

Sistema Multiagente para el Control de la Seguridad en Entornos Industriales

Dante I. Tapia, Javier Bajo, Juan M. Corchado, Angélica González, Juan M. Sánchez

Departamento de Informática y Automática, Universidad de Salamanca
Plaza de la Merced s/n, 37008, Salamanca, España
{dantetapia, jbaiope, corchado, angelica, elwiwo}@usal.es

Resumen. En este artículo se presenta un sistema multiagente para la gestión y monitorización de rutas de vigilancia para el personal de seguridad en entornos industriales. El sistema obtiene información del contexto para planificar y monitorizar las actividades del personal de vigilancia de forma automática y en tiempo de ejecución. Los usuarios finales interactúan con el sistema de una forma sencilla, natural e intuitiva, mediante la utilización de un conjunto de tecnologías y agentes con capacidades de razonamiento y planificación.

1 Introducción

Actualmente existe una gran cantidad de arquitecturas basadas en la utilización de agentes, las cuales han emergido gracias a la aparición de espacios inteligentes y la integración de dispositivos programables a través de redes computacionales [13]. Esto ha impulsando el desarrollo de la computación ubicua [9], que constituye el acercamiento tecnológico más prometedor para resolver el desafío de desarrollar estrategias que permitan la detección anticipada y la prevención de problemas en entornos automatizados [1]. Los agentes y los sistemas multiagente son cada vez más relevantes en el desarrollo de sistemas dinámicos y distribuidos, adquiriendo gran aceptación en áreas como el comercio electrónico, la medicina, la oceanografía, la robótica, etc. [3].

Hoy en día existe una creciente necesidad de encontrar vías más efectivas para proporcionar servicios en dispositivos móviles [13] como asistentes personales (*Personal Digital Assistant -PDA-*) y teléfonos móviles, empleando tecnologías de comunicación como GPRS (*General Packet Radio Service*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), Bluetooth, etc. Por tal motivo, es necesario entender mejor la visión de la Inteligencia Ambiental [4], con la finalidad de obtener los mejores beneficios que este modelo de interacción puede ofrecer.

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema multiagente enfocado a la gestión y monitorización de rutas de vigilancia para el personal de seguridad en entornos industriales, de forma automática y en tiempo de ejecución. El sistema hace uso de un conjunto de tecnologías, como Wi-Fi, GPRS (*General Packet Radio Service*) e identificación por radiofrecuencia (RFID). Estas tecnologías aportan una infraestructura capaz de soportar las necesidades de comunicación distribuida de los

agentes. Además, incrementan la movilidad, la flexibilidad y la eficiencia de los usuarios, al permitir que los servicios (programas, equipos, etc.) estén disponibles para cualquier equipo de la red que lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.

A continuación, se presenta la problemática en torno a la monitorización de las actividades de los trabajadores en entornos industriales. Posteriormente, se define un caso de estudio, en donde se describe el desarrollo de un sistema multiagente que ayude a resolver algunos de problemas que afectan a este sector. Finalmente, se describen brevemente las principales características del sistema y se presentan los resultados obtenidos después de realizar una serie de simulaciones con un prototipo.

2 Problemática

Durante los últimos años, el sector industrial ha sufrido una profunda transformación, centrandó la investigación en varios aspectos, desde los procesos individuales hasta la gerencia de empresas virtuales. Aún así hay aspectos, como el control de vigilancia, en los que es necesario continuar desarrollando nuevos métodos y herramientas que permitan monitorizar las actividades de los trabajadores de manera más eficiente.

En un sector tan pujante y en creciente desarrollo, es necesario establecer políticas de seguridad para la administración de los riesgos, que permitan prever y controlar condiciones, conductas y situaciones conflictivas, contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de los trabajadores y el incremento de la productividad. Según recientes estudios [6], un 3% de la jornada laboral se pierde por falta de sistemas de control de tiempos que permitan verificar la duración real del tiempo trabajado. La implementación de sistemas de control influye en la productividad, ya que los trabajadores optimizan su potencial y agilizan los procesos en los que intervienen.

Los sistemas multiagente y las arquitecturas basadas en dispositivos inteligentes han sido recientemente explorados como sistemas de supervisión y seguimiento, siendo capaces de implementarse en gran cantidad de escenarios, incluido el sector industrial. Este tipo de sistemas son adecuados para mejorar la gestión de sistemas complejos, especialmente aquellos que integran aspectos físicos, sociales o económicos. Los sistemas multiagente ofrecen robustez, alta tolerancia a fallos, escalabilidad, y coordinación entre sus componentes [7], características que permiten aplicarlos en gran variedad de escenarios, por ejemplo, en el control de sistemas de fabricación [5].

A continuación, se presenta un caso de estudio, en el cual se hace uso de diversas tecnologías que permiten programar la jornada laboral del personal de seguridad dentro en entornos industriales, y a su vez, monitorizar su trabajo de manera automática y en tiempo de ejecución.

3 Caso de Estudio

Con la finalidad de mejorar la vigilancia en entornos industriales, se ha diseñado un sistema que permite planificar y distribuir las rutas entre el personal encargado de la

seguridad, así como de monitorizar el cumplimiento de las rutas asignadas, todo ello de forma automática y en tiempo de ejecución.

El sistema interactúa con los usuarios y el entorno a través de un conjunto de agentes inteligentes, asistentes personales (PDA), redes inalámbricas Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), tecnología de Identificación por radiofrecuencia (RFID) y tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*), trabajando de forma conjunta para proporcionar informes, respuestas, planes, etc. De forma automática y en tiempo de ejecución. Las redes Wi-Fi pueden ser sustituidas por GPRS, dependiendo de las dimensiones y características del entorno de implementación.

Los agentes realizan una planificación de las rutas de vigilancia tomando en cuenta el personal disponible para cubrir la superficie definida por el supervisor. El supervisor se encarga de realizar los posibles cambios en la disposición de las rutas, modificando la distribución de los puntos de control. El sistema tiene la capacidad de replanificar las rutas de forma automática, dependiendo del personal disponible en cada momento. El supervisor es capaz de monitorizar en cada momento la actividad del personal de seguridad en las obras asignadas, vía Internet.

La tecnología RFID es clave para la adecuada monitorización de las rutas asignadas. RFID es una tecnología para la captura automática de datos que puede ser usada para identificar electrónicamente y guardar información de productos, artículos, componentes, e incluso personas. Un sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos [14]: 1) Etiquetas, 2) Lectores, 3) Antenas y Radios y 4) Hardware de Procesamiento. Los chips RFID son leídos a través de un campo electromagnético que opera en las frecuencias entre 100KHz y 15MHz, induciendo una corriente eléctrica en la cola del *tag* (etiqueta sin sistema de energía incorporado), la cual energiza al chip y éste a su vez transmite una respuesta de baja intensidad y con una frecuencia diferente que es detectada por el lector, quien la envía finalmente a un ordenador o a un dispositivo que muestre la información de dicho chip [14]. Como se muestra en la Figura 1, la configuración utilizada en este desarrollo consiste en una serie de *tags* colocados en diferentes puntos estratégicos (puntos de control) del complejo industrial, PDAs con lectores RFID incorporados, y un ordenador central en donde se procesa y almacena la información, la cual puede ser consultada vía Internet. El número de *tags* instalados depende de los puntos de control requeridos por el entorno en donde se implemente el sistema.

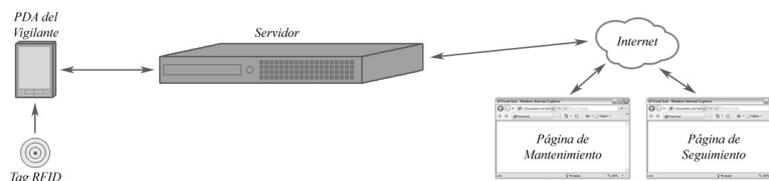


Fig. 1. Esquema básico de monitorización

El personal de seguridad debe pasar por cada uno de los puntos de control asignados automáticamente por el sistema. Al llegar a cada punto de control, debe leer el *tag* colocado en dicho punto a través del lector en su PDA. La información es obtenida y enviada automáticamente vía Wi-Fi o GPRS a un ordenador central, en el

que se almacena la hora, el identificador del punto de control y el identificador del trabajador asociado con la PDA.

4 Mecanismo para la planificación de rutas de vigilancia

El uso de las redes neuronales permite el cálculo de un número variable de agrupaciones, permitiendo reducir la distancia total final recorrida en cada conjunto. Además, los puntos pertenecientes a cada grupo pueden cambiar en cada cálculo, con lo cual se garantiza que las rutas a seguir por los vigilantes sufran variaciones, evitando la existencia de patrones en sus recorridos, con independencia del método empleado. La primera fase en el algoritmo de planificación de rutas consiste en realizar una agrupación de los puntos de control a recorrer basándose en el número de vigilantes disponibles. Para realizar esta tarea, se utiliza un mapa autoorganizado de Kohonen, concretamente una red SOM (*Self Organizing Maps*) con el algoritmo de aprendizaje de las k-medias [10]. Una vez agrupados los puntos de control, se inicia la segunda fase del algoritmo, consistente en el cálculo de la ruta a seguir en cada uno de los grupos. Para ello, se emplea una modificación de la red neuronal SOFM (*Self Organizing Feature Maps*), denominada Red Neuronal FYDPS, en la que se modifica la función de vecindad definida en la etapa de aprendizaje de la red de Kohonen. La red está formada por dos capas, la de entrada y la de salida. En la capa de entrada hay dos neuronas, correspondientes a las coordenadas de los puntos de control a visitar por el vigilante. En la capa de salida, existen tantas neuronas como puntos de control haya que visitar, una vez realizada la agrupación [8][11]. La función de activación de las neuronas es la identidad.

Sean $x_i \equiv (x_{i1}, x_{i2}) \quad i = 1, \dots, N$ las coordenadas del punto de control i y $n_i \equiv (n_{i1}, n_{i2}) \quad i = 1, \dots, N$ las coordenadas de las neuronas i en \mathfrak{R}^2 , siendo N el número de puntos de control a visitar por un vigilante. Se considerará una función de vecindad decreciente con el número de interacciones.

$$g(k, h, t) = \text{Exp} \left[\left(\frac{|k-h|}{N/2} \right)^{\frac{\text{Máx}_{i,j \in \{1, \dots, N\}, i \neq j} \{f_{ij}\} - \sqrt{(n_{k1} - n_{h1})^2 + (n_{k2} - n_{h2})^2}}{\text{Máx}_{i,j \in \{1, \dots, N\}, i \neq j} \{f_{ij}\}}} - \lambda \frac{|k-h|t}{\beta N} \right) \quad (1)$$

λ y β se determinan empíricamente, y sus valores respectivos son 5 y 50. t es la iteración actual. $\text{Exp}[x] = e^x$. N es el número de puntos de control a visitar por un vigilante fijo y f_{ij} es la distancia dada por el Algoritmo de Floyd [12]. El radio de la función de vecindad al final del aprendizaje debe ser próximo a 0 para que se actualice solamente el ganador. El grupo de puntos de control se pasa a las neuronas de la capa de entrada, de forma que los pesos de las neuronas se acerquen a las coordenadas de los puntos de control. Cuando concluye el proceso, existe una neurona asociada a cada punto de control. Para determinar la ruta a seguir, se une el punto de control asociado a la neurona i con el asociado a la $i+1$, con $i=1, 2, \dots, N$,

pasando por todo el vector de neuronas. La tasa de aprendizaje empleada se define de forma decreciente tal y como se indica a continuación.

$$\eta(t) = \text{Exp} \left[-\sqrt{\frac{t}{\beta N}} \right] \quad (2)$$

Tomando un radio de vecindad grande inicialmente, las modificaciones de los pesos afectan en mayor medida a las neuronas vecinas, mientras que a medida que el radio de vecindad decrece con las iteraciones, las actualizaciones de las neuronas vecinas decrecen hasta llegar al punto en que sólo afecten a la neurona ganadora. La detención del aprendizaje de la red se produce cuando la distancia entre los puntos de control no se puede optimizar más. El número total inicial de iteraciones es de $T_1 = \beta N$ (primera fase). Cuando $t = \beta N$, se intercambian las posibles parejas de neuronas (intercambian sus pesos) del anillo de neuronas obtenido, si con ello la distancia se optimiza, en caso de optimización, se reduce el número de iteraciones actuales para seguir con el aprendizaje.

En general, en la fase Z , el número total de iteraciones a realizar es:

$$T_Z = T_{Z-1} - \frac{T_{Z-1}}{Z} \quad (3)$$

El objetivo de estas fases es el de eliminar los cruces. Una vez concluidas las iteraciones de cada fase se comprueba si la distancia está optimizada mediante el intercambio de parejas, deteniéndose el aprendizaje cuando no es posible realizar ningún intercambio de modo que se reduzca la longitud del tamaño recorrido. En la Figura 2 se observan las rutas planificada para uno y dos vigilantes de seguridad.

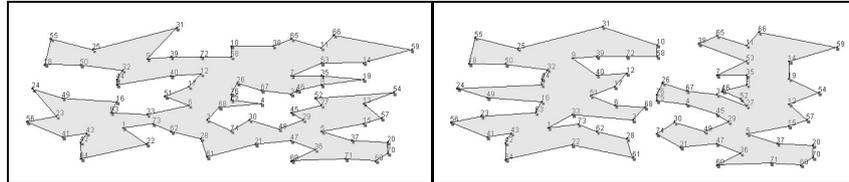


Fig. 2. Ruta planificada para uno (Izq.) y dos (Der.) vigilantes de seguridad

5 Arquitectura del sistema

Los sistemas multiagente son sistemas distribuidos basados en la cooperación entre agentes autónomos [3]. Las arquitecturas multiagente distribuidas presentan una buena capacidad de recuperación ante errores sin necesidad de tener que reiniciar todo el sistema [15]. El sistema desarrollado permite inicializar y terminar agentes de forma que no afecten el desempeño del resto de agentes. El comportamiento de los agentes se ve afectado sólo cuando es necesario planificar una nueva ruta de vigilancia. Además, el sistema almacena constantemente la información de las rutas, pudiendo reiniciar el sistema y recuperar su estado anterior. El diseño y modelado del

sistema se ha realizado mediante una combinación de las metodologías para el desarrollo de sistemas multiagente Gaia [16] y AUML [2]. Gaia es una metodología sencilla y con un alto nivel de abstracción para el análisis y diseño de sistemas multiagente [16]. Los modelos conseguidos con Gaia se refinan y adaptan empleando AUML, obteniendo una serie de diagramas que permiten obtener un modelo del sistema más cercano a la implementación [2].

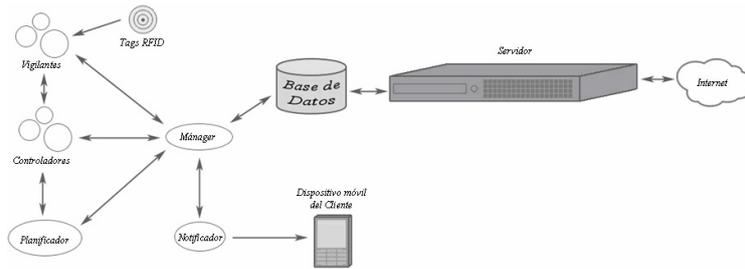


Fig. 3. Estructura del sistema

Una vez definido y obtenido el modelo del sistema, como se muestra en la Figura 3, se aprecia que el sistema se compone de cinco tipos de agentes:

- Agente *Vigilante*. Está asociado a cada PDA y se encarga de realizar la lectura de los *tags RFID* en cada punto de control. Se comunica con el agente *Controlador* para comprobar que se cumple correctamente la ruta asignada a cada vigilante de seguridad. Este agente se comunica constantemente con el agente *Controlador* para obtener las rutas planificadas. Además, envía las lecturas obtenidas de los puntos de control al agente *Controlador*, para que realice las acciones pertinentes.
- Agente *Manager*. Realiza el control general del sistema. Controla la conexión y desconexión al sistema de los agentes *Vigilante* e informa de ello al agente *Planificador* para que recalcula las rutas de vigilancia. Obtiene las rutas del agente *Planificador*. Recibe las incidencias (omisión de puntos de control, cambio de ruta, nuevo vigilante conectado, notificaciones de los vigilantes, etc.) de los agentes *Controlador* y *Vigilante* y, dependiendo de su prioridad, informan de las mismas al agente *Notificador*. El agente *Manager* almacena toda la información generada por el sistema (incidencias, fecha, hora, puntos de control fichados y omitidos, etc.) en la base de datos. La información puede ser consultada vía Web.
- Agente *Planificador*. Se encarga de generar automática y dinámicamente las rutas de vigilancia para el personal de seguridad. Las rutas generadas son enviadas al agente *Manager* para que éste las envíe al personal correspondiente.
- Agente *Controlador*. Realiza una monitorización de los puntos de control por los que el personal de seguridad debe pasar. Una vez obtenida la ruta generada por el agente *Planificador*, se realiza un cálculo del tiempo necesario para llegar a cada punto de control. El agente *Controlador* realiza un seguimiento de las incidencias que se presenten durante la ejecución de la ruta por cada vigilante de seguridad, y las envía al agente *Manager*.
- Agente *Notificador*. Se encarga del envío de mensajes a los supervisores. Recibe del agente *Manager* las incidencias y las envía vía Wi-Fi, SMS o GPRS. En caso de

que se produzcan errores en la conexión o el envío del mensaje, comunica dicha incidencia al agente *Manager* para que registre dichos errores en la base de datos.

6 Resultados y Conclusiones

El sistema desarrollado ha sido probado en entornos controlados, realizando una serie de simulaciones en el cálculo de rutas y la monitorización en su seguimiento. En las pruebas realizadas se ha podido observar que es posible determinar si es necesario aumentar o disminuir el personal de seguridad para vigilar una obra, dependiendo de las rutas calculadas. Una vez comparado el número de vigilantes estimados por el sistema y por el usuario, se realizó una comparativa de los tiempos y distancias recorridas por un vigilante antes y después de la implantación del sistema, tal y como puede verse en la Tabla 1. Se puede observar que el sistema ha permitido reducir el tiempo empleado y optimizar la distancia recorrida en la realización de un ciclo completo de vigilancia para un determinado vigilante fijando el número de puntos de control.

Tabla 1. Tiempos y distancias recorridas por un vigilante

Puntos de control	Antes		Después	
	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)
15	39	1285	28	944
20	64	2124	44	1451
25	76	2535	53	1761
30	79	2617	63	2088
35	96	3191	77	2551

Una vez comprobado el sistema para el caso de un solo vigilante, se procedió a comprobar el funcionamiento global para 3 vigilantes y un total de 100 puntos de control. En la Tabla 2, se muestran los tiempos y distancias totales empleados por los vigilantes antes y después de la implantación del sistema.

Tabla 2. Tiempos y distancias totales recorridas

Puntos de control	Antes		Después	
	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)
100	357	11900	212	7067

Para este caso, las diferencias antes y después son mayores puesto que el sistema permite el cálculo de manera eficiente la división de los puntos de control a recorrer por los vigilantes, por lo que se consigue también de este modo reducir el tiempo y distancia recorrida posteriormente en la planificación para cada uno de los vigilantes.

Aunque el sistema se encuentra aún en desarrollo, los resultados obtenidos hasta el momento reflejan que es posible optimizar la jornada laboral de los guardias de seguridad, así como maximizar los recursos disponibles para cada obra, ya que a través del sistema es posible determinar el personal necesario para cubrir una determinada área de vigilancia. Además, el sistema proporciona a los supervisores, la capacidad para monitorizar las actividades del personal, detectando cualquier irregularidad en el recorrido de las rutas por parte del personal de seguridad.

El uso de tecnologías como Wi-Fi, RFID o GPRS, permiten obtener información del contexto y reaccionar de forma automática y en tiempo de ejecución, de forma

ubicua, natural y sencilla para los usuarios, acercándose cada vez más a la visión de la Inteligencia Ambiental [4].

Es necesario que las nuevas tecnologías se adapten a las necesidades de los usuarios, tanto para mejorar la calidad de trabajo como para lograr desarrollos tecnológicos y de gestión que supongan ventajas competitivas diferenciales. El sistema presentado posee la ventaja de ser fácilmente adaptable a otros posibles campos o líneas de aplicación futuras de características similares.

Agradecimientos. Este trabajo se ha llevado a cabo gracias a los proyectos MCYT TIC2003-07369-C02-02 y JCYL-2002-05 proyecto SA104A05. Especial agradecimiento a Telefónica Móviles y a Sokymat por el apoyo prestado, así como por la tecnología proporcionada.

Referencias

1. Angulo, C. & Tellez, R.: Distributed Intelligence for smart home appliances. Tendencias de la minería de datos en España. Red Española de Minería de Datos. (2004)
2. Bauer, B., & Huget, M.P.: FIPA Modeling: Agent Class Diagrams. (2003)
3. Corchado, J.M., Bajo, J., De Paz, Y. & Tapia, D.I.: Intelligent Environment for Monitoring Alzheimer Patients, Agent Technology for Health Care. Decision Support Systems, Elsevier. Amsterdam, Netherlands. (2007)
4. Emiliani, P. L. & Stephanidis, C.: Universal access to ambient intelligence environments: opportunities and challenges for people with disabilities. IBM Systems Journal. (2005)
5. Heikkilä, T., Kollingbaum, M., Valckenaers P. & Bluemink G.J.: An Agent Architecture for Manufacturing Control: manAge. Computers in Industry. (2001). Nº 46, pp 315-331.
6. Inology.: <http://www.controldetiempos.com/> (2007)
7. Jennings, N. & Wooldridge, M.: Applications of Intelligent Agents. Queen Mary & Westfield College. University of London. (1998)
8. Jin, H.D., Leung, K.S., Wong, M.L. & Xu, Z.B.: An Efficient Self-Organizing Map Designed by Genetic Algorithms for the Traveling Salesman Problem. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics. (2003). vol. 33, no 6. pp 877-888
9. Kleindienst, J., Macek, T., Seredi, L., & Sedivy, J.: Vision-enhanced multi-modal interactions in domotic environments. IBM Tecnologías de Voz y Sistemas. República Checa. (2004)
10. Kohonen, T.: Self-Organising Maps. Springer-Verlag (2001)
11. Leung, K.S., Jin, H.D. & Xu, Z.B.: An expanding Self-organizing Neural Network for the Traveling Salesman Problem. Neurocomputing. (2004). vol. 62. (2004). pp 267-292.
12. Martín, Q., Santos, M.T. & De Paz, Y.: Operations research: Resolute problems and exercises, Pearson, (2005) 189-190
13. Rigole, P., Holvoet, T., & Berbers, Y.: Using Jini to integrate home automation in a distributed software-system. Departamento de Ciencias Computacionales. Leuven, Bélgica. (2002).
14. Sokymat.: <http://sokymat.aaitg.com/> (2007)
15. Wooldridge, M. & Jennings, N. R.: Agent Theories, Architectures, and Languages: a Survey. In: Wooldridge and Jennings ed., Intelligent Agents, Springer-Verlag (1995) 1-22.
16. Wooldridge, M. & Jennings, N. R. and Kinny, D.: The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 3 (3). (2000). pp. 285-312