

IDENTIFICACIÓN DE CARRETERAS CONVENCIONALES MEDIANTE TÉCNICAS DE SOFT COMPUTING

Felipe Barreno Herrera

Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática. Facultad de Informática. UCM.
febarren@ucm.es

Matilde Santos

Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática. Facultad de Informática. UCM.
msantos@ucm.es

Manuel Romana

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos. UPM.
manuel.romana@upm.es

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema de identificación basado en técnicas de Soft Computing, concretamente en lógica borrosa y sistemas neuro-borrosos, para clasificación de carreteras convencionales. La variabilidad de la información de entrada y la incertidumbre generada por el solapamiento de esta información hace que la lógica borrosa sea una técnica muy adecuada para abordar este problema ya que se presentan carreteras convencionales de distinto tipo con características similares. Partiendo de datos reales de varias carreteras convencionales situadas en la Comunidad de Madrid, registrados mediante un sistema instrumental incorporado en un vehículo, se proponen varios sistemas de identificación basados en técnicas borrosas y neuro-borrosas para clasificar cada carretera bajo estudio. Los resultados obtenidos pueden resultar útiles para mejorar el confort y la seguridad en la conducción.

Palabras clave: Identificación, Lógica borrosa, Neuro-borroso, Geometría, Carretera convencional, Soft Computing.

1 INTRODUCCIÓN

El pensamiento humano codifica la información más relevante mediante términos lingüísticos que tienen una relación aproximada con los datos cuantitativos, asociándolos a percepciones y generando acciones. En este marco, la inteligencia artificial está teniendo un gran auge en la actualidad en áreas como el control automático, la identificación de sistemas, reconocimiento de patrones, etc. [6].

En este trabajo se plantea, a partir del conocimiento intuitivo de la percepción humana, la forma de distinguir diferentes tipos de carretera, y así conseguir una clasificación adecuada y automática de cada una. El objetivo final es desarrollar un sistema inteligente de cálculo de velocidad para mejorar la seguridad y el confort en la conducción [4; 7].

La actual categorización de las carreteras puede llegar a ser un problema debido a la señalética [10]. Las carreteras se clasifican atendiendo a su velocidad de proyecto, que es la velocidad aconsejada para el peor tramo de esa carretera en función del trazado. Es por lo tanto una velocidad mínima, y lo habitual será alcanzar velocidades mayores en gran parte de ella. Sin embargo, el estado de las carreteras empeora con el tiempo, y no sólo el firme, sino también otros elementos de su geometría que son los que definen el tipo de cada una.

Así, por ejemplo, dentro de una carretera pueden aparecer tramos que no tienen las características geométricas que la definen (se han reducido los arcones por construcciones, por invasión de vegetación, por variaciones en el trazado no actualizadas, ...) y no se adecuan a la velocidad de circulación aconsejada.

Por este motivo, se trata de distinguir diferentes tipos de carretera para adecuar mejor la velocidad a las características reales de cada carretera para asegurar el confort y conseguir unas condiciones de seguridad apropiadas durante la conducción.

Se ha trabajado con tres sistemas de identificación: un sistema basado en reglas borrosas, un sistema neuro-borroso y un sistema de clustering borroso.

En cuanto a la literatura sobre el tema, en [1] los autores utilizan la teoría de lógica borrosa para la identificación de las carreteras a partir de imágenes del satélite Ikonos, un satélite comercial dedicado a recoger imágenes con disponibilidad pública. En [9] se describe un algoritmo de detección de carreteras utilizando técnicas borrosas a partir de imágenes de satélite para sistemas de información geográfica. En [11] se realiza un estudio de las variables de la geometría de la carretera para control de cruceo adaptativo. En [8] los autores usan características geométricas (radio y pendiente) e información vía GPS sobre límites de velocidad para un control de cruceo de velocidad adaptativo. Pero en estos artículos las variables no son borrosas, y el objetivo es habitualmente el control de cruceo del vehículo.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta la metodología que se ha aplicado, es decir, las técnicas inteligentes que se han usado. El problema a tratar y los datos se describen en la sección 3, así como las carreteras que se van a estudiar. En la sección 4 se describen cómo se han aplicado las técnicas inteligentes en este trabajo y los resultados se discuten en la sección 5. Para terminar se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

2 METODOLOGÍA

Las principales técnicas del Soft Computing (SC), un conjunto de metodologías que proporcionan los fundamentos para el diseño, desarrollo y uso de sistemas inteligentes, son la Lógica Borrosa la Computación Evolutiva y las Redes Neuronales. Estas técnicas son complementarias entre sí, de manera que una combinación de varias de ellas permite resolver problemas de forma más eficaz y con más flexibilidad que usando éstas por separado.

En este trabajo se han usado las siguientes, que se resumen muy brevemente.

- a) Un sistema borroso basado en reglas de producción, del tipo If ... then, donde los antecedentes y consecuentes son variables lingüísticas cuyos valores quedan definidos en un lenguaje natural.
- b) Un sistema de inferencia neuro-borroso adaptativo (ANFIS) [3], que combina una red neuronal artificial y un sistema de inferencia borroso Takagi-Sugeno. Con capacidad de aprendizaje para aproximar funciones no lineales, ANFIS se caracteriza por incorporar en un mismo sistema el conocimiento de un experto formado a partir de reglas heurísticas y el conocimiento que está oculto en los datos que se obtiene a través de un proceso de aprendizaje.

- c) El agrupamiento borroso o clustering borroso, Fuzzy c-means (FCM) [2], que permite que cada dato pertenezca a varias clases con distintos grados de pertenencia. El FCM está basado en la minimización de una función objetivo.

3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las características de la carretera pueden verse modificadas por la reducción de arcones debido a la construcción, degradación o también por ampliación, expropiación, etc. Esto hace que el tipo asignado a una carretera deba cambiar a otro distinto para adecuar mejor la velocidad a las características reales de cada vía, para así asegurar el confort y conseguir unas condiciones de seguridad adecuadas durante la conducción.

Las carreteras son largas y se pueden dividir en tramos. Estos tramos pueden ser de distinto tipo al que inicialmente esté clasificada la carretera. Esto es importante porque las reglas de circulación son distintas según el tipo de carretera por la que se circule.

La clasificación de las carreteras convencionales se muestra en la Tabla 1, con la correspondencia entre los tipos de carretera tratados en este trabajo y las carreteras convencionales según la normativa vigente [5]. Algunas carreteras pertenecen a más de un tipo, por ejemplo, la C-50 (el dígito indica la velocidad de proyecto) puede ser de dos tipos, 2 y 4. El número que acompaña a la carretera es la velocidad de proyecto.

Tabla 1: Tipos de carretera y correspondencia con tramos convencionales.

Tramo	Carretera	Tipo
Interurbano	C-100	Tipo 1
	C-90	Tipo 1
Periurbano	C-80	Tipo 3
	C-70	Tipo 3
	C-60	Tipo 3
Accesibilidad	C-50	Tipo 2
	C-40	Tipo 2
Urbano	C-50	Tipo 4
	C-40	Tipo 4

Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra la carretera M-852, que se considera de dos clases: tipo 2 (accesibilidad) y tipo 3 (periurbano), según el punto kilométrico en el que se analice. Además se puede observar el distinto estado de la vía según el tramo considerado, lo que puede dificultar la identificación del tipo en ese segmento de la carretera.

Debido a estas ambigüedades se va a trabajar con tramos de carretera para asignarles alguno de los posibles tipos.



Figura 1: Carretera de accesibilidad y periurbana M-852 (2 tipos de tramos distintos).

En este trabajo se ha diseñado un sistema de identificación de carreteras desde el punto de vista urbanístico, es decir, se clasifican las carreteras convencionales que incluyen:

- Carreteras interurbanas, corresponden a Tipo 1.
- Carreteras de accesibilidad, corresponden a Tipo 2.
- Carreteras periurbanas, corresponden a Tipo 3.

3.1 GEOMETRÍA DE LA CARRETERA

Las carreteras están definidas por características geométricas que determinan que un vehículo pueda circular a distinta velocidad con un grado de comodidad y seguridad adecuado. El trazado de una carretera define cómo es la forma y el recorrido de la misma. Cuanto mayor sean las dimensiones de una carretera, más tráfico soportará y también más exigentes serán los parámetros para su trazado, es decir, el trazado se conformará con radios mayores para curvas, peralte más inclinado, etc.

El ancho de la plataforma está definido como la suma de las dimensiones (anchura) de los arcenes derecho e izquierdo y la calzada. La calzada es la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos y que se compone de cierto número de carriles. La

zona exterior de la calzada se denomina arcén o acera (si la carretera está en entorno urbano). Los arcenes no pertenecen a la calzada y por ellos no pueden circular vehículos en condiciones normales.

La pendiente de una carretera indica la inclinación de la superficie de una carretera con relación a la horizontal. El valor del ángulo que forma el plano de la carretera en sentido longitudinal con la horizontal es la pendiente.

Una curva se descompone en pequeños arcos de circunferencia. El radio de curvatura en cada punto es el radio de estos arcos. Los radios de curvatura aumentan o disminuyen gradualmente para hacer la transición a rectas y a otras curvas más suaves. El radio se relaciona con el peralte con el criterio que indica la norma [5].

3.2 DATOS DE ENTRADA

En este trabajo se utilizan los datos disponibles de los informes de cartografía sobre carreteras de la Comunidad de Madrid (Figura 2).

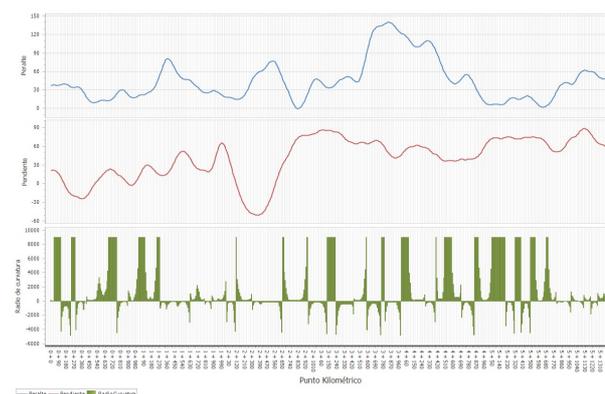


Figura 2: Algunas características geométricas de la carretera M-519.

Los datos disponibles tienen la siguiente información: tramo de carretera, punto kilométrico, número de carriles, carriles adicionales, ancho de la plataforma, anchura de la calzada y arcenes, radio de curvatura, peralte y pendiente. Cada dato está recogido cada 10 metros.

3.3 CASOS DE ESTUDIO

El trabajo se va a llevar a cabo con registros de datos de la geometría de las siguientes carreteras: M-607, M-519, M-852, M-618, M-305, M-509 y M-601.

Los tramos de una carretera están asociados a un tipo determinado, pudiendo cada una contener más de un tipo. Por ejemplo, la carretera M-607 es tipo 1; la carretera M-519 está compuesta de un tramo tipo 1, pero esta categorización es dudosa. La M-852 está

compuesta por tramos de tipo 2 y 3, y la M-618 tiene tramos tipo 1 y 3. La Tabla 2 muestra los tipos de tramo asociados por un experto a cada tramo de carretera analizada.

Tabla 2: Tipos asociados a cada tramo de carretera bajo estudio.

Carretera	Tipo	Tipo de tramo
M-607	Movilidad, Interurbana	Inicial: 1
		Final: 1
M-519	Movilidad, Interurbana	Inicial: 1
		Final: 1
M-852	Accesibilidad y periurbana	Inicial: 2
		Final: 3
M-618	Interurbana y periurbana	Inicial: 1
		Final: 3
M-305	Movilidad, Periurbana	Inicial: 3
		Final: 3
M-509	Movilidad, Interurbana	Inicial: 1
		Final: 1
M-601	Movilidad, Periurbana	Inicial: 3
		Final: 3

4 SISTEMAS INTELIGENTES PARA LA IDENTIFICACIÓN

Las posibles variables de entrada al sistema de identificación, que representan la geometría de la carretera, son las siguientes:

- Arcén derecho e izquierdo.
- Calzada.
- Ancho de la plataforma (es función de arcones y calzada, luego no se considera como variable independiente).
- Radio de curvatura.
- Peralte.
- Pendiente.

De ellas, hay variables que miden parámetros que pueden discriminar o restringir información para el sistema de identificación. Se consideran por lo tanto dos grupos de variables: de información y de restricción.

Las variables de información indican la variabilidad de la propia carretera, y las restricciones indican valores máximos y mínimos que debe tener determinada configuración “tipo” de carretera. Estas últimas no permiten discriminar el tipo de carretera en todos los casos, por lo que no se pueden usar para la identificación. Son el radio, el peralte y la pendiente. Una determinada carretera convencional puede estar construida con un radio mayor al mínimo exigible por la norma, un peralte menor al máximo y

una inclinación menor que la máxima debido a la orografía del terreno, pero estas características pueden ser adecuadas para carreteras C-40 o C-80, por ejemplo.

Por lo tanto se van a considerar como variables de entrada al sistema las de información, en concreto, los arcones derecho e izquierdo y la calzada, con los que se puede calcular la anchura total de la plataforma como la suma de ellos.

4.1 IDENTIFICACIÓN CON UN SISTEMA BASADO EN REGLAS BORROSAS

Se diseña para la identificación un sistema borroso basado en reglas de tipo Mamdani. Las entradas del sistema de inferencia borroso son las tres variables seleccionadas: arcén derecho, arcén izquierdo y la calzada. La salida es el tipo de carretera (Fig. 3).

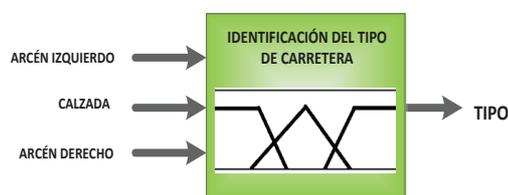


Figura 3: Sistema de identificación borroso basado en reglas.

Este sistema recibe como entrada los valores numéricos procedentes de los registros de información de cada carretera. La computación con términos lingüísticos es representada mediante funciones de pertenencia de tipo trapezoidal. A cada una de las variables de entrada -arcén izquierdo, calzada, arcén derecho- se le asigna tres valores lingüísticos: {E, Estrecho; M, Medio; A, Ancho} (Fig. 4). La salida, tipo de carretera, puede ser 1 (interurbanas), 2 (accesibilidad) y 3 (periurbanas). El valor obtenido a la salida, que puede no ser un entero, se umbraliza para la asignación de una determinada clase según su grado de pertenencia. Por ejemplo, si la salida es 1.2 se asigna a la clase de carreteras interurbanas.

El sistema de reglas borrosas que integra el conocimiento del dominio está expresado de la siguiente forma, donde vl_{ij} es el valor lingüístico j asignado a la variable i .

R: IF (entrada_1 es vl_{1j}) AND (entrada_2 es vl_{2j}) AND (entrada_3 es vl_{3j}) THEN (salida es $tipo_x$)

El planteamiento del sistema de razonamiento que se lleva a cabo tiene el siguiente criterio intuitivo:

- Tipo 1: Calzada y arcones anchos, dos o más carriles, altas velocidades.

- Tipo 2: Calzada y arcenes más estrechos que tipo 1 y tipo 3, incluso inexistentes, con uno o dos carriles. Bajas velocidades.
- Tipo 3: Arcenes más reducidos y calzadas más estrechas que tipo 1 pero no que tipo 2.

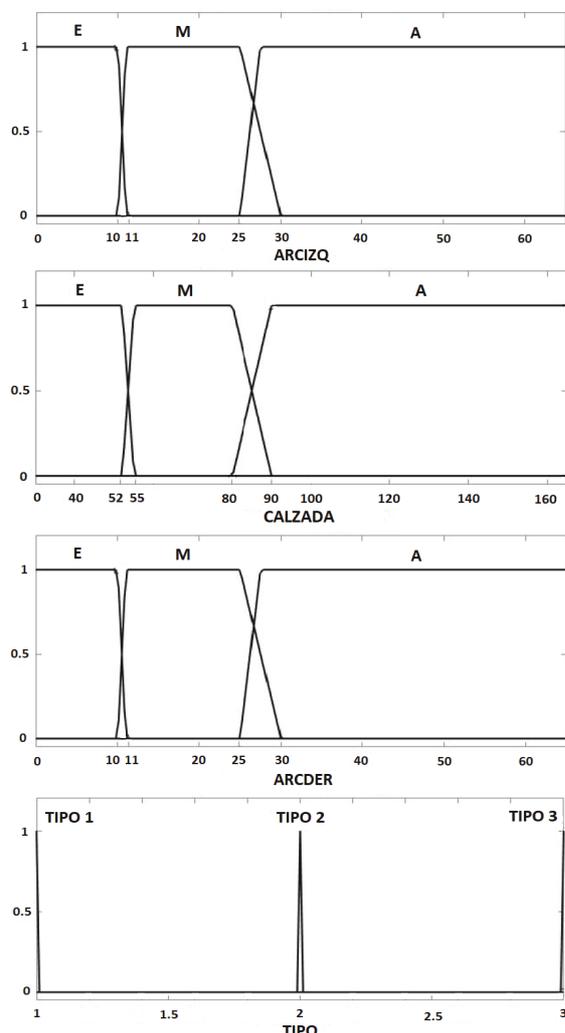


Figura 4: Funciones de pertenencia de las variables de entrada y salida.

4.2 IDENTIFICACIÓN CON SISTEMA NEURO-BORROSO

El sistema de identificación neuro-borroso propuesto en este trabajo consta de cuatro etapas: la preparación de los datos de entrada, selección de datos para entrenamiento y validación del sistema, construcción del modelo de predicción y, por último, validación del mismo e identificación de la clase. El esquema del sistema propuesto se muestra en la Figura 5.

La primera etapa elimina los datos repetidos del conjunto de entrada y/o información que es redundante ya que su procesamiento generaría un coste computacional adicional. Previamente se han dividido las muestras en las que corresponden a cada

uno de los tres tipos de carreteras. A continuación, se eliminan los datos repetidos para evitar un sobreajuste en la red neuronal.

La segunda etapa divide el conjunto de datos de entrada en dos, un conjunto de datos para entrenamiento y otro para validación. Para construir el modelo basado en ANFIS con ambos conjuntos, la selección de datos utiliza un esquema de validación cruzada con k iteraciones para la posterior etapa de validación del modelo.

La tercera etapa es la de construcción del modelo basado en los datos de entrenamiento. La última etapa es la de validación e identificación de la clase haciendo uso del conjunto de datos para validación.

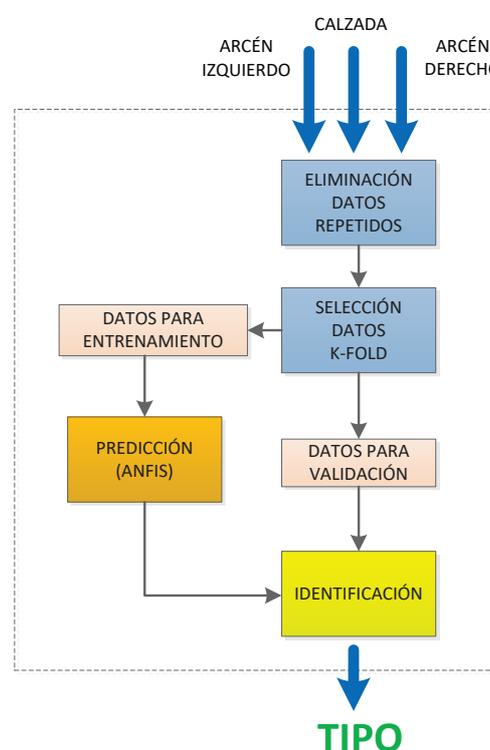


Figura 5: Sistema de identificación de carreteras empleando ANFIS.

4.3 IDENTIFICACIÓN APLICANDO CLUSTERING BORROSO

El sistema de identificación basado en clustering borroso (FCM) propuesto en este trabajo consta de cuatro etapas que coinciden con el sistema neuro-borroso, pero el bloque ANFIS es ahora sustituido por la aplicación del algoritmo de clustering FCM, donde el número de clases va a ser tres (que corresponden a los tipos de carretera).

Para clasificar cada dato se calcula la distancia Euclídea (1) a cada centroide de cada uno de los tres clústers.

$$d = \sqrt{(x_3 - c_3)^2 + (x_2 - c_2)^2 + (x_1 - c_1)^2} \quad (1)$$

Donde x_1, x_2 y x_3 son los elementos del vector de datos de entrada y c_1, c_2 y c_3 los centroides de los clústers. Cada dato se clasifica como que pertenece al grupo cuya distancia a su centroide es menor.

5 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la identificación de cada carretera bajo estudio con los sistemas implementados.

Se define una medida del rendimiento P como la proporción de muestras de una clase de tipo de carretera que han sido correctamente clasificadas sobre el total de las mismas mediante la siguiente expresión:

$$P = \left(\frac{n^\circ \text{ muestras acertadas}}{\sum \text{ total muestras}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

5.1 SISTEMA BORROSO BASADO EN REGLAS

Los resultados se muestran en la Tabla 3. La proporción mayor de datos clasificados se corresponde con el tipo de carretera asignado en teoría en 5 de los 7 tramos de carretera estudiados. Por lo tanto se distingue bien en la mayoría de casos el tipo de carretera para M-607, M-852, M-618, M-509 y M-601. Para las carreteras M-519 y M-305 hay muchos datos incorrectamente clasificados.

Tabla 3: Resultados (%) con el sistema de reglas borroso.

Carretera convencional	Inter-urbana	Accesibilidad	Peri-urbana
M-607	95.58	4.18	0.23
M-519	28.30	2.76	68.92
M-852	6.21	77.40	16.38
M-618	6.84	5.50	87.64
M-305	91.19	0	8.80
M-509	82.81	6.64	10.53
M-601	12.69	2.93	84.37

Por ejemplo, la Figura 6 muestra los tipos de carretera encontrados en la M-607. Como se observa, para la mayoría de los tramos considera que es tipo 1, pero también identifica un pequeño tramo como tipo 2 y otro como tipo 3.

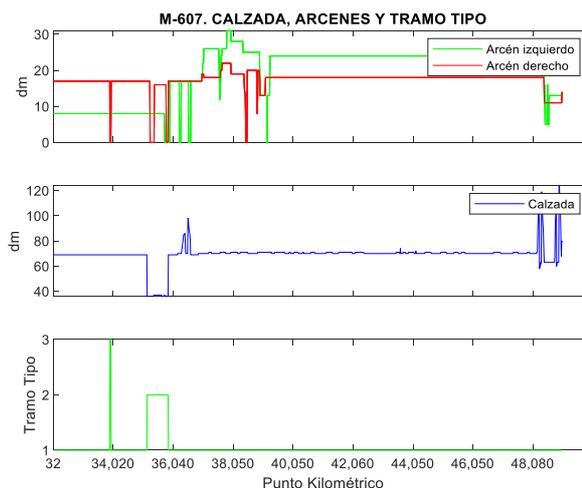


Figura 6: Tipos de tramos encontrados para la carretera M-607.

La situación para la carretera M-852 es más compleja (Fig. 7). Como se observa en esta figura, hay tramos del tipo 2 pero también del tipo 3.

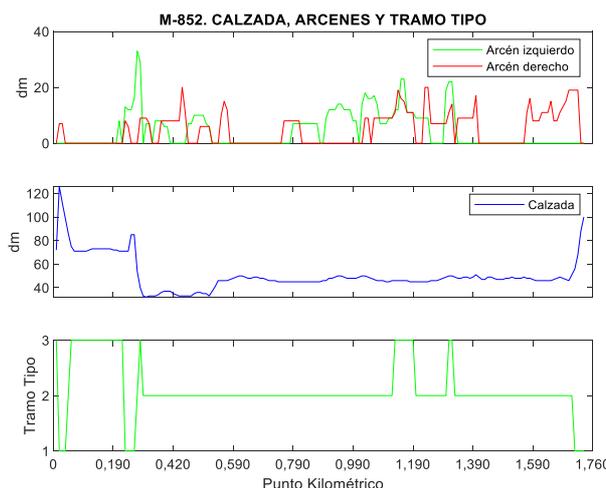


Figura 7: Representación de los tipos de tramos encontrados para la carretera M-852.

Como ejemplo de carretera mal clasificada se muestra la Fig. 8, que ha sido considerada tipo 1, siendo tipo 3.

El sistema de identificación borroso reconoce la mayoría de las clases de carretera analizadas, si atendemos al tipo categorizado de forma teórica, pero también reconoce otros tipos de carretera subyacentes dentro de un mismo tramo de carretera. Como en el caso de la Figura 8, el tramo de carretera M-305 está categorizado de forma teórica como tipo de carretera periurbana, es discutible que pertenezca a una única clase de carretera ya que su geometría tiene características de otra clase en la mayor parte del trazado analizado.

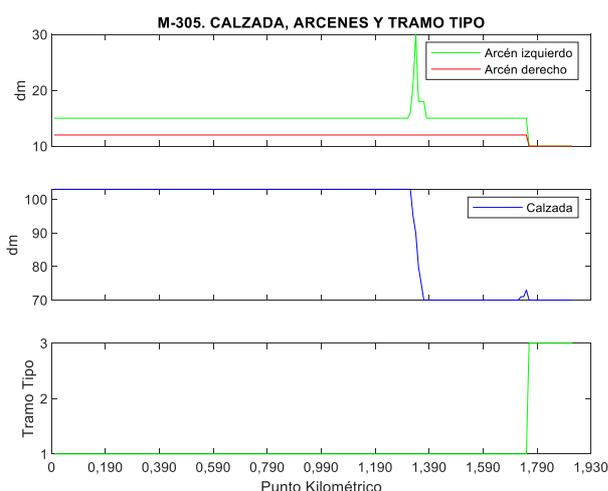


Figura 8: Representación de los tipos de tramos encontrados para la carretera M-305.

5.2 SISTEMA NEURO-BORROSO

Del mismo modo que en el caso anterior, se utiliza la medida P para evaluar la asignación del tipo de carretera con esta técnica. En la Tabla 4 se muestran los resultados. La salida se umbraliza para la asignación de cada clase según su grado de pertenencia. Se utilizó un esquema de validación cruzada k-fold con $k = 5$ y se tomó la media de las medidas obtenidas sobre las diferentes particiones.

Tabla 4: Resultados (%) obtenidos con el sistema neuro-borroso.

Carretera convencional	Inter-urbana	Accesibilidad	Peri-urbana
M-607	94.31	5.68	0
M-519	36.64	63.16	0.18
M-852	9.71	88.70	1.58
M-618	80.30	19.69	0
M-305	85.38	14.09	0.51
M-509	90.79	9.16	0.04
M-601	6.22	85.12	8.64

Analizando los resultados obtenidos (Tabla 4), el sistema de identificación borroso no reconoce los tipos de tramos teóricos en la mayoría de los casos. En otros casos también reconoce otros tipos en un mismo tramo de carretera, o se equivoca, como ocurre en parte de la M-618, M-305, M601 o M-519.

El sistema de identificación neuro-borroso no es capaz de identificar tramos de carretera tipo 3 (equivocadamente los asigna a tipo 1). Identifica bien el tramo M-607, parte de la M-509 y de la M852. Por lo tanto no se distingue el tipo de carretera para los tramos analizados con este método de identificación.

5.3 SISTEMA DE CLUSTERING BORROSO

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos con esta técnica.

Tabla 5: Resultados en % con el clustering borroso.

Carretera convencional	Inter-urbana	Accesibilidad	Peri-urbana
M-607	1.65	94.17	4.18
M-519	13.54	52.15	34.3
M-852	3.38	14.12	82.49
M-618	0.83	94.32	4.84
M-305	69.43	30.56	0
M-509	14.2	81.32	4.46
M-601	7.2	67.88	24.9

De los resultados se puede concluir que la proporción mayor de datos clasificados se corresponde con el tipo 2 en la mayoría de los casos para los tramos de carretera estudiados. Por lo tanto no se distingue el tipo de carretera para ningún tramo analizado con este método de identificación.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se ha presentado un sistema de identificación de carreteras convencionales basado en técnicas inteligentes capaz de identificar si son interurbanas, periurbanas o de accesibilidad a partir información sobre la geometría de las carreteras, obtenida a partir del inventario cartográfico de Comunidad de Madrid.

Se han propuesto tres sistemas de identificación basados en lógica borrosa: un sistema borroso basado en reglas, un sistema neuro-borroso adaptativo empleando ANFIS y, por último, un sistema basado en clustering borroso. De estos tres métodos sólo se obtiene un buen funcionamiento con el sistema borroso basado en reglas.

Como trabajos futuros se propone diseñar un recomendador de velocidad según el tipo real de la carretera. Este sistema de determinación de la velocidad puede ser aplicado para generar mapas de verificación de la señalización lateral para, por ejemplo, verificar “puntos negros” en determinados tramos de una carretera. También podría ser aplicado para generar una velocidad de referencia para el sistema de control de crucero adaptativo de un vehículo.

También sería interesante utilizar medidas de sensores embarcados en el vehículo.

Agradecimientos

Al servicio de información cartográfica de la Comunidad de Madrid por facilitar datos geométricos de las carreteras bajo estudio.

English summary

CONVENTIONAL ROAD IDENTIFICATION BY SOFT COMPUTING METHODS

Abstract

This paper presents an identification system of conventional roads based on Soft Computing techniques, mainly fuzzy logic and neuro-fuzzy systems. The variability and uncertainty of the input information makes the use of fuzzy logic a very appropriate technique to address this problem. It is a fact that conventional roads that belong to different classes presents similar features. Based on real data from several conventional roads located in the Community of Madrid, registered through an instrumented vehicle, several identification systems based on fuzzy rules, neuro-fuzzy techniques inference and fuzzy clustering are proposed to classify each road under study. The results obtained can be useful to improve comfort and driving safety.

Keywords: Identification, Fuzzy logic, Neuro-fuzzy, Road geometry, Conventional road, Soft Computing.

Referencias

- [1] Amini, J. Saradjian M.R., Blais, J.A.R., Lucas, C., Azizi, A. (2002) Automatic road-side extraction from large scale image maps, International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4, 95-107.
- [2] Bezdec, J.C. (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York.
- [3] Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, pp. 665-685.
- [4] Martín, S., Romana, M. G., Santos, M. (2016). Fuzzy model of vehicle delay to determine the level of service of two-lane roads. Expert Systems with Applications, 54, 48-60.
- [5] Ministerio de Fomento (2016). Norma 3.1- IC Trazado de Carreteras. Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero. https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/norma_31ic_trazado_orden_fom_273_2016.pdf
- [6] Santos, M. (2011). Un enfoque aplicado del control inteligente. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 8(4), 283-296.
- [7] Santos, M., & López, V. (2012). Fuzzy decision system for safety on roads. In *Handbook on Decision Making* (pp. 171-187). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [8] Achwickart, T., Voos, H., Hadji-Minaglou, J. R., Darouach, M. (2014). A novel model-predictive cruise controller for electric vehicles and energy-efficient driving. In: 2014 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics (pp. 1067-1072). IEEE.
- [9] Tuncer, O. (2007). Fully automatic road network extraction from satellite images. In: 2007 3rd Int. Conf. on Recent Advances in Space Technologies (pp. 708-714). IEEE.
- [10] Villalón-Sepúlveda, G., Torres-Torriti, M., & Flores-Calero, M. (2017). Sistema de detección de señales de tráfico para la localización de intersecciones viales y frenado anticipado. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(2), 152-162.
- [11] Yan, X., Zhang, R., Ma, J., Ma, Y. (2013). Considering variable road geometry in adaptive vehicle speed control. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 617879, 12 pages.

© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>