

Una Aproximación Multimodal al Diagnóstico Temporal Mediante Razonamiento Basado en Casos y Razonamiento Basado en Modelos. Aplicaciones en Medicina.

José Manuel Juárez Herrero

Dept. Ingeniería de la Información y las Comunicaciones
Facultad de Informática, Campus de Espinardo,
Universidad de Murcia, 30100
jmjuarez@um.es

Resumen

Este artículo es un resumen de la tesis doctoral con el mismo título cuyo objetivo es el estudio de técnicas y arquitecturas para desarrollo de sistemas de ayuda al diagnóstico temporal en dominios de alta complejidad conceptual. Con este fin nos centramos en tres aproximaciones: Razonamiento Basado en Modelos, Razonamiento Basado en Casos y una aproximación multimodal combinando ambos tipos de razonamiento. Para las aproximaciones indicadas, hemos desarrollado un conjunto de métodos para la resolución de la tarea de diagnóstico temporal, así como su aplicación práctica en el dominio médico.

Palabras clave: Diagnóstico Basado en Modelos, Razonamiento Basado en Casos, Razonamiento Temporal, Sistemas Basados en Conocimiento.

1. Introducción

El problema del diagnóstico ha sido, desde los comienzos de la IA, uno de los más estudiados y donde los investigadores han cosechado tanto satisfacciones como fracasos. El diagnóstico en el campo médico es, sin duda, uno de esas áreas de la IA que supone todavía un gran desafío.

Una de las características más frecuentes en resolución del problema del diagnóstico en dominios reales es la necesidad de tratar con la dimensión temporal. Así, una vez propuesto un modelo teórico, una tendencia cada vez más habitual a la hora de desarrollar sistemas de diagnóstico temporal es

acotar (o simplificar) el dominio para que el modelo inicial sea aplicable.

Esta tesis ¹ se centra en el problema del diagnóstico temporal en dominios de alta complejidad conceptual. A pesar de que la reducción y simplificación de dominios es efectiva para desarrollar SBC eficientes, en muchas situaciones la tarea diagnóstica necesita del conocimiento complejo de dicho dominio. Por ejemplo, ciertas áreas del campo médico implican una alta complejidad conceptual, debido al alto número de conceptos, interrelaciones, terminología e interdependencias entre sus elementos. En esta tesis ² consideramos que en dominios de alta complejidad conceptual

¹Esta tesis ha sido parcialmente financiada por os proyectos TIC2003-09400-C04, TIN2006-15460-C04 y PETRI2006-0406.

²Texto íntegro disponible en <http://perseo.inf.um.es/jmjuarez/tesis.pdf>

es necesario abordar el problema del diagnóstico temporal desde diferentes enfoques, permitiendo seleccionar cuál es la aproximación más adecuada para cada problema concreto. Con este fin analizamos dos aproximaciones inicialmente opuestas: Razonamiento Basado en Modelos o MBR (Sección 2) y Razonamiento Basado en Casos o CBR (Sección 3). Finalmente, analizamos las alternativas para que ambas aproximaciones puedan actuar de forma conjunta (Sección 4), estableciendo una arquitectura multimodal o MMR que combina ambos modos de razonamiento.

2. Aproximación MBR

Se ha demostrado que el uso de modelos causales junto con técnicas de diagnóstico basado en modelos es una aproximación eficaz en el desarrollo de sistemas de diagnóstico inteligente [8]. En esta aproximación proponemos un modelo causal/temporal, un método de diagnóstico y una arquitectura para demostrar su aplicabilidad en dominios médicos.

El **Modelo de Comportamiento Temporal** propuesto, *TBM*, se basa en un modelo de comportamiento anormal donde se representan las relaciones entre los hallazgos anormales y las enfermedades [7]. Así, el *TBM* se compone de *Patrones Diagnósticos Temporales Borrosos* o *dftp*, siendo cada patrón la descripción de una patología concreta. Un patrón temporal establece las relaciones causales entre un diagnóstico etiológico y sus consecuencias (hallazgos y diagnósticos patofisiológicos), así como relaciones temporales imprecisa entre estas. Con el fin de gestionar información temporal imprecisa, el patrón temporal se basa en el modelo de las Redes de Restricciones Temporales Borrosas o *FCTN* propuesto por (Marín y otros) [6]. Además, cada patrón temporal incluye conocimiento sobre el contexto, que influye sobre la evolución temporal de una enfermedad. Este contexto se denomina *Metaconocimiento Contextual Temporal*, sobre cuyos elementos (elementos de contexto) también se pueden definir relaciones temporales. Por ejemplo, en el dominio médico, el incremento de la presión sanguínea de un paciente (cuando es excesivamente baja) a causa del tratamiento adecuado podría establecer un factor contextual a tener en cuenta cuando se interpreta el resultado de la medición de la presión del paciente.

El objetivo de la **tarea diagnóstica** es construir una explicación diagnóstica para el problema de diagnóstico temporal. Sin embargo, la explicación diagnóstica del problema contempla la dimensión temporal y tolera grados de incertidumbre, por lo que dicho método ha sido adaptado para gestionar: a) la componente temporal, b) la evaluación de las hipótesis mediante Teoría de la Posibilidad y c) el modelo causal *TBM*. Las principales características del método diagnóstico propuesto son: una solución multi-hipótesis (múltiples instancias temporales), un método de diagnóstico mediante cobertura parsimoniosa que comprueba la consistencia causal y temporal de la solución.

Esencialmente, el **método de diagnóstico** propuesto se compone de dos pasos: primero, se construye mediante una estrategia abductiva una red causal (temporalmente consistente) a partir del conjunto de hallazgos observados [7]; y, segundo, algunas hipótesis son eliminadas de la red causal mediante un método de *Discriminación de Hipótesis* [7]. Puesto que los algoritmos diagnósticos tienden a generar hipótesis en orden exponencial, se proponen una serie de medidas incluyendo ciertas heurísticas en los algoritmos (*subsumción* y *desplazamiento temporal*) para mejorar la eficiencia.

Con el fin de demostrar la aplicabilidad del modelo *TBM*, hemos desarrollado **ACUDES** [3], una arquitectura para la toma de decisiones en el dominio de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), un servicio médico que proporciona atención médica continua para pacientes en estado crítico. ACUDES gestiona la representación del dominio de aplicación utilizando una ontología para UCI que proporciona consistencia conceptual a la arquitectura. La base de conocimiento del sistema contiene un conjunto de patrones temporales de diagnóstico recogidos mediante la herramienta de adquisición de conocimiento CATEKAT.

La evaluación clínica de *ACUDES* ha consistido en la construcción de un modelo *TBM* completo de descripciones patológicas reales en una UCI por parte de un médico intensivista. La evaluación de esta arquitectura se puede resumir en términos de: 3 sesiones in situ con el experto, *TBM* obtenido (5 patrones temporales), ontología UCI (173 conceptos y 105 relaciones) y se resolvieron correctamente los 3 casos reales estudiados.

3. Aproximación CBR

El CBR ha demostrado ser una metodología de desarrollo de sistemas inteligentes especialmente apropiada cuando se desean aplicar estrategias de analogía en dominios poco estructurados y en aquellos donde la adquisición de conocimiento es difícil [5]. Por lo tanto, la elección de esta metodología es apropiada para el desarrollo de sistemas diagnósticos en dominios de alta complejidad conceptual. Así, consideramos que la propuesta de un sistema de diagnóstico en un dominio de alta complejidad conceptual debe centrarse en: (1) representación adecuada de casos temporales en dominios conceptualmente complejos; y (2) recuperación de casos temporalmente similares.

En dominios de alta complejidad conceptual, los sistemas CBR requieren una buena **representación de los casos**. Por ejemplo, en servicios médicos multidisciplinares (como UCI o Unidades del Dolor), los casos clínicos pueden describir aspectos muy diferentes de la evolución de un paciente. Una ontología para la descripción de un caso basada en Lógica Descriptiva o DL permite una descripción formal del caso y facilitan ciertos métodos de razonamiento. Por lo tanto, para la representación de casos presentamos la ontología OntoCASE [4]. En OntoCASE, el concepto (o clase) *Case* es el concepto raíz de la ontología definiéndose así:

$$Case \doteq \exists HAS.Context \sqcup \exists HAS.Problem \sqcup \\ \exists HAS.Solution \sqcup \exists HAS.Outcome$$

siendo *Context* la información contextual del caso, *Problem* el conjunto de características temporales (puntos temporales e intervalos) y atemporales que describen el problema, *Solution* el conjunto de hipótesis diagnósticas y *Outcome* indica si la solución fue correcta.

Los casos en dominios conceptualmente complejos describen problemas cuyas características son tanto atemporales como temporales. A diferencia de las características atemporales, las temporales conforman series y secuencias de valores difíciles de comparar. Un subconjunto habitual de problemas son aquellos donde todos sus atributos tienen referencias a instantes de tiempos (puntos temporales), describiendo *secuencia de eventos temporales*. Con el fin de resolver este problema, hemos propuesto una **medida de similitud de secuencias de eventos temporales** [2] aplicada en dos pasos: (1) abstraer dos o más secuencias en un marco temporal de posibles relaciones tem-

porales entre las características (2) cuantificar la incertidumbre producida por la descripción possibilística mediante la no especificidad (medida de incertidumbre), siendo ésta un indicador de la similitud de las secuencia.

Sin embargo, es habitual encontrar descripciones temporales relativas a intervalos. Por ejemplo, la descripción del tratamiento de un paciente se describe mediante el conjunto de fármacos que se le suministra prolongadamente a un paciente, describiendo *secuencias de intervalos*. Así, proponemos una **medida de similitud entre secuencias de intervalos** considerando: la comparación directa entre intervalos, la comparación entre relaciones temporales cualitativas/cuantitativas y la presencia/ausencia de intervalos respecto a la otra secuencia. Para la comparación exhaustiva entre la información temporal de secuencias de intervalos, esta medida utiliza una red de restricciones temporales (cuantitativas y cualitativas) entre intervalos [1].

Como aplicación práctica a las técnicas de similitud propuesta hemos desarrollado **T-CARE**, un sistema para la toma de decisiones en el dominio de la UCI. El objetivo de T-CARE es la recuperación de casos de pacientes similares para la ayuda al diagnóstico, buscando en una Librería de Casos (LC) aquellos pacientes que su evolución temporal sea similar. Por lo tanto, el sistema T-CARE se compone de estos dos procesos: (1) adquisición de casos temporales a partir del sistema de información clínica; y (2) La recuperación de casos similares.

Con el fin de facilitar el proceso de adquisición de casos a partir de los sistemas de información clínica (HIS), hemos implementado un conjunto de herramientas de visualización temporal de historias clínicas y asistentes para la selección de qué elementos del historial del paciente forman parte del caso. El núcleo del sistema T-CARE es el módulo de recuperación de casos. El proceso de recuperación de casos, buscará en la LC, aquellos casos temporalmente más similares. T-CARE establece varios filtros (completitud del caso y calidad del caso) para reducir el espacio de búsqueda, aplicando posteriormente las medidas de similitud temporal basadas en similitud de secuencias de eventos y de intervalos.

La validación del sistema T-CARE ha consistido en resolver un problema clínico de la Unidad de Grandes Quemados (UGQ) mediante la implementación realizada de T-CARE. En la UGQ, estudios clínicos realizados de-

muestran la supervivencia de los pacientes a partir de su evolución temporal durante los primeros 5 días. Los resultados obtenidos, frente a una aproximación sin considerar el tiempo (clásica) y considerando distancias temporales euclídeas pueden verse en la Tabla 1.

Similitud	Clásica	Temp.Euc.	T-CARE
LC	323	323	323
Total	52	52	52
Aciertos	40	38	42
Fallos	12	14	10
% Aciert.	76,92 %	73,07 %	80,76 %
T. prom.	0,018	0,274	0,403
T. max.	0,021	0,71	0,593

Tabla.1 Resultados de los experimentos con los casos de quemados

4. Aproximación MMR

Con el fin de mejorar los resultados obtenidos anteriormente, hemos considerado arquitecturas que combinen estas dos estrategias de forma conjunta, denominadas multimodales. Así, las aproximaciones basadas en modelos permitirán formalizar el conocimiento general, mientras que la aproximación basada en analogía permitirá explotar los aspectos más concretos.

En esta tesis hemos propuesto y desarrollado M^3 , una arquitectura multimodal que utiliza CBR y MBR basada en ACUDES y T-CARE para el diagnóstico temporal. La base de conocimiento de M^3 permite almacenar tanto patrones diagnósticos como casos temporales. Así, el método de diagnóstico podrá explotar un mayor espectro de conocimiento diagnóstico. El método de diagnóstico propuesto selecciona de forma automática uno de los dos modos de razonamiento o ambos combinados. Este método depende de un parámetro configurable por el experto que establece el umbral mínimo de similitud, estableciendo si un caso es similar a otro o no. La validación clínica de M^3 que se ha realizado en la UCI para pacientes con cardiopatías indica que una configuración apropiada de dicho parámetro, además de mejorar la tasa de aciertos diagnósticos, mejora apreciablemente la *especificidad* y la *sensibilidad* respecto a T-CARE y ACUDES.

Agradecimientos

El desarrollo de esta tesis doctoral se llevó a cabo en el Dep. de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Murcia bajo la atenta dirección de Roque Marín y José Palma. También agradecer al Dr. Francisco Palacios del Hospital Universitario de Getafe su asesoramiento sobre la parte médica de esta tesis.

Referencias

- [1] C. Combi, M. Gozzi, J.M. Juárez, R. Marín, and B. Oliboni. Querying clinical workflows by temporal similarity. *Lecture Notes in Computer Sciences. AIME'07 (In Press)*, 2007.
- [2] J.M. Juárez, F. Guil, J. Palma, and R. Marín. An uncertain temporal similarity proposal for temporal cbr. In *Proceedings of the I Workshop on Uncertainty and Fuzziness in Case-Based Reasoning at ECCBR06*, pages 210–219, 2006.
- [3] J.M. Juárez, J. Palma, M. Campos, A. Morales, J. Salort, and R. Marín. A model-based architecture for fuzzy-temporal diagnosis. *Lecture Notes in Computer Science*, 3643:241–246, 2005.
- [4] J.M. Juárez, J. Salort, J. Palma, and R. Marín. Case representation ontology for case retrieval systems in medical domains. In *Proceeding of the IASTED AIA07*, pages 168–173, 2007.
- [5] Janet L. Kolodner and David B. Leake. *A Tutorial Introduction to Case-Based Reasoning*, chapter 2, pages 31–65. American Association for Artificial Intelligence, 1996.
- [6] R. Marín, M. A. Cárdenas, M. Balsa, and J. L. Sánchez. Obtaining solutions in fuzzy constraint networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, 3-4:261–288, 1996.
- [7] J. Palma, J.M. Juárez, M. Campos, and R. Marín. A fuzzy theory approach for temporal model-based diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38:197–218, 2006.
- [8] Pietro Torasso. Multiple representations and multimodal reasoning in medical diagnostic systems. *Artificial Intelligence in Medicine*, 23:49–69, 2001.