

ARQUITECTURA MULTI-AGENTE PARA LA GESTIÓN DE OPERACIONES TERRESTRES EN TERMINALES DE CONTENEDORES

De La Fuente Anuarbe, Miguel Ángel mafuelle@dsic.upv.es
Figuerola García, Jorge Mario figuerola@dsic.upv.es
Botti Navarro, Vicente J. vbotti@dsic.upv.es
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022 Valencia

Ricolfe Viala, Carlos ricolfe@isa.upv.es
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022 Valencia

Resumen

En este artículo se presenta un sistema multi-agente que resuelve el problema de la gestión de operaciones terrestres en una terminal de contenedores. La naturaleza distribuida del problema hace necesaria tanto la optimización de los sistemas implicados como de la comunicación entre ellos, aspectos para los cuales los sistemas multi-agentes proporcionan el marco adecuado. Este trabajo está incluido en un proyecto para la gestión de la terminal de contenedores de un puerto real.

Palabras Clave: Sistemas multi-agente, optimización, sistemas industriales distribuidos.

1 INTRODUCCION

Las operaciones que se realizan en una terminal de contenedores conforman una de las tareas más complejas dentro de la industria del transporte. Su automatización supone el desarrollo de una serie de sistemas independientes, pero cuyas decisiones afectan directamente al funcionamiento de los demás.

Dada la complejidad intrínseca de cada uno de estos sistemas, es muy difícil construir una única aplicación que integre todas las funcionalidades necesarias. Resulta, por tanto, más conveniente abordar cada tarea de forma independiente, sin menoscabo de la relación existente entre ellas a la hora de optimizar el funcionamiento global de la terminal.

El modelo de sistema multi-agente [10] es un marco adecuado para abordar el diseño y posterior desarrollo de una aplicación lo suficientemente flexible, adaptable al entorno, versátil y robusta como para gestionar de manera eficaz una terminal de contenedores.

Este artículo se estructura de la siguiente forma: en el apartado 2 se describe con detalle la problemática global del sistema y los sistemas implicados. En el apartado 3 se presenta la arquitectura del sistema multi-agente adoptada. En el apartado 4 se detalla un tipo de agente específico, el cual se encargará de solucionar el problema del almacenamiento de contenedores. El apartado 5 explica un segundo tipo de agente que resuelve el control de los recursos de maquinaria de la terminal. En el apartado 6 se expone la manera en que se ha resuelto la comunicación entre los dos agentes mencionados, mientras que el apartado 7 se comenta las conclusiones relacionadas con el trabajo y se señalan las líneas de desarrollo futuras sobre el mismo.

2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El conjunto de operaciones que se llevan a cabo en una terminal de contenedores es muy extenso, aunque todas las aproximaciones identifican los mismos sistemas comunes [5]:

2.1 SISTEMAS IMPLICADOS

En la figura 1 se muestran los sistemas y las entidades que comprenden cada uno de ellos: Los

contenedores llegan y salen de la terminal cualquiera de los tres medios de transporte representados en la parte izquierda, buques, ferrocarriles o camiones. El proceso automático de los datos de los contenedores así como de los transportes conforma la interfaz de entrada/salida de contenedores.

Para poder mover esos contenedores por la terminal se dispone de unos recursos de maquinaria, en concreto grúas fijas que operan con los buques y distintos tipos de grúas móviles (transteiners, frontales y reach-stackers) que operan con los camiones. El control de esos recursos es misión del sistema de movimiento de contenedores.

Mediante esos recursos se llevan a cabo las operaciones de almacenamiento de contenedores, cuya automatización permitirá la optimización de la transferencia de los contenedores que son transportados a la terminal.



Figura 1. Bloques del sistema.

2.1.1 Interfaz marítima

Este sistema controla el intercambio de contenedores del barco a la terminal (carga) y viceversa (descarga). Dependiendo del número de contenedores a mover se emplean más o menos grúas, habitualmente se utilizan dos o tres grúas para cada barco. La planificación del trabajo tiene en cuenta el plano de la bodega de un barco donde se indica el lugar en el que se deben situar los contenedores y la disponibilidad de las grúas [8]. A esta distribución se le conoce como “perfil de carga”, y es muy importante. Este sistema genera el orden en el que se cargan las bodegas del barco, resolviendo las posibles interferencias que puedan producirse en las grúas.

2.1.2 Sistema de transferencia

Se encarga de transferir los contenedores de la planta al muelle de carga y viceversa. El método utilizado en la terminal es emplear camiones internos para realizar los transportes. Para coger o depositar un contenedor en la planta se emplean transtainers. El

recorrido de los transtainers se determina a partir de la secuencia de carga de las grúas y el plano de la planta de la terminal. Además, es necesario construir la secuencia exacta de carga/descarga de contenedores teniendo en cuenta la actividad de transtainers y grúas, criterios de estabilidad del barco, altura y peso máximos de apilamiento, etc... El resultado de esta fase es la “lista de secuencia de carga”.

2.1.3 Sistema de almacenamiento de contenedores.

Tiene como finalidad la ubicación y control de los contenedores en la terminal. Éstos se organizan en pilas en zonas reservadas para tal fin. Una mala distribución de los contenedores provoca que los transtainers tengan que realizar más movimientos y que las grúas estén más tiempo inactivas. Típicamente, las aplicaciones existentes para la gestión del espacio en terminales de contenedores dividen el trabajo en dos tareas claramente diferenciadas [1]: *configuración de la planta y ubicación automática de los contenedores.*

2.1.4 Interfaz terrestre.

El objetivo de este sistema es el control de los accesos a la terminal de los camiones que traen contenedores para exportación o van a retirar alguno de los contenedores que se encuentran actualmente almacenados. Otra de las tareas de este sistema es el control de las puertas de acceso a la terminal, identificando tanto al camión como al contenedor mediante técnicas de visión artificial. De este modo, se consigue un sistema de puertas desatendidas que permite agilizar la admisión de camiones, incrementando así la productividad global de la terminal.

2.1.5 Sistema de gestión de maquinaria.

Es el responsable de asignar la máquina adecuada a cada uno de los movimientos de contenedor que se producen en la terminal.

2.2 PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA.

La gestión de los sistemas distribuidos implica un importante nivel de coordinación entre los sistemas individuales que componen el global. Coordinar estos sistemas implica tener que resolver problemas de comunicación y sincronización entre los componentes.

El sistema de almacenamiento de contenedores debe calcular la ubicación de los contenedores que llegan a través de la interfaz terrestre en tiempos de respuesta cortos. En este sentido deben resolverse además los

problemas de coherencia lógica entre ambos sistemas.

El sistema de gestión de máquinas requiere de un alto nivel de coordinación para el envío, recepción y gestión de mensajes. Asimismo, se requiere también un alto nivel de análisis para comprobar la coherencia en la estructuración de mensajes. Las aplicaciones de que consta este sistema requieren de cierto nivel de inteligencia para poder cumplir apropiadamente con su función.

3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Con el objetivo de abordar el diseño de la arquitectura, el sistema se ha dividido en función de sus diferentes tareas. Para ello, se ha desarrollado un agente para cada una de las tareas principales. Los agentes efectúan su tarea de manera independiente al resto de elementos del sistema, pero para ello deberán coordinarse y comunicar sus decisiones.

En el sistema podemos contemplar los siguientes tipos de agentes:

Agentes de Buque. Son los encargados de controlar la planificación de la carga y descarga de buques. Sus objetivos son minimizar el tiempo de inactividad de las grúas, maximizar su utilización, minimizar el tiempo de carga y descarga de los barcos y minimizar los costes derivados de la estiba o desestiba.

Agentes de Puerta Marítima. Son los encargados de gestionar los movimientos de carga y descarga de los contenedores correspondientes a los barcos que atracan en la terminal.

Agentes de Servicio. Son los encargados de la ubicación de los contenedores en la terminal y de la organización automática de la planta.

Agentes de Puertas. Son los que interaccionan con el transporte terrestre. A tal efecto, existe un agente de este tipo por cada punto de entrada y salida de contenedores por tierra. Su función principal es informar al agente de servicio apropiado tanto de la llegada de nuevos contenedores como de la llegada de camiones para retirar contenedores de la terminal.

Agentes de Maquinaria Se encargan de optimizar el uso de los recursos de maquinaria dentro de la terminal. Su función es atender la demanda de apilamiento (en el lugar correspondiente) y desapilamiento de los contenedores que le lleguen o le soliciten de una manera eficiente. En concreto, el objetivo que se persigue es el de minimizar los movimientos de las máquinas en vacío y el tiempo de espera de los camiones en la planta.

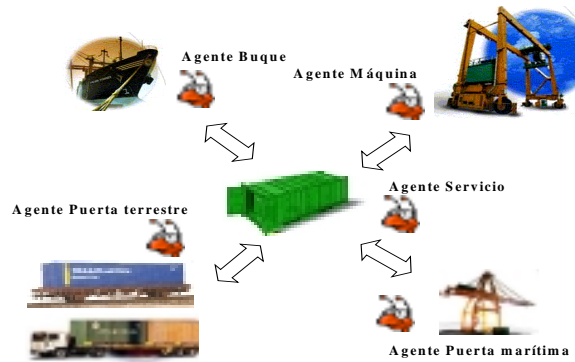


Figura 2. Agentes del sistema.

En los siguientes apartados detallaremos el funcionamiento de los agentes de servicio y de maquinaria, que serán los encargados de gestionar las operaciones terrestres y los mecanismos que se proporcionan para la comunicación entre ellos.

4 AGENTES DE SERVICIO.

Los agentes de servicio se encargan de resolver de forma automática las peticiones de ubicación de contenedores en la terminal. Antes de explicar su funcionamiento introduciremos algunos términos relativos a la topología de la terminal y explicaremos el concepto de servicio.

La zona de ubicación de contenedores de la terminal se encuentra dividida longitudinalmente en una serie de zonas paralelas al muelle que se denominan calles.

Cada una de las calles está formada a su vez por un número de *pilas*, numeradas de derecha a izquierda. En una pila pueden colocarse 18 contenedores, distribuidos en 6 columnas (*andanas*), de tres alturas cada una de ellas. En casos excepcionales, puede ocuparse la cuarta altura de una andana.

Los contenedores pertenecen a una serie de líneas marítimas que se encargan de su transporte a través de todo el mundo siguiendo unas determinadas rutas con escalas en una serie de puertos, que se recorren periódicamente por medio de una flota de buques. A cada una de esas rutas con los buques asociados a ellas se las denomina *servicios*.

Dado que el número de posiciones físicas para el almacenamiento en una terminal es excesivamente grande, la terminal se divide lógicamente en bloques de pilas. A cada servicio se le asigna uno de esos bloques, que en lo sucesivo denotaremos como el rango de apilamiento del servicio.

La función del agente de servicio es determinar la

ubicación idónea en el recinto de los contenedores que vayan llegando de un determinado servicio (problema de la ubicación).

4.1. El problema de la ubicación

Teniendo en cuenta que cada barco invierte una media del 60% de su tiempo en los puertos realizando operaciones de carga y descarga de contenedores y que altos costes en los que incurre por hora [7], es muy importante que el tiempo de permanencia en la terminal del puerto sea lo más breve posible. Todo el proceso de ubicación de contenedores en dicha terminal debe estar dirigido a minimizar el tiempo de carga y descarga de los buques, primando este criterio por encima de cualquier otro.

Para resolver el problema de la ubicación, el agente tratará de encontrar una posición para el contenedor que entra buscando en las pilas que conforman el rango de apilamiento de su servicio, intentando agrupar siempre en una misma pila contenedores de las mismas características siguiendo un determinado *factor de distribución* dentro del rango, variando estas características y el mencionado factor en función de si el contenedor que entra es lleno o vacío.

En el caso de contenedores llenos las características relevantes para su ubicación son el buque de carga, el puerto de destino y su peso. Hay que considerar que los buques portacontenedores tienen una serie de posiciones físicas para el almacenamiento de contenedores que están agrupadas por bodegas. Idealmente cada bodega debería llenarse únicamente con contenedores de un mismo destino para evitar las remociones (movimientos no productivos) al efectuar la descarga [9].

Teniendo en cuenta que el proceso de carga de un buque se efectúa recorriendo sucesivamente cada una de sus bodegas, el agente deberá agrupar dentro de una pila contenedores del mismo buque y del mismo destino.

El procedimiento general de ubicación para contenedores llenos consiste en seleccionar una pila de todas las pilas posibles en función de su destino (*pilas hermanas*), y se intenta ubicar en ella el contenedor atendiendo a su peso. La única condición que debe cumplirse es que nunca debe colocarse un contenedor encima de otro más pesado. Dada una pila, el sistema comienza a examinar desde la última andana, comprobando si queda alguna altura libre que cumpla la restricción del peso. Si en la pila seleccionada no hay ninguna posición que cumpla esta condición, se selecciona la siguiente pila. Si se examinan todas las pilas hermanas y el contenedor no ha podido colocarse en ninguna, se tendrá que

seleccionar una nueva pila vacía (operación de *abrir pila*) para el buque y destino del contenedor, en la cual colocarlo.

La apertura de pilas se efectúa teniendo en cuenta el factor de distribución. Ese factor indica la prioridad de apertura de una pila para un determinado destino. Dentro del rango de apilamiento, las pilas se irán abriendo para cada destino por mayor factor de distribución. Este valor permite distribuir los destinos dentro del rango de apilamiento del servicio de una manera adecuada.

La estrategia que más se utiliza es la de reservar bloques de pilas lo suficientemente alejados unos de otros, a ser posible en cada extremo del rango del rango de apilamiento, para cada uno de los destinos mayoritarios del servicio, dejando la zona central para destinos minoritarios o en su defecto para los mismos destinos, pero con menor prioridad (figura 3). La idea de esta estrategia es permitir que la carga de los contenedores de un destino mayoritario pueda efectuarse con más de una máquina.

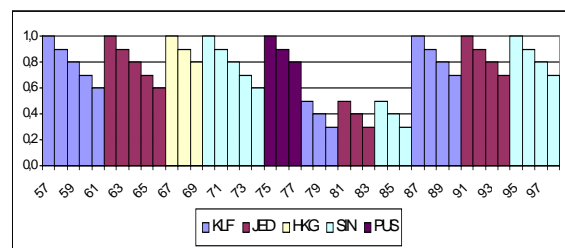


Figura 3. Distribución de contenedores llenos.

En el caso de los contenedores vacíos, puede darse el caso de que entren simplemente para quedarse almacenados en la terminal a la espera de los consignatarios hagan uso posteriormente de ellos. En ese caso se les asignará un servicio especial para contenedores vacíos, que tendrá definido también su rango de apilamiento dentro de la terminal. Las características relevantes de estos contenedores son la línea a la que pertenecen y su tipo homologado.

En este caso la ubicación deberá facilitar el posterior proceso de recogida de estos contenedores por parte de los consignatarios, que vendrán a por contenedores de una determinada línea, evitando las futuras remociones.

El procedimiento para ubicar estos contenedores es análogo al de los llenos pero con la diferencia de que las pilas hermanas son aquellas que tienen contenedores de la misma línea y del mismo tipo y que a la hora de apilar en las andanas no se tiene en cuenta el peso.

La apertura de pilas se efectuará en función del factor de distribución del servicio de contenedores vacíos. Dentro del rango de apilamiento, las pilas se irán abriendo para cada línea por mayor factor de distribución. La estrategia para la asignación de pilas tratará simplemente de agrupar en un bloque de pilas continuo a cada una de las líneas (figura 4).

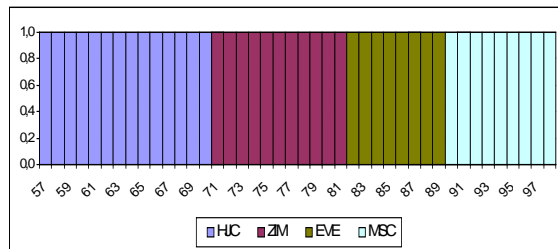


Figura 4. Distribución de contenedores vacíos.

Si no hay pilas vacías disponibles dentro del rango se deberá encontrar un hueco en otra zona de la terminal, bien sea utilizando pilas de otros servicios o bien infringiendo alguno de los criterios para la ubicación. Existen casos en los que no es posible ubicar de forma automática, teniendo que recurrir a la ubicación manual. Estos casos son conocidos como “incidencias”. Las incidencias que se dan en el proceso pueden dividirse en dos tipos: contenedores especiales apilados con el resto de contenedores y contenedores que van a zonas especiales.

En resumen, el agente de servicio enfoca el problema de la ubicación como un proceso de búsqueda hacia la obtención de una solución aproximada que se puede refinar progresivamente [6], tratando de conseguir tiempos de respuesta cortos para la ubicación de un contenedor y de obtener respuestas satisfactorias, cercanas a los valores óptimos. La definición de los rangos y de los factores de distribución permite que la explosión combinatoria de ubicaciones posibles para un contenedor se puede drásticamente por cuanto sólo es necesario buscar es un número limitado de pilas lo que permite que el espacio de soluciones tenga un tamaño razonable.

5 AGENTES DE MAQUINARIA.

Las diferentes máquinas que operan en la terminal de contenedores para la manipulación y traslado de contenedores juegan un papel primordial en la labor de esta planta. La función fundamental que se realiza en esta terminal es la entrada y salida de contenedores de la misma. Puesto que interesa aprovechar al máximo los recursos con los que se cuenta para minimizar el tiempo de espera de los transportistas se espera que el uso de las máquinas sea el óptimo. Teniendo en cuenta que las máquinas

son tan influyentes en tal labor, se ha considerado pertinente desarrollar un agente que se encargue de gestionar todo lo relacionado con las máquinas, es por eso que se desarrollo en agente gestor de maquinaria.

Para cumplir con su cometido, el agente gestor de maquinaria debe de ser capaz de realizar la asignación de órdenes mediante ciertos criterios de optimización; monitorizar el estado de las ordenes; monitorizar el estado de las máquinas; mantener la consistencia de las tablas de maquinaria, ordenes, movimientos y mensajes; opcionalmente, cuando ocurre que cierta situación no puede ser resuelta por él mismo, interactúa con el ser humano. A grandes rasgos, las funciones antes mencionadas se realizan de la siguiente manera:

5.1 Asignación de órdenes

El agente maquinaria recibe peticiones de movimientos de contenedores que pueden ser, entradas de contenedores o salidas de los mismos. Los movimientos son organizados por este agente según la calle a la que hace referencia la posición asignada al contenedor por el agente de servicio. En cada una de las calles existe por preasignación un determinado número de máquinas que pueden ser de diversos tipos: transtainers, reach stacker, frontales, mosquitos, caterpillars y en algunas calles también portainers. Cada una de las máquinas posee ciertas características que la definen y la cualifican para realizar determinadas operaciones u órdenes. Unido a esto, la asignación de órdenes considera la posición actual de la máquina en la calle, la operativa en la que trabaja y la carga de trabajo de cada máquina, opcionalmente se puede considerar la habilidad del operador de la misma.

Basándose en los criterios antes mencionados, el agente tendrá que determinar cual de las máquinas que están presentes en la calle es la mejor para realizar un movimiento específico, la máquina seleccionada recibirá entonces una orden que le indicará que debe realizar un movimiento determinado.

Una vez que se ha determinado que máquina es la que debe atender la petición de movimiento, el agente maquinaria intentará mandar la orden a la máquina enviando una orden por medio del canal de comunicaciones de eventos. Por el mismo medio, la máquina confirmará que ha recibido la orden activando así la función de monitorización de órdenes del agente de maquinaria. Ver figura 8.

5.2 Monitorización del estado de las órdenes.

Como una medida de control, las órdenes y los movimientos, desde que se asignan a las máquinas hasta que se terminan de realizar, pasan por diversos estados. El agente maquinaria debe encargarse de monitorizar el estado de las órdenes y al mismo tiempo actualizar el estado del movimiento relacionado con la orden. Una orden en ejecución normal pasa por los estados siguientes:

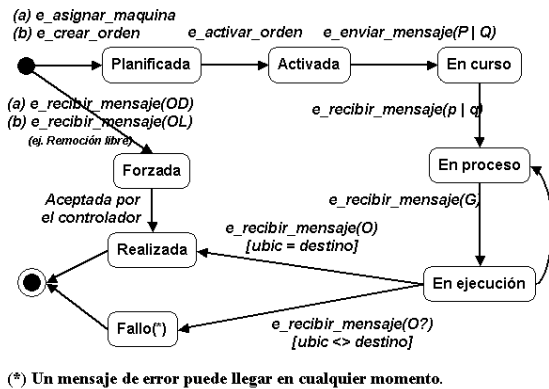


Figura 5. Posibles estados de una orden.

Cada uno de los estados permite verificar la correcta ejecución de las órdenes. Por medio del estado de ejecución de una orden es posible detectar algunos posibles errores de operación de las máquinas o de las líneas de comunicación y también permite identificar algunas posibles inconsistencias en la representación general de la terminal de contenedores que se tiene almacenada en la base de datos.

Con la realización de una orden avanza la ejecución del movimiento asociado a la orden. Los movimientos por lo tanto también pasan por varios estados de ejecución como se muestra en la figura 6.

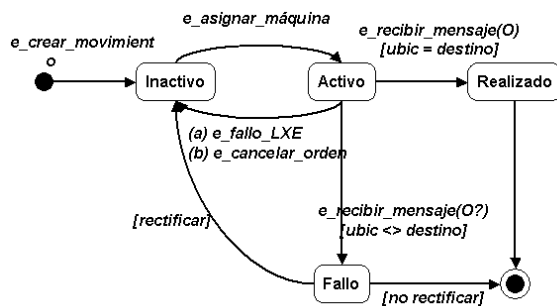


Figura 6. Posibles estados de un movimiento.

5.3 Monitorización del estado de las máquinas.

En la toma de decisiones, cuando se busca la máquina adecuada para atender una solicitud de movimiento se considera el estado de la máquina. Por lo tanto, es necesaria la monitorización del estado de ellas. Las máquinas, según la actividad que se

encuentren desarrollando y la situación física de ellas, tienen un estado que describe su condición y capacidad de operación actual. Todas las máquinas se encuentran en alguno de los estados que muestra la tabla 1:

Estado	Descripción
Activa	La máquina puede recibir órdenes y está lista para trabajar
Parada	La máquina no está operativa en este momento y no recibe órdenes.
Automático	La máquina, si está activa trabaja en modo automático, puede recibir órdenes y ejecutarlas.
Manual	Si la máquina está activa trabaja de forma manual, es decir, recibe órdenes pero no puede ejecutarlas por sí sola.
Mantenimiento	Por alguna razón la máquina tiene que se sometida a revisión técnica y en ese momento no está operativa.

Tabla 1: Estados por lo que puede pasar una máquina

El gestor de maquinaria tiene que reconocer y filtrar los mensajes de la máquina que comunican su estado para actualizar las tablas de la base de datos que describen las condiciones de las máquinas y así poder considerarlo en la toma de decisiones.

5.4 Interacción alternativa con el usuario

La ejecución de una orden, por su propia naturaleza lleva un orden implícito, como puede observarse en la figura 5. En donde se ve que una vez que la orden se encuentra en el estado de *ejecución*, debería esperarse que el siguiente mensaje recibido de la máquina fuera un mensaje que comunicara que se ha realizado la orden, por lo tanto, el siguiente estado al que debería pasar la orden sería *realizada*. Aunque también podría derivarse un estado de *fallo*, cuando ocurre que la máquina comunica una posición distinta a la esperada.

Teniendo en cuenta la posibilidad que existe de que se pierdan algunos mensajes que la máquina intenta transmitir al agente que las controla, posiblemente por fallos en la línea de comunicación u otros factores, se considera la posibilidad de que algún operador humano pueda determinar que hacer bajo circunstancias extremas. Calificamos de circunstancias extremas casos como el de que una máquina comunique que ha empezado a ejecutar una orden cuando se supone que todavía no ha terminado de hacer otra por que no ha comunicado que ha realizado la orden anterior.

En estos casos, es necesario que un controlador humano determine que hacer con los mensajes que se

han perdido y que hacer con las tablas que reflejan el estado de los movimientos y las tablas que reflejan el estado de las órdenes.

La posibilidad de que el humano interactúe con el gestor de maquinaria ofrece varias ventajas sobre otras posibles alternativas de solución. Primeramente, permite que alguien capacitado se entere de que se ha detectado una posible anomalía con la ejecución de una orden. Segundo, la solución a algunas situaciones excepcionales escapa del contexto de lo es el agente de gestor de maquinaria. Situaciones como la de tener que comunicarse por radio con el operador de la máquina para determinar que ha ocurrido o para saber que está haciendo exactamente en este momento y así poder actualizar las tablas correspondientes como es debido quedan fuera del alcance de lo que es un gestor de maquinaria. Para permitir la intervención humana se ha dotado al gestor de maquinaria con una interfaz en donde un controlador de calle puede realizar la mayoría de las funciones que realiza el gestor de maquinaria pero de forma manual.

5.5 Actualización de tablas

Todas las órdenes, movimientos así como los mensajes asociados a la generación de órdenes se almacenan en tablas. En estas tablas de tipo incremental, además de registrarse todas las órdenes, movimientos y mensajes que se generan. Se conserva el estado de cada orden, cada movimiento y puesto que la mayoría de los mensajes son síncronos cada mensaje que se manda a las máquinas conserva también su estado.

El agente gestor de maquinaria es el encargado de mantener la consistencia de las tablas antes mencionadas y en ellas debe existir un reflejo fiel de lo que ocurre y ha ocurrido con las órdenes, movimientos y mensajes. Así pues, para cada estado de las órdenes, movimientos y para cada estado de los mensajes se debe generar una actualización de tales tablas y el agente de maquinaria será responsable de tal labor. Esto también es una justificación para que exista la posibilidad de interactuar con el humano.

6 SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE AGENTES.

La comunicación entre agentes es un aspecto interesante de las arquitecturas multi-agente. Debido a los roles que adquieren los agentes a lo largo de su vida, la comunicación entre ellos se hace más compleja en lo que se refiere a proporcionar una sintaxis que de lugar a un entendimiento semántico del mismo.

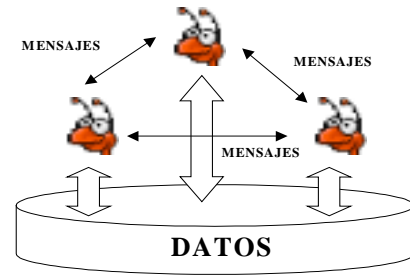


Figura 7. Comunicaciones entre los agentes.

En el caso del sistema, los agentes deben comunicarse entre ellos por medio de mensajes. También pueden precisar datos almacenados de la base de conocimiento de la planta. Estos datos, se encuentran en una base de datos SQL Server y en un servidor IBM-AS400.

6.1 MENSAJES.

6.1.1 Sintaxis actual.

Actualmente los mensajes que se transfieren entre sí los agentes, están en formato interno orientado a la aplicación, o lo que es lo mismo, cada agente implicado en una acción, debe conocer la sintaxis interna.

Los mensajes están estructurados en campos, estos campos tienen una topología definida de antemano, por lo que las variaciones en la estructura del mensaje, implican las variaciones en la traducción que haga el agente del mismo.

6.1.2 Sintaxis alternativas.

La problemática que surge de la utilización de mensajes orientados a aplicación ha hecho que se deban estudiar y analizar alternativas en cuanto a la composición del mensaje y estructura del mismo se refiere.

Hay muchos estudios hechos al respecto de la comunicación entre agentes que han dado lugar a distintos protocolos como FIPA [3] o KQML [2].

Una de las corrientes que más fuerza está tomando actualmente es el empleo de XML como lenguaje de comunicación incluso entre agentes, al llevar incorporado el mensaje tanto la sintaxis como la semántica [4].

Actualmente se están estudiando varias alternativas como son la incorporación del protocolo FIPA o el uso de XML como lenguaje auto declarativo de contenidos.

6.2 CANALES DE COMUNICACIÓN.

En el sistema actual, se distinguen dos tipos de posibles comunicaciones:

- Comunicación de mensajes entre agentes.
- Comunicación de datos entre agentes y los almacenes de datos.

La comunicación entre agentes o entre estos y los almacenes de datos correspondientes, se hacen a través de canales de comunicación orientados al contenido. Por ello, en el sistema, se pueden distinguir dos tipos de canales: Orientados a eventos y orientados a datos.

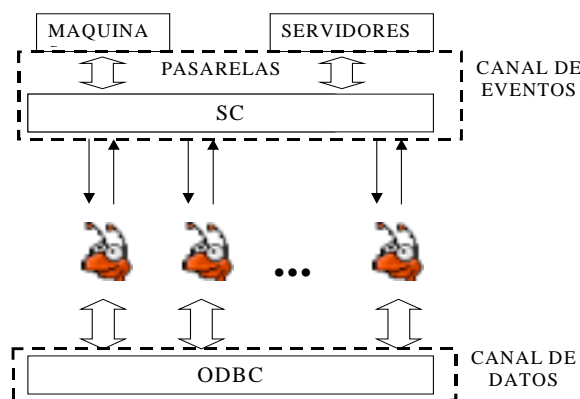


Figura 8. Canales del sistema.

Los canales orientados a eventos atraviesan varios sistemas de comunicación distintos, por ejemplo, para comunicarse con las máquinas, se emplea el puerto serie y un canal de radio, con lo que eso implica de adaptación de los mensajes internos al medio correspondiente. La comunicación de eventos con el servidor AS400 se hace por medio de una conexión de sockets bajo TCP.

La heterogeneidad de los sistemas implicados, hace que se deban emplear pasarelas dedicadas al paso y adaptación de los mensajes a las características concretas de los medios que estos deben atravesar.

6.2.1 Canal de eventos.

En este nivel se ofrecen servicios orientados a la comunicación y difusión de los eventos producidos en la terminal y se realiza a través de un servidor de comunicaciones (SC) basado en la compartición de datos a través de una pizarra distribuida. Para la comunicación del SC con los sistemas que no se pueden conectar directamente al mismo se emplean pasarelas específicas a cada medio.

6.2.2 Pasarelas.

Para comunicar varias máquinas en sistemas heterogéneos, se precisa de pasarelas que adapten ambos canales de comunicación.

En la operación normal del sistema, las pasarelas tienen la función de abrir, mantener y cerrar los canales de comunicación por medio de sockets TCP, UDP o por los puertos COM del sistema que se comunican con los sistemas de radio.

6.2.3 Canal de datos.

Debido a la conexión que los agentes precisan para obtener datos, y que los almacenes de datos actuales están bajo SQL Server y sistemas AS400 de IBM. El canal de datos empleado es el soporte del sistema operativo a la comunicación con la base de datos.

La comunicación de las aplicaciones a bases de datos se suele realizar por medio de drivers de conexión a las mismas, en este caso el canal empleado es ODBC, debido a la universalidad que actualmente tiene y al gran uso real y comercial que se hace de él.

7 CONCLUSIONES Y LINEAS DE TRABAJO FUTURAS.

En este artículo se ha propuesto una arquitectura multi-agente para la resolución de la ubicación de contenedores, el movimiento de máquinas encargadas de dicha ubicación y el sistema de comunicaciones entre agentes que les da soporte.

Actualmente, existe un prototipo en fase de pruebas en la terminal de contenedores Príncipe Felipe del Puerto Autónomo de Valencia.

En estos momentos, se estudia el perfeccionamiento de la inteligencia de cada uno de los agentes en sus respectivas funciones y además se plantea la mejora en la escalabilidad y flexibilidad del sistema para la inclusión de nuevos agentes.

Agradecimientos

Este trabajo está financiado por la CICYT y la Comisión Europea a través del proyecto FEDER-CICYT número 1FD97-2158-C04-03 y por la empresa Marítima Valenciana S.A.

Referencias

- [1] "Recent developments in information technology for container terminal", Cargo Systems, (1999).

- [2] Tim Finin, Jay Weber, Gio Wiederhold, Mike Genesereth, Don McKay, Rich Fritzson, Stu Shapiro, Richard Pelavin, Jim McGuire. *Specification of the KQML Agent Communication Language*. University Of Toronto.(1994).
- [3] “*Foundation for Intelligent Physical Agents: FIPA 97 Specification. Part 2, Agent Communication Language*”, (1997).
- [4] Benjamin N. Grosz and Yannis Labrou. *An Approach to using XML and Rule-Based Content Language with an Agent Communication Language*. IBM Research Division. (1999)
- [5] Holguín-Veras, J.; Jara-Díaz, S.; “*Optimal pricing for priority service and space allocation in container ports*”, *Transportation Research, Part B* 33:81-106, (1999).
- [6] Onaindia, E.; Barber, F.; Botti, V.; Carrascosa, C.; Hernández, M.A.; Rebollo, M.; “*A Progressive Heuristic Search Algorithm for the Cutting Stock Problem*”, *Lectures Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, pp:25 – 35, (1998).
- [7] Peterkofsky, R.I.; Daganzo, C.F.; “*A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem*”, *Transportation Research, Part B, Vol. 3, 24:159-172*, (1990).
- [8] Shields, J.J.; “*Containers Ship Stowage: A Computer-Aided Preplanning System*”, *Marine Technology*, Vol. 4, 21:370-383, (1984).
- [9] Wilson I.D., Roach P.A., Ware J.A. “*Container stowage pre-planning: using search to generate solutions, a case study*”. *Knowledge-based Systems*, 14 (3-4) (2001). pp. 137-145
- [10] Wooldridge, M. and Jennings, N.R. editors. “*Intelligent Agents --- Theories, Architectures, and Language*”s. Volume 890 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, January (1995). ISBN 3-540-58855-8.