

XXIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



Universidad
de Jaén
Departamento de Ingeniería
Mecánica y Minera



JAÉN

20 | 20
22 | 21
OCTUBRE

Análisis y estimación de superficie basada en Mapas Auto-Organizados

Ignacio Sánchez¹, Juan M. Velasco¹, Juan J. Castillo¹, Juan A. Cabrera¹, Miguel Sánchez²

¹Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos - Universidad de Málaga (UMA)

²Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía - Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH)

Grupo de Investigación | iMMa



**Departamento de Ingeniería Mecánica,
Térmica y de Fluidos**

Escuela de Ingenierías Industriales

C/ Doctor Ortíz Ramos, s/n

29071 Málaga (España)

Telf. (+34) 951 952 372

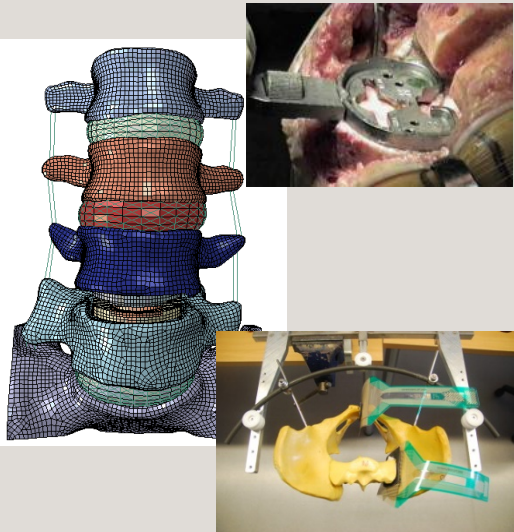
Web: <http://immf.uma.es>



Grupo de Investigación | Intereses

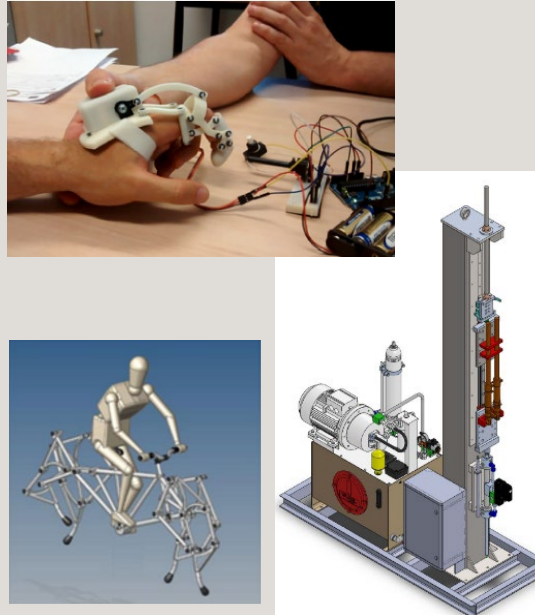
BIOMECÁNICA

- Modelado de la columna vertebral
- Prótesis de rodilla (modelado)
- Prótesis de disco vertebral



MECANISMOS / MÁQUINAS

- Diseño y simulación (WinMecC)
- Síntesis de mecanismos
- Diseño de máquinas



VEHÍCULOS

- Vehículos (neumáticos, control avanzado, vehículos eléctricos)
- Robots Móviles (RAM, AURORA)
- Ferrocarril (catenaria, pantógrafo)



Contenidos

- 1 **Introducción**
- 2 Adquisición de parámetros y procesado
- 3 Metodología de clasificación de superficies (SOM)
- 4 Experimentos y resultados
- 5 Conclusiones y trabajos futuros

Introducción



Imaginemos la siguiente situación:

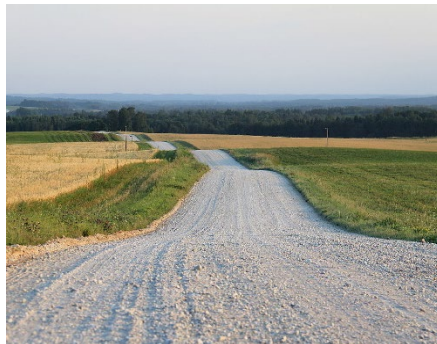
Te encuentras viajando en coche y de pronto...

Introducción

¡Cierras los ojos!

(Sólo si conduce otra persona...)

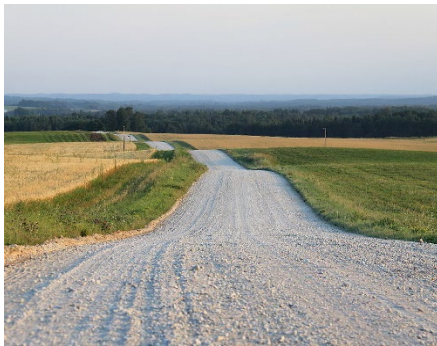
Introducción



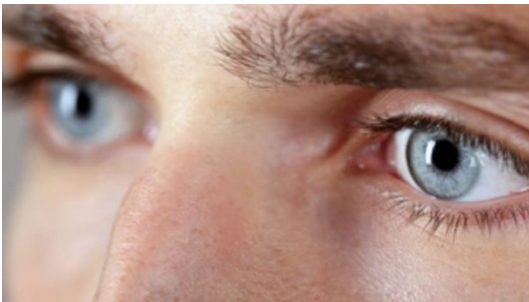
Introducción



¿Serías capaz de reconocer la superficie sobre la que estás circulando?



Introducción



¿Qué sentido utilizarías para esta tarea?

Introducción



¿Qué sentido utilizarías para esta tarea?

Introducción



¿Qué sentido utilizarías para esta tarea?



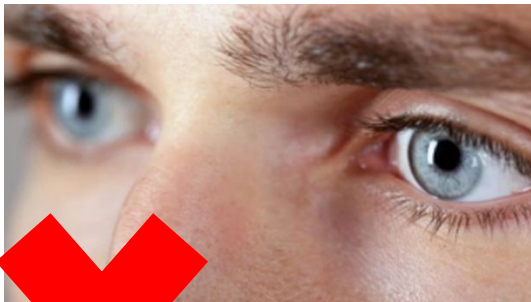
Introducción



¿Qué sentido utilizarías para esta tarea?



Introducción



¿Qué sentido utilizarías para esta tarea?



Introducción

VENTAJAS

- Conjunto de datos más pequeño que sistemas basados en imágenes.
- Menor coste que sistemas de cámaras / láser / sensores ultrasónicos.
- Modelos más sencillos y rápidos de entrenar.
- Mejor control de las interferencias que en imagen (luces) o sonido (ruidos externos).
- No requiere deslizamiento en el neumático, evita o anticipa situaciones de riesgo.

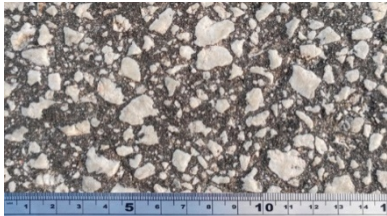
DESVENTAJAS

- Los métodos basados en imagen y sonido permiten una mayor transversalidad de uso.
- Los métodos basados en el deslizamiento pueden proporcionar una relación con la adherencia de la superficie más fiel.
- El sistema basado en la vibración tiene dificultades para diferenciar entre superficies muy similares.
- Otros sistemas son capaces de clasificar con el vehículo parado.

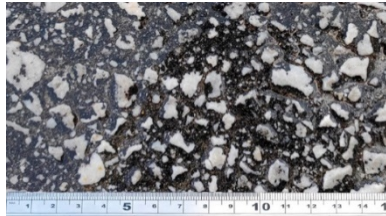
Contenidos

- 1 Introducción
- 2 **Adquisición de parámetros y procesado**
- 3 Metodología de clasificación de superficies (SOM)
- 4 Experimentos y resultados
- 5 Conclusiones y trabajos futuros

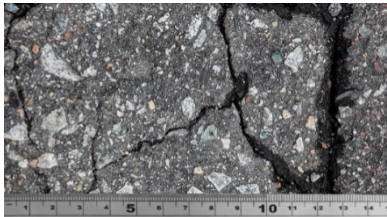
Adquisición de parámetros y procesado



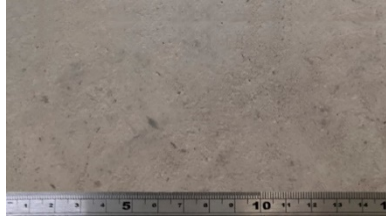
Asfalto seco



Asfalto mojado



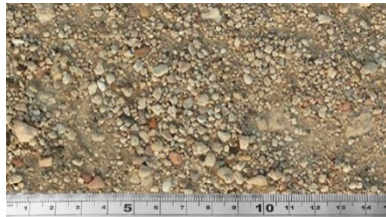
Asfalto deteriorado



Pavimento

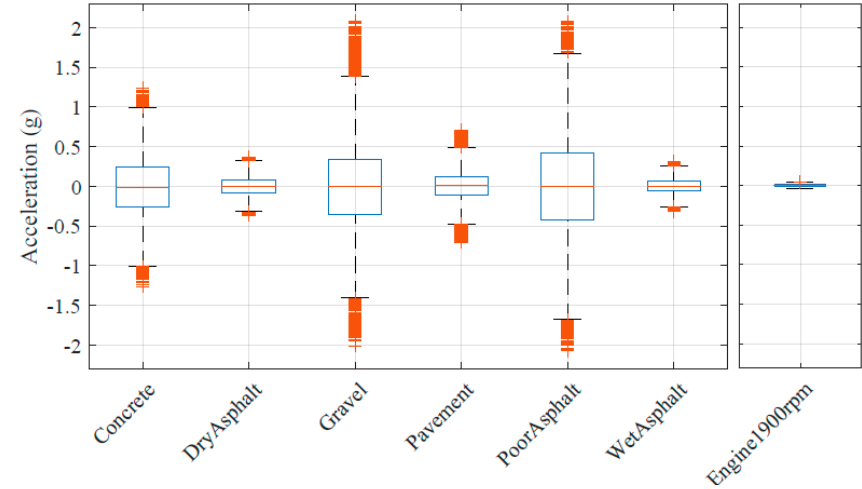


Hormigón

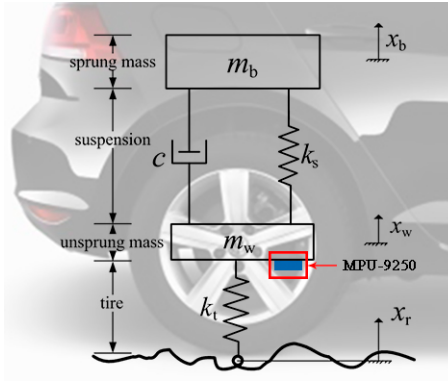
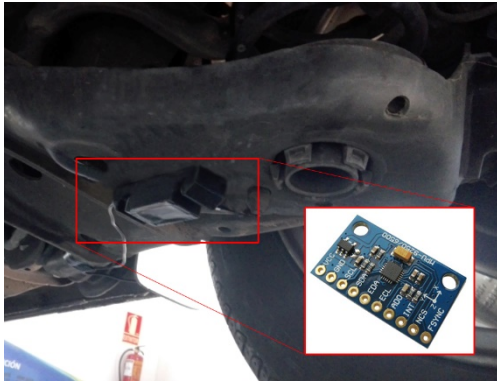


Grava

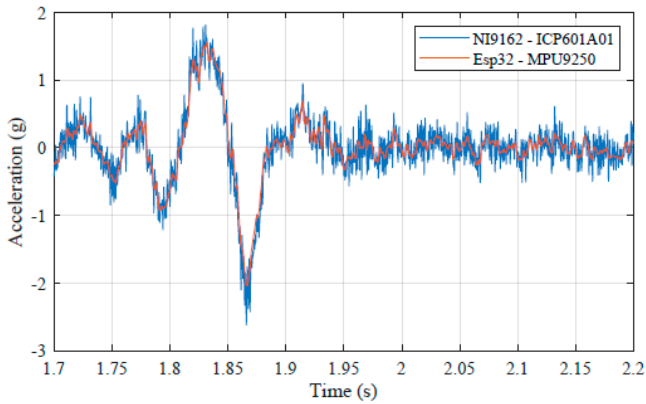
| Textura | Longitud de onda (mm) |
|---------------|-----------------------|
| Mega-Textura | 50 - 500 |
| Macro-Textura | 0.5 - 50 |
| Micro-Textura | 0.0 - 0.5 |



Adquisición de parámetros y procesado

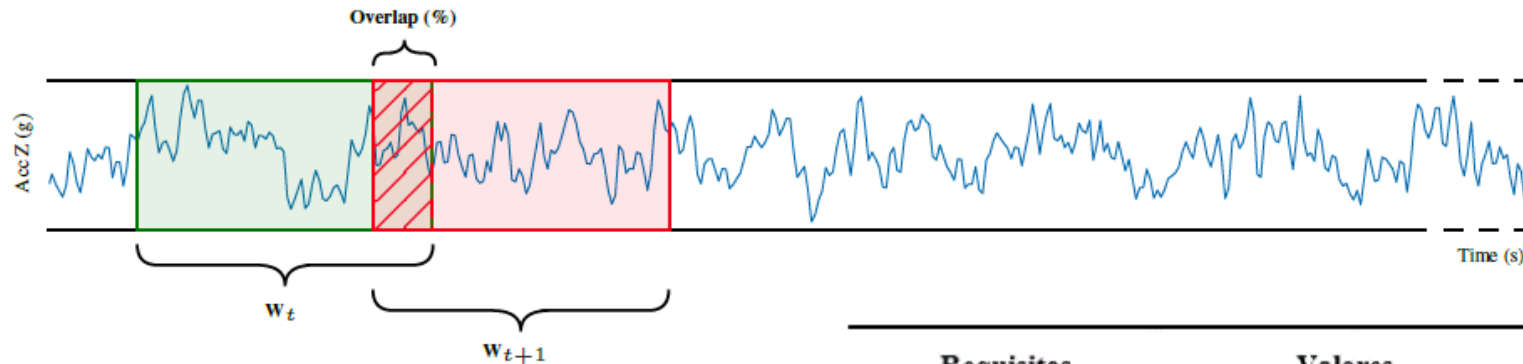


- Rango de interés: 0 - 1 kHz (Test hasta 10 kHz)
- Sistema de adquisición: 1 kHz (máx.)
- Amplitud: ± 4 G
- Comunicación (ISR Timing)



Test de validación

Adquisición de parámetros y procesado



| Requisitos | Valores |
|-----------------------|------------------------------|
| Velocidad | 50±3 km/h |
| Presión del neumático | 2.2±0.1 bar |
| Carga del vehículo | 2 ocupantes / depósito lleno |
| Carretera | Secciones rectas |

Grabación

Condiciones de ensayo fijas

**Procesado /
Segmentación**

Limpieza de señal (datos espurios, componentes continuas), creación de ventanas...

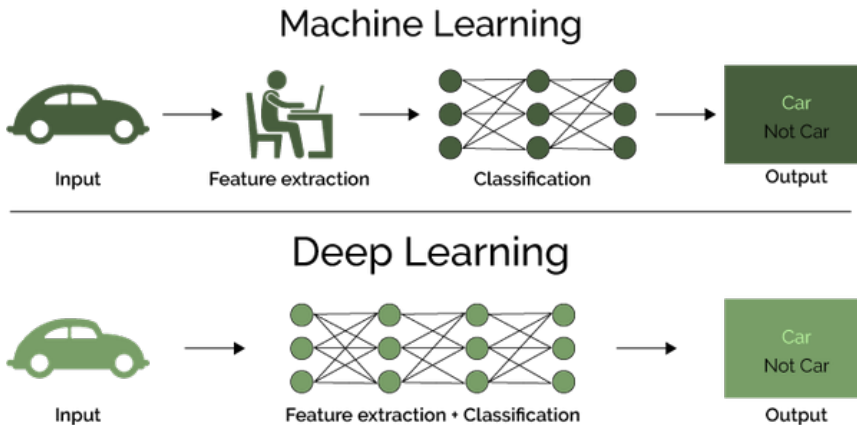
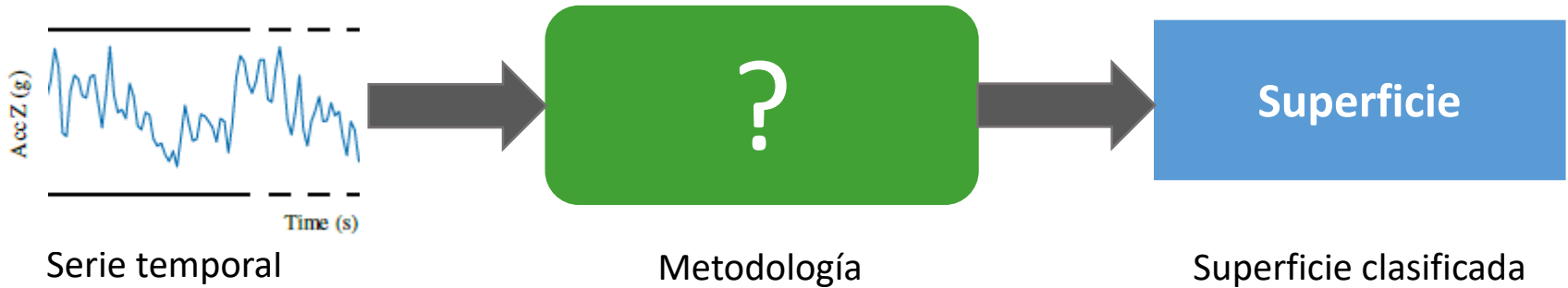
**Extracción de
características**

Extracción de parámetros de la señal, normalización...

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Adquisición de parámetros y procesado
- 3 Metodología de clasificación de superficies (SOM)**
- 4 Experimentos y resultados
- 5 Conclusiones y trabajos futuros

Metodología de clasificación (SOM)



- Machine Learning
- Extracción de parámetros
- Algoritmo de clasificación (SOM)
- Preparación de datos
- Ajuste de parámetros de entrenamiento

Metodología de clasificación (SOM)

Extracción y selección de parámetros más representativos.

Selección apoyada con algoritmo Máxima Relevancia Mínima Redundancia (MRMR).

| Dominio del Tiempo | | | Dominio de la Frecuencia | | |
|--------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------------|--|
| Param. | Nombre | Definición | Param. | Nombre | Definición |
| $p_t(1)$ | Desviación estándar | $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i - \mu ^2}$ | $p_{fa}(1)$ | Media | $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i)$ |
| $p_t(2)$ | Varianza | $\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i - \mu ^2$ | $p_{fa}(2)$ | Raíz cuadrada media | $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i^2 A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}}$ |
| $p_t(3)$ | Raíz cuadrada media | $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2}$ | $p_{fa}(3)$ | Desviación estándar | $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - \mu_f)^2 A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}}$ |
| $p_t(4)$ | Amplitud de raíz cuadrada | $\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{ x_i }\right)^2$ | $p_{fa}(4)$ | Centro | $\frac{\sum_{i=1}^n (f_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$ |
| $p_t(5)$ | Máximo | $\max(x_i)$ | $p_{fp}(1)$ | Media | $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i)$ |
| $p_t(6)$ | Asimetría | $\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}\right)^3}$ | $p_{fp}(2)$ | Máximo | $\max(P_i)$ |
| $p_t(7)$ | Curtosis | $\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}\right)^2}$ | $p_{fp}(3)$ | Raíz cuadrada media | $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i)^2}$ |
| $p_t(8)$ | Factor de cresta | $\frac{p_{t5}}{p_{t4}}$ | $p_{fp}(4)$ | Amplitud de raíz cuadrada | $\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{ P_i }\right)^2$ |
| $p_t(9)$ | Factor de limpieza | $\frac{p_{t5}}{p_{t3}}$ | $p_{fp}(5)$ | Desviación estándar | $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n P_i - \mu_p ^2}$ |
| $p_t(10)$ | Factor de forma | $\frac{p_{t4}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i }$ | | | |
| $p_t(11)$ | Impulso | $\frac{p_{t5}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i }$ | | | |

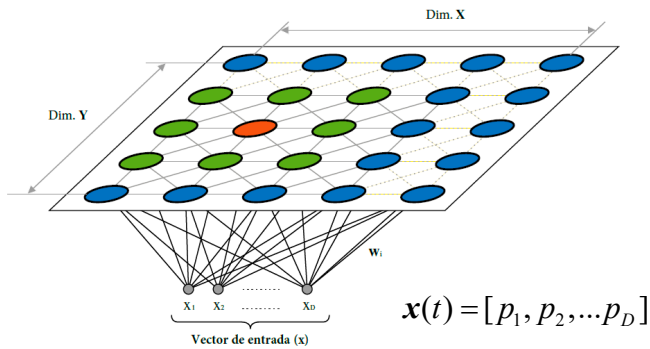
$$\mathbf{x}(t) = [p_t(1), p_t(2), p_t(3), p_t(4), p_t(5), p_{fa}(1), p_{fp}(1), p_{fp}(2), p_{fp}(3), p_{fp}(4)]$$

Metodología de clasificación (SOM)

Etapa 1. Aprendizaje No Supervisado

Mapas Auto-Organizados (SOM) (Teuvo Kohonen - 1982)

Fase competitiva:



$$r_{BMU}(\mathbf{x}(t)) = \arg \min_{i \in \{1, \dots, N\}} \|\mathbf{x}(t) - \boldsymbol{\omega}_i(t)\|$$

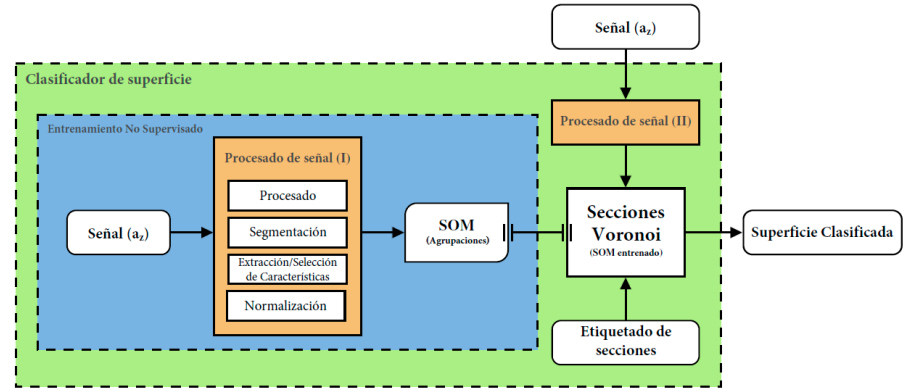
Fase cooperativa:

$$\boldsymbol{\omega}_i(t+1) = \boldsymbol{\omega}_i(t) + \alpha(t) \cdot \mathbf{h}_{BMU,i}(t) \cdot (\mathbf{x}(t) - \boldsymbol{\omega}_i(t))$$

Etapa 2. Clasificación de superficie

Segmentación SOM - Diagramas de Voronoi (Voronoi - 1908)

Etiquetado de secciones generadas:



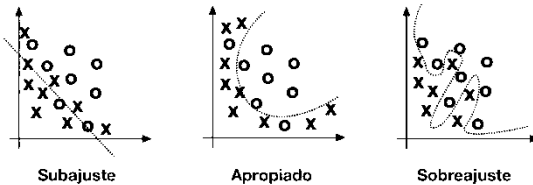
Clasificación de nuevos datos de entrada

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Adquisición de parámetros y procesado
- 3 Metodología de clasificación de superficies (SOM)
- 4 Experimentos y resultados**
- 5 Conclusiones y trabajos futuros

Experimentos y resultados

Medidas contra el Sobreajuste (**Overfitting**):



Software empleado:

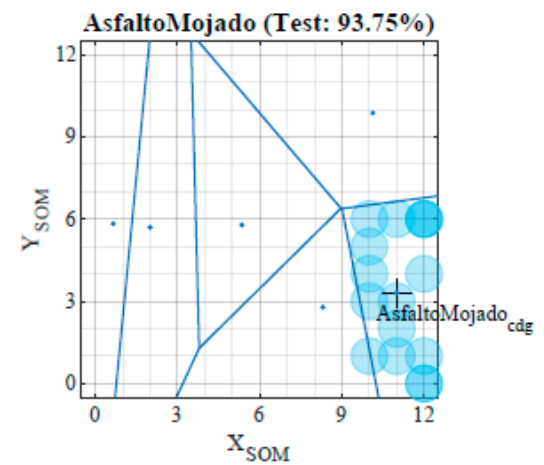
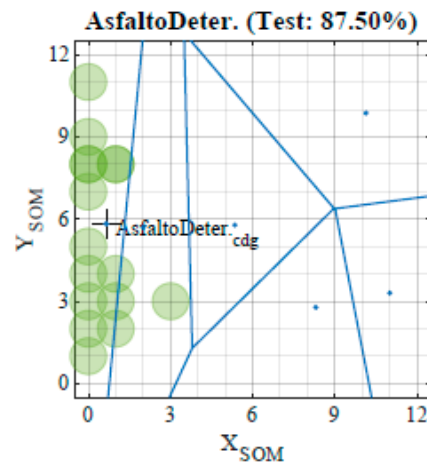
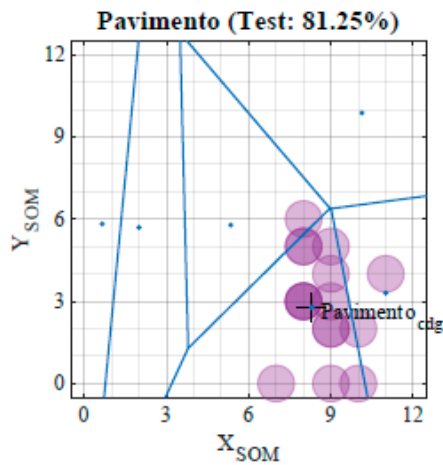
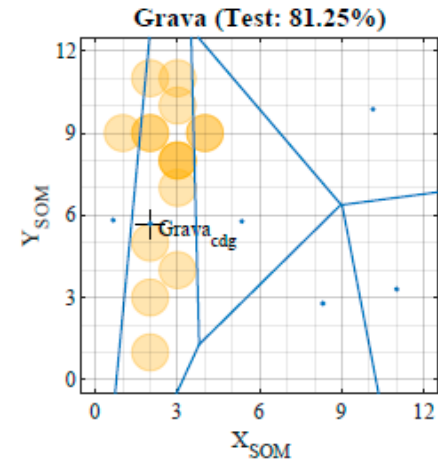
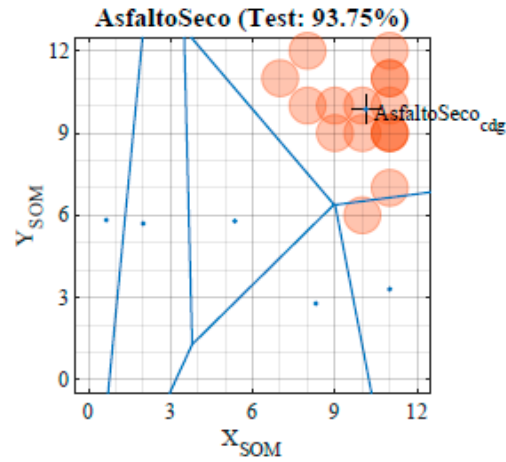
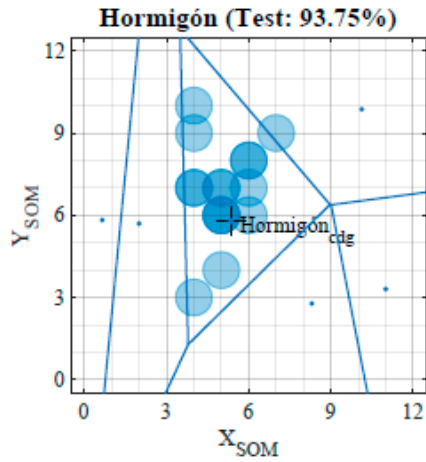


- **Datasets balanceados** para cada superficie:
 - 10 parámetros característicos
 - 234 segmentos (6 superficies)
 - Separación de datos:
 - 60 % Entrenamiento
 - 10 % Validación
 - 30 % Test
- Muestras de superficie **seleccionadas al azar** para mejorar la generalización del modelo en las fases de entrenamiento, validación y test final.

Condiciones de entrenamiento:

- Tiempo de ventana: 0,2 s
- Dimensión mapa: 13x13
- Vecinos iniciales: 13
- Tipología de mapa: 'hextop'
- Función de distancia: 'linkdist'
- Nº de iteraciones máx.: 250
- Ratio de aprendizaje: 0.01
- Ejecución: CPU

Experimentos y resultados



Experimentos y resultados

| | | | | | | | |
|-----------------|---------------|----------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------|
| Superficie Real | Hormigón | 93.8% | 6.3% | | | | |
| | AsfaltoSeco | | 93.8% | | | 6.3% | |
| | Grava | 12.5% | | 81.3% | | 6.3% | |
| | Pavimento | 6.3% | | | 81.3% | 12.5% | |
| | AsfaltoDeter. | | | 12.5% | | 87.5% | |
| | AsfaltoMojado | | | | 6.3% | 93.8% | |
| | | Hormigón | AsfaltoSeco | Grava | Pavimento | AsfaltoDet. | AsfaltoMojado |

Predicción de Superficie

Ratio de clasificación superior al 80 % en todas las superficies, **resultado promedio del 88,5 %**.

Comparativa con otros algoritmos de Clasificación:
Clasificación (%) – Tiempo ejecución (ms)

| Clasificadores | Fase de entrenamiento | | Fase de Test | | Ratio ejecución |
|---------------------------------|-----------------------|--|---------------|--|-----------------|
| | Precisión (%) | Tiempo ejecución (s) (138 entradas) | Precisión (%) | Tiempo ejecución (ms) (96 entradas) | |
| Modelo SOM | 83.33 | 1.69 | 88.54 | 3.20 | - |
| Árbol de decisión | 76.30 | 1.21 | 88.54 | 5.33 | 1.67 |
| Discriminante (Linear) | 87.92 | 0.83 | 91.67 | 7.51 | 2.35 |
| Discriminante (Cuadrático) | 81.10 | 0.76 | 92.71 | 10.22 | 3.19 |
| Naive-Bayes (Gausiano) | 79.70 | 0.61 | 89.58 | 8.17 | 2.55 |
| Naive-Bayes (Núcleo) | 79.35 | 1.70 | 88.54 | 57.25 | 17.89 |
| SVM (Linear) | 82.78 | 1.51 | 88.54 | 26.74 | 8.36 |
| SVM (Cuadrático) | 80.06 | 2.41 | 92.71 | 28.24 | 8.82 |
| SVM (Gausiano) | 81.42 | 1.58 | 85.42 | 42.25 | 13.20 |
| KNN | 76.70 | 1.17 | 84.38 | 9.60 | 3.00 |
| KNN (Coseno) | 73.36 | 1.94 | 76.04 | 11.96 | 3.74 |
| KNN (Ponderado) | 77.48 | 1.83 | 88.54 | 11.25 | 3.52 |
| Árboles de decisión (Agrupados) | 82.40 | 3.03 | 90.63 | 46.83 | 14.63 |
| Discriminante (Subespacio) | 83.88 | 2.22 | 91.67 | 72.18 | 22.56 |
| KNN (Subespacio) | 78.97 | 2.17 | 85.42 | 88.32 | 27.60 |

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Adquisición de parámetros y procesado
- 3 Metodología de clasificación de superficies (SOM)
- 4 Experimentos y resultados
- 5 **Conclusiones y trabajos futuros**

Conclusiones y trabajos futuros

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado un sistema para clasificación de superficie económico y sencillo.
- El sistema logra un ratio promedio de clasificación del 88,5%.
- Se logran cotas de clasificación y tiempo de ejecución similares o mejores a otros algoritmos.
- Respuesta estable del sistema con clusters bien agrupados y delimitados. Respuesta coherente en casos difíciles de clasificar.

TRABAJOS FUTUROS

- Aumentar la base de datos:
 - Más superficies
 - Mayor tiempo de ensayo
 - Diferentes velocidades
- Búsqueda de nuevas arquitecturas de red más eficientes.
- Validar el modelo en pruebas con diferentes tipos de vehículos.
- En un futuro próximo, mediante fusión de datos, lograr estimar o correlacionar el Coeficiente de Adherencia (μ) de superficie.

Gracias por su atención

Análisis y estimación de superficie basada en Mapas Auto-Organizados

Ignacio Sánchez | nsanchez@uma.es