

Perfiles Temporales Borrosos: Un Modelo para la Representación y Reconocimiento de Patrones sobre Señal

Tesista: Paulo Félix

Departamento de Electrónica y Computación
Universidad de Santiago de Compostela

Asesor: Senén Barro Amenerio

Departamento de Electrónica y Computación
Universidad de Santiago de Compostela

Resumen

Uno de los objetivos perseguidos con más ahínco por la Inteligencia Artificial es el de desarrollar modelos y sistemas que resuelvan problemas relativos a la interpretación de un determinado medio, tratando de simular aquellos esquemas de representación y razonamiento inherentes al ser humano. La finalidad es automatizar algunas de las tareas que habitualmente desempeña el hombre, de modo que el resultado no se distinga del que éste hubiera obtenido. En la tesis que aquí se presenta se ha seguido esta línea en el desarrollo de un nuevo modelo, al que hemos denominado Perfil Temporal Borroso (PTB), para la representación de conocimiento impreciso y el razonamiento sobre la evolución de un determinado parámetro físico en el tiempo, y que ha sido llevado a la práctica en un sistema de supervisión inteligente de pacientes ingresados en una Unidad de Cuidados Intensivos Coronarios.

Nuestra propuesta pertenece al conjunto de los métodos estructurales para el reconocimiento de patrones, de tal manera que se realiza una partición o segmentación de los datos de entrada, que después se contrasta con un conjunto reducido de los elementos que definen el patrón. El objetivo es dirigirnos a aquellos problemas en los que se dispone de información explícita acerca de la morfología del patrón, y en los que la adquisición del conocimiento es fundamentalmente descriptiva.

Una de las ideas fundamentales sobre las que se sostiene el modelo de PTB es la de un *modelado de la flexibilidad que caracteriza el conocimiento humano*, esto es, tratamos de capturar en la medida de lo posible la riqueza de matices

contenida en las descripciones que realiza el experto. Para ello, el modelo de PTB se apoya en el de *redes de restricciones* y en la *teoría de conjuntos borrosos*. El primero aporta una estructura de representación que facilita la proyección computacional de una descripción lingüística. La segunda permite la manipulación de la vaguedad e incertidumbre propia de los términos del lenguaje natural.

1 El Modelo de PTB

Un Perfil Temporal Borroso (PTB) (Felix P., *et al.*, 1999b) se define como una red de relaciones entre un conjunto de puntos especialmente significativos sobre la evolución de un determinado parámetro.

Dichas relaciones fijan, por un lado, la distancia temporal, incremento en valor y pendiente entre cada par de dichos puntos y, por otro lado, permiten modelar el comportamiento del fragmento de evolución comprendido entre ellos.

Definición del Modelo

Cada punto significativo $X_i = \langle V_i T_i \rangle$ está definido como un par de variables: V_i representa un valor desconocido del parámetro físico, y T_i representa un instante de tiempo desconocido. En ausencia de cualquier restricción, las variables V_i y T_i pueden tomar cualquier valor preciso v_i y t_i , respectivamente. Una restricción $R_{ij} = \langle D_{ij} L_{ij} M_{ij} S_{ij} \rangle$ sobre dos puntos significativos X_i y X_j es una 4-tupla formada por un incremento borroso D_{ij} , que restringe los dominios de los valores posibles de las variables V_i y V_j ; una duración borrosa

L_{ij} que restringe los dominios de los valores posibles de las variables T_i y T_j ; una pendiente borrosa M_{ij} que restringe conjuntamente los dominios de los valores posibles de las variables V_i , V_j , T_i y T_j ; y un descriptor S_{ij} de la evolución del perfil entre los dos puntos significativos. Un Perfil Temporal Borroso $N = \{X, R\}$ se define como un conjunto finito de puntos significativos $X = \{X_0, X_1, \dots, X_N\}$ y un conjunto finito de restricciones $R = \{ \langle D_{ij}, L_{ij}, M_{ij}, S_{ij} \rangle, 0 \leq i, j \leq N \}$ entre dichos puntos (Figura 1).

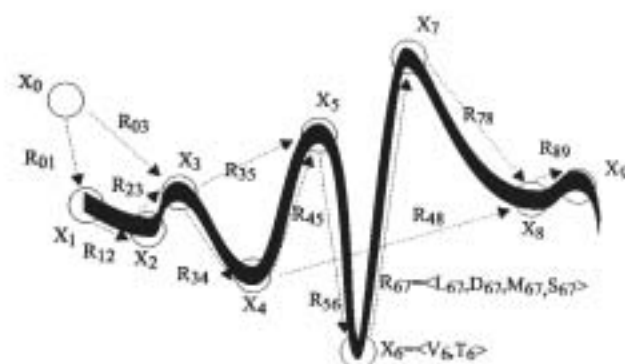
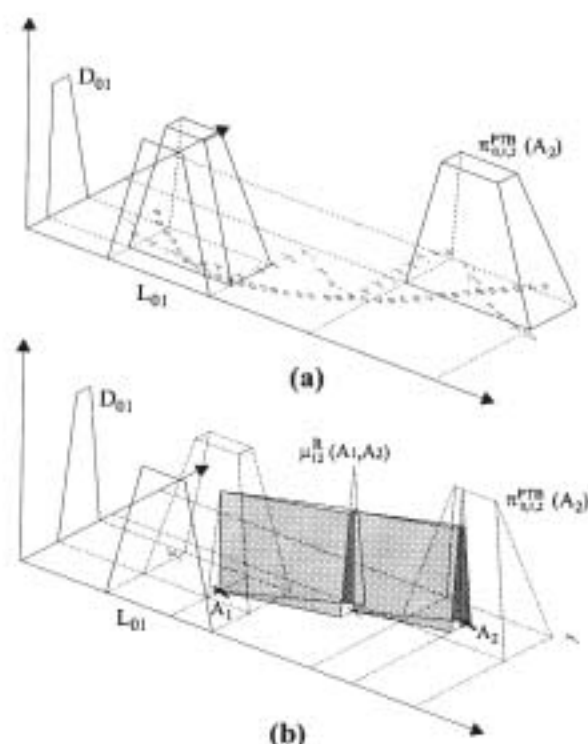


Figura 1: Ejemplo de Perfil Temporal Borroso y de una idea intuitiva de la evolución que se desea representar

Las restricciones sobre el incremento en valor, la duración y la pendiente se definen mediante distribuciones de posibilidad normalizadas y unimodales, y permiten modelar las relaciones entre un conjunto de eventos de señal de especial significado para el usuario experto, y presentes en sentencias del tipo de: *poco después la temperatura es mucho más alta.*

En la representación de un PTB se han modelado aquellas relaciones temporales cualitativas recogidas en la bibliografía. Así, representamos entre instantes las de un álgebra de puntos convexa (Vilain M y Kaufz H, 1986), o entre intervalos, aquellas definidas por Allen (Allen J., 1984). Además, una representación basada en conjuntos borrosos permite al modelo capturar la imprecisión presente en las relaciones cuantitativas entre hechos temporales, y que encontramos en expresiones del tipo de aproximadamente 5 minutos después. Además, el lenguaje natural permite la expresión de un conjunto de descripciones en las que se matiza la forma en que tiene lugar la evolución entre dos puntos significativos, como es el caso de "... a lo largo de los siguientes quince minutos la temperatura sube moderadamente diez grados" "durante las dos últimas horas la temperatura es alta" (Felix P. et al, 1998). Con el fin de incorporar la representación de la evolución entre cada dos puntos significativos, hemos modelado un conjunto ampliable de evoluciones asociadas a diferentes semánticas de tramo, y cuya asignación se realiza mediante la restricción S_{ij} , de modo que se pueda calcular la compatibilidad entre el descriptor del tramo y un fragmento de la evolución temporal de una variable física. Este descriptor del tramo se modela mediante un conjunto borroso que muestra la vaguedad e imprecisión que caracterizan la idea que el experto tiene sobre

una evolución válida del parámetro físico bajo estudio (Figura 2).



En esta figura se muestra la representación de dos semánticas de evolución en el modelo PTB. En a) se modela la semántica de sentencias del tipo "algo más tarde la temperatura es más alta", donde no importa el modo en que tiene lugar la transición entre los estados extremos. En b) se modela la semántica de las sentencias del tipo "a lo largo de los siguientes minutos, la temperatura sube ligeramente"

Análisis de la Consistencia de la Información del Perfil

Se realiza mediante una serie de técnicas que en su conjunto buscan su *minimización*. Debido al carácter lingüístico de la adquisición del perfil, es previsible que su descripción contenga información redundante o inconsistente.

Llamaremos *mi-nimización* de un PTB al proceso que supone eliminar del dominio de cada variable aquellos valores incompatibles con las restricciones sobre dicha variable, con el fin de obtener un PTB en el que las relaciones vengan definidas del modo más preciso posible. Además, en este proceso de minimización se detectará la presencia de información inconsistente en la red. Hemos demostrado que el problema de minimizar un PTB es NP-completo y, a resultas de ello, hemos desarrollado un conjunto de algoritmos que aseguran una consistencia a nivel local: lo que llamamos *consistencia de camino*, y *consistencia de tramo*. Además, hemos propuesto una topología más sencilla que la general, que define lo que llamamos un Perfil Temporal Borroso

Secuencial, y cuya consistencia, siguiendo un orden en la asignación predeterminado, se asegura con una complejidad computacional $O(N^3)$.

Desarrollo de una Herramienta de Reconocimiento de Perfiles

Consta de un conjunto de algoritmos que realizan la tarea de reconocimiento -aquí llamada *equiparación*- de aquellos perfiles definidos por el experto sobre la evolución real de un determinado parámetro. Los algoritmos desarrollados giran en torno al concepto de solución óptima, que supone la búsqueda, sobre una señal, de soluciones a la red: conjuntos de asignaciones a los puntos significativos que sean compatibles en el mayor grado posible con las restricciones de la red. Esta solución óptima se construye mediante un árbol de búsqueda, en el que cada una de las hojas viene dada por una asignación completa a cada uno de los puntos significativos del perfil, siguiendo el típico método del primero en profundidad. Debido a la teóricamente alta complejidad computacional de este proceso se han añadido algunas

heurísticas basadas en las propiedades de las señales sobre las que se llevará a cabo el reconocimiento, o en las propiedades del perfil que se busca sobre una señal, y que persiguen una rápida localización de dicho perfil sobre la señal. Además se discuten otras cuestiones como el reconocimiento de perfiles sobre señales con pérdida de información: fragmentos de señal cuyo valor no ha podido ser adquirido o ha sido invalidado (presencia de artefactos, por ejemplo).

Adquisición Lingüística del Conocimiento

A pesar de que el modelo de PTB no está supeditado a una determinada forma de adquisición de la información que describe la evolución de un parámetro, en este trabajo hemos apostado por una adquisición lingüística. Desde este punto de vista, los PTB constituyen una propuesta para el modelado de la semántica de algunas expresiones del lenguaje natural que describen la evolución temporal de un parámetro físico. En la realización práctica de este lenguaje se ha intentado alcanzar un registro lo más próximo al que emplea un experto humano para comunicar su conocimiento. Así, hemos

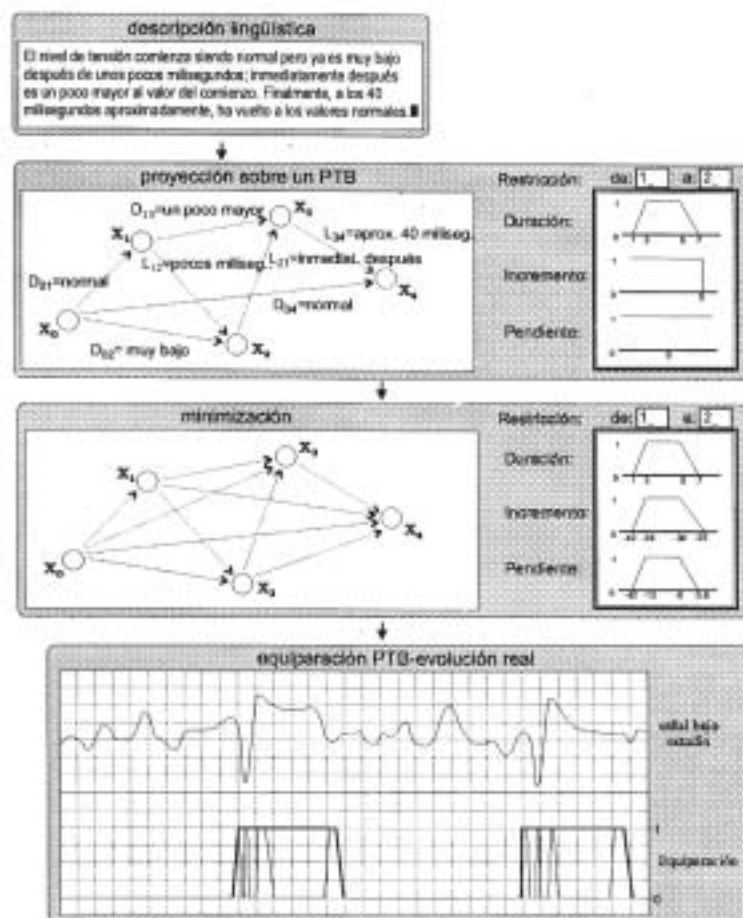


Figura 3: Ejemplo de las etapas seguidas en la aplicación del modelo de Perfiles Temporales Borrosos

desarrollado un lenguaje artificial (Felix P., *et al.*, 1999b), generalización de un trabajo previo de Barro y *col.* (Barro S., *et al.*, 1994) que permite la descripción de la evolución de un parámetro físico y su proyección en los términos que definen el modelo de PTB. Este lenguaje, basado en el metalenguaje BNF (Backus-Naur form), se integra en la estructura principal del preestándar europeo TSMI-CEN/TC251, para la representación de problemas temporales en entornos médicos informatizados (Ceusters W., *et al.*, 1997).

Implementación del Modelo de PTB en un Sistema de Supervisión Inteligente en UCIC

Por último, proponemos la implementación del modelo de Perfiles Temporales Borrosos en un agente de reconocimiento, integrado en un sistema especialista en percepción sobre señal (Fraga S., *et al.*, 1998), que a su vez forma parte de un sistema de supervisión inteligente para Unidades de Cuidados Intensivos Coronarios (UCIC). La implementación de este sistema se realiza sobre una estructura recursiva de especialistas, basada en una arquitectura de pizarra. Asimismo, se muestra la integración de la representación mediante PTB en un esquema de representación de información temporal, basado igualmente en el modelo de redes de restricciones, y que muestra el conjunto de relaciones temporales entre las distintas piezas del razonamiento: hipótesis, manifestaciones, hipótesis implicadas, ... En el trabajo se muestra cómo la apuesta por el formalismo de las redes de restricciones permite obtener una herramienta de abstracción de la información, a partir de la cual, integrar la información que procede del especialista en percepción en el proceso de razonamiento diagnóstico del sistema.

Referencias

- Allen J. "Towards a general theory of action and time" *Artificial Intelligence*, Vol. 23, 1984, pp. 123-154.
- Barro S., Marín R., Mira J., Patón A. "A model and a language for the fuzzy representation and handling of time", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 61, 1994, pp. 153-175.
- Ceusters W., Buekens F., Moor G., Bernauer J., Keyser L. y Surján G. "TSMI: a CEN/TC251 standard for time specific problems in healthcare informatics and telematics", *Int. J. Medical Informatics*, Vol. 46, 1997, pp. 87-101.
- Félix P., Fraga S., Marín R. y Barro S. "Linguistic representation of fuzzy temporal profiles", *Int. J. of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Vol. 7, No. 3, 1999, pp. 243-256.
- Félix P., Fraga S., Marín R. y Barro S. "Trend detection based on a fuzzy temporal profile model", *Artificial Intelligence on Engineering*. Vol. 13, No. 4, 1999, pp. 341-349.
- Fraga S., Félix P., Lama M., Sánchez E. y Barro S. "A proposal for a real time signal perception specialist", en *International ICSC Symposium EIS'98*, 1998, pp. 261-267.
- Félix P., Fraga S., Marín R. y Barro S. "A fuzzy linear approach to recognising signal profiles", en *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, número 1415, 1998, pp. 677-686.
- Vilain M. y Kautz H. "Constraint propagation algorithms for temporal reasoning", en *Proceedings AAAI'86*, 1986, pp. 377-382.

