Este hecho se torna más relevante aún cuando se trata del campo de la seguridad, ya que el estado del entorno que tanto influye en el funcionamiento autónomo de un sistema se puede utilizar como información para el control de la seguridad.

Para desarrollar estas medidas se han incluido diversos sensores entre ellos un sensor de sonido y un sensor de cálculo de luz ambiental. Es necesario comentar que para cumplir con una de las principales características anteriormente mencionadas, como es la veracidad de los datos, se introdujo un segundo sensor de sonido, tras lo cual se observó una importante mejora en la veracidad de la información recogida debido a la supresión de ruido que se obtuvo de la utilización de estos dos sensores.

Además de los sensores de sonido y luz ambiental, se utiliza el sensor de ultrasonido y la capacidad de conocer el posicionamiento en tiempo real para proporcionar información útil a un operador. Esta información permite al sistema funcionar de forma autónoma pero con la posibilidad de una corrección en caso de error.

IV. CONCLUSIÓN

A lo largo del presente artículo se han mostrado las diversas características del sistema propuesto. Entre ellas destacar la escalabilidad y la interpretación de los diferentes datos obtenidos de cara a la toma de decisiones autónoma por parte del sistema. Los resultados obtenidos en las pruebas de campo, una vez aplicado a un robot dedicado a la automatización de tareas de control y vigilancia han sido realmente satisfactorios. Principalmente, gracias al prototipo desarrollado para la aplicación de este sistema de adquisición de información autónoma se ha podido confirmar que el sistema es altamente escalable debido a la posibilidad de aumentar los diferentes sensores disponibles en el sistema, ya sean para mejorar la autonomía del sistema o para mejorar el reporte generado. También es necesario apuntar que la complejidad del sistema de toma de decisiones y control aumenta exponencialmente cuanto mayor sea la información recopilada, debido a la cantidad de tareas a coordinar múltiplemente. Por último destacar que aún con una alta complejidad es altamente recomendable la aplicación de sistemas autónomos a elementos cotidianos, debido al exponencial aumento de capacidades provistas a causa de la integración de estos sistemas.

En el marco aquí mencionado, se puede además, definir una amplia línea de trabajo futuro en torno a la optimización de la propuesta de sistema autónomo aquí presentada, permitiendo también el trabajo en otras áreas de la propuesta tales como la mejora en la complejidad a causa de la escalabilidad del

sistema o la mejora en las prestaciones de los sensores a utilizar en estos sistemas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al *Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica (ACEYTE)* de la Universidad de Córdoba.

Mención especial al *Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores (ATC)* de la Universidad de Granada.

REFERENCIAS

- [1] M. Schwarzbach, U. Putze, U. Kirchgassner y MV. Schoenermark, *Acquisition of high quality remote sensing data using a UAV controlled by an open source autopilot*. Proceedings of the Asme international design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference, Vol.3:595-601, 2010.
- [2] TA. Werne, UJ. Wehmeier, JP. Wu, X. An, et al, *SCDU testbed automated in-situ alignment, data acquisition and analysis*. Optical and infrared interferometry II, Vol.7734(1-2), 2010.
- [3] C. Jimenez, P. Silva, R. Bravo y M. Olivares, *Automated data acquisition system for E-line EPR VARIAN: control interface and application software*. Revista Mexicana de Física, Vol.52(3):153-155, Mayo 2006.
- [4] DA. Bauer, S. Burke, J. Cooley, M. Crisler, P. Cushman, et al, *The CDMS II Data Acquisition System*. Nuclear Instruments Methods in physics research section A-Accelerators spectrometer detection and associated equipment, Vol.638(1):127-133, Mayo 2011.
- [5] S. Campos, R. Salas, H. Allende y C. Castro, *Multimodal Algorithm for Iris Recognition with Local Topological Descriptors*. Lecture Notes in Computer Science, Vol.5856:766-773, 2009.
- [6] Proyecto nxtOSEK. <http://lejos-osek.sourceforge.net/>. [Fecha de última consulta: 27-06-2011].
- [7] Legó Mindstorms. <http://mindstorms.lego.com/en-US/default.aspx?icmp=COFranchiseUSMINDSTORMS>. [Fecha de última consulta: 27-06-2011].
- [8] N. Londoño, *Arquitecturas Software de Robots. Metodología de Desarrollo*, 2011.
- [9] SA. McLay, NN. Bezawada, DC. Atkinson y DJ. Ives, *UCam: universal camera controller and data acquisition system*, Software and cyberinfrastructure for astronomy, Vol.7740, 2010.



Francisco J. Estévez Nació en Córdoba, España, en 1986. Ingeniero Técnico en Informática de Sistema desde 2010 e Ingeniero Informático desde 2011, ambos por la Universidad de Córdoba, España. Actualmente, estudiante de Máster en Ingeniería de Computadores y Redes y estudiante de Doctorado en el campo de las redes inalámbricas de sensores y la computación distribuida en la Universidad de Granada, España.



Jose M. Palomares Nació en Motril, España, en 1975. Realizó la licenciatura y el máster en Ciencias de la Computación en la Universidad de Granada, España en 1996 y 1998, respectivamente. Desde el año 2000, ha estado trabajando como profesor ayudante en la Universidad de Córdoba, España. Ha estado impartiendo Arquitectura de computadores y Sistemas en Tiempo Real en la licenciatura de Ingeniería Informática. Actualmente, es doctor en el campo de la Imagen y el Procesamiento de vídeo.



Juan C. Gámez Nació en Puente Genil, España, Ingeniero en Informática en la Universidad de Granada en 2000. Profesor de Secundaria y Ciclos Formativos desde 2002. Profesor en el Área de Arquitectura de Computadores del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica en la Universidad de Córdoba desde 2005. Sus investigaciones se centran en el campo de la Inteligencia Artificial, Aprendizaje, Lógica Difusa, Planificación, Robótica y Procesamiento de Imágenes.



Jose M. Castillo Nació en Córdoba, España, en 1984. Es Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas desde 2005 e Ingeniero en Informática desde 2007, ambos por la Universidad de Córdoba. Ha trabajado como Administrador de redes y sistemas en uno de los hospitales más importantes de España, el Hospital Universitario Reina Sofía de Córdoba. Actualmente es investigador en el Área de Arquitectura de Computadores de la Universidad de Córdoba, lugar en el que está preparando una tesis doctoral acerca del diseño y optimización de redes inalámbricas de sensores centradas en biomedicina.

inalámbricas de sensores centradas en biomedicina.

Joaquín Olivares Nació en Elche, España. Licenciado en Ciencias de la Computación en 1997, obtuvo el título de máster en 1999. Licenciado en Ingeniería Electrónica en 2003, todos de la Universidad de Granada, España. Obtuvo el grado de doctor en el año 2008 en la Universidad de Córdoba, España. Ha sido desarrollador de software con Orange, Italia, entre 2000 y 2001. Es Profesor Asociado en el Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica de la Universidad de Córdoba, España, desde 2001. Sus investigaciones se centran en el campo de los procesadores de vídeo, la arquitectura FPGA, procesamiento de imágenes, diseño de sistemas digitales, computación de alto rendimiento, redes de sensores inalámbricos, y arquitectura de computadores.