

TESIS DOCTORAL

Procesamiento de Señales de Sensores Magnéticos e Inerciales para la Monitorización del Movimiento del Cuerpo Humano

Doctorando:

Alberto Olivares Vicente

Directores:

Dr. Juan Manuel Górriz Sáez

Dr. Javier Ramírez Pérez de Inestrosa

Dr. Gonzalo Olivares Ruiz



ÍNDICE

- Introducción.
- Instrumentación y Herramientas.
- Calibración.
- Detección de la Intensidad del Movimiento.
- Estimación de la Orientación de un Cuerpo en el Espacio.
- Aplicaciones del Sistema.
- Conclusiones.

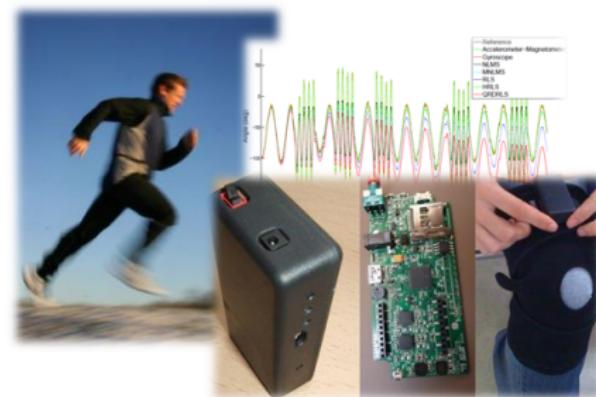
INTRODUCCIÓN → GENERAL

↳ Monitorización de la posición y el movimiento del cuerpo humano.

- ▶ Campo en auge.
- ▶ Gran importancia en múltiples campos.

↳ NÚCLEO PRINCIPAL: Sistema completo basado en sensores inerciales y magnéticos.

- ▶ Calibración sensores.
- ▶ Estimación orientación.
- ▶ Determinación intensidad movimiento.



INTRODUCCIÓN → MOTIVACIÓN

Motivaciones iniciales:

- ▶ Rehabitic: Telerehabilitación.
- ▶ AmiVital: Inteligencia Ambiental.
- ▶ Mejora de sistemas existentes.

Motivaciones principales:

- ▶ Mejora de la calidad de vida de pacientes.
- ▶ Versatilidad del sistema (amplio campo de aplicaciones).



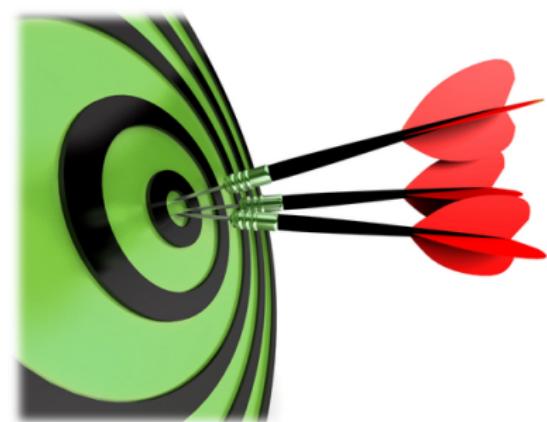
INTRODUCCIÓN → OBJETIVOS

↳ Calibración:

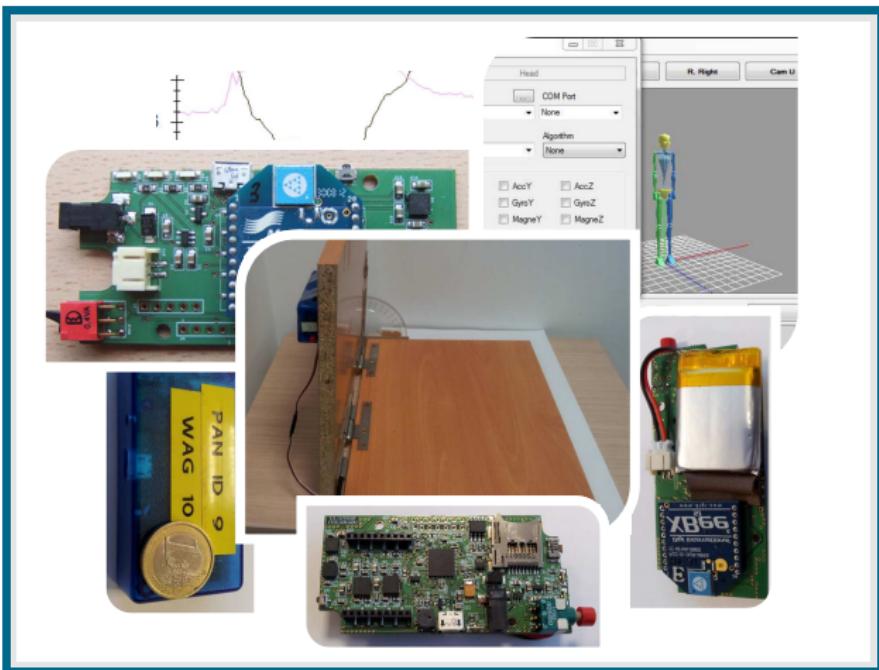
- ▶ Estudio estado del arte riguroso.
- ▶ Estudio comparativo de precisión.
- ▶ Proponer algoritmos sin instrumentación compleja.

↳ Estimación de la orientación y la posición:

- ▶ Estudio estado del arte riguroso.
- ▶ Estudio comparativo de precisión. Distintas intensidades.
- ▶ Proponer algoritmos con parámetros dinámicos.

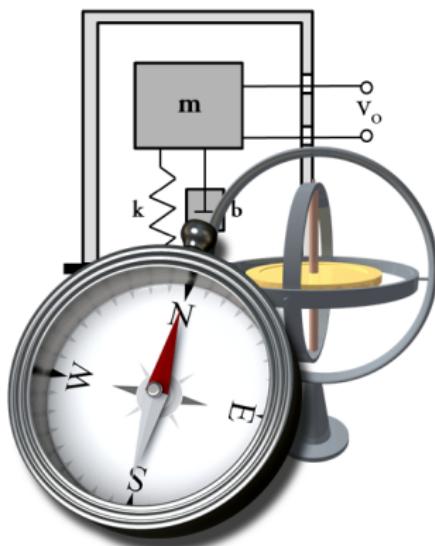


INSTRUMENTACIÓN



SELECCIÓN DE SENSORES

- ▶ Movimiento del cuerpo humano. Rotaciones alrededor de articulación.
- ▶ Conociendo aceleración y velocidad angular → Posición extremidad.
- ▶ Necesitamos medir **velocidad angular y aceleración**.
- ▶ Usaremos **acelerómetros y giróscopos**.
- ▶ Adicionalmente **magnetómetro** → +3 grados libertad.
- ▶ Sensores **MARG** (Magnetic, Angular Rate and Gravity).



UNIDADES DE MEDIDA INERCIAL MAGNÉTICAS (MIMU)

- Miden aceleración, velocidad angular y campo magnético.
- Contienen sensores MARG MEMS y:
 - CPU.
 - Memoria.
 - Otros Sensores y actuadores.
- Gran variedad actual de MIMUs comerciales.



PROTOTIPOS DESARROLLADOS

- ▶ No existencia de MIMUS inalámbricas al comienzo.
- ▶ Desarrollo propio:
 - ▶ Selección de sensores.
 - ▶ Selección tecnología transmisión.
 - ▶ Reducíamos el coste del sistema.
 - ▶ Otras funcionalidades.
- ▶ Prototipos desarrollados: **Wagyro** y **Wagyromag**[†].



[†]A. Olivares, G. Olivares, F. Mula, J.M. Górriz, and J. Ramírez. *Wagyromag: Wireless sensor network for monitoring and processing human body movement in healthcare applications*. Journal of Systems Architecture, 57(10):905-915, nov. 2011.

PROTOTIPOS DESARROLLADOS → WAGYRO

Wagyro (Wireless Accelerometer and GYROscope): Desarrollado en ATC.

↳ Características:

- ▶ Acelerómetro triaxial ± 3 g.
- ▶ Giróscopo biaxial $\pm 500^\circ/\text{s}$.
- ▶ Transceptor XBEE.
- ▶ Batería recargable.
- ▶ Dimensiones y peso reducidos.



PROTOTIPOS DESARROLLADOS → WAGYROMAG

**Wagyromag (Wireless Accelerometer,
GYROscope and MAGnetometer):**

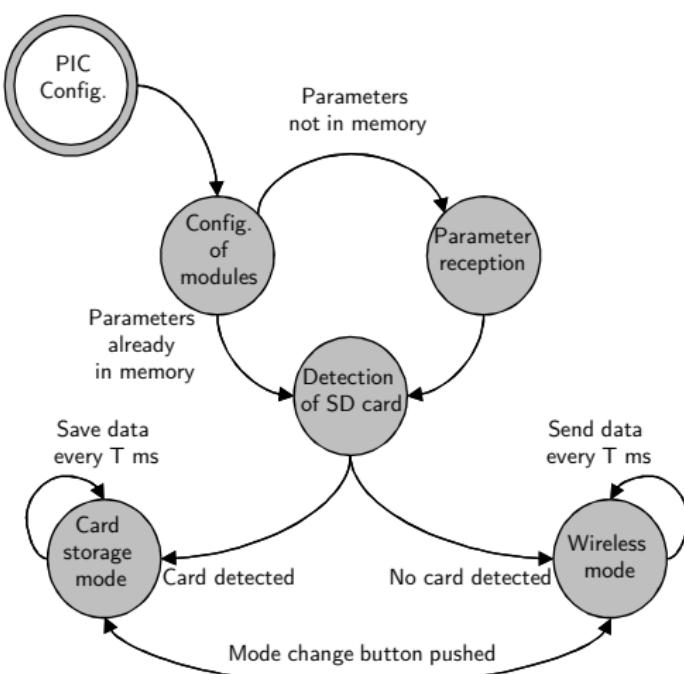
- ▶ Acelerómetro triaxial ± 3 g.
- ▶ Giróscopo triaxial $\pm 2000^\circ/\text{s}$.
- ▶ Magnetómetro triaxial ± 4 Gauss.
- ▶ Sensor de temperatura
 $[-40^\circ, 125^\circ]$.
- ▶ Microcontrolador PIC.
- ▶ Memoria interna 1 MB.
- ▶ Memoria externa microSD.
- ▶ Transceptor XBEE .
- ▶ Batería recargable.
- ▶ Dimensiones y peso reducidos.



FIRMWARE DE WAGYROMAG

↳ Funciones:

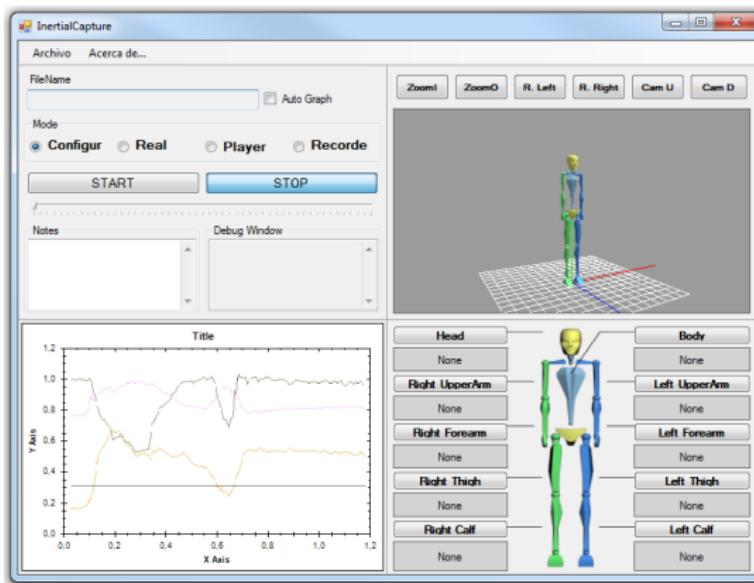
- ▶ Lectura de datos.
- ▶ Empaqueamiento de datos y transmisión.
- ▶ Almacenamiento de dato en memoria.
- ▶ Recepción de parámetros de calibración.
- ▶ Monitorización sincronizada en red.



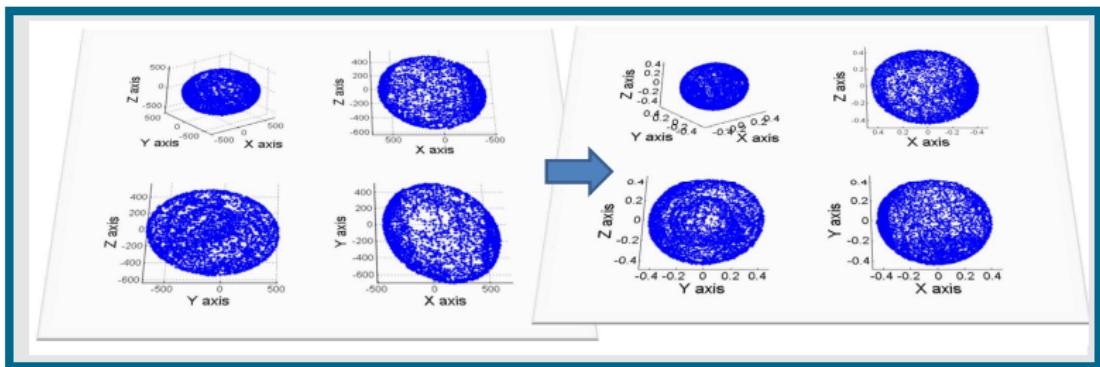
HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

↳ Funciones:

- ▶ Plataformas: Labview, Java y C#.
- ▶ Recepción en tiempo real de datos.
- ▶ Análisis offline de datos.
- ▶ Gráficas 2D.
- ▶ Avatar 3D.
- ▶ Base de datos.



CALIBRACIÓN



DEFINICIÓN

Según Chatfield[†]:

...

"La calibración es el proceso por el cual se compara la salida de un instrumento con una referencia conocida y se determinan los coeficientes que fuerzan dicha salida para que coincida con la referencia en un rango de valores de salida determinado".

...

↳ Analizar estrategias para determinar coeficientes.

[†]A. Chatfield. Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation. AIAA, January 1997.

MODELADO IDEAL DE SENSORES

Transformación Raw → Unidades físicas.

$$\text{Modelo ideal: } u_{\text{calib}_i} = k_i u_{\text{raw}_i} - b_i$$

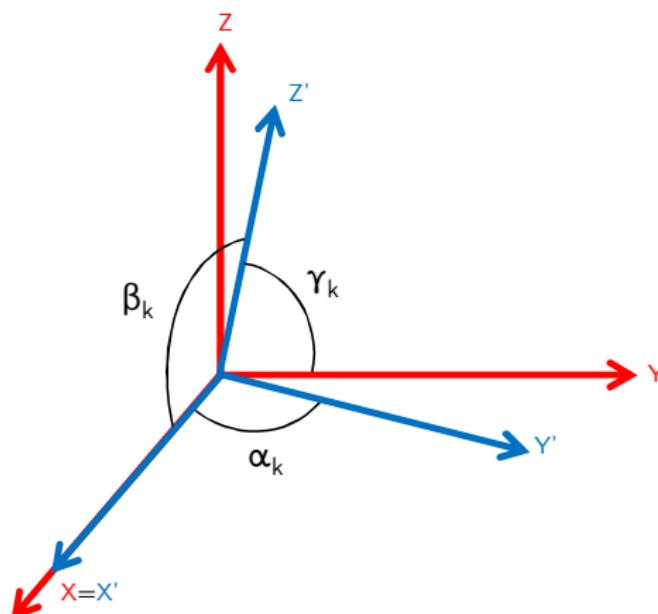
Realidad:

- ▶ Offsets no lineales.
- ▶ Ejes no ortogonales.
- ▶ Offsets variables.
- ▶ Desalineación de marcos de referencia.

↳ Necesidad de un modelo más complejo.

ERRORES Y EFECTOS INDESEADOS → COMUNES

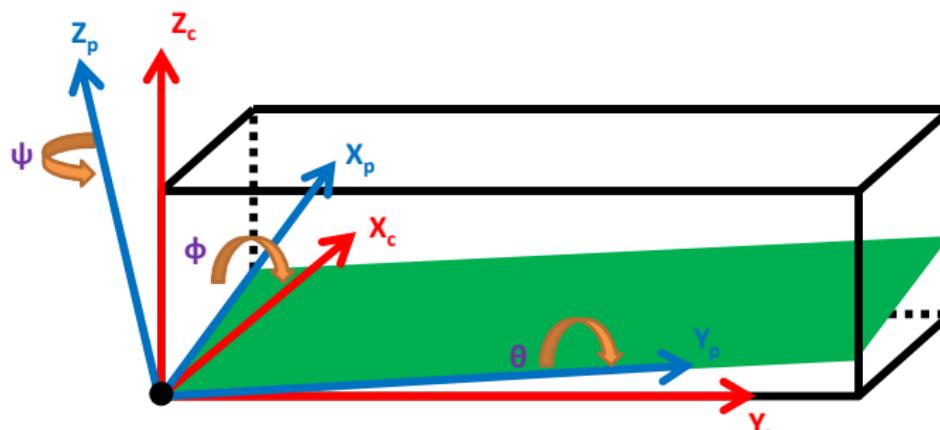
- ▶ *No ortogonalidad:* Ejes del sensor no ortogonales.



ERRORES Y EFECTOS INDESEADOS → COMUNES

► Desalineación entre marcos de referencia:

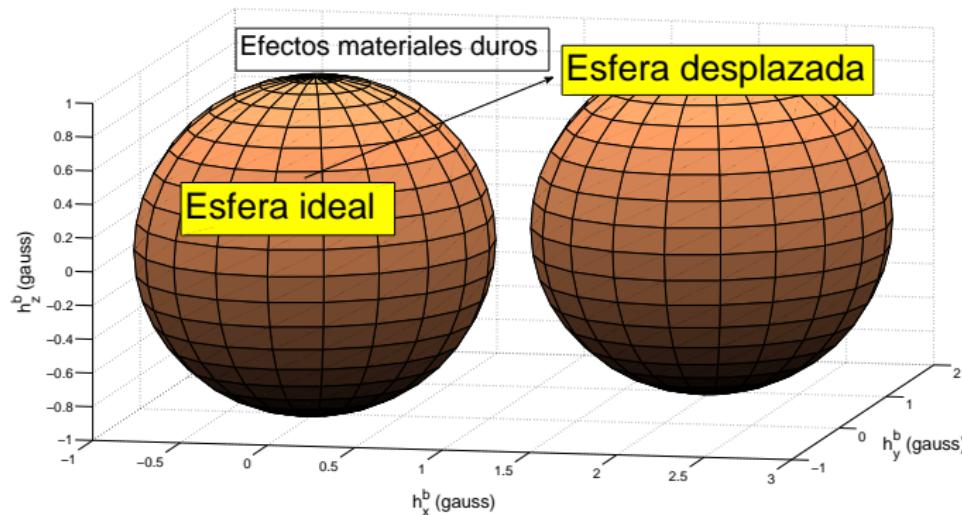
- Chip respecto a la placa.
- Placa respecto a la caja.
- Caja respecto al cuerpo monitorizado.



ERRORES Y EFECTOS INDESEADOS → ESPECÍFICOS

Magnetómetro:

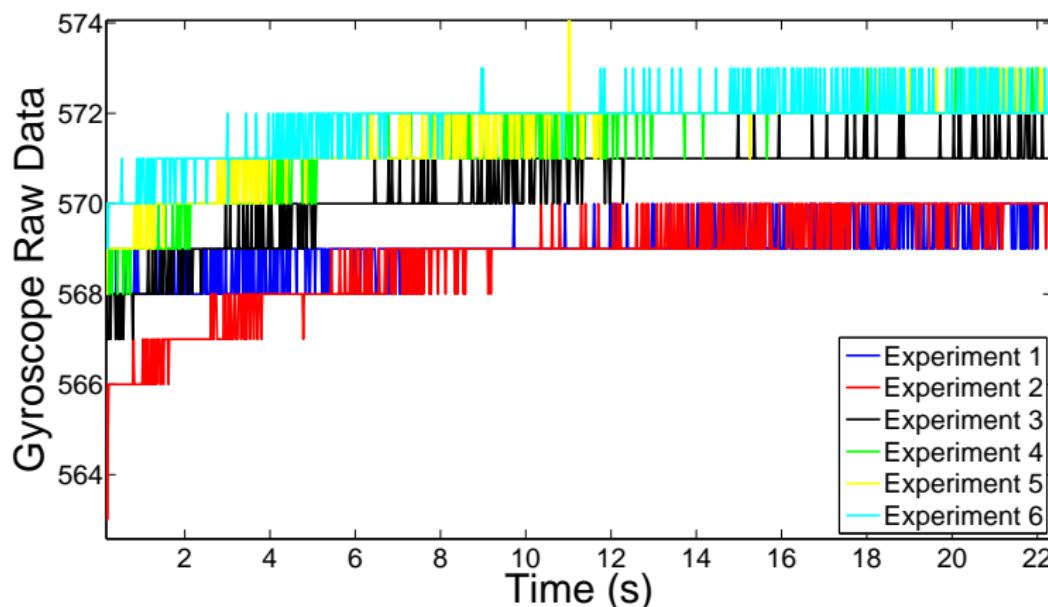
- *Offset magnético duro*: Offset estático.
- *Offset magnético blando*: Offset dinámico.



ERRORES Y EFECTOS INDESEADOS → ESPECÍFICOS

Giróscopo:

- *Offset dinámico*: Variaciones de la temperatura (efectos de autocalentamiento).



MODELADO COMPLETO DE LOS SENSORES

↳ Modelo general de los sensores MARG:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{S}_k \mathbf{T}_k \mathbf{M}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{b}_k$$

$$\mathbf{S}_k = \begin{bmatrix} s_{kx} & 0 & 0 \\ 0 & s_{ky} & 0 \\ 0 & 0 & s_{kz} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{T}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \cos \alpha_k & 1 & 0 \\ \cos \beta_k & \cos \gamma_k & 1 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{b}_k = \begin{bmatrix} b_{kx} \\ b_{ky} \\ b_{kz} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_k & \sin \phi_k \\ 0 & -\sin \phi_k & \cos \phi_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_k & 0 & -\sin \theta_k \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_k & 0 & \cos \theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi_k & \sin \psi_k & 0 \\ -\sin \psi_k & \cos \psi_k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

↳ Objetivo:

- Estimar parámetros:

$$\mathbf{p} = [s_{kx}, s_{ky}, s_{kz}, \alpha_k, \beta_k, \gamma_k, \phi_k, \theta_k, \psi_k, b_{kx}, b_{ky}, b_{kz}]$$

- Estimar medida real: $\hat{\mathbf{u}}_k = \mathbf{M}_k^{-1} \mathbf{T}_k^{-1} \mathbf{S}_k^{-1} (\mathbf{y}_k - \mathbf{b}_k)$

ESTUDIO COMPARATIVO → ALGORITMOS SELECCIONADOS

Criterio selección:

- Instrumentación necesaria.
- Maniobras necesarias:
 - 6 posiciones predeterminadas.
 - N posiciones aleatorias.
- Complejidad del modelo.
- Naturaleza del algoritmo:
 - Transformaciones algebraicas.
 - Minimización de función error.

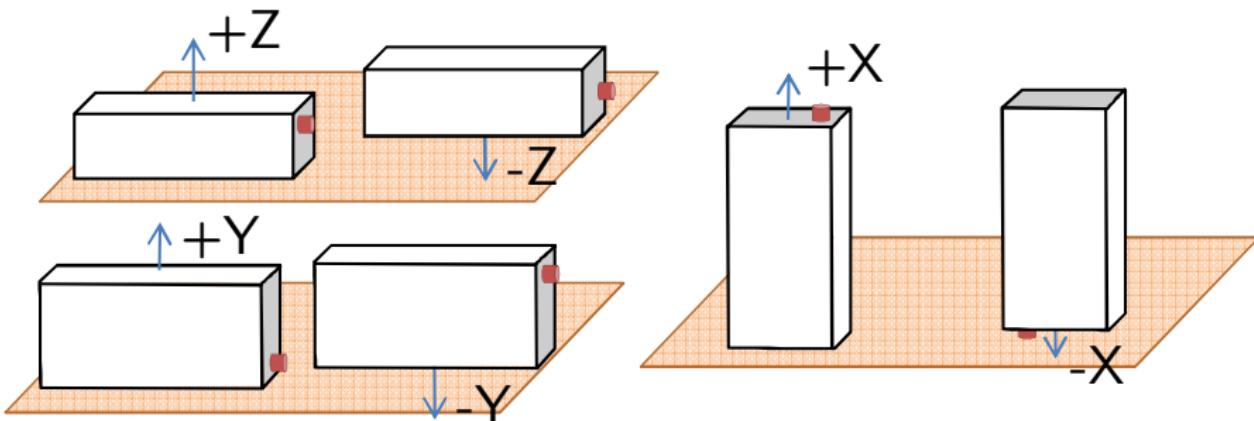
OBJETIVO COMÚN→ Estimar parámetros del modelo.

Se han seleccionado un total de 12 algoritmos.

ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 1

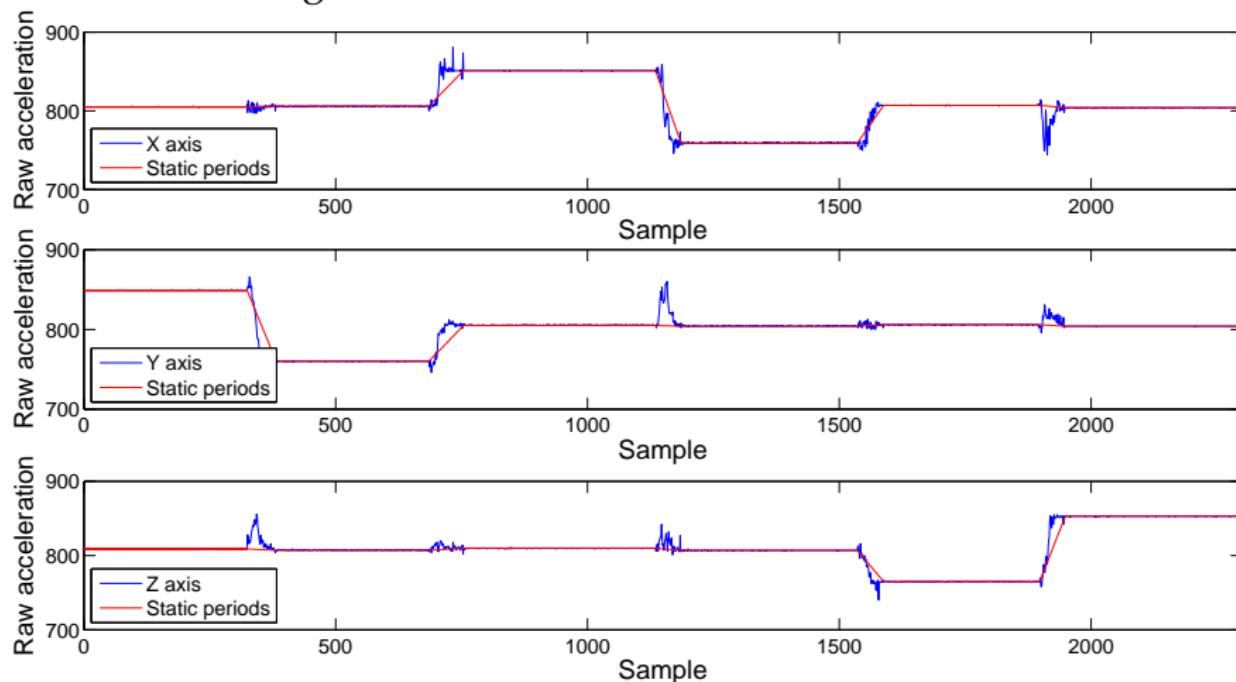
Acelerómetro:

- ▶ Parte 1: Posiciones predeterminadas.
 1. Recogida de datos (5 conjuntos, 6 posiciones).
 2. Estimación de parámetros.
 3. Calibración de datos del paso 1.
 4. Cálculo de RMSE respecto a referencia.



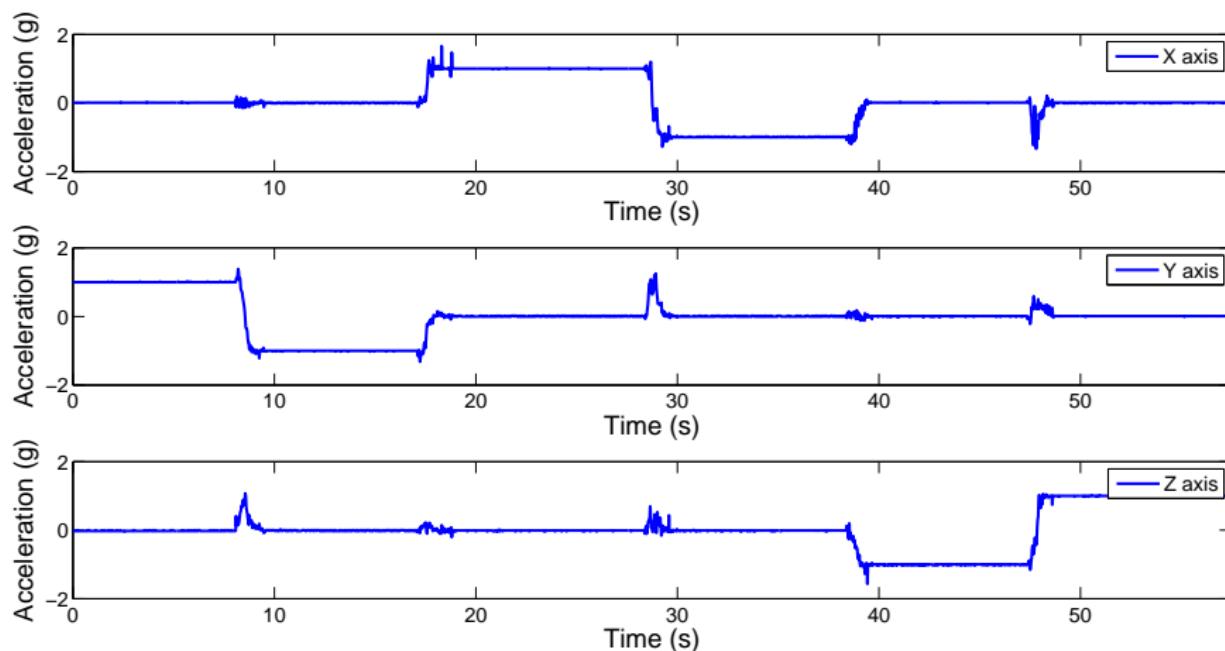
ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 1

↳ Señales recogidas.



ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 1

↳ Señales calibradas.



ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 1

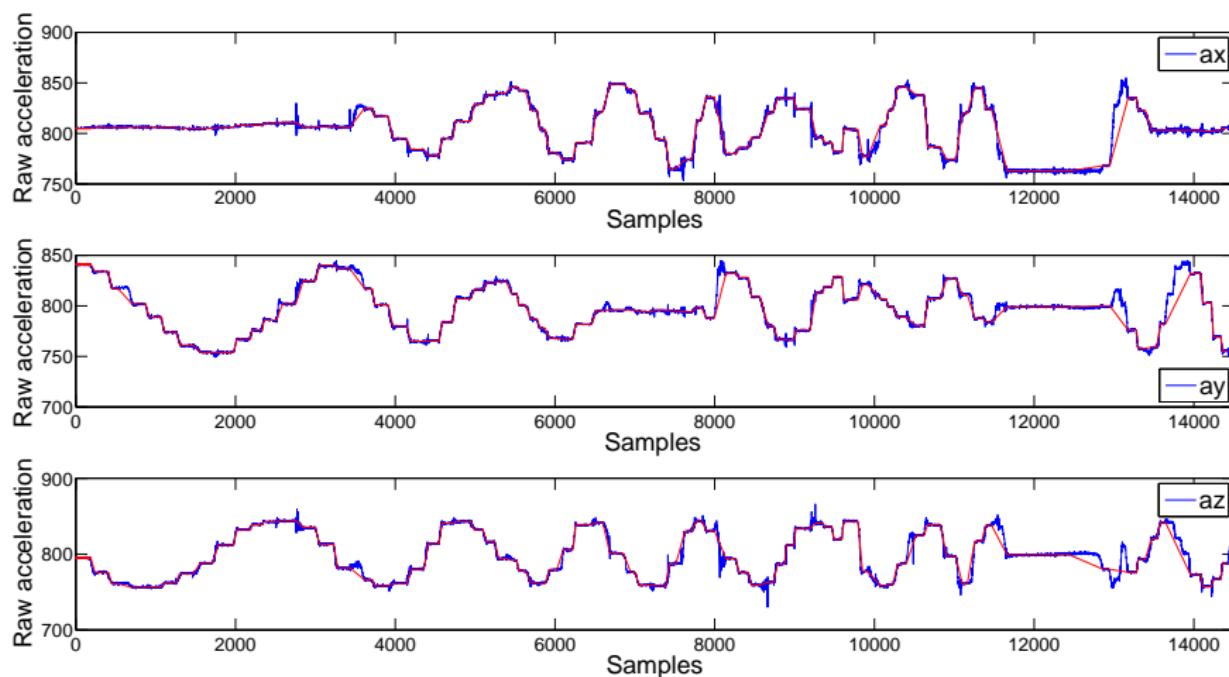
↳ Cálculo de error:

$$\text{RMSE}_{\text{pij}} = \sqrt{(\text{ref}_{\text{pij}} - \text{u}_{\text{pij}})^2}$$

- ▶ Ejemplo: Eje X paralelo a vector gravitatorio
 - $\text{RMSE}_{+xx} = \sqrt{(1 \text{ g} - 0,998 \text{ g})^2} = 0,002 \text{ g}$
 - $\text{RMSE}_{+yx} = \sqrt{(0 \text{ g} - 0,001 \text{ g})^2} = 0,001 \text{ g}$
 - $\text{RMSE}_{+zx} = \sqrt{(0 \text{ g} - 0,002 \text{ g})^2} = 0,002 \text{ g}$
- ▶ Evaluación de método: Promedio RMSE (3 ejes × 6 posiciones).

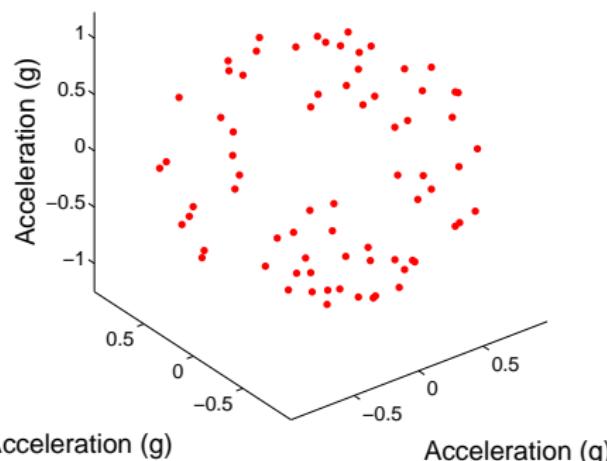
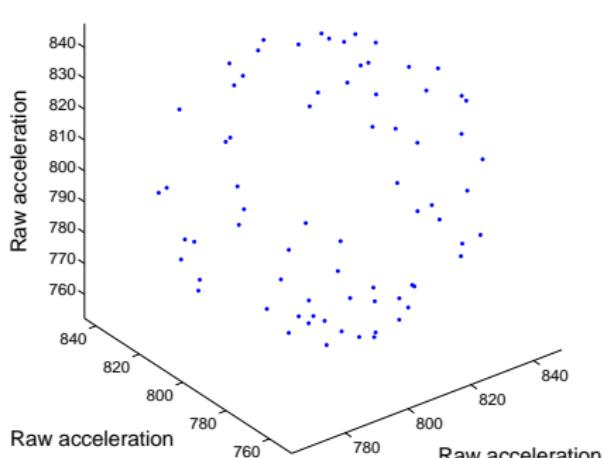
ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 2

- Parte 2: N posiciones aleatorias.



ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: PARTE 2

- Parte 2: N posiciones aleatorias.



Miminización función error: $e(\mathbf{p}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (u_{\text{ref}} - u_n(\mathbf{p}))^2;$

$$u_n(\mathbf{p}) = \sqrt{\left(\frac{v_{x,n} - b_x}{s_x}\right)^2 + \left(\frac{v_{y,n} - b_y}{s_y}\right)^2 + \left(\frac{v_{z,n} - b_z}{s_z}\right)^2}$$

ESTUDIO COMPARATIVO → ACELERÓMETRO: RESULTADOS

- Parte 1: 6 posiciones → Todos los métodos.

Error medio total		Error medio total	
Método 1	0.0092±0.0054	Método 7	0.0100±0.0069
Método 2	0.0310±0.0103	Método 8	0.0295±0.0095
Método 3	0.0350±0.0206	Método 9	0.0290±0.0099
Método 4	0.0305±0.0102	Método 10	0.0286±0.0122
Método 5	0.0307±0.0113	Método 11	0.0290±0.0097
Método 6	0.0303±0.0123	Método 12	0.0308±0.0106

- Parte 2: N posiciones aleatorias → Todos los métodos.

Error medio total		Error medio total	
Método 2	0.0242±0.0098	Método 8	0.0233±0.0096
Método 3	0.0227±0.0099	Método 9	0.0221±0.0098
Método 4	0.0234±0.0096	Método 10	0.0221±0.0098
Método 5	0.0234±0.0099	Método 11	0.0227±0.0098
Método 6	0.0224±0.0109		

ESTUDIO COMPARATIVO → MAGNETÓMETRO

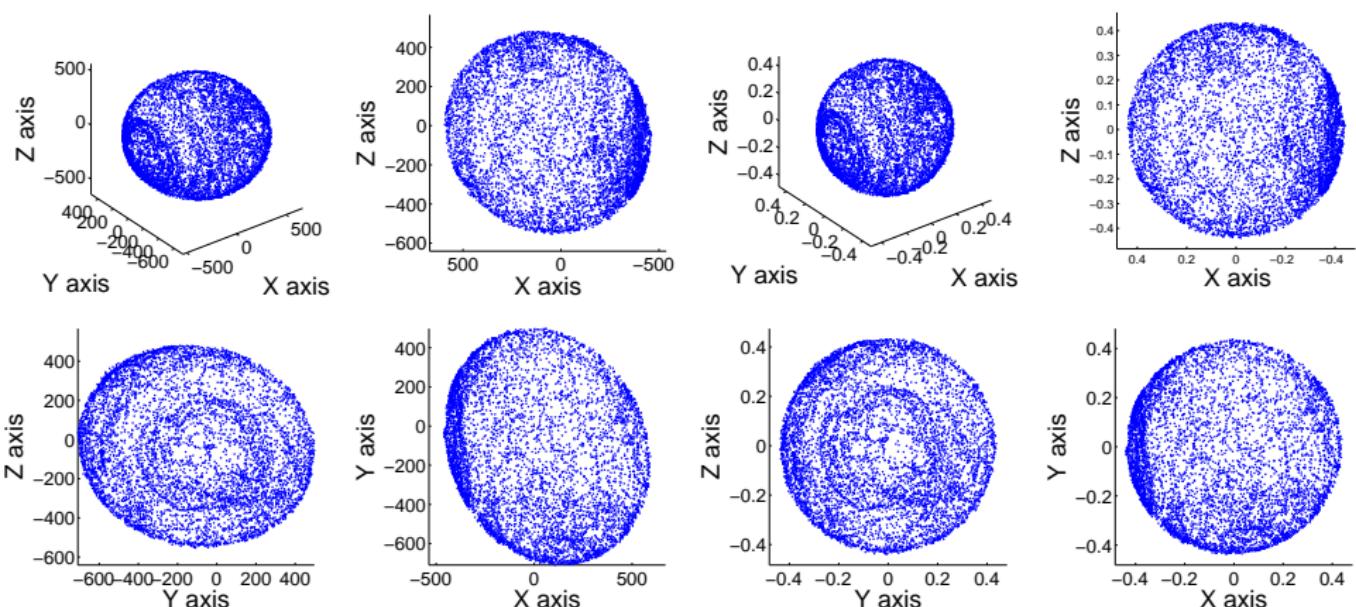
- ▶ Recogida de datos (5 conjuntos, N posiciones).

- ▶ Estimación de los parámetros de calibración.
- ▶ Calibración de los datos recogidos.
- ▶ Cálculo de la magnitud del campo magnético medido.
- ▶ Cálculo de error:

$$e_k = \|u_{ref}\| - \|u_k\|$$

- ▶ $\|u_{ref}\| = \mathbf{0.432 \text{ Gauss}}$

ESTUDIO COMPARATIVO → MAGNETÓMETRO

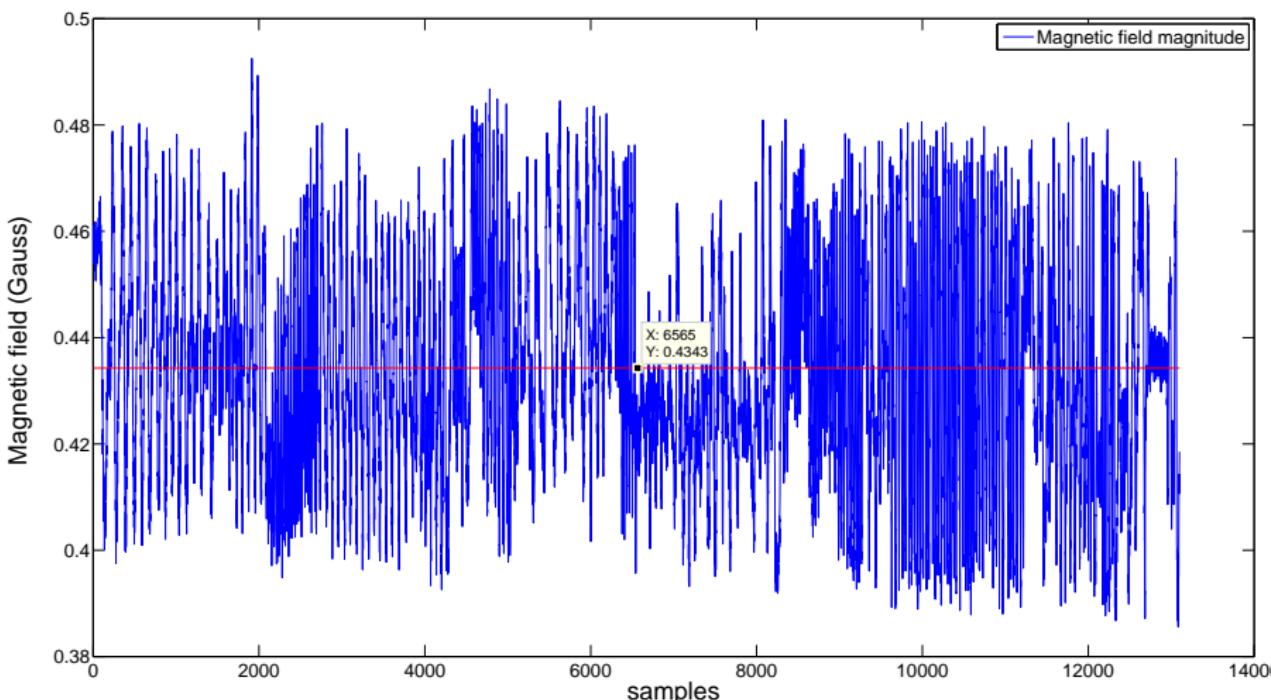


$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \{L(\theta)\}; L(\theta) = \sum_{k=0}^{K-1} (\|\mathbf{u}_k\|^2 - \|\mathbf{h}(\mathbf{v}_k, \theta)\|^2)^2$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{v}_k, \theta) = \mathbf{T}\mathbf{K}^{-1}(\mathbf{v}_k - \mathbf{b}) \quad (1)$$

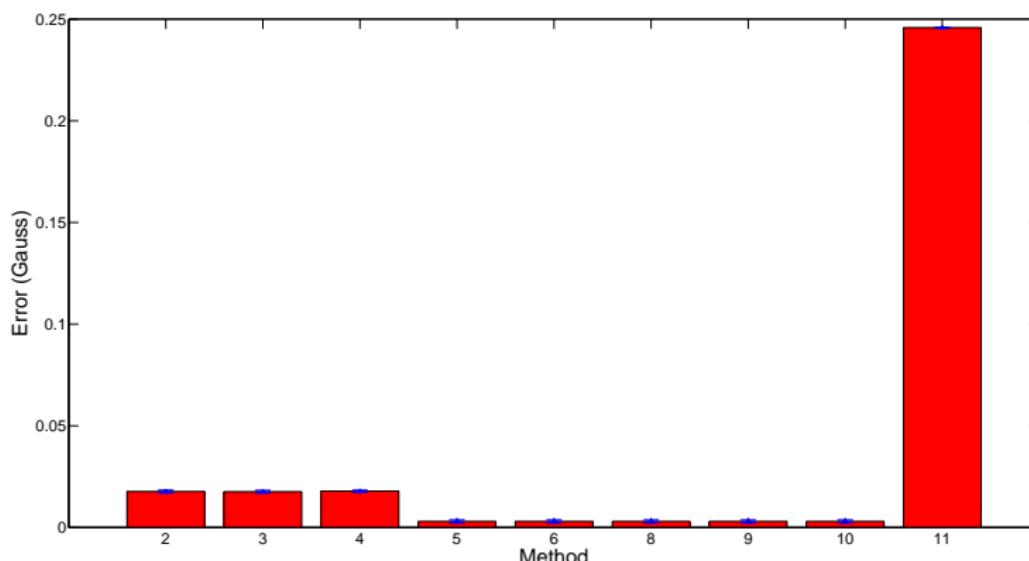
ESTUDIO COMPARATIVO → MAGNETÓMETRO

- ▶ Magnitud estimada vs. Magnitud real:



ESTUDIO COMPARATIVO → MAGNETÓMETRO: RESULTADOS

Error medio total		Error medio total		Error medio total	
Método 2	$0.0177 \pm 6.5345\text{e-}4$	Método 5	$0.0030 \pm 6.8702\text{e-}4$	Método 9	$0.0030 \pm 6.8702\text{e-}4$
Método 3	$0.0176 \pm 6.3087\text{e-}4$	Método 6	$0.0031 \pm 6.9857\text{e-}4$	Método 10	$0.0030 \pm 6.8702\text{e-}4$
Método 4	$0.0179 \pm 4.3012\text{e-}4$	Método 8	$0.0030 \pm 6.8702\text{e-}4$	Método 11	$0.2458 \pm 4.4721\text{e-}5$



ESTUDIO COMPARATIVO → DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Calibración del acelerómetro.

↳ 6 posiciones:

- Método 1[†] mejor rendimiento: $(0,0092 \pm 0,0054 \text{ g})$.
- Métodos N-puntos necesitan más puntos.

↳ N posiciones:

- Reducción 20 % del error. No mejoran a los de 6 puntos.
- Calidad de sensores → Errores de ortogonalidad y desalineamiento despreciables.

Calibración del magnetómetro.

- Métodos 5, 8, 9 y 10 obtienen el menor error ($0,0030 \pm 6,8702E-4$) Gauss. Modelo similar.
- Transversalidad algoritmos Magnetómetro y Acelerómetro.

[†]F. Ferraris, U. Grimaldi, and M. Parvis. Procedure for effortless in-field calibration of three-axis rate gyros and accelerometers. Sensors and Materials, 1995.

ALGORITMOS PROPUESTOS → OPTIMIZADOR DE DATOS DE ENTRADA

↳ Datos de entrada:

- Distribuidos espacialmente con homogeneidad.
- Distribución difícil de determinar a ojo.

↳ SOLUCIÓN: Cálculo de distribución espacial automática.

- **ANTECEDENTES:** Camps[†] visualización tiempo real coordenadas ϕ y θ .
- **PROPUESTA:** → Método automático no supervisado.

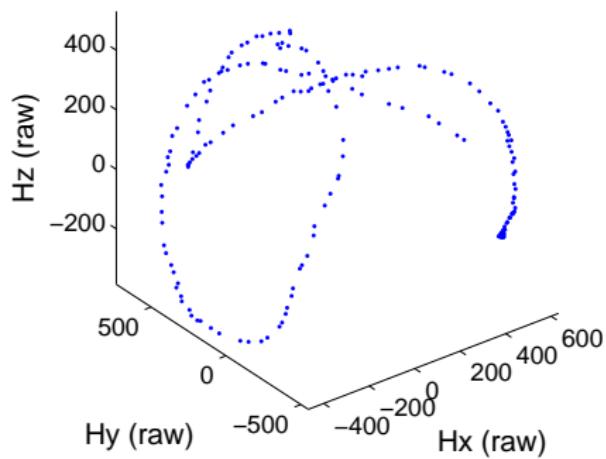


[†] F. Camps, et al. Numerical calibration for 3-axis accelerometers and magnetometers. IEEE International Conference on Electro/Information Technology, June 2009.

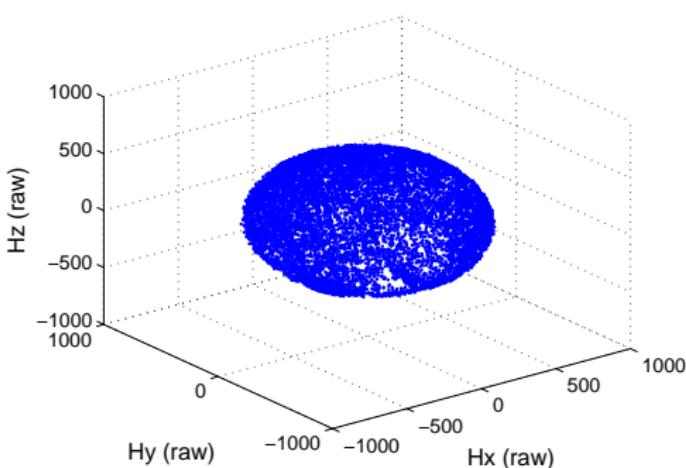
ALGORITMOS PROPUESTOS → OPTIMIZADOR DE DATOS DE ENTRADA

- ▶ Cálculo de histograma ϕ y θ .
- ▶ Comparación n° bins vacíos con umbral predeterminado.

- ▶ Ejemplo 1:
 - ↳ Bins vacíos: 3500/8000.



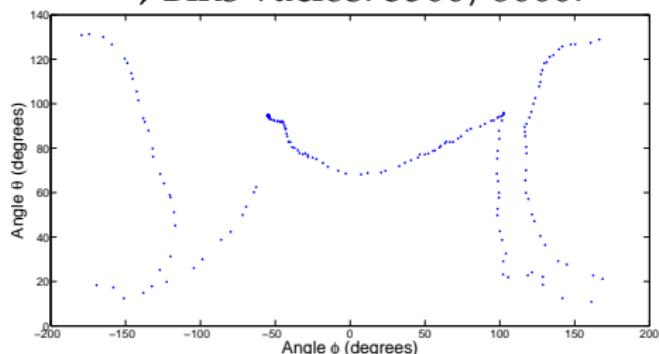
- ▶ Ejemplo 2:
 - ↳ Bins vacíos: 500/8000.



ALGORITMOS PROPUESTOS → OPTIMIZADOR DE DATOS DE ENTRADA

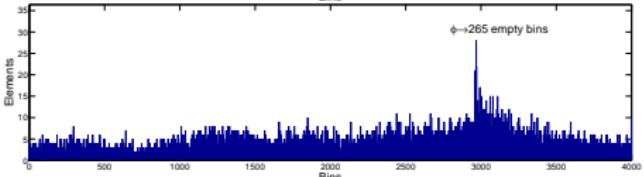
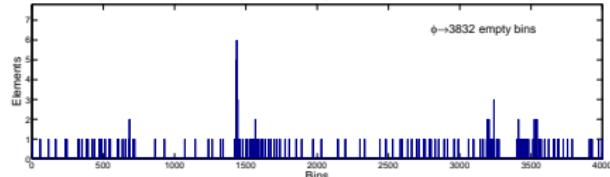
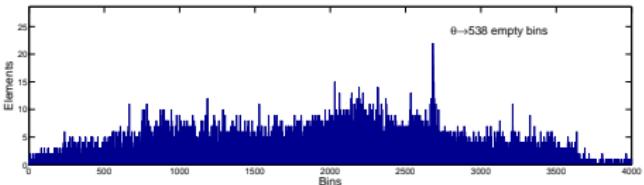
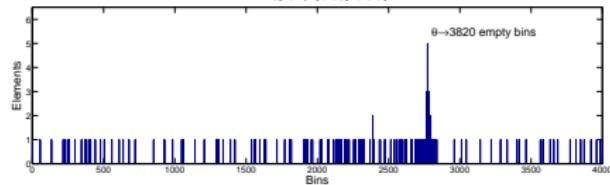
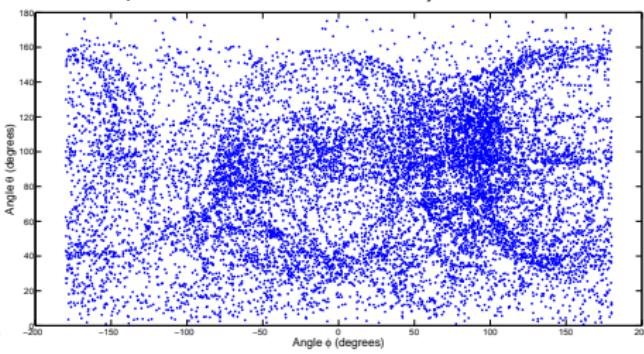
► Ejemplo 1:

↳ Bins vacíos: 3500/8000.



► Ejemplo 2:

↳ Bins vacíos: 500/8000.

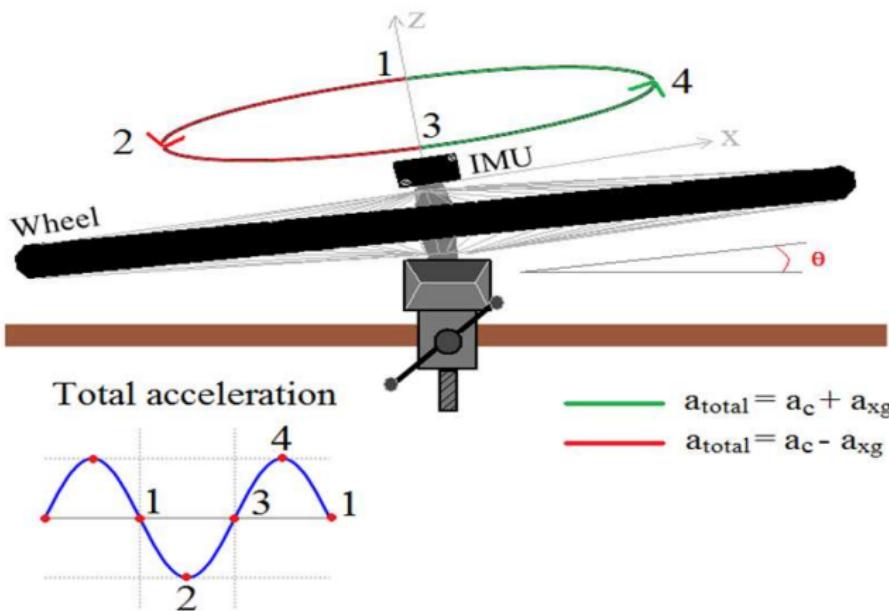


ALGORITMOS PROPUESTOS → CALIBRACIÓN DE GIRÓSCOPO AYUDADA POR ACELERÓMETRO

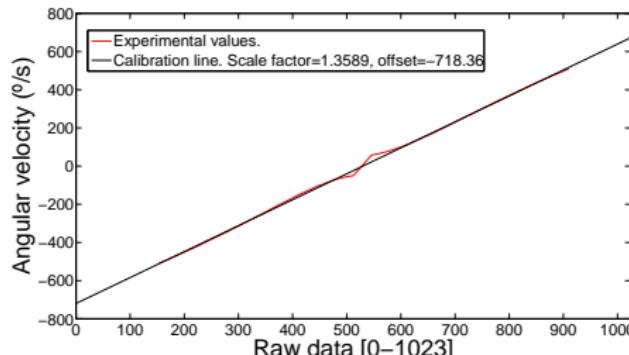
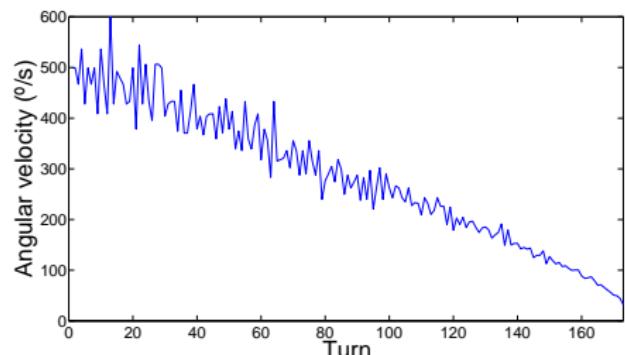
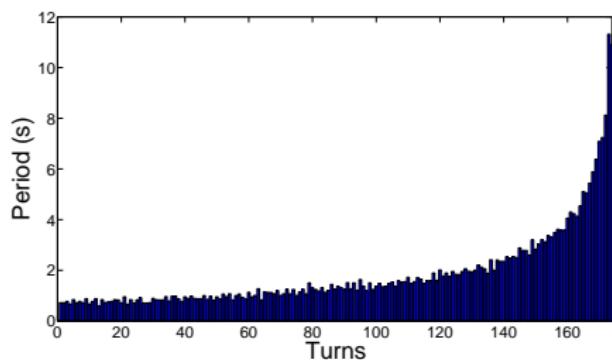
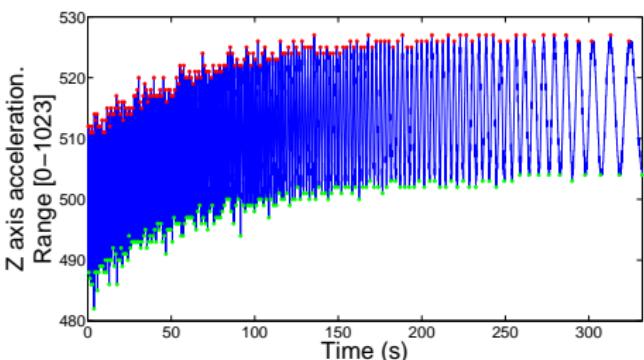
ANTECEDENTES:

- Instrumentación cara y compleja.

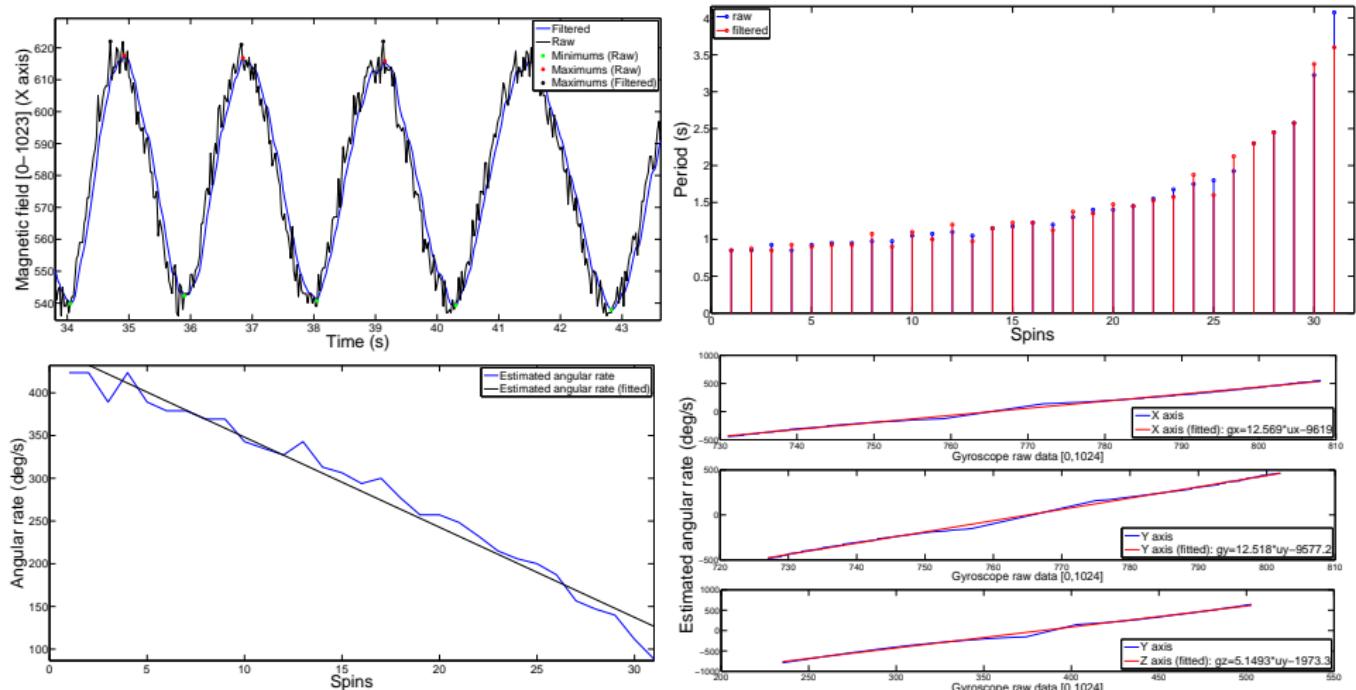
PROPIUESTA → Instrumentación sencilla y accesible.



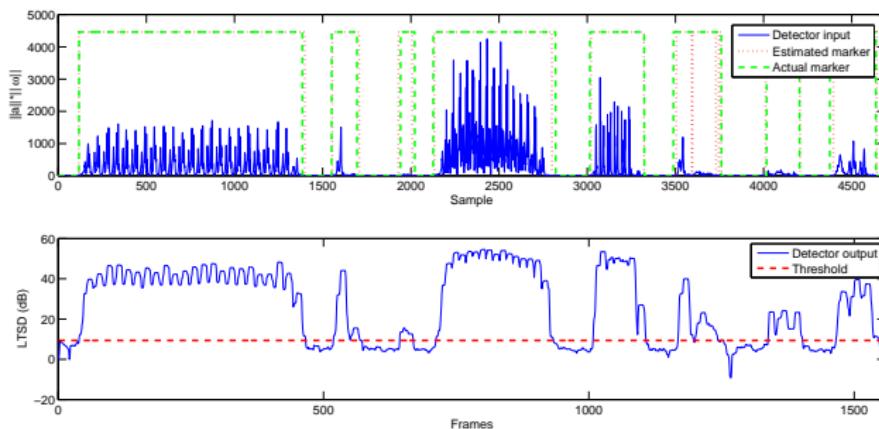
ALGORITMOS PROPUESTOS → CALIBRACIÓN DE GIRÓSCOPO AYUDADA POR ACELERÓMETRO



ALGORITMOS PROPUESTOS → CALIBRACIÓN DE GIRÓSCOPO AYUDADA POR MAGNETÓMETRO



DETECCIÓN DE LA INTENSIDAD DEL MOVIMIENTO



¿POR QUÉ Y CÓMO DETERMINAMOS LA INTENSIDAD DEL MOVIMIENTO?

- ▶ ¿Por qué?

- ▶ Calibración dinámica.
- ▶ Estimación de trayectorias.
- ▶ Clasificación de actividades.
- ▶ Mejora de la precisión de la estimación de la orientación.

- ▶ ¿Cómo?

- ▶ Análisis de señales iniciales:
Dominio temporal y dominio
de la frecuencia.



ANTECEDENTES

- ▶ *Detector de Varianza Móvil de Aceleración (AMVD):*

$$v(\mathbf{n}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \|\mathbf{a}_k - \bar{\mathbf{a}}_n\|^2 < \gamma$$

- ▶ *Detector de Magnitud de Aceleración (AMD):*

$$v(\mathbf{n}) = \frac{1}{\sigma_a^2 N} \sum_{k=1}^N (\|\mathbf{a}_k\| - g)^2 < \gamma$$

- ▶ *Detector Óptimo de Postura Hipotética (SHOD):*

$$v(\mathbf{n}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{\sigma_a^2} \left\| \mathbf{a}_k - g \frac{\bar{\mathbf{a}}_n}{\|\bar{\mathbf{a}}_n\|} \right\|^2 + \frac{1}{\sigma_\omega^2} \|\omega_k\|^2 \right) < \gamma$$

- ▶ *Detector de Magnitud de Velocidad Angular (ARED):*

$$v(\mathbf{n}) = \frac{1}{\sigma_\omega^2 N} \sum_{k=1}^N \|\omega_k\|^2 < \gamma$$

- ▶ *Detector de Rectificación y Filtrado (FRD):*

$$v(\mathbf{n}) = LPF \{ REC [HPF(\mathbf{n})] \} < \gamma$$

NUEVAS PROPUESTAS

- ▶ *Detector de Envolvente de Largo Plazo (LTSD):*
 - ▶ Usado previamente en detección de voz.

$$\text{LTSE}_N(l, n) = \max\{\mathbf{X}(l, n+j)\}_{j=-N}^{j=+N}$$

$$v(\mathbf{n}) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{\text{FFT}}} \sum_{l=0}^{N_{\text{FFT}}-1} \frac{\text{LTSE}^2(l, n)}{N^2(l)} \right) < \gamma$$

- ▶ *Detector de Espectro enventanado (FSD):*
 - ▶ Usado previamente en detección de voz.

$$v(\mathbf{n}) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{\text{FFT}}} \sum_{l=0}^{N_{\text{FFT}}-1} \frac{X^2(l, n)}{N^2(l)} \right) < \gamma$$

NUEVAS PROPUESTAS

- ▶ *Detector de Grafo Teórico basado en Memoria (MBGTD):*
 - ▶ Cálculo de la distancia entre dos ventanas.

$$C_{i,j} = \frac{\sum_{k=i}^{j-1} \sum_{l=j}^N d_{k,l}}{(j-i)(N-j+1)}$$

$$V_{\text{MBGTD}} = \max_{1 \leq i < j \leq N} C_{i,j} < \gamma$$

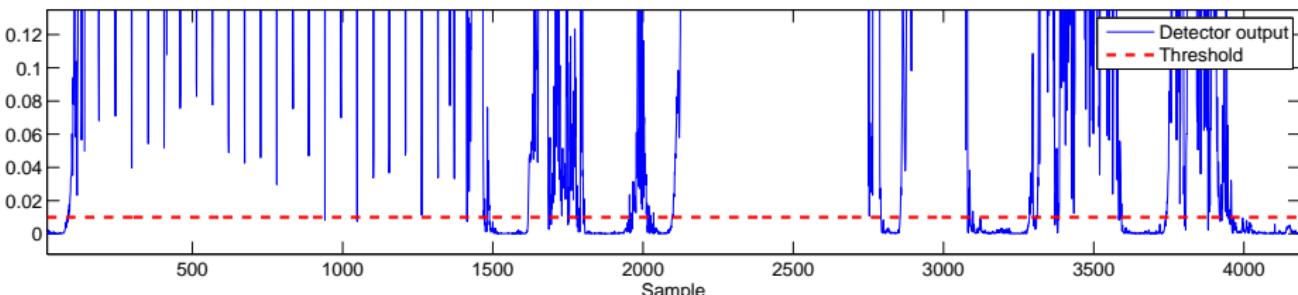
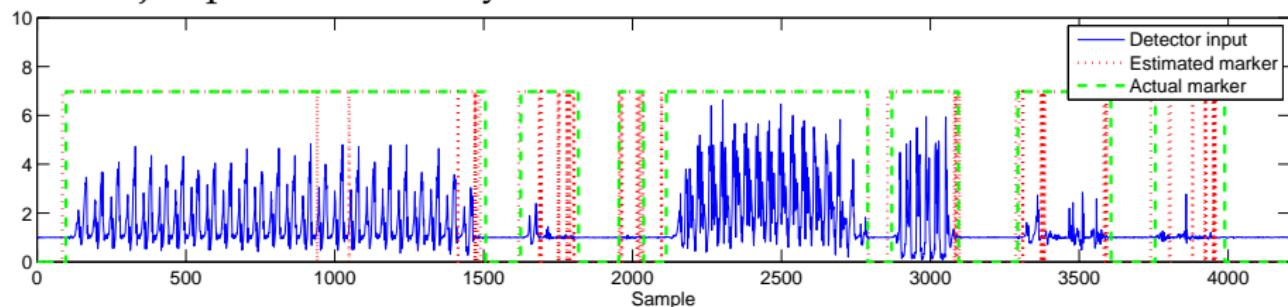
- ▶ *Detector de Suma Acumulativa basado en Memoria (MBCD):*
 - ▶ Cálculo de las funciones logarítmicas de verosimilitud.

$$\hat{p}_\theta(\mathbf{x}_k) = \frac{1}{N(2\lambda^2\pi)^{\frac{1}{2}}} \sum_{i=1}^N e^{\frac{1}{2}(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_k\|/\lambda)^2}; \quad S_{i,j} = \sum_{l=j}^N \log \frac{\frac{1}{N-j+1} \sum_{k=j}^N w_{l,k}}{\frac{1}{j-i} \sum_{k=i}^{j-1} w_{l,k}}$$

$$V_{\text{MBCD}} = \max_{1 \leq i < j \leq N} S_{i,j} < \gamma \quad (2)$$

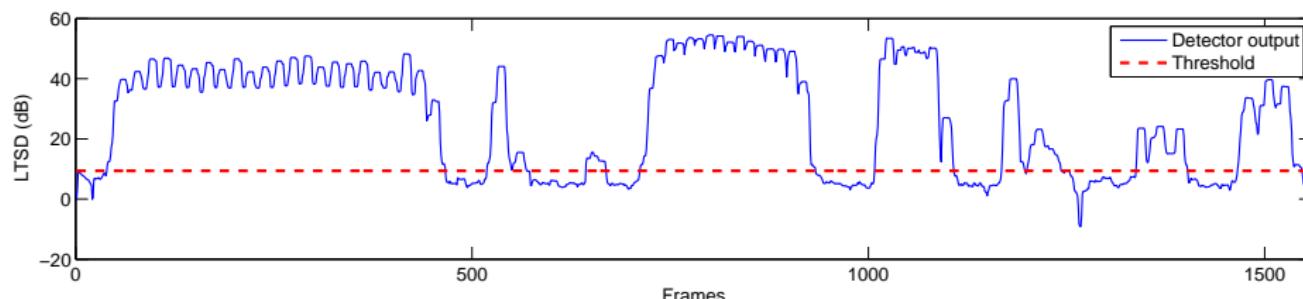
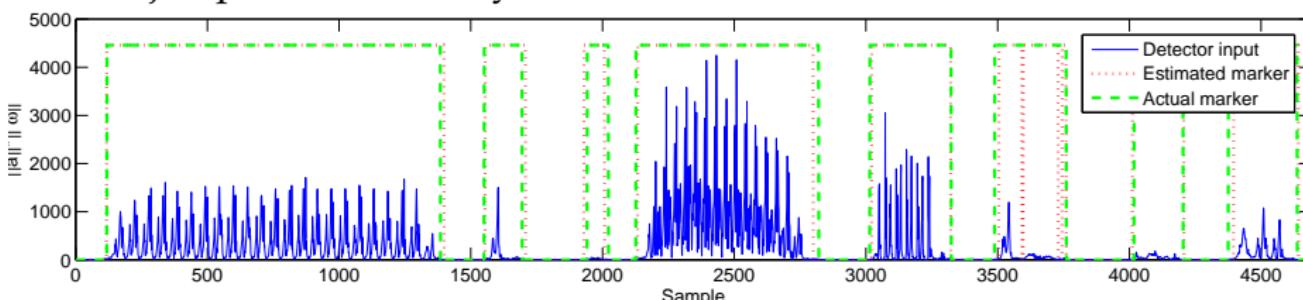
ESTRUCTURA GENERAL DE LOS DETECTORES

↳ Ejemplo → Entrada y salida de AMVD.



ESTRUCTURA GENERAL DE LOS DETECTORES

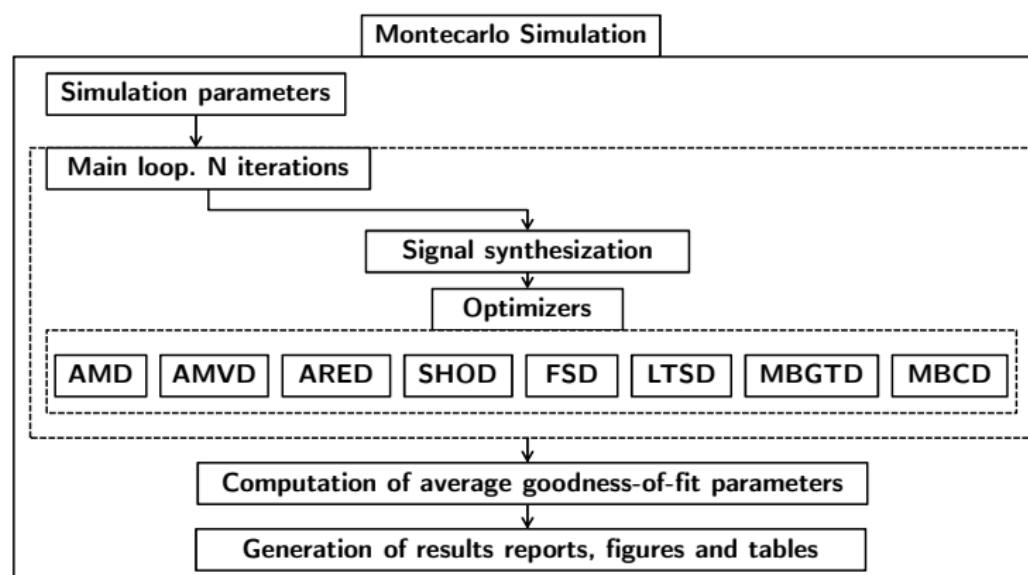
↳ Ejemplo → Entrada y salida de LTSD.



EXPERIMENTOS

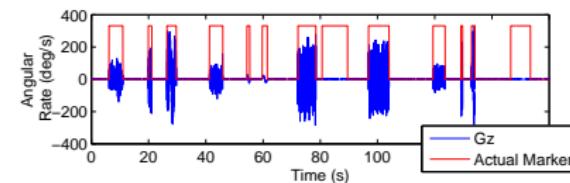
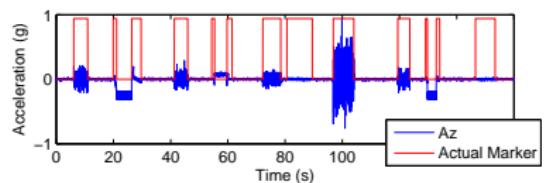
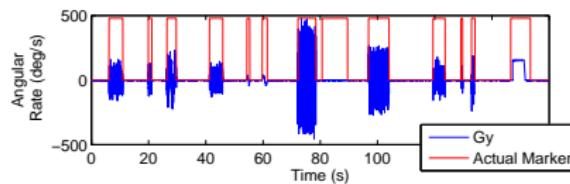
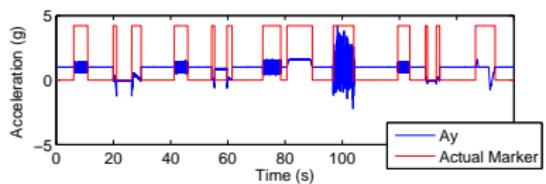
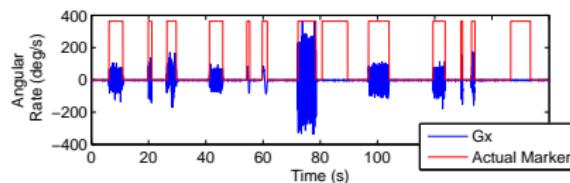
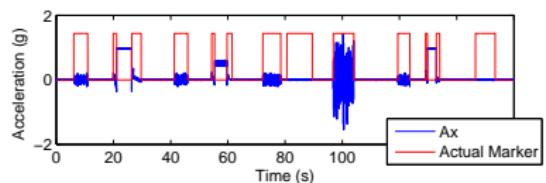
Estudio comparativo:

- ▶ Simulación Monte Carlo (500 Señales sintéticas y 96 Señales reales):



EXPERIMENTOS → SEÑALES SINTÉTICAS

- ▶ Sintetizador de señales de aceleración y velocidad angular.
 - ▶ Mimetiza señales actividades vida diaria.
 - ▶ Inicio, fin y duración de actividad aleatorios.
 - ▶ Ruido blanco gaussiano para simular ruido flickr presente en sensores.

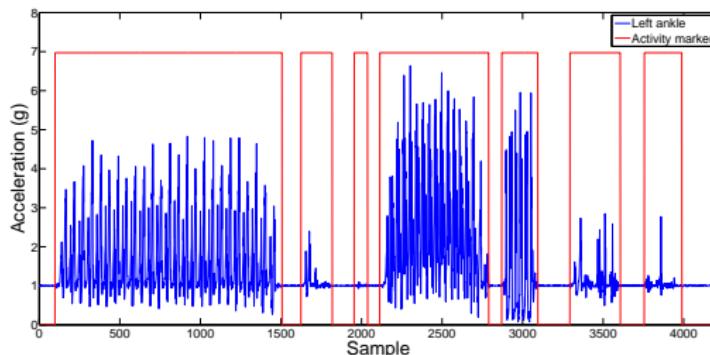


EXPERIMENTOS → SEÑALES REALES

↳ Recogida de señales:

- ▶ 4 sujetos portando dos MIMUs:

- ▶ Andar 20 m.
- ▶ Sentarse y levantarse.
- ▶ Correr 20 m.
- ▶ Saltar verticalmente 5 veces.
- ▶ Tumbarse y levantarse.
- ▶ Marcadores de actividad/inactividad generados por inspección visual.



EXPERIMENTOS → SEÑALES SINTÉTICAS → RESULTADOS

↳ Simulación Monte Carlo:

	AMVD	AMD	ARED	SHOD
Precisión	0.8741 ± 0.0181	0.9641 ± 0.0087	0.9431 ± 0.0136	0.9817 ± 0.0124
Coef. Corr.	0.7137 ± 0.0360	0.9205 ± 0.0175	0.8752 ± 0.0270	0.9592 ± 0.0269
Tam. Vent.	26.065 ± 1.1011	96.9560 ± 9.8260	21.9300 ± 1.5849	10.7556 ± 1.3007
Umbral	0.0188 ± 0.0049	0.0008 ± 0.0002	2.3712 ± 2.1621	1.3426 ± 0.2898
	FSD-PROD	LTSD-SUM	MBGTD-PROD	MBCD-PROD
Precisión	0.9470 ± 0.0441	0.9355 ± 0.0138	0.9349 ± 0.0159	0.9373 ± 0.0168
Coef. Corr.	0.8835 ± 0.0788	0.8556 ± 0.0282	0.8531 ± 0.0353	0.8587 ± 0.0372
Tam. Vent.	9.5292 ± 1.7607	3.3848 ± 0.2816	9.7260 ± 3.7743	11.1192 ± 3.2323
Umbral	8.3344 ± 2.8890	16.1172 ± 3.6251	151.8720 ± 81.4212	0.1068 ± 0.0267
Solap.	7.2364 ± 2.9423	1.2744 ± 0.5312	–	–

EXPERIMENTOS → SEÑALES REALES → RESULTADOS

↳ Simulación Monte Carlo:

	AMVD	AMD	ARED	SHOD
Precisión	0.9529 ± 0.0113	0.8875 ± 0.0196	0.9418 ± 0.0185	0.9447 ± 0.0236
Coef. Corr.	0.8899 ± 0.0253	0.7610 ± 0.0411	0.8678 ± 0.0381	0.8730 ± 0.0473
Tam. Vent.	16.7333 ± 2.3851	86.2000 ± 36.2165	8.5167 ± 6.5721	19.6167 ± 9.2617
Umbral	0.0173 ± 0.0106	0.0011 ± 0.0006	38.3250 ± 26.9008	2.3995 ± 1.1856
	FSD-ACC	LTSD-ACC	MBGTD-ACC	MBCD-ACC
Precisión	0.9702 ± 0.0064	0.9711 ± 0.0072	0.9626 ± 0.0071	0.9576 ± 0.0080
Coef. Corr.	0.9302 ± 0.0155	0.9318 ± 0.0186	0.9125 ± 0.0186	0.9010 ± 0.0153
Tam. Vent.	20.2000 ± 9.2214	13.8500 ± 6.4327	13.1833 ± 4.5759	12.6167 ± 4.1869
Umbral	3.2433 ± 1.3441	5.4167 ± 1.9185	1.5467 ± 0.7218	$3.468e-6 \pm 2.049e-6$
Solap.	18.6667 ± 7.0711	2.4500 ± 0.6390	-	-

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

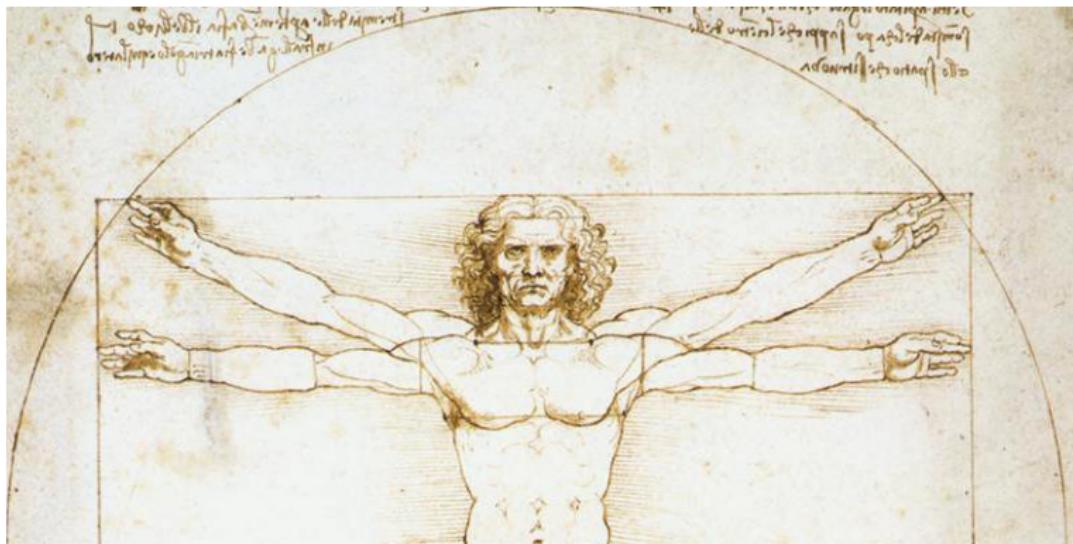
Señales sintéticas:

- ▶ SHOD mayor precisión.
- ▶ FRD peor rendimiento.
- ▶ Métodos espectro: menor rendimiento (SNR).
- ▶ Métodos distribuciones: rendimiento menor.
- ▶ Parámetros óptimos: ventana (~ 10 muestras).

Señales reales:

- ▶ LTSD-Acc. mayor precisión.
- ▶ Métodos espectro: mejoran su rendimiento (SNR).
- ▶ Métodos distribuciones: mejora del 3 %.
- ▶ Parámetros óptimos: ventana (~ 10 muestras).
- ▶ **5 mejores, 4 nuevas propuestas.**

ESTIMACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE UN CUERPO EN EL ESPACIO

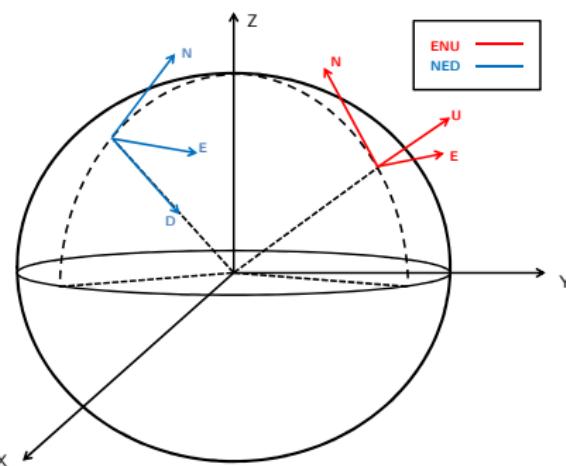


CONCEPTOS BÁSICOS

OBJETIVO PRINCIPAL: Determinar la orientación de un cuerpo respecto a un sistema de referencia.

↳ MARCOS DE REFERENCIA:

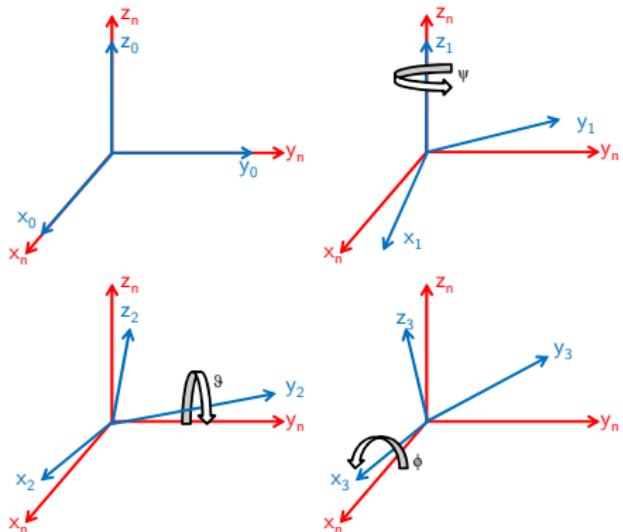
- ▶ *Marco inercial:* Origen en el centro de la tierra. Ejes no rotatorios. Eje Z coincidente con el eje polar.
- ▶ *Marco de navegación:* Marco geográfico local con el origen en la posición del sistema de navegación. Ejes: NED, ENU.
- ▶ *Marco del cuerpo:* Conjunto ortogonal de ejes alineado con los ejes del cuerpo.



CONCEPTOS BÁSICOS → ÁNGULOS DE EULER

Orientación del marco del cuerpo respecto al marco de navegación. **Tres ángulos de rotación:**

- ▶ *Roll (ϕ)*: determina la rotación alrededor del eje X.
- ▶ *Pitch (θ)*: determina la rotación alrededor del eje Y.
- ▶ *Yaw (ψ)*: determina la rotación alrededor del eje Z.



CONCEPTOS BÁSICOS → MATRICES DE ROTACIÓN Y DIRECCIÓN COSENO

- ▶ Rotaciones de Euler en forma matricial.
- ▶ La matriz de dirección coseno (DCM) agrupa las 3 rotaciones.

$$\mathbf{v}' = \mathbf{R}\mathbf{v}$$

CONCEPTOS BÁSICOS → CUATERNIONES

- ▶ Extensión de números reales.
- ▶ $q = a + bi + cj + dk$.
- ▶ El cuaternion de rotación:

$$\begin{aligned} \mathbf{q} &= e^{\frac{1}{2}\theta(\mathbf{a}_x i + \mathbf{a}_y j + \mathbf{a}_z k)} = \\ &\cos \frac{1}{2}\theta + (\mathbf{a}_x i + \mathbf{a}_y j + \mathbf{a}_z k) \sin \frac{1}{2}\theta \end{aligned}$$

- ▶ Expresado en forma vectorial:

$$\mathbf{q} = (q_0, q_1, q_2, q_3) = \left(\cos \frac{\theta}{2}, u_x \sin \frac{\theta}{2}, u_y \frac{\theta}{2}, u_z \frac{\theta}{2} \right)$$

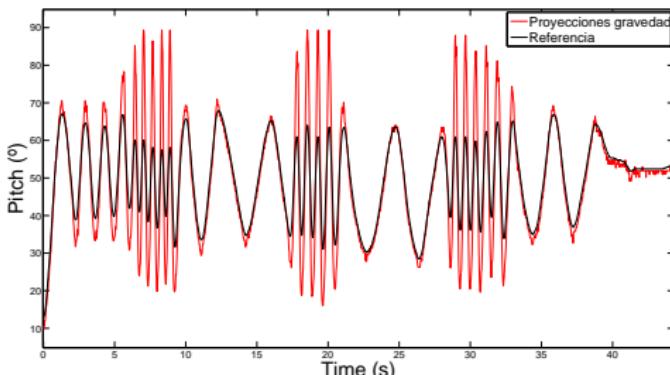
- ▶ Rotación de un cuaternion \mathbf{q}_a un ángulo definido por \mathbf{q} :

$$\mathbf{q}'_a = \mathbf{q} \cdot \mathbf{q}_a \cdot \mathbf{q}^{-1}$$

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ORIENTACIÓN

↳ Proyección de los vectores de gravedad y campo magnético terrestres:

- Relaciones trigonométricas entre vectores de referencia y vectores medidos.
- PROBLEMA:** Perturbaciones magnéticas, aceleraciones dinámicas y discontinuidades.

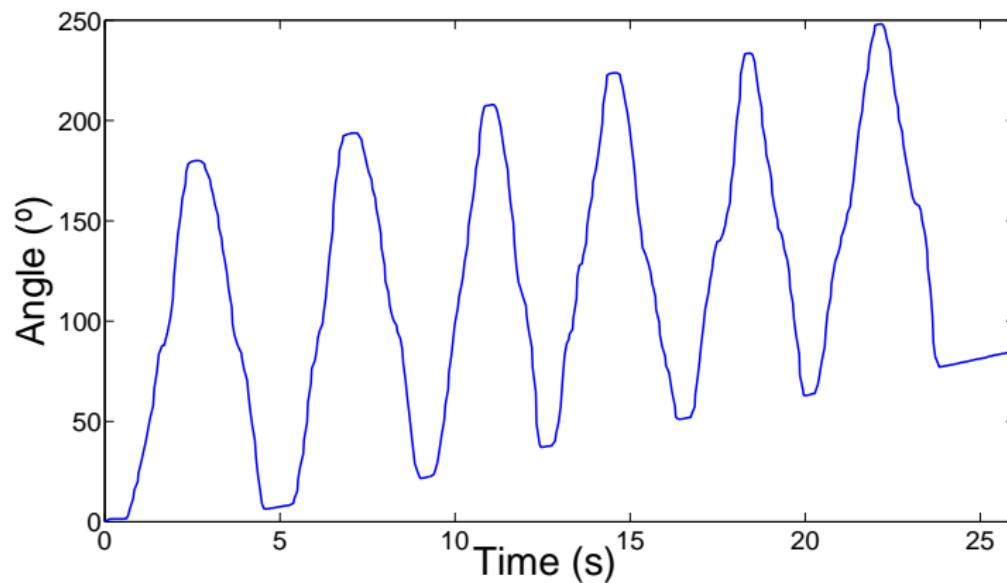


$$\phi = \arctan \left(\frac{u_y}{u_z} \right); \quad \theta = \arctan \left(\frac{-u_x}{\sqrt{u_y^2 + u_z^2}} \right); \quad \psi = \arctan \left(\frac{h_y^n}{h_x^n} \right)$$

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ORIENTACIÓN

↳ Integración de la velocidad angular:

- ▶ Integración de la velocidad angular medida.
- ▶ Posición inicial → Método de las proyecciones.
- ▶ **PROBLEMA:** Deriva integración ruido y offset dinámico.



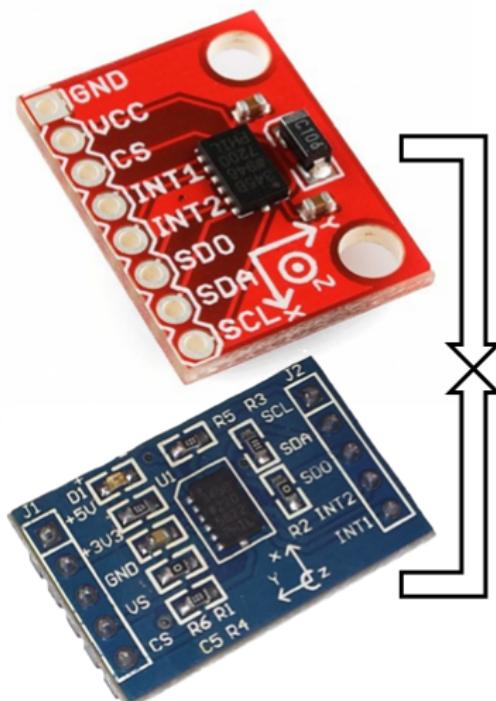
FUSIÓN DE SENSORES

↳ OBJETIVOS:

- Mejorar precisión estimación de orientación.
- Fusionar métodos de proyecciones e integración.

↳ HERRAMIENTAS:

- Filtros de Kalman.
- Filtros LMS.
- Filtros RLS.
- Filtros complementarios.



FUSIÓN DE SENSORES → FILTRADO ADAPTATIVO: FILTRO DE KALMAN

- Filtro de Kalman: estimación de estado $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ de un proceso discreto:

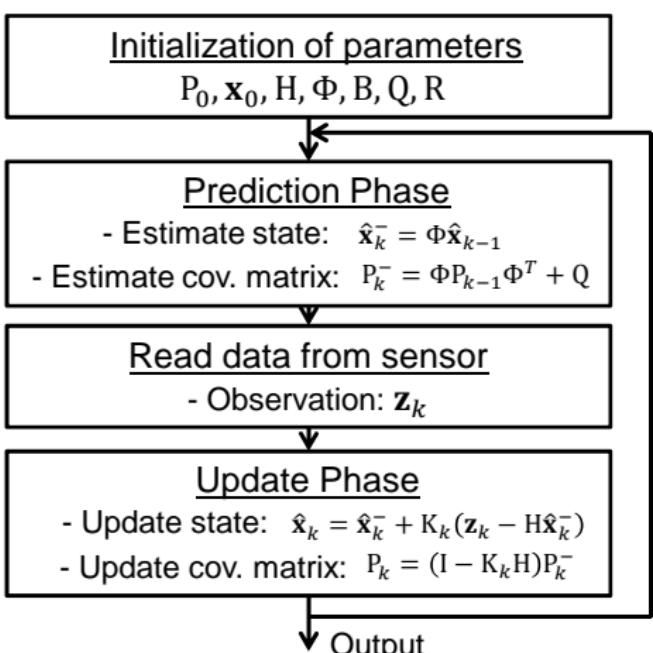
$$\mathbf{x}_k = \Phi \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B} \mathbf{w}_{k-1}$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \mathbf{x}_k + \mathbf{I}_q \mathbf{v}_k$$

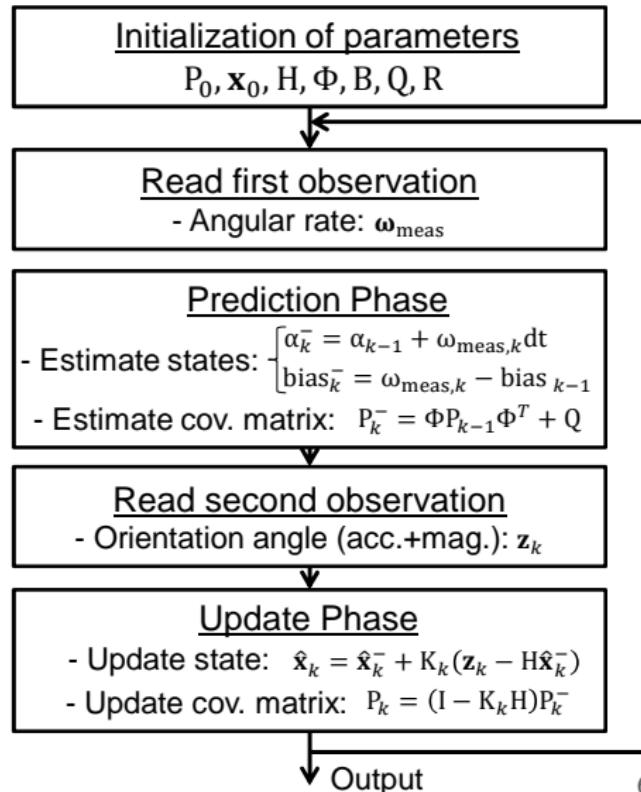
- $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados del sistema.
- $\mathbf{z} \in \mathbb{R}^q$ es el vector de observaciones.
- Φ matriz de transición del sistema.
- $\mathbf{B} = \mathbf{I}_n dt$, donde dt es el periodo de muestreo.
- $\mathbf{w} \in \mathbb{R}^n$ es el vector de ruido del proceso.
- $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^q$ es el vector de ruido de la observación

FUSIÓN DE SENsoRES → FILTRADO ADAPTATIVO: FILTRO DE KALMAN

↳ Diagrama general:

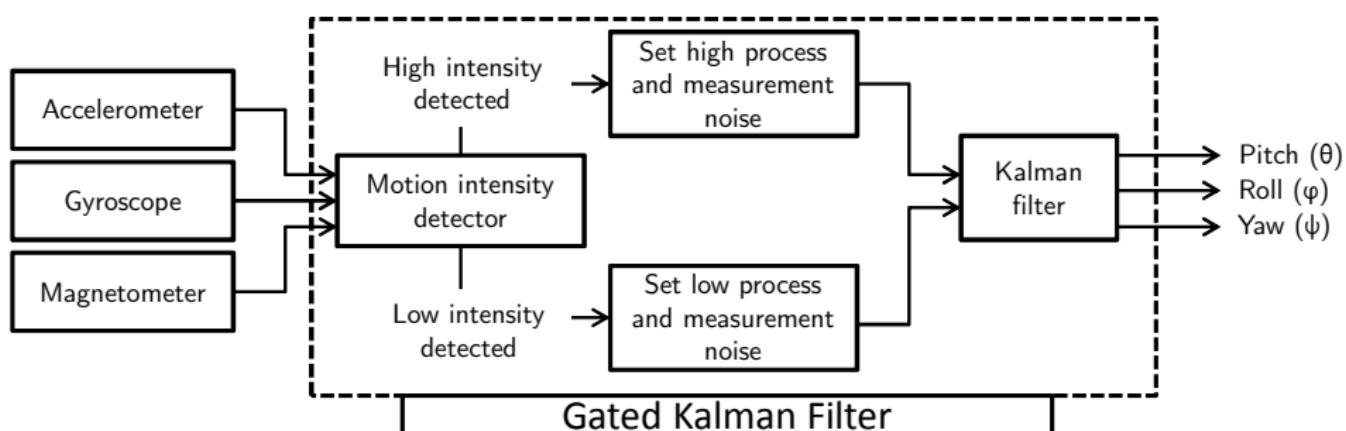


↳ Fusión de sensores:



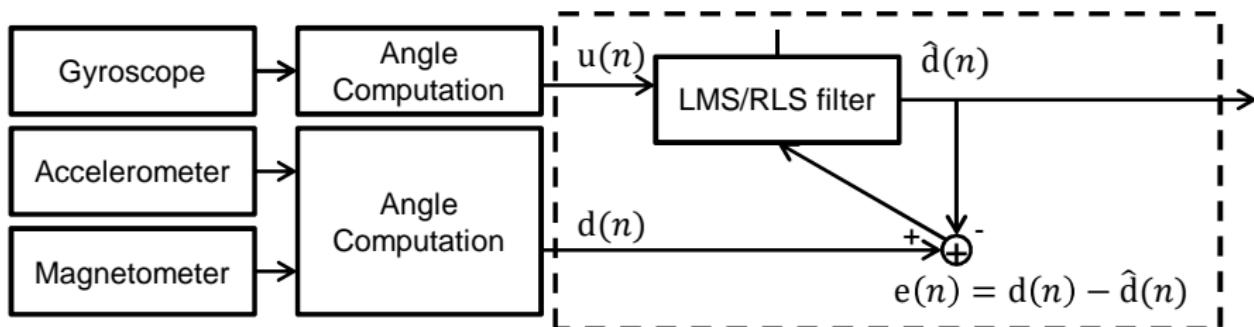
FUSIÓN DE SENSORES → FILTRADO ADAPTATIVO: KALMAN DINÁMICO

- ▶ Ruidos de proceso y observación constantes.
- ▶ Determinantes para la adaptación.
- ▶ Intensidad cambiante: variación dinámica.
- ▶ Detector de intensidad para determinar instante de cambio.
- ▶ Mayor intensidad → Mayor ruido de observación y proceso.



FUSIÓN DE SENSORES → FILTRADO ADAPTATIVO: LMS Y RLS

- Ángulo calculado usando integración: **entrada, $u(n)$** .
- Ángulo calculado usando proyecciones: **señal deseada, $d(n)$** .
- El filtro elimina deriva dinámica y suaviza aceleración dinámica.



EXPERIMENTOS → DISEÑO GENERAL

Estudio comparativo:

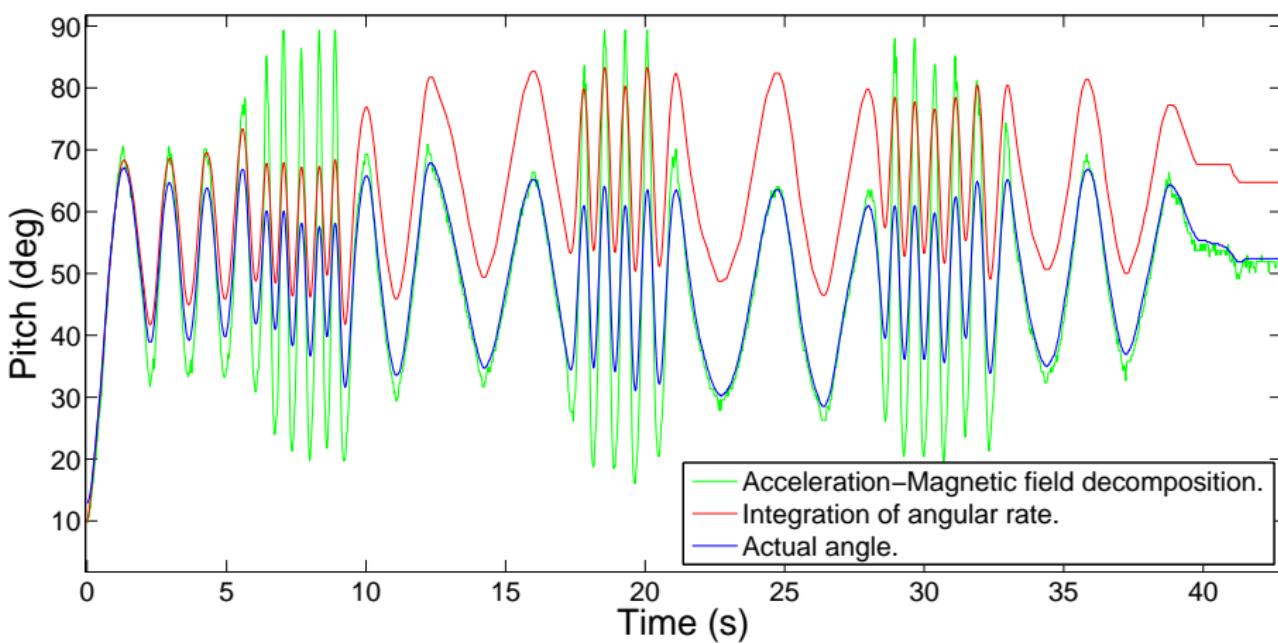
- Simulación Monte Carlo (50 señales sintéticas):
 - Sintetización de Señales: Intensida baja, alta y mixta.
 - Barrido de parámetros (Grid-Search).
 - Estimación de la orientación.
 - Cálculo de RMSE.
- Simulación Monte Carlo (Señales reales):
 - Barrido de parámetros (Grid-Search y Gauss-Newton).
 - Estimación de la orientación.
 - Cálculo de RMSE (usando ángulo de referencia).

Métodos Implementados:

- Simulación teórica: NLMS, MNLMS, RLS, HRLS y QRDRRLS.
- Simulación real: Proyecciones, integración, Madgwick, KF, KF dinámico, NLMS, MNLMS, RLS, HRLS y QRDRRLS.

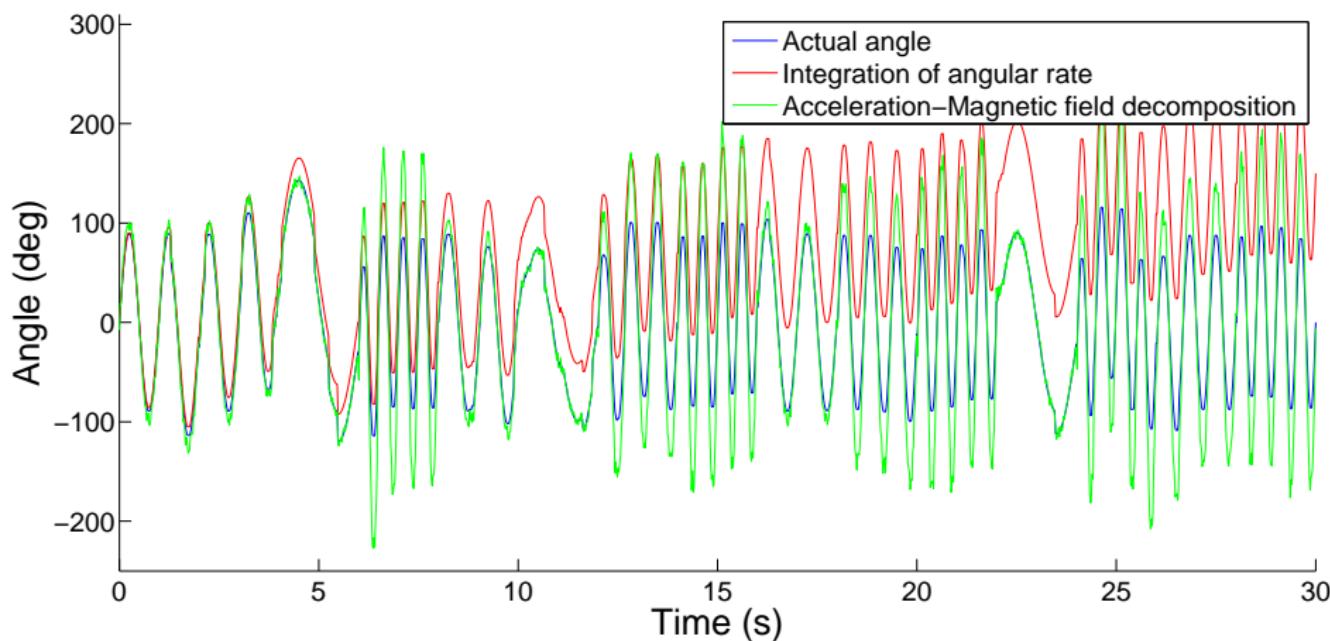
EXPERIMENTOS → SEÑALES SINTÉTICAS

↳Sintetizador de señales:

SEÑALES REALES (WAGYROMAG)

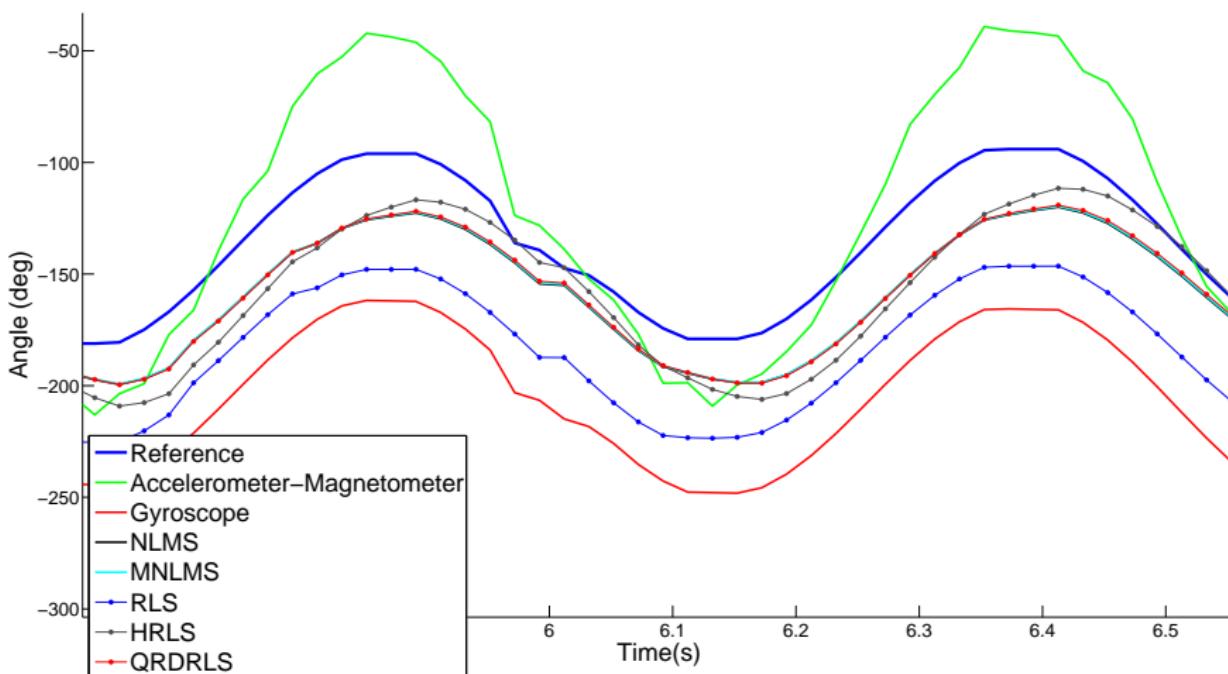
EXPERIMENTOS → SEÑALES SINTÉTICAS

↳ Sintetizador de señales:

SEÑALES SINTETIZADAS

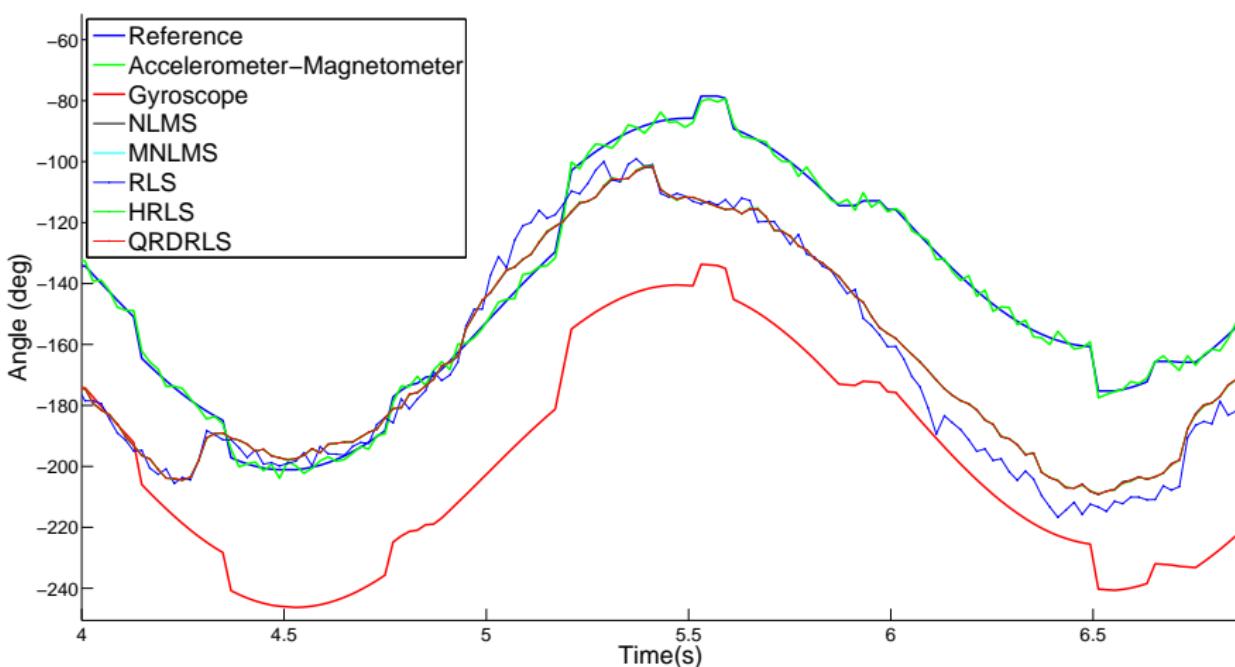
EXPERIMENTOS → SIMULACIONES → RESULTADOS

↳ Estimación de la orientación (alta intensidad).



EXPERIMENTOS → SIMULACIONES → RESULTADOS

↳ Estimación de la orientación (baja intensidad).



EXPERIMENTOS → SIMULACIONES → RESULTADOS

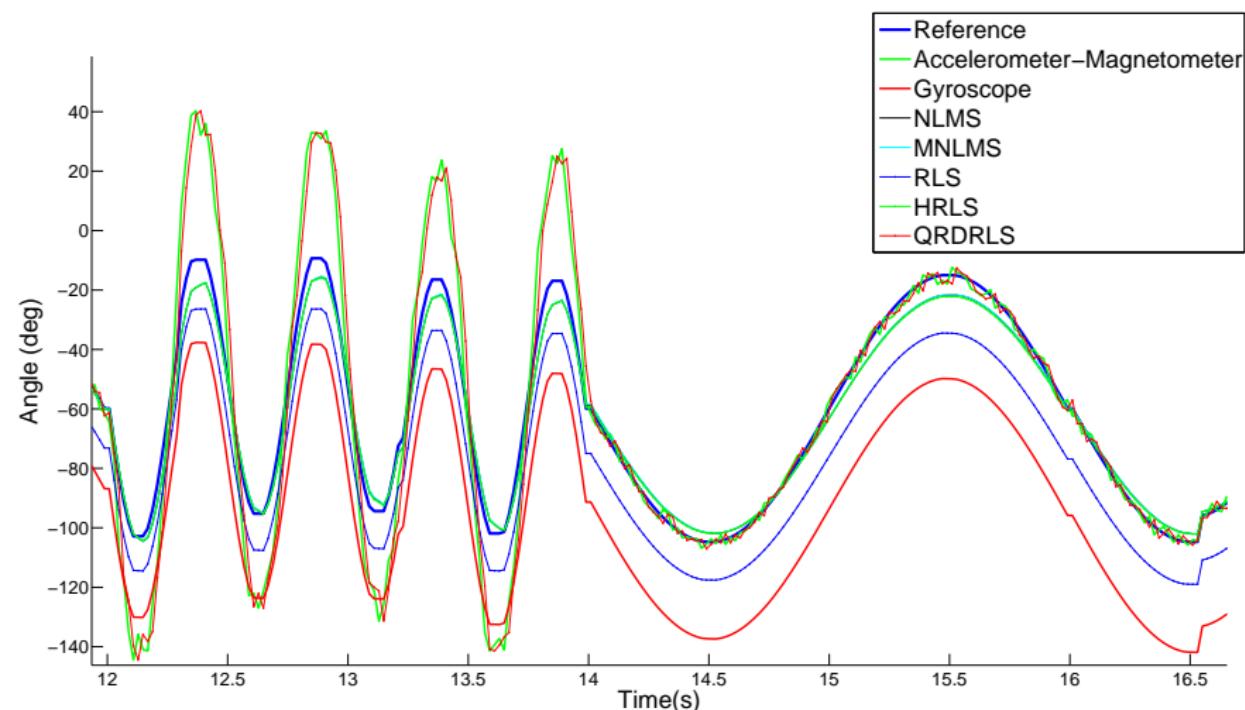
↳ Estimación de la orientación (alta y baja intensidad).

Algoritmo	RMSE medio	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
Acc-Mag	30.3316 ± 0.9881	—	—	—
NLMS	10.5963 ± 2.5222	$L=1.000 \pm 0.000$	$\mu=0.0274 \pm 0.0072$	—
MNLMS	12.7064 ± 2.4052	$L=1.000 \pm 0.000$	$\mu=2.5600e-7 \pm 5.8134e-8$	—
RLS	31.8950 ± 4.0899	$L=1.000 \pm 0.000$	$\delta=8.7750e3 \pm 3.0952e3$	—
HRLS	16.5855 ± 1.6179	$L=1.000 \pm 0.000$	$\lambda=0.9000 \pm 8.9720e-16$	$\delta=0.0010 \pm 6.5713e-19$
QRDRRLS	12.7252 ± 2.4115	$L=1.000 \pm 0.000$	$\lambda=3.7400e3 \pm 1.2257e3$	$\delta=1.2800e3 \pm 8.3339e2$

Algoritmo	RMSE medio	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
Acc-Mag	1.7416 ± 0.0323	—	—	—
NLMS	1.2940 ± 0.0633	$L=1.000 \pm 0.000$	$\mu=0.4816 \pm 0.0226$	—
MNLMS	1.3078 ± 0.0970	$L=1.000 \pm 0.000$	$\mu=7.0600e-6 \pm 1.4902e-6$	—
RLS	14.3433 ± 3.6394	$L=2.000e2 \pm 0.000$	$\delta=9.9600 \pm 0.19795$	—
HRLS	1.3248 ± 0.0756	$L=1.000 \pm 0.000$	$\lambda=0.5040 \pm 0.0282$	$\delta=0.0100 \pm 3.5047e-18$
QRDRRLS	1.3066 ± 0.0781	$L=1.000 \pm 0.000$	$\lambda=1.1260e3 \pm 2.4143e2$	$\delta=1.3680e2 \pm 35.8250$

EXPERIMENTOS → SIMULACIONES → RESULTADOS

↳ Estimación de la orientación (intensidad mixta).



EXPERIMENTOS → SIMULACIONES → RESULTADOS

↳ Estimación de la orientación (intensidad mixta).

Algoritmo	RMSE medio	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
NLMS	5.2347±0.3834	$p=1.000\pm0.000$	$\mu=0.0120\pm0.0040$	—
NLMS(R)	21.7478 ± 2.7113	$p=1.000\pm0.000$	$\mu=1.2500\pm0.9090$	—
MNLMS	6.4350 ± 0.8272	$p=1.000\pm0.000$	$\mu=2.8940e-7\pm0.6488e-7$	—
MNLMS(R)	5.8135 ± 1.0072	$p=1.000\pm0.000$	$\mu=2.5200e-7\pm1.2673e-7$	—
RLS	19.7383 ± 1.7054	$p=1.000\pm0.000$	$\delta=46.0000\pm45.4569$	
RLS(R)	8.0267 ± 2.3209	$p=1.000\pm0.000$	$\delta=42.4000\pm45.5690$	
HRLS	6.7670 ± 0.8161	$p=1.000\pm0.000$	$\lambda=0.9768\pm0.0051$	8.0892 ± 27.6761
HRLS(R)	6.1789 ± 1.0526	$p=1.000\pm0.000$	$\lambda=0.9832\pm0.0099$	24.2476 ± 43.5690
QRDRRLS	6.3372 ± 0.6942	$p=1.000\pm0.000$	$\lambda=1.7320e3\pm8.9680e2$	$2.568e3\pm1.0815e3$
QRDRRLS(R)	21.8692 ± 2.6962	$p=1.000\pm0.000$	$\lambda=0.0010\pm6.5713e-19$	$0.0010\pm6.5713e-19$

EXPERIMENTOS → SEÑALES REALES

↳ Estimación de la orientación (Comparación alta y baja intensidad).

Algoritmo	RMSE medio	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
NLMS	7.7941 ± 1.5741	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\mu=4.6667 \pm 0.5774$	—
MNLMS	7.7014 ± 1.5718	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\mu=0.0467 \pm 0.0058$	—
RLS	6.2510 ± 0.2409	$L=2.6667 \pm 2.8868$	$\delta=3.3070\text{e}4 \pm 5.7270\text{e}4$	—
HRLS	4.3924 ± 1.9770	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\lambda=1.3667 \pm 0.3215$	$\delta=4.0267 \pm 5.2614$
QRDRLS	7.7008 ± 1.5715	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\lambda=3.8667 \pm 0.0000$	$\delta=7.3333 \pm 4.9329$
Kalman	5.2274 ± 0.5976	$\alpha=4.633 \pm 2.0502$	—	—
Madgwick	15.1540 ± 1.9619	$\beta=7.7432 \pm 4.0820$	—	—

Algoritmo	RMSE medio	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
Acc-Mag.	1.7974 ± 0.4760	—	—	—
NLMS	2.1249 ± 0.4565	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\mu=86.5000 \pm 8.3612$	—
MNLMS	2.1725 ± 0.4785	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\mu=3.3360\text{e}4 \pm 5.7700\text{e}4$	—
RLS	2.1614 ± 0.9999	$L=88.3300 \pm 78.7676$	$\delta=3.3350\text{e}4 \pm 5.7716\text{e}4$	—
HRLS	2.1204 ± 0.5221	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\lambda=0.5000 \pm 0.4358$	$\delta=1.00\text{e}5 \pm 0.0000$
QRDRLS	2.1725 ± 0.4785	$L=1.0000 \pm 0.0000$	$\lambda=0.7667 \pm 0.6658$	$\delta=0.1667 \pm 0.1527$
Kalman	1.5643 ± 0.5327	$\alpha=0.0915 \pm 0.0851$	—	—
Madgwick	7.2513 ± 0.9167	$\beta=6.4000 \pm 0.6083$	—	—

EXPERIMENTOS → SEÑALES REALES

↳ Estimación de la orientación (intensidad mixta).

Algoritmo	Optimizador	RMSE	1er Parámetro	2º Parámetro	3er Parámetro
NLMS	Grid search	6.6841	L=1.0000	$\mu=6.0000$	—
NLMS (R)	Grid search	12.5256	L=6	$\mu=22$	—
MNLMS	Grid search	6.6945	L=1.0000	$\mu=7.0000e-4$	—
MNLMS (R)	Grid search	12.3191	L=5	$\mu=0.005$	—
RLS	Grid search	13.1165	L=1.0000	$\delta=1.0000e3$	—
RLS (R)	Grid search	9.8036	L=1.0000	$\delta=10$	—
HRLS	Grid search	5.1677	L=1.0000	$\lambda=0.9960$	$\delta=8.08$
HRLS (R)	Grid search	9.5355	L=1.0000	$\lambda=1.4$	$\delta=1$
QRDRRLS	Grid search	6.6749	L=1.0000	$\lambda=48.0000$	$\delta=32.0000$
QRDRRLS (R)	Grid search	12.3094	L=6.0000	$\lambda=46$	$\delta=5$
Kalman	Gauss-Newton	3.5430	$\alpha=143.8600$	—	—
Kalman Din.	Gauss-Newton	2.1132	$\alpha_1=1.1450$	$\alpha_2=168.8207$	—
Madgwick	Gauss-Newton	9.6170	$\beta=2.7440$	—	—

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

↳ Señales Sintéticas

- ▶ Alta intensidad:
 - ▶ RMSE > 10°.
 - ▶ NLMS → RMSE = $10,5963 \pm 2,5222(^{\circ})$.
 - ▶ ≠ Compensación del offset.
 - ▶ Parámetros: $p = 1, \mu \downarrow$.
- ▶ Baja intensidad:
 - ▶ NLMS → RMSE = $1,2940 \pm 0,0633(^{\circ})$.
 - ▶ Parámetros: $L = 1, \mu \uparrow$.
- ▶ Intensidad mixta:
 - ▶ Parámetros ≈ intensidad alta.
 - ▶ NLMS → RMSE = $5,2347 \pm 0,3834$.

↳ Señales Reales

- ▶ Alta intensidad:
 - ▶ HRLS → RMSE = $4,3924 \pm 1,9770(^{\circ})$.
 - ▶ Parámetros: $L=1, \mu \downarrow$.
 - ▶ Mejora de RLS.
 - ▶ Repetibilidad aceptable.
- ▶ Baja intensidad:
 - ▶ Kalman → RMSE = $1,5643 \pm 0,5327(^{\circ})$.
 - ▶ Compensación de offset.
- ▶ Intensidad mixta:
 - ▶ Kalman dinámico → RMSE = $2,1132(^{\circ})$.
 - ▶ Variación de parámetros mejora precisión.

APLICACIONES DEL SISTEMA

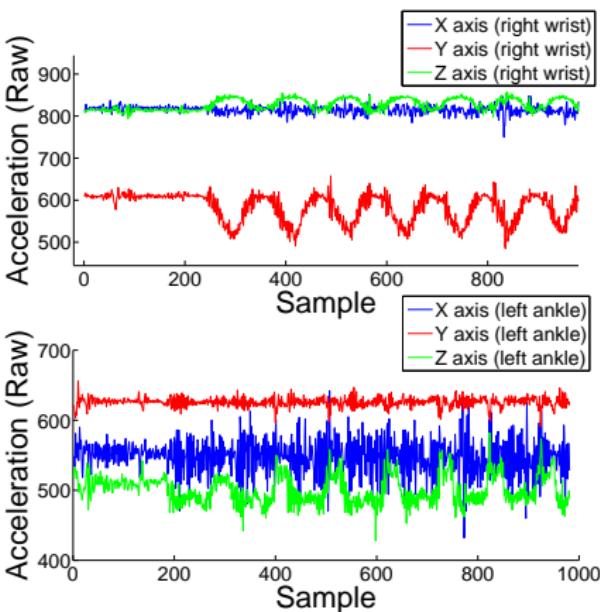
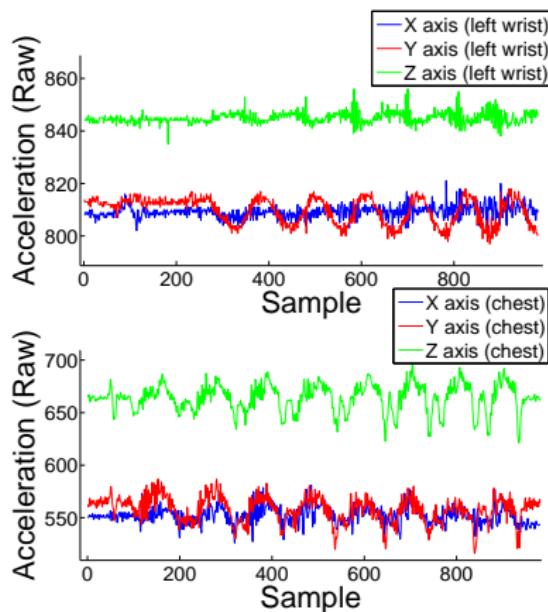


MONITORIZACIÓN DE PATOLOGÍAS MÉDICAS

- ▶ **Telerehabilitación:** Supervisión remota de ejercicios de rehabilitación. Proyecto Rehabitic de Telefónica I+D.
- ▶ **Análisis de la Marcha y Postura:** Prevención y diagnosis de enfermedades musculares, óseas y degenerativas.
- ▶ **Análisis de la Actividad Diaria:** Clasificación de actividades diarias (andar, sentarse, levantarse, tumbarse, lavarse los dientes, fregar, etc.). Monitorización de personas mayores que viven solas.
- ▶ **Detección de Caídas:** Detección automática de caídas y envío de alarmas.
- ▶ **Detección de Ataques Epilépticos y Episodios Parkinsonianos:** Monitorización nocturna, envío de alarmas. Mejora del seguimiento de los pacientes.
- ▶ **Desórdenes del Sueño:** Monitorización de la calidad de sueño.

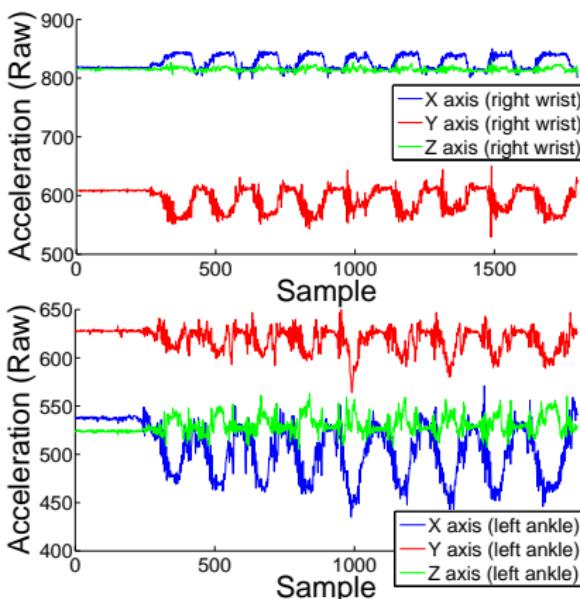
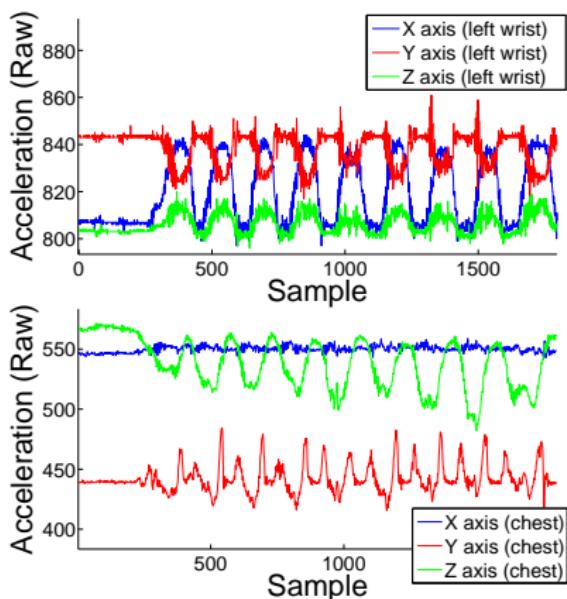
MONITORIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DEPORTIVA

- ▶ Análisis de la técnica deportiva.
- ▶ Análisis del rendimiento.
- ▶ Aplicaciones de entrenador personal.



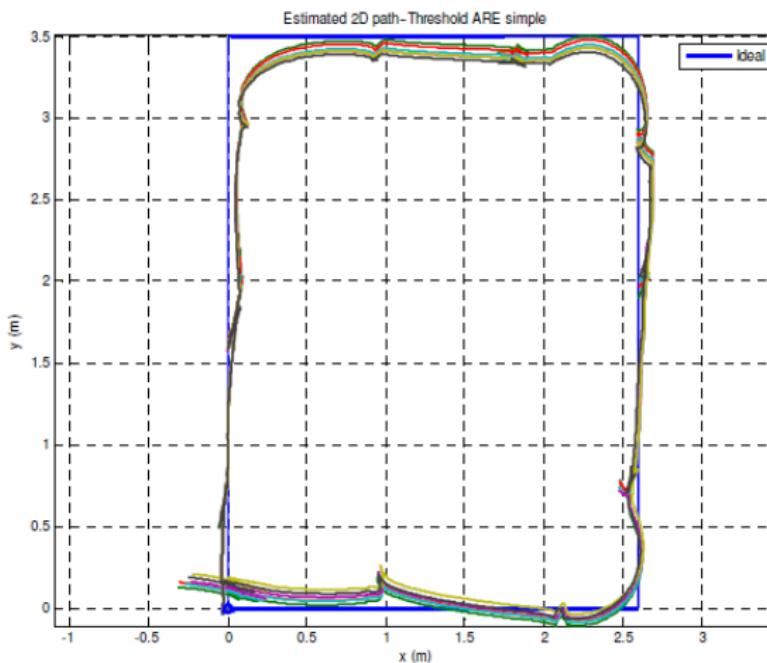
MONITORIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DEPORTIVA

- ▶ Análisis de la técnica deportiva.
- ▶ Análisis del rendimiento.
- ▶ Aplicaciones de entrenador personal.



OTRAS APLICACIONES

- Cálculo de trayectorias.
- Navegación inercial.
- Monitorización de estructuras.



CONCLUSIONES



RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES

- ▶ Desarrollo de sistema completo de monitorización del movimiento del cuerpo humano.
- ▶ Necesidad de procesamiento de datos medidos para mejorar precisión.
- ▶ Análisis de técnicas existentes de calibración. Propuestos nuevos procedimientos sin instrumentación compleja.
- ▶ Análisis de técnicas existentes detección intensidad del movimiento. 4 Nuevas propuestas.
- ▶ Análisis de técnicas existentes de estimación de la orientación. Nuevos enfoques. Superioridad.

CONCLUSIONES → RECAPITULACIÓN DE OBJETIVOS INICIALES

↳ CALIBRACIÓN

- ▶ *Objetivo inicial:* Estudio del estado del arte.
 - ▶ *Resultados:* Análisis de 100 artículos publicados.
- ▶ *Objetivo inicial:* Estudio comparativo.
 - ▶ *Resultados:* Estudio comparativo 12 algoritmos. Importancia de modelo teórico y distribución de datos. Cálculo automático de distribución espacial óptima. Extensión de algoritmos existentes.
- ▶ *Objetivo inicial:* Proponer nuevos algoritmos sin instrumentación compleja.
 - ▶ *Resultados:* Dos nuevos algoritmos para giróscopo. Maniobras sencillas.

CONCLUSIONES → RECAPITULACIÓN DE OBJETIVOS INICIALES

↳ ESTIMACIÓN DE LA ORIENTACIÓN

- *Objetivo inicial:* Estudio del estado del arte.
 - *Resultados:* Análisis de 80 artículos publicados.
- *Objetivo inicial:* Proponer variantes basadas en filtrado adaptativo.
 - *Resultados:* Cinco alternativas nuevas de fusión basadas en RLS, LMS y variantes. Desarrollo detallado del filtro de Kalman estándar. Estudio rendimiento para distinta intensidad de movimiento. Intensidad mixta: Kalman Dinámico, **error=2,1132°**, intensidad alta: HRLS, **error=4,3924 ± 1,9770°**, intensidad baja: Kalman, **error=1,5643 ± 0,5327**.
- *Objetivo inicial:* Proponer algoritmos con parámetros dinámicos.
 - *Resultados:* Variante dinámica filtro de Kalman. Mejora de 1,4° frente a estática.

CONCLUSIONES → OTROS OBJETIVOS CUBIERTOS

- *Objetivo:* Proponer nuevos algoritmos de detección de la intensidad.
 - *Resultados:* Estudio comparativo. Superioridad de LTSD, Precisión= $0,9711 \pm 0,0072$. Desarrollo de sintetizador de señales.
- *Objetivo:* Inicio sincronizado de lectura de datos de Wagyyromag formando red.
 - *Resultados:* Modificación del firmware para lectura de trama de inicio enviada por operador.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

↳ Revistas Internacionales:

- ▶ A. Olivares, J.M. Górriz, J. Ramírez and G. Olivares, *Accurate human limb angle measurement: sensor fusion through Kalman, least mean squares and recursive least-squares adaptive filtering*. Meas. Sci. Technol. 2011, 22, doi:10.1088/0957-0233/22/2/025801.
- ▶ A. Olivares, G. Olivares, F. Mula, J.M. Górriz, and J. Ramírez. *Wagyromag: Wireless sensor network for monitoring and processing human body movement in healthcare applications*. Journal of Systems Architecture, 57(10):905-915, nov. 2011.
- ▶ Olivares A., Ramírez J., Górriz J.M., Olivares G. and Damas M. *Detection of (In)activity Periods in Human Body Motion Using Inertial Sensors: A Comparative Study*. Sensors, 2012; 12(5):5791-5814.

↳ Capítulos de libros:

- ▶ Alberto Olivares, Gonzalo Olivares, J. M. Górriz and J. Ramírez, *Human Body Position Monitoring*. Capítulo 16 de *Recent Advances on Biomedical Signal Processing*, Bentham Science Publishers, pp 77 – 92, 2010.
- ▶ Alberto Olivares. *Periféricos con acelerómetros*, en *Periféricos avanzados*, Editorial Garceta, Madrid, ISBN: 978-84-15452-04-1, 2012.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

↳Conferencias Internacionales:

- ▶ Alberto Olivares, Gonzalo Olivares, J. M. Gorri, and J. Ramirez, *High-efficiency Low-cost Accelerometer-aided Gyroscope Calibration*, International Conference on Test and Measurement, Hong Kong, China, December 2009. vol.1, pp 354–360, ISBN: 978-1-4244-4699-5.
- ▶ A. Olivares, J.M. Gorri, G. Olivares, J. Ramirez and P. Gloesekoetter, *A Study of Vibration-Based Energy Harvesting in Activities of Daily Living*, published at 4th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, ISBN: 987-963-9799-89-9, Munich, Germany, March 2010.
- ▶ Alberto Olivares, J.M. Gorri, J. Ramirez and Gonzalo Olivares, *Accurate Human Limb Angle Measurement in Telerehabilitation: Sensor fusion through Kalman, LMS and RLS Adaptive Filtering*, Ambient Intelligence and Future Trends, International Symposium on Ambient Intelligence (ISAMI 2010). Guimaraes, Portugal, June 2010. ISBN: 978-3-642-13267-4. pp 97–104.
- ▶ Alberto Olivares, J.M. Gorri, J. Ramirez and Gonzalo Olivares, *Sensor Fusion Adaptive Filtering for Position Monitoring in Intense Activities*, 5th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS 2010). San Sebastian, Spain, June 2010. ISBN: 978-3-642-13768-6. pp 484–491.
- ▶ A.Olivares, J Ramirez, J.M. Górriz, G. Olivares. *Detection of human body movement using inertial sensors: a comparative study*. V International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI 2011). ISBN 978-84-694-9677-0. Pag.38. Riviera Maya (Méjico) 5-9 Diciembre 2011.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

↳ Conferencias Nacionales:

- ▶ Alberto Olivares, Gonzalo Olivares, J. M. Górriz, J. Ramírez, *Wagyromag: red inalámbrica de sensores iniciales para el registro y procesamiento de movimientos corporales*, I Simposio en Computación Empotrada, Congreso Español de Informática (CEDI), Valencia, Spain, September 2010.

↳ Trabajos supervisados dentro del proyecto:

- ▶ M. Cabrera, *Desarrollo de firmware de WAGYROMAG, un dispositivo de medida inercial orientado a la monitorización de la posición del cuerpo humano*. Universidad de Granada, 2011
- ▶ E. Villarino, *Sensores iniciales aplicados a la monitorización de la actividad física y deportiva*, Universidad de Granada, 2011.
- ▶ G. Ruiz, *Estimación de ángulos de orientación mediante fusión de sensores y filtrado adaptativo*, Universidad de Granada, 2012.
- ▶ L. Curiel, *Herramienta para el registro, análisis y representación 3D de señales de sensores iniciales*, Universidad de Granada, 2012.
- ▶ R. López, *Estudio de algoritmos de calibración para sensores MEMS en Unidades de Medida Iniciales*, Universidad de Granada, 2012.
- ▶ M. Granero, *Sistema de posicionamiento en interiores mediante unidades de medida iniciales*, Universidad de Granada, 2012.

TRABAJO FUTURO

- **Hardware e Instrumentación:** Diseño de nueva versión de Wagyromag (nuevos sensores, + potencia, diferente transmisión).
- **Calibración de los sensores:** Desarrollo de nuevos algoritmos de optimización no basados en magnitud. Calibración de giróscopo con instrumentación simple. Construcción de dispositivo giratorio automático low cost.
- **Detección de la intensidad del movimiento:** Mejora del sintetizador de señales iniciales. Algoritmos multinivel.
- **Estimación de la orientación:** Desarrollo de nuevos modelos de fusión (EKF, UKF, PF). Ampliación de enfoque dinámico.
- **Aplicaciones del sistema:** Proyecto piloto detección epilepsia nocturna, detección de Parkinson, detección de caídas, telerehabilitación compleja.

TESIS DOCTORAL

Procesamiento de Señales de Sensores Magnéticos e Inerciales para la Monitorización del Movimiento del Cuerpo Humano

Doctorando:

Alberto Olivares Vicente

Directores:

Dr. Juan Manuel Górriz Sáez

Dr. Javier Ramírez Pérez de Inestrosa

Dr. Gonzalo Olivares Ruiz

