

## Abstracción temporal basada en redes de restricciones \*

Manuel Campos

Grupo de investigación AIKE  
Facultad de informática. Universidad de Murcia  
Campus de Espinardo. Murcia, 30100  
manuelcampos@um.es

### Resumen

En esta tesis se presenta un modelo de abstracción temporal basado en redes de restricciones. La aportación principal es un método abductivo de abstracción temporal de estados que permite capturar la imprecisión en los datos y reflejarla en la descripción abstracta de los mismos.

**Palabras clave:** Análisis inteligente de datos, abstracción temporal, redes de restricciones temporales.

## 1 Introducción

El dominio médico ha sido una de las áreas más prolíficas a la hora de aplicar técnicas de Inteligencia Artificial (IA), y sigue siendo un área prometedora debido a que el dominio médico es complejo, existen áreas que no son comprendidas en su totalidad y el conocimiento adquirido requiere de una adaptación previa a su aplicación. Sin embargo, en los últimos años, la investigación en Inteligencia Artificial en Medicina (IAM) ha trasladado su atención desde los sistemas intensivos en conocimiento a los sistemas intensivos en datos, y desde los sistemas estáticos de consulta del estado del paciente, a sistemas de consulta en los que se tiene en cuenta la dinámica sobre la evolución del paciente [6].

Además, cuando hablamos del dominio médico, y especialmente en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), el tiempo juega un papel muy importante, ya que el estado fisiopatológico del paciente se infiere a partir de una sucesión tem-

poral de manifestaciones. En este sentido, se ha hecho un gran esfuerzo en la incorporación de técnicas de *razonamiento temporal* al modelado de datos clínicos. Las técnicas de razonamiento temporal se están aplicando en tareas como el diagnóstico, la monitorización o la ejecución de guías clínicas. Las técnicas de razonamiento temporal permiten la especificación de modelos de comportamiento de forma temporalmente consistente, donde se pueden establecer e inferir las relaciones temporales existentes entre enfermedades y sus manifestaciones. Entre las opciones barajadas, los modelos formales basados en restricciones temporales, que ofrecen distintas soluciones entre expresividad y eficiencia, han demostrado ser especialmente útiles en el dominio médico.

El interés de las técnicas de abstracción temporal reside en poder expresar los datos temporales a distintos niveles, pasando desde el más bajo, como pueden ser los datos procedentes de los sistemas de adquisición de datos, hasta un nivel más alto en que estos datos son significativos e inter-

\*Esta tesis doctoral ha sido dirigida por los doctores Roque Marín Morales y José T. Palma Méndez de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia.

pretables. Por ejemplo, no es lo mismo ofrecer una tabla con los valores de tensión arterial de un paciente medidos a lo largo de 7 días que describir la misma información en estados cualitativos de hipotensión o hipertensión. Así, la información resultante de los procesos de abstracción de datos tiene una doble utilidad. En primer lugar, como base para la elaboración de informes clínicos que resuman la evolución del paciente en un alto nivel de abstracción. Y en segundo lugar, como fuente de datos para un agente inteligente de diagnóstico. En este segundo caso, la reducción del volumen de datos temporales permite mejorar la eficiencia de los sistemas de ayuda que realizan razonamiento sobre estas abstracciones, tales como los sistemas de diagnóstico o los sistemas de descubrimiento de conocimiento.

## 2 Hipótesis y metodología

Teniendo en cuenta las consideraciones previas, creemos que resulta de especial interés incorporar las técnicas de razonamiento temporal en un sistema que permita, tanto representar información temporal de alto nivel, como realizar un análisis de datos temporales con el fin de aumentar su nivel de expresividad y reducir su volumen. De entre las técnicas que se pueden emplear, las basadas en restricciones temporales borrosas resultan adecuadas para este fin por su capacidad para modelar formalmente y de la forma más completa posible las interrelaciones temporales entre los datos.

Así, la hipótesis de partida para el trabajo planteado es que *los modelos de razonamiento temporal basados en restricciones temporales borrosas constituyen un formalismo útil sobre el que desarrollar la abstracción de datos*.

En este contexto, establecemos como objetivo central el desarrollo de un método abductivo de abstracción temporal de estados basado en restricciones temporales borrosas. Para llegar a este objetivo, hemos desarrollado los pasos que se describen a continuación.

En primer lugar hemos propuesto el uso de un modelo de Redes de Restricciones Temporales Borrosas (FTCN, *Fuzzy Temporal Constraint Network*) [1] como un compromiso óptimo entre expresividad y eficiencia. Este modelo proporciona la suficiente potencia expresiva para capturar el conocimiento en distintos dominios a la

vez que proporciona mecanismos de razonamiento eficientes. Este modelo ha sido encapsulado en un razonador temporal denominado FuzzyTIME [2] desarrollado en el marco de esta tesis.

Antes de desarrollar un método concreto de abstracción, hay que crear un entorno de abstracción temporal de datos guiado por el conocimiento [3]. Este entorno constituye la base alrededor de la cual se pueden incluir otros métodos de abstracción (atemporal) y distintas estrategias para extracción de características.

Dentro de este entorno se enmarca el método abductivo que permite la agrupación de datos temporalmente consecutivos en estados durante los cuales las características internas de interés permanecen inalteradas. Posteriormente, se desarrolla una versión eficiente del algoritmo que permite superar el inconveniente inicial de la complejidad computacional inherente a los modelos basados en restricciones.

## 3 FuzzyTIME

El razonador FuzzyTIME ha sido diseñado para ser completamente independiente del dominio, listo para ser integrado en cualquier aplicación que necesite gestionar información temporal borrosa.

La arquitectura de FuzzyTIME se ha estructurado en 3 capas. La capa inferior contiene el modelo FTCN y, debido a que se basa en relaciones métricas punto a punto, obtenemos como ventajas la simplicidad, expresividad y tratabilidad de los problemas representados. En la capa externa ofrecemos un lenguaje de alto nivel que permite introducir información tanto cualitativa como cuantitativa, precisa o imprecisa, considerando como entidades temporales tanto puntos como intervalos. El salto entre estas representaciones está cubierto por la capa intermedia, donde se descomponen y traducen las expresiones, permitiendo la aserción, retractación y consulta de las expresiones temporales. Una de las limitaciones que se presentan en la aserción es que la expresividad está limitada a relaciones temporales convexas, pero se consigue la máxima potencia expresiva compatible con una propagación de restricciones computacionalmente tratable.

La capacidad de resolución de consultas es otro de los aspectos relevantes de FuzzyTIME. Se ad-

miten (1) consultas que permiten recuperar información ya existente en la base de conocimiento, y (2) consultas modales sobre los grados de posibilidad y necesidad que indican la compatibilidad de nueva información temporal con la ya presente en la base de conocimiento. Una ventaja importante, que se obtiene con el modelado de restricciones temporales borrosas, es la capacidad de utilizar la Teoría de la Posibilidad [5] con el fin de responder a consultas con un rango de valores entre 0 y 1, en vez de obtener una respuesta booleana.

También se ha abordado la integración de FuzzyTIME con una base de datos en la que se almacena la información del dominio. En nuestra propuesta, el razonador temporal está integrado sobre el software de una base de datos, y se ha extendido el lenguaje inicial de FuzzyTIME para interactuar con una estructura genérica de una base de datos. En lo relativo al lenguaje de consultas y la interacción con la base de datos, se proporcionan las funciones básicas para la navegación de históricos de conceptos y la recuperación de ocurrencias específicas. Además, los tipos de consultas permitidas inicialmente en FuzzyTIME también han sido ampliados para aprovechar las nuevas funciones, pudiendo incluir los cuantificadores universal y existencial en consultas que implican información temporal o atemporal.

#### 4 Modelo de abstracción temporal

Una de las características buscadas en el modelo de abstracción temporal es hacerlo genérico, para lo cual, se ha establecido una separación entre conceptos del dominio, históricos y temporales. Los conceptos del dominio describen las características necesarias para cada mecanismo de abstracción y que son específicas de los conceptos concretos. Los conceptos temporales se introducen para definir la organización temporal de los conceptos del dominio, mientras que los conceptos históricos se utilizan para describir la evolución temporal de los conceptos temporales.

Asimismo, se han proporcionado mecanismos para abstracción atemporal y temporal basados en el conocimiento sobre el dominio, como son la abstracción cualitativa o la generalización. Mediante estos mecanismos se pueden solventar algunos de los problemas y tareas planteadas en este tipo de procesos. Dentro de estas tareas hemos contemplado la gestión de contextos que

nos permite afinar dichos mecanismos en función de características estáticas definidas para los conceptos del dominio.

En este modelo reside la principal aportación, que consiste en la propuesta de un método abductivo de abstracción temporal de estados que construye incrementalmente una historia de estados que explica un conjunto de observaciones de entrada. Este método puede ser visto como un proceso análogo al muestreo aperiódico de señales, pero aplicado a un caso más general en el que (1) que las señales no tienen un período de muestreo fijo, (2) en el que los datos no tienen por qué ser exclusivamente numéricos, sino que pueden ser datos cualitativos como, por ejemplo, los obtenidos cuando el «muestreo» se produce mediante interacción con el usuario, y (3) en el que los tiempos de entrada pueden ser imprecisos.

El algoritmo de abstracción temporal de estados permite generar una explicación de una característica abstraída sobre un concepto del dominio. La explicación generada cumple unos criterios estáticos (cobertura, parsimonia y exclusividad) y unos criterios dinámicos (dinámica temporal y consistencia temporal). Éstos últimos son controlados por dos parámetros: granularidad y persistencia. Por ejemplo, en el dominio médico podemos realizar una abstracción de observaciones puntuales de temperatura a una descripción de los mismos datos pero basada en estados abstractos de fiebre (véase la Figura 1). Se define la persistencia como el período máximo de validez de una observación, en este caso, de temperatura, y la granularidad como la duración mínima del estado de fiebre. Vemos que se genera una explicación de las observaciones con tres estados definidos por restricciones temporales, existiendo un hueco temporal entre los dos primeros estados.

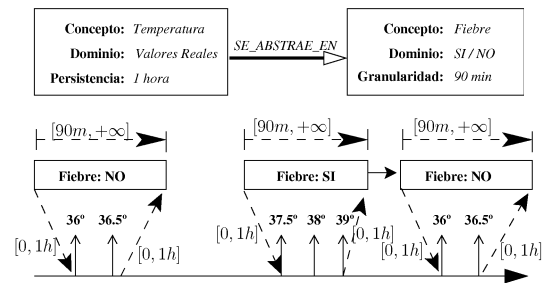


Figura 1. Abstracción temporal de temperatura.

Como aportación dentro de este método de abstracción temporal de estados está el uso de restric-

ciones temporales borrosas, de forma que podemos incorporar la imprecisión temporal a una descripción de alto nivel de una colección de datos temporales (tanto en la entrada como en la salida). Sin embargo, el razonamiento realizado sobre estas restricciones tiene un coste ligeramente alto en complejidad computacional, aunque de orden polinómico.

Se han mostrado algunas mejoras a éste método general, como son el mantenimiento de redes independientes para cada uno de los conceptos abstraídos, para fusionarlas finalmente en la hipótesis de abstracción, o la posibilidad de dividir cada red en componentes no separables. Pero estas mejoras básicas no son aplicables al caso peor en el que todas las observaciones generan una secuencia de estados contiguos (separados por una unidad de tiempo y sin huecos entre ellos). Debido a esto, hemos mostrado que la estructura de la explicación temporal responde a una topología especial de FTCN que admite una representación más simple que la general: hay una secuencia de subredes no solapadas formadas, a su vez, por una serie de estados consecutivos. Sobre esta topología concreta no es necesario aplicar el método de camino-consistencia de  $O(n^3)$  para determinar la consistencia de la red, sino que podemos obtener una serie de expresiones calculables en tiempo constante para determinar las restricciones mínimas de cada estado de la red temporal y propagarlas linealmente en los estados.

## 5 Aplicaciones y trabajos futuros

Finalmente, podemos afirmar que el uso de técnicas de razonamiento y abstracción temporal en el contexto de una UCI es altamente provechoso. FuzzyTIME ha sido empleado en una aplicación de adquisición de conocimiento [7] médico en la cual es fundamental el poder mantener la consistencia temporal de las relaciones temporales. También ha sido empleado como base para un algoritmo de diagnóstico temporal basado en modelos [8]. El método de abstracción temporal de estados ha mostrado su utilidad como herramienta para visualizar datos temporales y para sumariazación de pacientes como preprocesamiento en un problema de minería de datos temporales [4].

El siguiente paso en la evolución del trabajo de abstracción temporal presentado es la incorporación de abstracciones complejas que permitan

la detección de patrones multivariable. El uso de restricciones temporales nos proporciona la ventaja de poder formular consultas complejas sobre episodios. Por un lado, estas abstracciones complejas pueden verse como la detección de patrones predefinidos en datos sobre los que se ha realizado abstracción. Por otro lado, también puede verse como la detección, en un instante de tiempo, de una conjunción de valores en múltiples variables.

## References

- [1] S. Barro, R. Marín, R. Mira, and J. Patón. A model and a language for the fuzzy representation and handling of time. *Fuzzy Sets and Systems*, 61:153–175, 1994.
- [2] M. Campos, A. Cárceles, J. Palma, and R. Marín. FuzzyTIME (Fuzzy Temporal Information Management Engine). In *Actas del XI Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy ESTYLF-2002*, pages 143–148, León, Spain, 2002.
- [3] M. Campos, A. Martínez, J. Palma, and R. Marín. Modelo genérico de abstracción temporal de datos. In *Proceedings of the XI Conferencia de la Asociación Española para la inteligencia artificial (CAEPIA '05)*, pages 51–60, 2005.
- [4] M. Campos, J. Palma, and R. Marín. Temporal data mining with temporal constraints. *Lecture Notes in Computer Science*, 4594:67–76, 2007.
- [5] D. Dubois and H. Prade. *Possibility Theory. An Approach to the Computerized Processing of Uncertainty*. Plenum Press, New York, 1988.
- [6] W. Horn. AI in medicine on its way from knowledge-intensive to data-intensive systems. *Artificial Intelligence in Medicine*, 23(1):5–12, 2001.
- [7] J. Palma, M. Campos, J.M. Juárez, and A. Morales. Acquisition of causal and temporal knowledge in medical domains. a web based approach. *Lecture Notes in Computer Science*, 3257:513–515, 2004.
- [8] J. Palma, J.M. Juárez, M. Campos, and R. Marín. Fuzzy theory approach for temporal model-based diagnosis: An application to intensive care units. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38(2):197–218, 2006.