

Trabajo Final de Grado

Diseño e implementación de un clasificador de tipos de movimientos humanos mediante sensores inerciales

Autor: Javier López Iniesta Díaz del Campo.

Tutor: Manuel Gil Martín.

15 de Junio de 2021

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

Grado en Tecnologías y Servicios de la Telecomunicación

Tabla de contenidos

1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

Deep Learning

- ▶ Human Activity Recognition (HAR).
- ▶ Controlar, analizar y modelar el movimiento humano.
- ▶ Datos recogidos a partir de diferentes sensores.

- **Desarrollar un módulo inicial para clasificar tipos de movimiento humano.**

Objetivos específicos:

- Características de los tipos de movimiento en función de la energía.
- Técnicas de procesamiento de señales.
- Redes neuronales con el propósito de extraer características de las señales y clasificar el tipo de actividad.
- Módulo clasificador de tipos de movimientos

- Desarrollar un módulo inicial para clasificar tipos de movimiento humano.

Objetivos específicos:

- Características de los tipos de movimiento en función de la energía.
- Técnicas de procesamiento de señales.
- Redes neuronales con el propósito de extraer características de las señales y clasificar el tipo de actividad.
- Módulo clasificador de tipos de movimientos

- Desarrollar un módulo inicial para clasificar tipos de movimiento humano.

Objetivos específicos:

- Características de los tipos de movimiento en función de la energía.
- Técnicas de procesamiento de señales.
- Redes neuronales con el propósito de extraer características de las señales y clasificar el tipo de actividad.
- Módulo clasificador de tipos de movimientos

- Desarrollar un módulo inicial para clasificar tipos de movimiento humano.

Objetivos específicos:

- Características de los tipos de movimiento en función de la energía.
- Técnicas de procesamiento de señales.
- Redes neuronales con el propósito de extraer características de las señales y clasificar el tipo de actividad.
- Módulo clasificador de tipos de movimientos

- Desarrollar un módulo inicial para clasificar tipos de movimiento humano.

Objetivos específicos:

- Características de los tipos de movimiento en función de la energía.
- Técnicas de procesamiento de señales.
- Redes neuronales con el propósito de extraer características de las señales y clasificar el tipo de actividad.
- Módulo clasificador de tipos de movimientos

Módulo completo del clasificador de movimientos

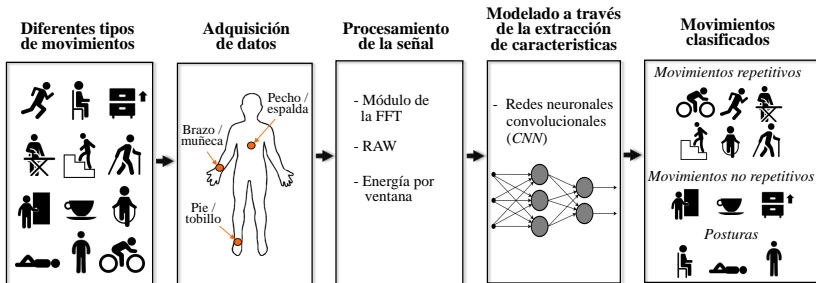


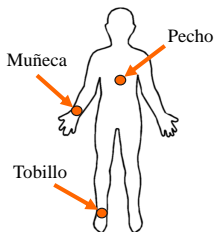
Tabla de contenidos

1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

Recolección de datos

- 3 IMUs y un monitor de frecuencia cardiaca.
- Frecuencia de muestreo: 100 Hz.
- 9 sujetos.
- 10 horas de datos.

Ubicación sensores:



Protocolo de 12 actividades:

- Tumbado.
- Sentado.
- De pie.
- Caminar.
- Correr.
- Ciclismo.
- Marcha nórdica.
- Subir escaleras.
- Bajar escaleras.
- Pasar la aspiradora.
- Planchar.
- Saltar a la comba.

OPPORTUNITY

- 72 sensores integrados en el entorno, objetos y cuerpo.
- Frecuencia de muestreo: 32 Hz.
- 4 sujetos.
- Actividades grabadas en un entorno que simulaba un estudio con cocina y salida al exterior.
- Se realizaban 20 repeticiones de una secuencia de actividades predefinidas.
- 25 horas de datos.

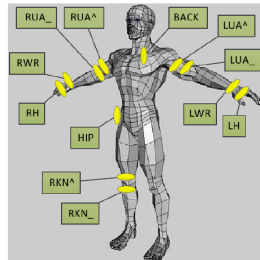
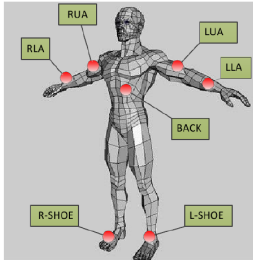


Tabla de contenidos

1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

- ▶ Acondicionamiento de la señal.
- ▶ Segmentación de las muestras en ventanas.
- ▶ Interpolación en OPPORTUNITY.

Técnicas de procesamiento de señales:

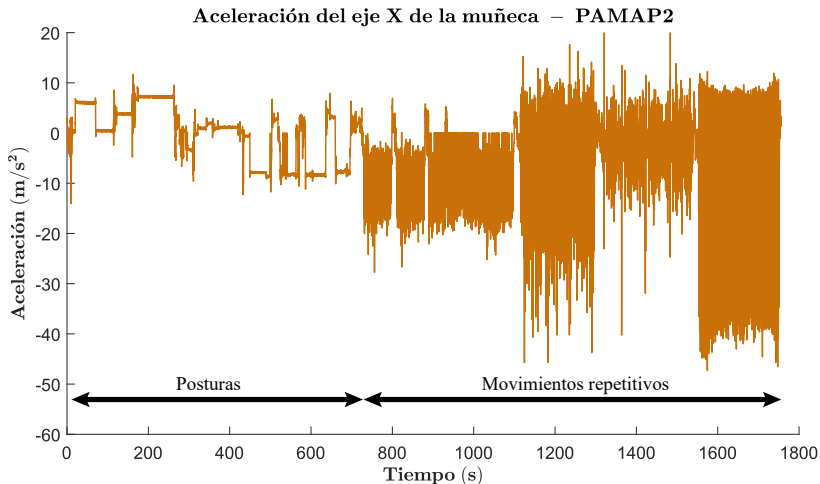
- Datos sin preprocesamiento (Raw).
- Módulo de la FFT.

- ▶ Acondicionamiento de la señal.
- ▶ Segmentación de las muestras en ventanas.
- ▶ Interpolación en OPPORTUNITY.

Técnicas de procesamiento de señales:

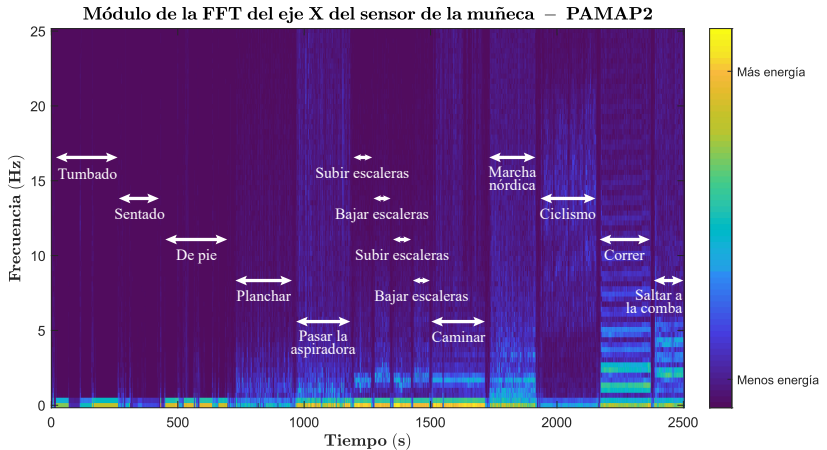
- Datos sin preprocesamiento (Raw).
- Módulo de la FFT.

- Sin ninguna transformación a las señales originales.



Módulo de la FFT

- ▶ Actividades humanas → Energía en bajas frecuencias
- ▶ Periodicidad en movimientos repetitivos.



1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

Tipología de movimientos de actividad física:

- ▶ Movimientos.

- Movimientos repetitivos.

- Movimientos no repetitivos (gestos).

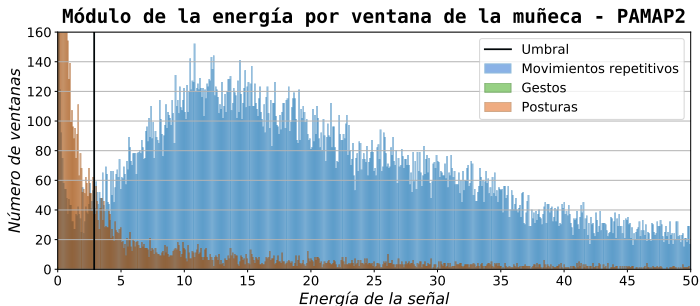
- ▶ Posturas.

- ▶ Energía de todas las actividades.
- ▶ Con ventanas de las señales sin preprocesamiento (Raw).
- ▶ 3 coordenadas (x, y, z) de los acelerómetros.

$$|E| = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F \left| \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \right|^2$$

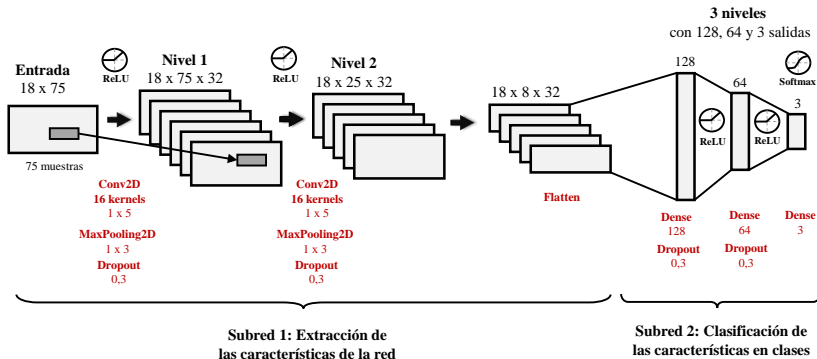
Histogramas y umbral de energía

- Análisis estadístico de la energía por ventana de cada sensor.
- Histogramas.
- Umbral de energía.



1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

- ▶ Redes neuronales convolucionales (CNN).
- ▶ Optimización de la red neuronal.



1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

Métricas de evaluación

- ▶ LOSO (*Leave One Subject Out*) con “n-fold cross-validation”.
- ▶ Resultados de validación → Optimización de la red neuronal.
- ▶ Resultados de test → Resultados finales.

	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
<i>Iteración 1</i>	Test	Validación	Entrenamiento	Entrenamiento
<i>Iteración 2</i>	Entrenamiento	Test	Validación	Entrenamiento
<i>Iteración 3</i>	Entrenamiento	Entrenamiento	Test	Validación
<i>Iteración 4</i>	Validación	Entrenamiento	Entrenamiento	Test

- Módulo clasificador entre movimientos repetitivos y posturas.

Sensores utilizados: Acelerómetros y giróscopos de la muñeca, pecho y tobillo		
Datos de entrada	Tasa de test (%)	Tasa de validación (%)
FFT	96,02 \pm 0,13	96,32 \pm 0,12
Raw	94,40 \pm 0,16	95,14 \pm 0,14
Energía	92,08 \pm 0,19	91,54 \pm 0,18

Sistema de clasificación de actividades finales (I)



- Tasa de test: $87,83 \pm 0,23 \%$.
- Tasa de validación: $87,96 \pm 0,21 \%$.

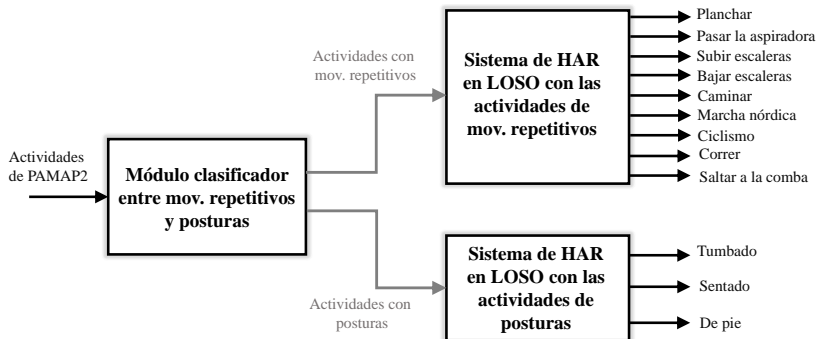
Matriz de confusión de test del sistema de HAR con todas las actividades

► Evitar esta confusión por tipologías.

Matriz de confusión del sistema de HAR con todas las actividades - PAMAP2

Tumbado	7193	23	271	0	0	1	0	7	0	99	107	0
Sentado	14	5471	1359	4	0	24	25	9	5	98	394	5
De pie	0	563	6422	1	0	13	2	27	8	38	516	8
Caminar	0	0	230	9121	0	0	37	27	39	24	65	8
Correr	12	20	126	26	3608	4	1	14	35	18	41	16
Ciclismo	0	15	70	0	1	6198	2	0	92	95	110	2
Marcha nórdica	0	72	80	446	3	4	6781	4	7	31	91	6
Sub. escaleras	2	26	327	128	12	0	0	3833	188	21	136	16
Baj. escaleras	1	49	330	162	19	44	11	237	2837	83	170	258
Pasar la aspiradora	32	24	163	2	0	9	9	37	42	6301	396	0
Planchar	0	93	357	0	0	4	1	1	0	271	8814	7
Saltar a la comba	0	37	60	72	0	0	5	1	58	3	52	1677
	Tumbado	Sentado	De pie	Caminar	Correr	Ciclismo	Marcha nórdica	Sub. escaleras	Baj. escaleras	Pasar la aspiradora	Planchar	Saltar a la comba

Sistema de clasificación de actividades finales (II)

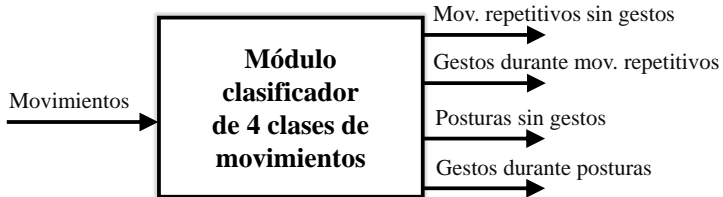


Subsistema	Tasa de test (%)
Modulo clasificador de tipos de movimientos	96,02 ± 0,13
Sistema de HAR con las act. de mov. rep	92,41 ± 0,22
Sistema de HAR con las act. de posturas	90,38 ± 0,38
Tasa final tras optimizar:	88,16 ± 0,38

Sistema de clasificación de actividades finales (III)

Estrategia	Tasa de test (%)
Clasificando las 12 actividades directamente	$87,83 \pm 0,23$
Utilizar módulo clasificador de tipos de movimientos combinado con sistemas de HAR	$88,16 \pm 0,38$

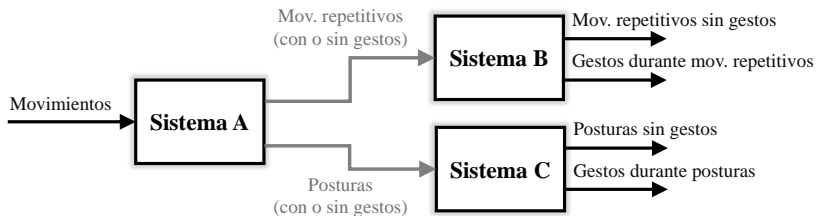
Experimentos en OPPORTUNITY (I)



Sensores utilizados: Acelerómetros y giróscopos de la mano, espalda y pie

Datos de entrada	Tasa de test (%)	Tasa de validación (%)
FFT	73,81 ± 0,30	74,56 ± 0,30
Raw	63,67 ± 0,33	64,09 ± 0,33
Energía	69,19 ± 0,32	69,87 ± 0,32

Experimentos en OPPORTUNITY (II)



Sistema	Tasa de test (%)
A	93,35 ± 0,17
B	91,59 ± 0,37
C	79,81 ± 0,33
Tasa final tras optimizar:	77,47 ± 0,46

Experimentos en OPPORTUNITY (III)

Estrategia	Tasa de test (%)
Módulo clasificador de cuatro tipos de movimientos	$73,81 \pm 0,30$
Módulo clasificador realizado en dos pasos	$77,47 \pm 0,46$

Tabla de contenidos

1. Introducción
2. Descripción de las bases de datos
3. Procesamiento de la señal
4. Análisis por tipos de movimientos
5. Deep Learning
6. Experimentos
7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

- Mejor técnica para clasificar tipos de movimientos: Módulo de la FFT.
- En PAMAP2 módulo clasificador de tipos de movimientos con tasa de test del $96,02 \pm 0,13 \%$.
- Tasas similares en PAMAP2 utilizando el módulo clasificador con respecto a clasificar las actividades finales directamente.
- En OPPORTUNITY utilizando un módulo clasificador en 2 pasos \rightarrow Mejora del $3,66 \%$

- Longitud de la ventana como parámetro de optimización.
- Replantear la tipología de movimiento.
- Utilizar más sensores de diferentes localizaciones
- Aumentar el número de sujetos y bases de datos utilizadas.

¡Muchas gracias por su atención!

¿Alguna pregunta?

Javier López Iniesta Díaz del Campo
javier.lopeziniesta.diazdelcampo@alumnos.upm.es