

Sistema multiagente de soporte a la coordinación de trasplantes

A. Aldea, B. López, A. Moreno, D. Riaño, A. Valls

Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial
Departament d'Enginyeria Informàtica i Matemàtiques
Universitat Rovira i Virgili (URV)
Carretera de Salou s/n
43006 Tarragona
{aaldea,blopez,amoreno,drianyo,avalls}@etse.urv.es

Resumen

La coordinación de trasplantes de órganos es una tarea que involucra aspectos legales, clínicos, organizativos y humanos en un entorno de hospitales e instituciones gubernamentales altamente distribuido. El *Modelo Español*, uno de los más efectivos del mundo, propone un coordinador de trasplantes por cada hospital con unidad de trasplantes. A pesar de todo, el índice de donaciones de órganos está lejos del ideal. Una forma de mejorar el índice es elaborar un sistema informático que dé soporte a la coordinación de trasplantes.

Las tendencias actuales en gestión de hospitales se enfocan en la automatización de la información de los pacientes. Esta automatización abre la posibilidad de una centralización de los datos de pacientes. Sin embargo, los datos se seguirán guardando y estarán localizados en las unidades de hospitalización donde se trata al paciente. En consecuencia, un entorno distribuido, como el de los sistemas multiagentes (SMA) resulta apropiado para mantener la estructura organizativa actual y la autoridad y control de las actividades de los hospitales.

En este trabajo presentamos una arquitectura multiagente que soporta las actividades involucradas en un trasplante y que es compatible con la estructura organizativa actual en España. El SMA esta estructurado jerárquicamente en 4 niveles: nacional, zonal, regional y hospitalario. En el último nivel (hospitalario) se sitúan los agentes correspondientes a hospitales con capacidad de trasplante. Cada agente hospitalario es a su vez un SMA que gestiona la información de pacientes y órganos donados de este hospital y donde un coordinador local decide la adecuación de un receptor a un órgano disponible. Agentes de diferentes hospitales involucrados en el trasplante cooperan y proporcionan soporte al coordinador de trasplantes siguiendo los criterios impuestos por la *Organización Nacional de Trasplantes*, ONT.

1. Introducción

Hay dos razones que justifican el éxito del trasplante de órganos en España: por un lado las nuevas técnicas quirúrgicas y los tratamientos médicos incrementan el grado de éxito de los trasplantes de corazón, páncreas, hígado, riñón y pulmón [5]. Por otro lado, la sociedad moderna muestra un importante incremento del número de órganos donados para el trasplante [2].

Mientras que la primera de las razones se debe a los avances de la medicina, la segunda razón está relacionada con la aparición de una estructura organizativa que coordina todas las etapas del proceso de donación y trasplante siguiendo normativas y legislaciones locales, regionales, nacionales e internacionales. Esta estructura y la figura de un coordinador de trasplantes por cada hospital con unidad de trasplantes define el *modelo español* [6], considerado uno de los modelos más efectivos en el mundo.

La organización y coordinación de trasplantes de órganos son tareas complejas que requieren diversas actividades clínicas, atañen a varios especialistas y equipos de trabajo y comportan un proceso administrativo paralelo al proceso clínico.

Las principales actividades del proceso de trasplante son [4]: la detección de donantes potenciales, el examen clínico de los donantes, la confirmación de muerte cerebral, el mantenimiento y manejo del donante, la confirmación legal de la muerte cerebral, la obtención del consentimiento familiar y autorización legal, la planificación de los factores organizativos, la organización de la extracción y el trasplante y el examen clínico de la evolución del receptor.

Algunas de las personas involucradas en estas actividades son: el paciente que recibe el órgano, los médicos, el donante, la familia del donante, el coordinador de trasplantes, enfermeros y personal clínico, el equipo quirúrgico de extracción del órgano, el equipo quirúrgico de implantación del órgano, el personal de los laboratorios, los responsables legales e institucionales, el equipo logístico, etc. Estas personas deben compaginar las tareas clínicas con las tareas administrativas siguiendo las normas y legislación establecidas por las autoridades sanitarias u organizaciones tales como la *Organización Catalana de Trasplantes* (OCATT) en Cataluña, la *Organización Nacional de Trasplantes* (ONT) en España, la *United Network for Organ Sharing* (UNOS) en los EU, la *Eurotransplant International Foundation* en parte de la UE, la *Canadian Association for Transplantation* en Canadá, etc.

Recientes estudios publicados por la ONT [2] muestran que el número de personas que mueren en lista de espera por un corazón, hígado o pulmón fluctúa entre el 15% y el 30%. Para mejorar la calidad de los servicios públicos el programa de Sociedad y Tecnología de la Información (IST) del V Programa Marco de la Comisión Europea propone el fomento de los servicios y sistemas a los ciudadanos en el área de la Salud y la Administración Pública. La ONT ha identificado seis razones que contribuyen a la pérdida de donaciones [2]: la no detección, las contraindicaciones médicas, las negativas familiares, las pérdidas durante el mantenimiento y los fallos durante la operación quirúrgica. Una vez identificadas es importante desarrollar mecanismos que disminuyan el porcentaje de pérdidas en cada una de las fases del proceso. Una forma de mejora es elaborar un sistema de información con soporte informático que pueda ser usado como sistema de ayuda a la toma de decisiones en la coordinación de trasplantes de órganos. Este sistema debe disponer de ciertas funcionalidades comunicativas, informativas y cognitivas que garanticen la comunicación segura de la información, el mantenimiento de una base de datos histórica y mecanismos de análisis y extracción de conocimiento a partir de los datos o *medicina basada en la evidencia*.

En este trabajo se presenta una arquitectura Multiagente (SMA) que soporta los niveles de comunicación y negociación del sistema de coordinación de trasplantes que hemos descrito anteriormente. Este SMA se ha diseñado no tan solo para soportar las principales actividades del proceso, sino también para que actúe según la estructura actual de coordinación de trasplantes de España. El SMA es un sistema abierto que puede adaptarse con facilidad a posibles cambios estructurales.

El resto del trabajo se organiza como sigue. En la sección 2 se justifica por qué un SMA es una buena plataforma para informatizar la coordinación de trasplantes. En la sección 3 se muestra una descripción general de la arquitectura SMA propuesta y se nombran algunos de los agentes utilizados. La sección 4 describe el proceso de búsqueda de receptores ante una nueva donación. La última sección expone las conclusiones y las líneas futuras de trabajo.

2. Aplicación de un Sistema Multiagente a la coordinación de trasplante de órganos

Las autoridades sanitarias imponen ciertas estructuras de organización que deben respetarse [1][8]. La coordinación de trasplantes en España se estructura en cuatro niveles: nacional, zonal, regional y hospitalario. A nivel hospitalario todos los datos de los pacientes se mantienen o bien centralizados en un *warehouse* o en bases de datos locales de cada servicio del hospital. El tipo de datos que se mantiene para los pacientes es diverso: resultados de análisis clínicos, imágenes (tomografías, resonancias magnéticas, etc.), señales (magnetoencefalografías, etc.), tomas de rayos X, ultrasonidos y anotaciones clínicas. La tendencia actual es la automatización de toda esta información y su unificación en un historial clínico centralizado capaz de acceder a datos que se encuentran distribuidos en los diversos servicios del hospital.

Los sistemas multiagente (SMA) ofrecen una plataforma de distribución de datos en la que cada agente es responsable de determinados procesos. Además los agentes pueden modelar tareas importantes de tipo administrativo, logístico (transporte entre servicios u hospitales), etc. Los SMA son particularmente adecuados para el problema de la coordinación de trasplante de órganos donde donantes y receptores pueden provenir de diversos centros. La existencia de agentes inteligentes en estos centros facilita el intercambio de

información y la organización del proceso de trasplante facilitando la tarea del coordinador de trasplantes. Los beneficios de usar un SMA son dobles: por un lado el SMA puede adaptarse a la estructura organizativa vigente (tanto dentro un mismo hospital como entre diferentes hospitales) y, por otro lado, la complejidad del problema puede ser reducida con la incorporación de diversos niveles de coordinación y toma de decisiones en el SMA.

3. Arquitectura general del sistema multiagente

Para coordinar el trasplante de órganos entre los hospitales españoles proponemos la construcción de un sistema multiagente cuya arquitectura refleja la estructura de coordinación de trasplantes de órganos que se utiliza en España [7]. Ver figura 1. El territorio nacional está dividido en seis zonas. Cada una de ellas incluye varias comunidades autónomas, como se muestra en la figura 2.

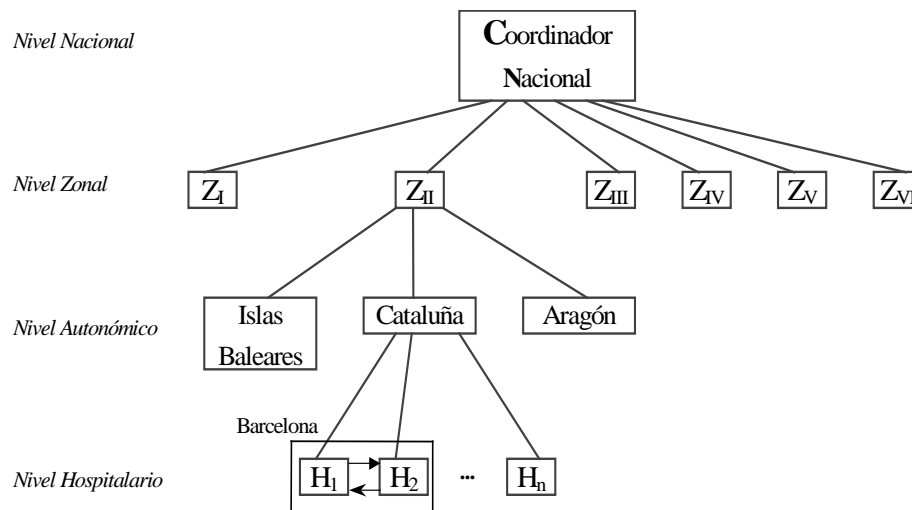


Figura 1. Dependencias jerárquicas entre coordinadores. Entre hospitales de una misma ciudad la comunicación es directa.



Figura 2. División española en 6 zonas.

Cada uno de los diferentes agentes tiene un conocimiento y un papel determinado, y han de coordinar sus actividades para ofrecer una manera eficiente de gestionar el trasplante de órganos a nivel nacional. Hay dos agentes más en el sistema, que no han sido mostrados en la figura 1 porque no están integrados en la jerarquía:

- Un agente llamado Coordinador de Emergencias (EC), que es el coordinador nacional de los casos de urgencia *zero*. Este es el nombre dado a aquellos pacientes que están esperando un órgano y han llegado a un estado crítico, en el que su vida está en grave peligro si no se realiza el trasplante en un plazo muy corto de tiempo.
- Un agente llamado Agente Histórico (HA), que recibe los datos de todos los trasplantes realizados en España. Con esta información se pueden mantener archivos históricos, elaborar estadísticas, aplicar técnicas de minería de datos para obtener nuevo conocimiento, etc.

Es importante mencionar, como se argumentó en la sección 1, que los agentes del sistema deben comportarse de acuerdo con las normas impuestas por las organizaciones de trasplantes autonómicas y nacionales, tales como la *Organización Catalana de Trasplantes* (OCATT) y la *Organización Nacional de Trasplantes* (ONT).

4. Coordinación de trasplantes

El proceso que se sigue para encontrar el receptor más adecuado para cada órgano está compuesto de varios pasos que se efectúan sucesivamente hasta determinar el paciente que es apto para recibir el órgano en cuestión. Estos pasos están indicados en la figura 3.

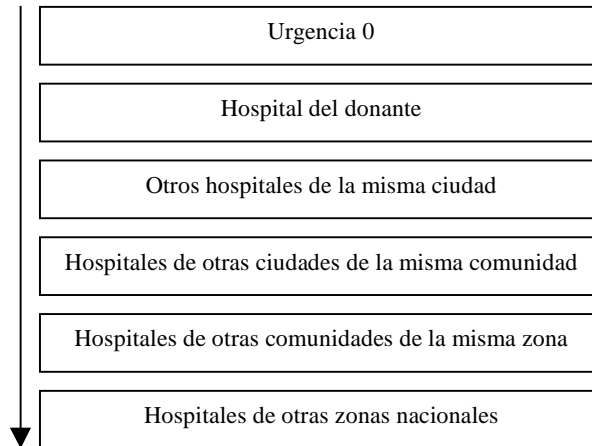


Figura 3. Pasos en la búsqueda de un receptor.

El primer paso consiste en comprobar si los casos de urgencia *zero* pueden usar el órgano disponible. Si no se encuentra ningún receptor se procede a buscar un paciente en el hospital del donante. Si esto es posible se podrán ahorrar muchos recursos y esfuerzos puesto que la coordinación entre centros siempre es más costosa y más lenta (hay que notar que, al contrario de lo que sucede con otros componentes corporales como los tejidos o la sangre que pueden ser congelados y almacenados, los órganos sólo se pueden utilizar en un intervalo corto de tiempo).

En caso de tener que buscar fuera del centro se intenta siempre encontrar un receptor apropiado lo más cercano posible al hospital del donante, para minimizar el coste económico y temporal del transporte del órgano.

Los agentes del sistema utilizan técnicas de Inteligencia Artificial para sugerir cuáles son los pacientes más adecuados para un órgano, si es que se dispone de más de un receptor posible.

5. Resumen y trabajo futuro

Proponemos la utilización de Sistemas Multiagente para tratar el problema de la coordinación en la búsqueda de receptores para un trasplante de órganos. Se ha propuesto una arquitectura que sigue el Modelo Español de coordinación, que permite también mantener información histórica de los trasplantes que podrá ser consultada y utilizada en casos posteriores.

La automatización de este proceso permite un considerable incremento en la velocidad de detección de posibles donantes, con lo que se dispone de más tiempo para la logística del transporte y la preparación y ejecución de la intervención quirúrgica. Los agentes informáticos sustituyen a las tradicionales llamadas telefónicas y transmisiones de datos vía fax que realiza el coordinador de trasplantes del centro por un sistema automático de conexiones y comunicación rápida y segura de datos vía Internet.

Los datos médicos de los pacientes se mantienen en cada uno de los hospitales, lo que permite una gestión personalizada y la garantía de la privacidad de los historiales. Los sistemas multiagente permiten

transmitir sólo la información que cada hospital permita, y de forma independiente del tipo de aplicaciones o bases de datos de cada hospital, es decir, sin tener que cambiar los sistemas informáticos existentes.

Aunque este artículo se centra en la tarea de coordinación del trasplante, las características de los sistemas multiagente permiten una fácil incorporación de nuevos agentes con roles distintos. Se está pensando en la posibilidad de incluir agentes encargados de la logística del transporte (encontrar la combinación de medios de transporte que permita hacer llegar el órgano al hospital del paciente), agentes encargados de analizar los datos históricos para extraer conocimiento útil para próximos casos, agentes especialistas en montar equipos quirúrgicos compatibles (cirujanos, enfermeras y anestelistas que trabajen en grupo [3][9]), etc. Las necesidades que se pongan de manifiesto durante la explotación del sistema posiblemente se podrán cubrir dado que esta arquitectura es escalable.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado con el apoyo del proyecto SMASH. Se agradecen los comentarios y aclaraciones realizadas por el equipo de coordinación de trasplantes del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau (Barcelona).

Referencias

- [1] Decker, K., Li, J. *Coordinated Hospital Patient Scheduling*. Proc. ICMAS'98.
- [2] *Informes y documentos de consenso*. Organización Nacional de Trasplantes (Ed.), 2000.
- [3] López, B., Aldea, A., Bañares-Alcántara, R. *Intelligent Agents to Human Resource Allocation in the Design of a Chemical Process*. (Accepted to SEID). 2000.
- [4] López-Navidad, A., Domingo, P., Viedma, M.A., *Professional characteristics of the transplant coordinator*. Transplantation Proceedings, 29, pp. 1607-1613, Elsevier Science Inc., 1997.
- [5] López-Navidad, A., Kulisevsky, J., Caballero, F., *El donante de órganos y tejidos. Evaluación y manejo*. Springer-Verlag Ibérica, 1997.
- [6] Matesanz, R., Miranda, B., *Coordinación y Trasplantes: El modelo español*. Editorial Aula Médica, ISBN 84-7885-060-0, 1995.
- [7] *Organización Nacional de Trasplantes*, ONT: <http://www.msc.es/ont>.
- [8] So, Y., Durfee, E.H. *Designing Organisation for Computational Agents*. In: *Simulating Organisations: Computational Models of Institutions and Groups*. Edited by M.J. Prietula, K.M. Carly, L. Gasser. AAAI/Press/The MIT Press, 1998.
- [9] Tambe M., Pynadath, D. Chauvat, N. *Adaptive Agent Integration Architectures for Heterogeneous Team Members*. Proc. of the International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS), 2000.