

Procesado multicanal con dispositivos Frugal AI

Clasificación de seis agarres mediante señales sEMG con una red neuronal cuantizada a INT8 sobre un microcontrolador

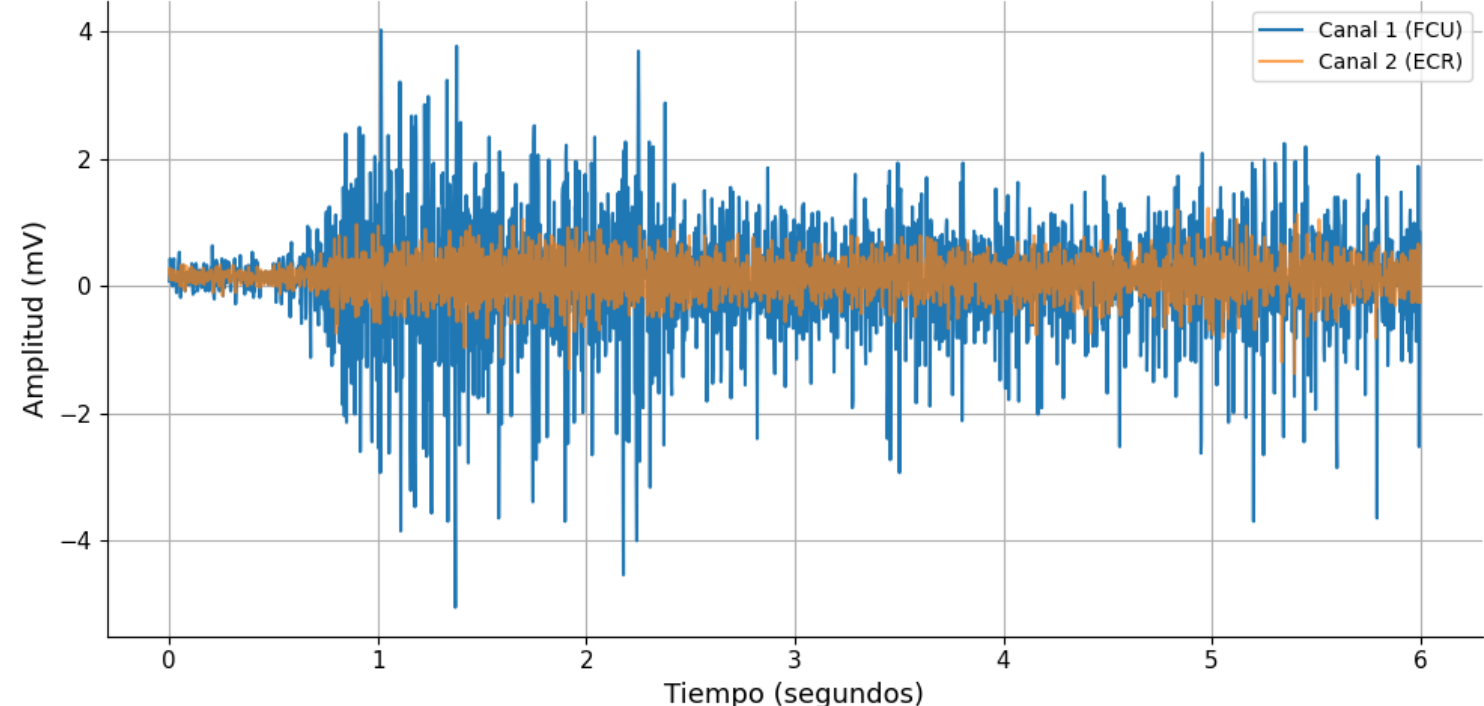
Joaquín Trallero, Nicolás Medrano, Belén Calvo

Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM) — Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Universidad de Zaragoza
{838627, nmedrano, becalvo}@unizar.es

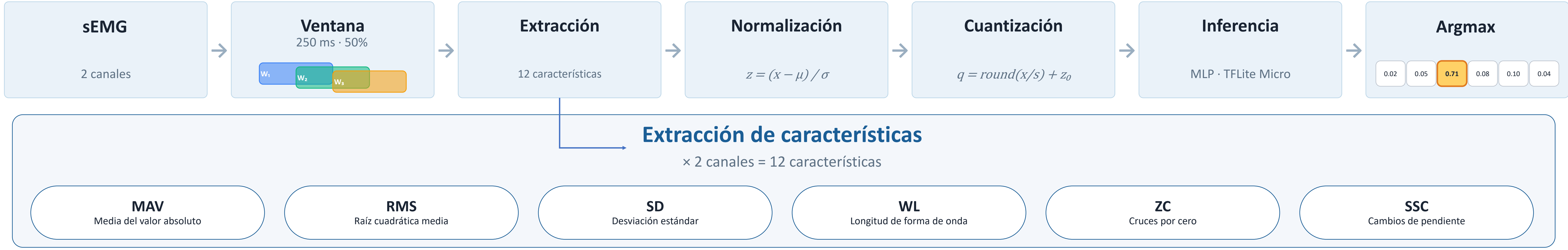
Introducción

Las prótesis mioeléctricas traducen la actividad sEMG del antebrazo en movimiento de la mano, pero su utilidad depende de que el clasificador funcione de forma autónoma: sin conexión a Internet, con batería externa y en entornos de recursos limitados. Este trabajo implementa un clasificador de seis agarres a partir de sEMG sobre un STM32H753ZI: un perceptrón multicapa cuantizado a INT8 validado mediante hardware-in-the-loop frente al modelo de referencia en Python. El resultado es un sistema frugal que ocupa 17.65 KB y mantiene un 71.8 % de precisión ejecutando todo dentro del propio chip.

Señal sEMG



De la señal a la elección: pipeline embebido

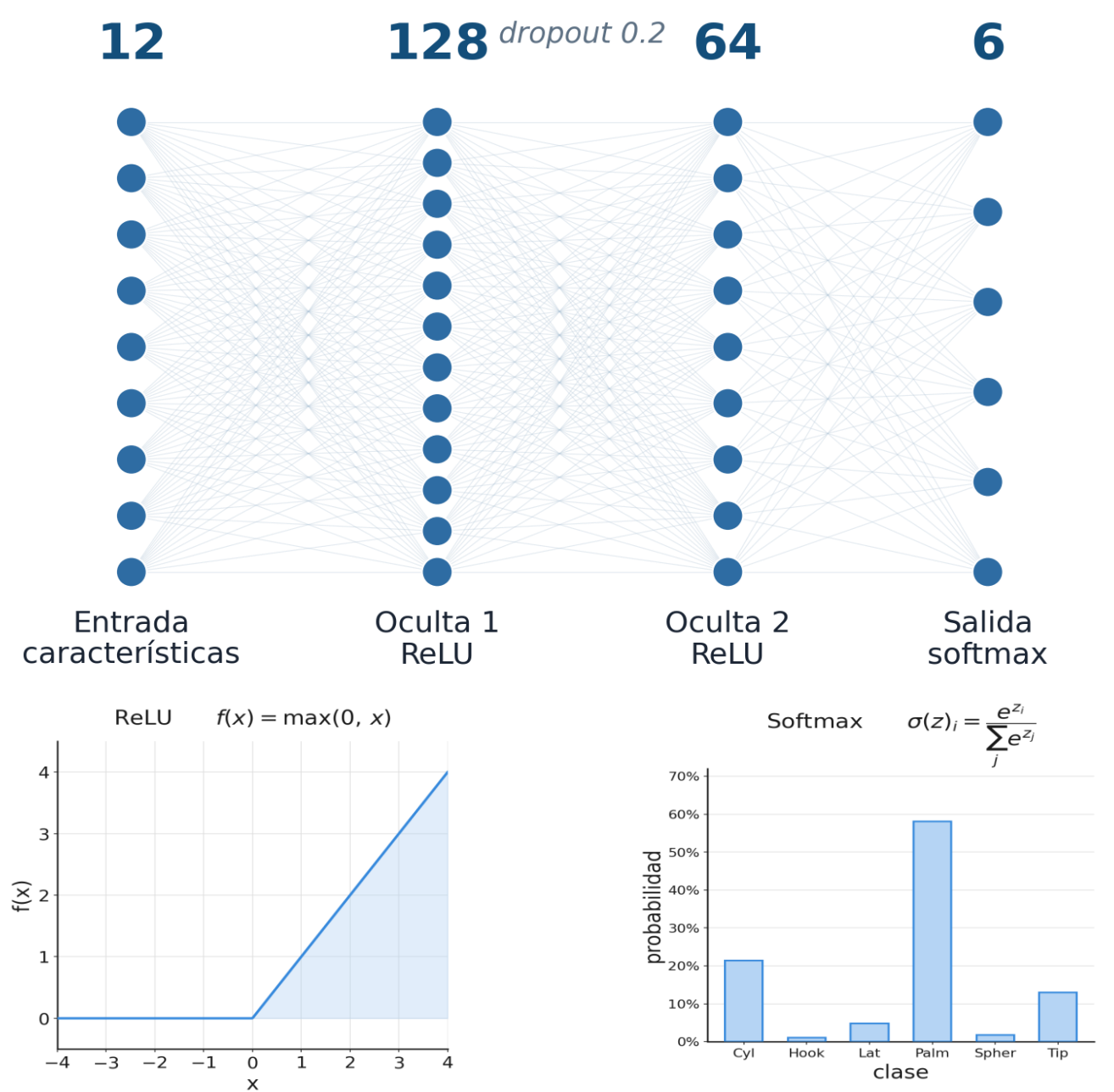


Las seis tipos de agarre

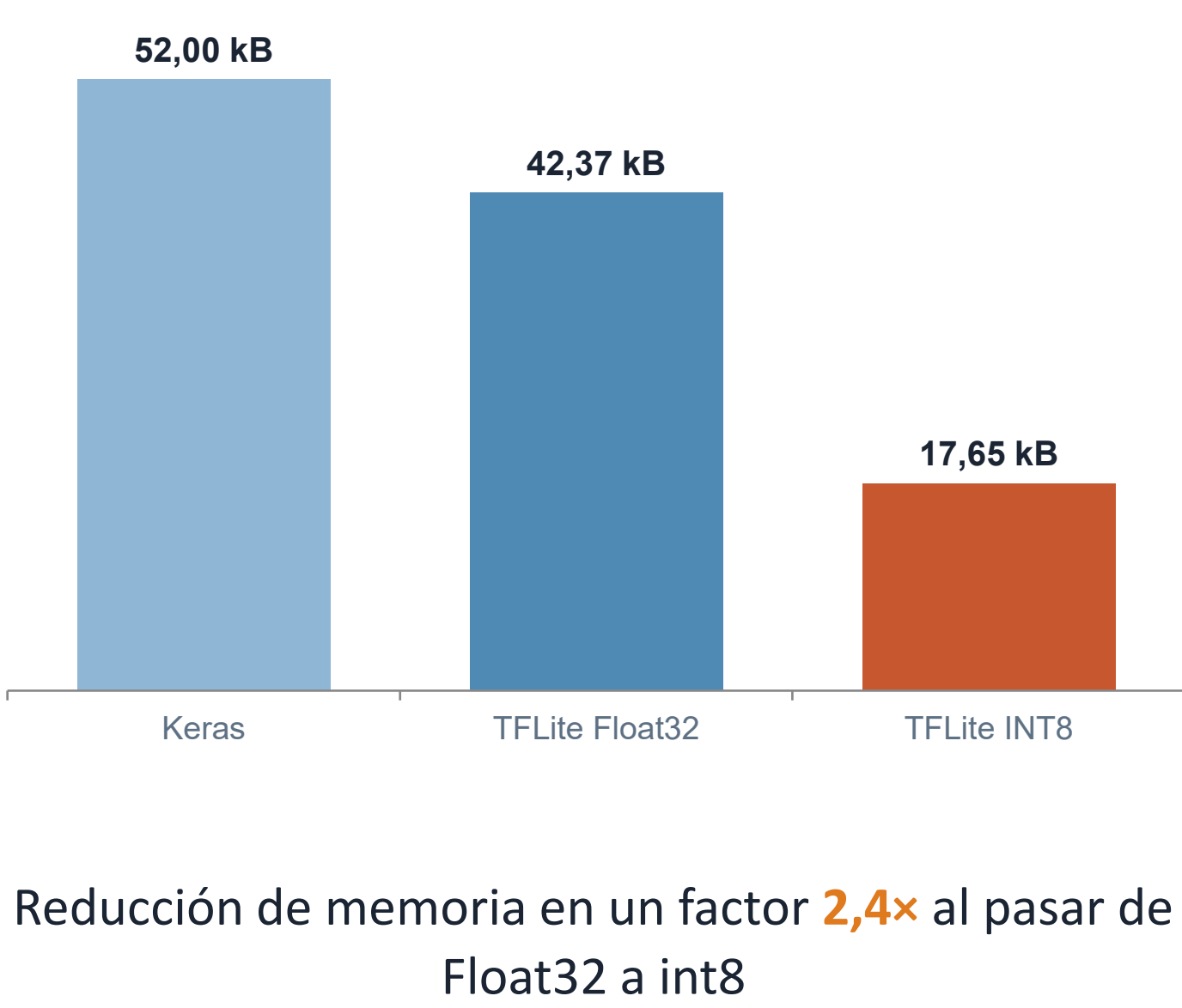


cilíndrico · de punta · de gancho palmar · esférico · lateral

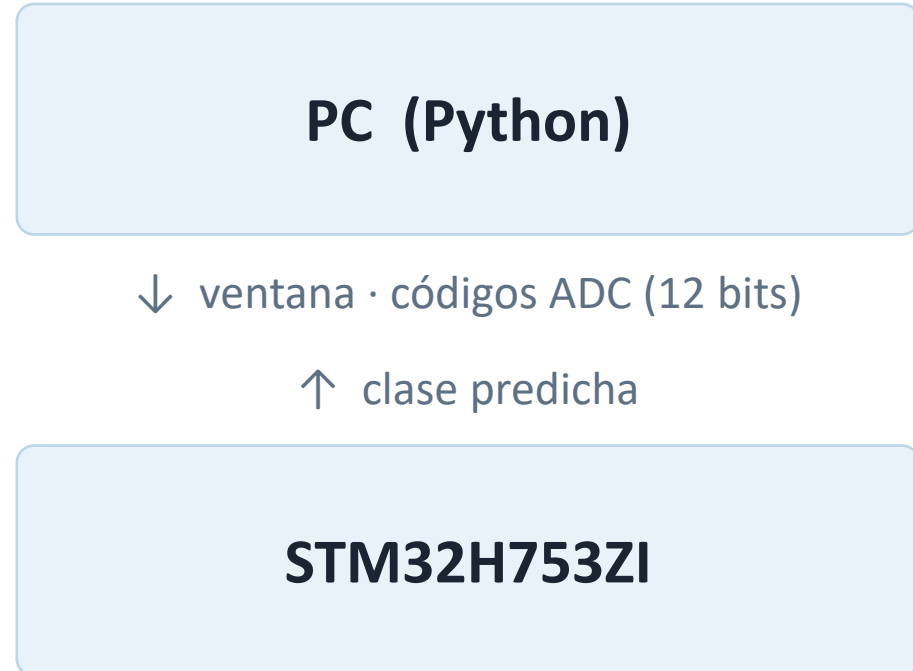
Arquitectura del modelo



Optimización



Validación Hardware-in-the-Loop



El microcontrolador real ejecuta toda la inferencia: se le inyectan las ventanas del conjunto de test y se comprueba que reproduce el modelo de referencia en Python.

Resultados

Float32 (Python)							INT8 (Python)							INT8 (STM32)							
Etiqueta real	cyl	1613	68	47	53	219	70	cyl	1623	68	53	45	214	67	cyl	1525	115	79	75	175	101
	hook	124	1496	67	142	202	39	hook	146	1493	55	141	197	38	hook	101	1554	78	119	186	32
	lat	61	54	1382	203	4	366	lat	79	56	1394	206	5	330	lat	49	69	1469	186	0	297
	palm	56	57	131	1601	11	214	palm	70	60	141	1575	9	215	palm	51	105	178	1478	11	247
	spher	173	134	27	40	1668	28	spher	213	148	24	43	1614	28	spher	214	190	34	44	1565	23
	tip	57	19	302	264	6	1422	tip	75	20	330	267	6	1372	tip	54	19	424	248	1	1324
Etiqueta predicha							Etiqueta predicha							Etiqueta predicha							
(a)							(b)							(c)							

Las tres matrices conservan la misma estructura de aciertos y errores; la confusión se concentra en los agarres finos de pinza —punta, lateral y palmar—, de menor amplitud sEMG.

Precisión sobre el test (12 420 ventanas)

73.93%
Float32 (Python)
73.04%
INT8 (Python)
71.78%
INT8 — STM32 (embebido)

100% de las discrepancias entre Python y el STM32 ocurren en ventanas de margen ≤ 5 (unidades INT8): es la frontera de decisión del modelo, no un error de implementación.

Huella del sistema desplegado

17.65 KB
Modelo en Flash
0,86 % de 2 MB

1 684 bytes
RAM en inferencia
0,16 % de 1 MB

12.84 ms
Pipeline por ventana
Latencia

~78 /s
Ventanas procesadas
Requisito $\geq 8/s$

Conclusiones

Un clasificador de agarres sEMG funcional, autónomo y eficiente sobre un microcontrolador comercial: ocupa el 0.86% de la Flash y el 0.16% de la RAM, con una latencia muy por debajo del umbral de percepción humana. La traslación al embebido cuesta solo 2.15 pp de precisión, concentrados en las ventanas de menor margen.

Líneas futuras: adquisición sEMG en tiempo real e integración en el lazo de control de una prótesis; kernels CMSIS-NN; adaptación al usuario.