



Método de predicción de ruido urbano basado en Teoría Fuzzy

Juan Luís Aguilera de Maya.
Escuela Universitaria de Gandía.
Universidad Politécnica de Valencia.
Ctra. Nazaret-Oliva, s/n. 46730 Gandía.

Introducción

Los modelos de predicción de ruido urbano clásicos, se basan en combinaciones lineales de distintas situaciones y características de la variación del ruido a evaluar, que se cuantifican de forma booleana, es decir, usando inferencias del tipo 'mayor que' o 'menor que'. Estos modelos de predicción son los que se utilizan de forma generalizada, son estándar y los podemos encontrar fácilmente en la bibliografía (2)(3)(4).

Sin embargo, están desarrollándose nuevos modelos de predicción de ruido urbano, no lineales. En este sentido, existen dos estrategias que son muy utilizadas: las redes de aproximación, y la lógica Fuzzy. La no-linealidad permite tener interacciones complejas entre las variables que definen la contaminación acústica. La aproximación por redes neuronales sigue dos estrategias para obtener un modelo de predicción de ruido. Este método ha sido estudiado por diferentes autores (5). Este artículo va a centrarse en la explicación de forma sencilla de un modelo concreto de ruido basado en Teoría Fuzzy.

Método de predicción de ruido basado en teoría Fuzzy.

El desarrollo de un método Fuzzy va acompañado necesariamente de un conocimiento total de la composición del tráfico, las características geográficas de la urbe a estudiar, y las correspondientes series de medidas de niveles de ruido. Para obtener un modelo basado en Teoría Fuzzy, las tres fases principales son:

- a) Establecer que variables se deben considerar en las premisas.
- b) Decidir el número de funciones de cada regla.
- c) Definir el polinomio-ecuación asociado con la consecuencia de cada regla Fuzzy.

Los métodos de predicción de ruido basados en Teoría Fuzzy utilizan, como ya se ha indicado, modelos no lineales, que con un buen desarrollo ofrecen unos resultados más correctos. La Teoría de lógica Fuzzy permite que a partir de una información cualitativa e imprecisa podamos obtener un resultado por un camino exacto. La lógica Fuzzy se utiliza para describir un problema real utilizando unas inferencias Fuzzy. Un cierto número de inferencias Fuzzy se utilizan para construir un algoritmo Fuzzy.

Como hemos visto, el primer paso a la hora de realizar un modelo basado en lógica Fuzzy es decidir cuáles serán las variables a 'Fuzzylizar'. En función del número de variables que elijamos aumentará la complejidad del sistema de interpolación para obtener las ecuaciones respuesta a cada combinación de inferencias. Los parámetros que podemos utilizar son los típicos de los modelos de predicción clásicos:

1. Números de vehículos. IMD. (1/h)
2. Composición del tráfico.

3. Velocidad de los vehículos.
4. Características de la zona urbana.
5. Geometría de una sección de la carretera. Relación altura/anchura.
6. Tipo de pavimento.

En el modelo que se utilizará como ejemplo para la explicación del método, se han reducido los parámetros de predicción de ruido urbano a los tres de mayor influencia:

1. Número Equivalente de Vehículos n_{eq} (1/h).
2. Altura media de los edificios h (m).
3. Anchura de la carretera w (m).

El Número Equivalente de Vehículos se define como:

$$n_{eq} = n_{coche} + c_1 n_{motos} + c_2 n_{camiones} \quad [1]$$

donde:

$$\begin{aligned} n_{coche} &\equiv \text{Número de coches que pasan por la vía en una hora (1/h)} \\ n_{motos} &\equiv \text{Número de motos que pasan por la vía en una hora (1/h)} \\ n_{camiones} &= \text{Número de camiones que pasan por la vía en una hora (1/h)} \end{aligned}$$

Los valores o pesos $c_1 = 3$ y $c_2 = 6$ son coeficientes para ponderar el mayor nivel de ruido producido por las motos y los camiones (todo tipo de vehículos pesados). Según esto, el modelo asume la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = f(n_{eq}, h, w) \quad [2]$$

Una vez tenemos clara cual va a ser la función que marque la directriz de nuestro modelo, lo primero es dedicarse a determinar las expresiones lineales a las que se llegará tras la fijación de las condiciones y las premisas Fuzzy. Un tipo de ecuación propuesta puede ser:

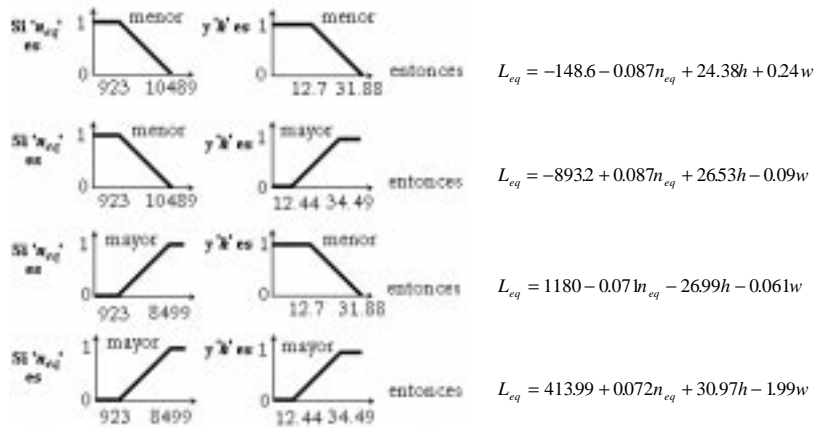
$$L_{Aeq,T} = a_0 + a_1 w + a_2 h + a_3 n_{eq} \quad [3]$$

Los esfuerzos para obtener un buen modelo, deben apuntar en la línea de determinar los parámetros o pesos a_i . Los pesos a_i son generalmente establecidos mediante los convenientes métodos de optimización. Estos pasan por conseguir que el método de interpolación adecuado que acerque los resultados de salida de las ecuaciones a las medidas tomadas previamente, minimizando el error para todos los casos posibles. En la referencia (6), se explica con más profundidad una descripción detallada de los métodos de optimización para un modelo Fuzzy.

Una vez determinados los parámetros de que va a depender el modelo, hay que establecer las premisas que fijarán las condiciones para concluir finalmente en una u otra ecuación obtenida por interpolación. Las premisas suelen ser de carácter cuantitativo con escalas semánticas de valor tipo 'menor que..' 'valor medio (entre menor que.. y mayor que..)' 'mayor que..'. Cada premisa da como respuesta una función, las funciones se diseñan de acuerdo a las características de la variable que representan. Cuando se cumplen una serie de premisas, que llamaríamos algoritmo Fuzzy, 'entonces', se aplica la ecuación-polinomio asociada de salida.

A continuación se expone un ejemplo. Este ejemplo pertenece a un estudio de la Universidad de Catania (1). Siguiendo expresiones asumidas en [1], [2] y [3] establecemos dos premisas Fuzzy llamadas *menor* y *mayor*, tanto para el Número de Vehículos Equivalente ' n_{eq} ' como para la altura de los edificios ' h '. No es necesario establecer premisas para la anchura de la carretera, sin embargo, esta última variable debe quedar considerada en las consecuencias de las reglas Fuzzy. Los valores de corte de las funciones que han de establecerse en las premisas son una pieza fundamental para el éxito del modelo. Estos valores se obtienen a partir de unos estudios experimentales preliminares que dan resultados característicos para cada localidad de cada una de las variables donde trate de implantarse el modelo.

En este ejemplo el modelo Fuzzy tiene cuatro reglas, en base a ellas se obtiene el resultado global del modelo. En la gráfica que hay a continuación podemos ver las cuatro reglas Fuzzy con sus condiciones, y una fórmula tipo, que nos dará un nivel para cada regla. La combinación de los cuatro resultados, dará el



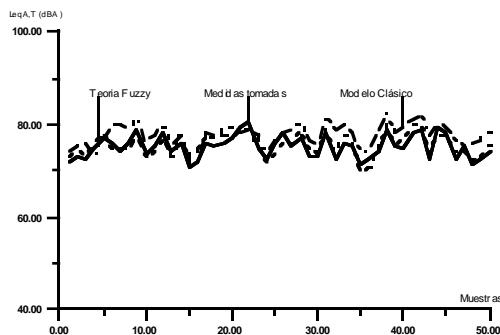
nivel final.

En la siguiente tabla se presenta un ejemplo esquemático de como obtener los resultados a partir de las premisas Fuzzy, dando a las variables $n_{eq} = 5000(1/h)$ $h = 150(m)$ $w = 30.0(m)$ unos valores:

	n_{eq} es 'small'	n_{eq} es 'large'	h es 'small'	h es 'large'	$L_{Aeq, T} = L_{Aeq, T}^i$	$L_{Aeq, T} = L_{Aeq, T}^i$
Regla 1	0.57		0.88		0.57	-211
Regla 2	0.57			0.11	0.11	-64
Regla 3		0.5	0.88		0.50	400
Regla 4		0.5		0.11	0.11	252

El valor de salida del algoritmo completo depende de las salidas de las cuatro reglas. La columna siete son

$$y = \frac{\sum_{i=1}^4 =L_{eq}^i |L_{eq} = L_{eq}^i|}{\sum_{i=1}^4 |L_{eq} = L_{eq}^i|} = 77.76 \text{ dB}$$



los valores de salida (se puede observar que los $L_{Aeq,T}^1$ obtenidos, aun siendo decibelios, no tiene ningún sentido físico y dan valores negativos), y la columna seis da los pesos aplicar a esos valores. El resultado final se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

Conclusiones

Los resultados obtenidos por el modelo Fuzzy se han contrastado con datos reales de medidas realizadas en los escenarios de las predicciones y han dado muy buenos resultados, en general, el modelo Fuzzy tiene una mayor correlación con las medidas respecto a los modelos clásicos.

Sin embargo, estos modelos son de aplicación exclusiva, es decir, están especialmente diseñados para las condiciones particulares de una ciudad (su flujo de tráfico, la distribución de sus calles, la altura media de sus edificios, etc.), por lo que mientras que el método no resulte más sencillo y más estándar, los métodos clásicos seguirán siendo imprescindibles para evaluar el ruido de tráfico y poder realizar comparativas.

Referencias

- 1) G. Cammarata, S. Cavalieri, A. Fichera, y L. Marletta 'Fuzzy logic for urban traffic noise prediction'. J.A.S.A. 98 (5), Pt. 1, Noviembre 1995.
- 1) RSL – 90. Modelo de Predicción de Ruido Urbano e Interurbano Alemán.
- 2) Modelo Danés.
- 3) Modelo Francés.
- 1) G. Cammarata, S. Cavalieri, A. Fichera, y L. Marletta, 'Noise prediction in urban traffic by a neural approach', International Workshop on Artificial Neural Networks, Iwanngs, Sitges, Barcelona, España, 9-11, Junio 1993.
- 1) S. Takagi y M. Sugemo, 'Fuzzy identifications of systems and its applications to modeling and control'. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 15(1) 116-132 (1985).