

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica
IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores

Laboratorio 5: STM32/Arduino: GPIO, Giroscopio, comunicaciones, TinyML

Estudiante: Kevin Chen Wu, B92215

Profesor: Marco Villalta Fallas

III-2022

Repositorio del laboratorio

El repositorio del laboratorio 5 fue creado en GitHub y se encuentra en el siguiente link:
<https://github.com/KevinChenWu/IE-0624-Laboratorio-5>

1. Introducción/Resumen

En este laboratorio consiste en crear un modelo en Tensor Flow Lite para el microcontrolador Arduino Nano 33 BLE Sense donde se pueda identificar 3 movimientos escogidos por el estudiante. La funcionalidad del programa fue la esperada donde en la primera parte se realizó una toma de datos y se guardó en archivos csv. En la segunda parte se realizó la construcción y entrenamiento del modelo usando dichos archivos csv. En la parte final se logró usar el modelo exportado en el microcontrolador y se logró identificar el tipo de movimiento con una precisión y exactitud aceptable. Como conclusión principal se destaca la experiencia y el aprendizaje de usar Tensor Flow Lite en microcontroladores y cabe resaltar el conocimiento adquirido a la hora de construir y entrenar un modelo de Machine Learning.

2. Nota teórica

2.1. Arduino Nano Sense 33 BLE Sense (Lite version)

El Arduino Nano 33 BLE Sense se destaca por ser un módulo miniaturizado que contiene un módulo NINA 8306, el cual está basado en Nordic nRF52480 y contiene internamente un Cortex M4F, un chip criptográfico para almacenar de forma segura certificados y claves pre-compartidas y una unidad de medición inercial (IMU, siglas en inglés) de 9 ejes. Está diseñado para ser usado en áreas de maker, mejoras y aplicaciones IoT. Entre sus características se encuentra lo siguiente [1]:

- Módulo NINA B306: procesador Arm Cortex M4F de 64 MHz con FPU, 1 MB de Memoria Flash y 256 kB de memoria RAM. Bluetooth 5 multiprotocolo de 2 Mbps. Periféricos como USB de 12 Mbps y Arm CryptoCell CC310 subsistema de seguridad.

- LSM9DS1 (IMU de 9 ejes), LPS22HB (barómetro y sensor de temperatura, no incluido en la versión Lite), HTS221 (sensor de humedad relativa, no incluido en la versión Lite), APDS-9960 (sensor digital de proximidad, luz ambiental, RGB y gesto), MP34DT05 (micrófono digital), ATECC608A (chip criptográfico) y MPM3610 (convertidor DC-DC).

En la figura 1 se puede observar el diagrama de pines del Arduino Nano 33 BLE Sense:

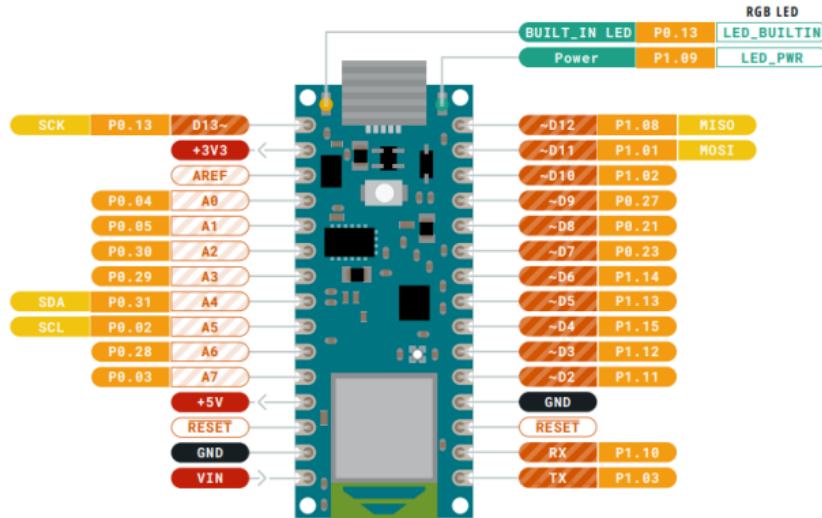


Figura 1: Diagrama de pines del Arduino Nano 33 BLE Sense [1].

Las especificaciones eléctricas del Arduino Nano 33 BLE Sense son las siguientes [1]:

- Temperatura de operación: -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$.
- Tensión de operación: 3.3 V.
- Tensión de entrada (límite): 21 V.
- Corriente directa por pin de E/S: 15 mA.

2.2. nRF52480

Las características del Nordic nRF52480 son las siguientes [2]:

- Transmisor Bluetooth 5 a 2.4 GHz, , procesador ARM Cortex M4 de 32 bits con FPU a 64 MHz, subsistema de seguridad ARM TrustZone Cryptocell 310, arranque seguro listo, borrado seguro, manejo de potencia flexible, 1 MB de Memoria Flash y 256 kB de memoria RAM. Controlador USB 2.0 de plena velocidad (12 Mbps), interfaz QSPI a 32 MHz, 48 pines de E/S de propósito general, ADC de 12 bits con 200 ksps y 8 canales configurables con ganancia programable, comparador de 64 niveles.
- 4 PWM de 4 canales con EasyDMA, I2S y micrófono digital (PDM), 5 timers de 32 bits con modo de contador, 4 SPI master/3 SPI slave con EasyDMA, 2 I2Cs compatibles con 2-wire master/slave, 2 UARTs (CTS/RTS) con EasyDMA, decodificador de cuadratura, 3 contadores de tiempo real.

En la figura 2 se puede observar el diagrama de bloques del Nordic nRF52480:

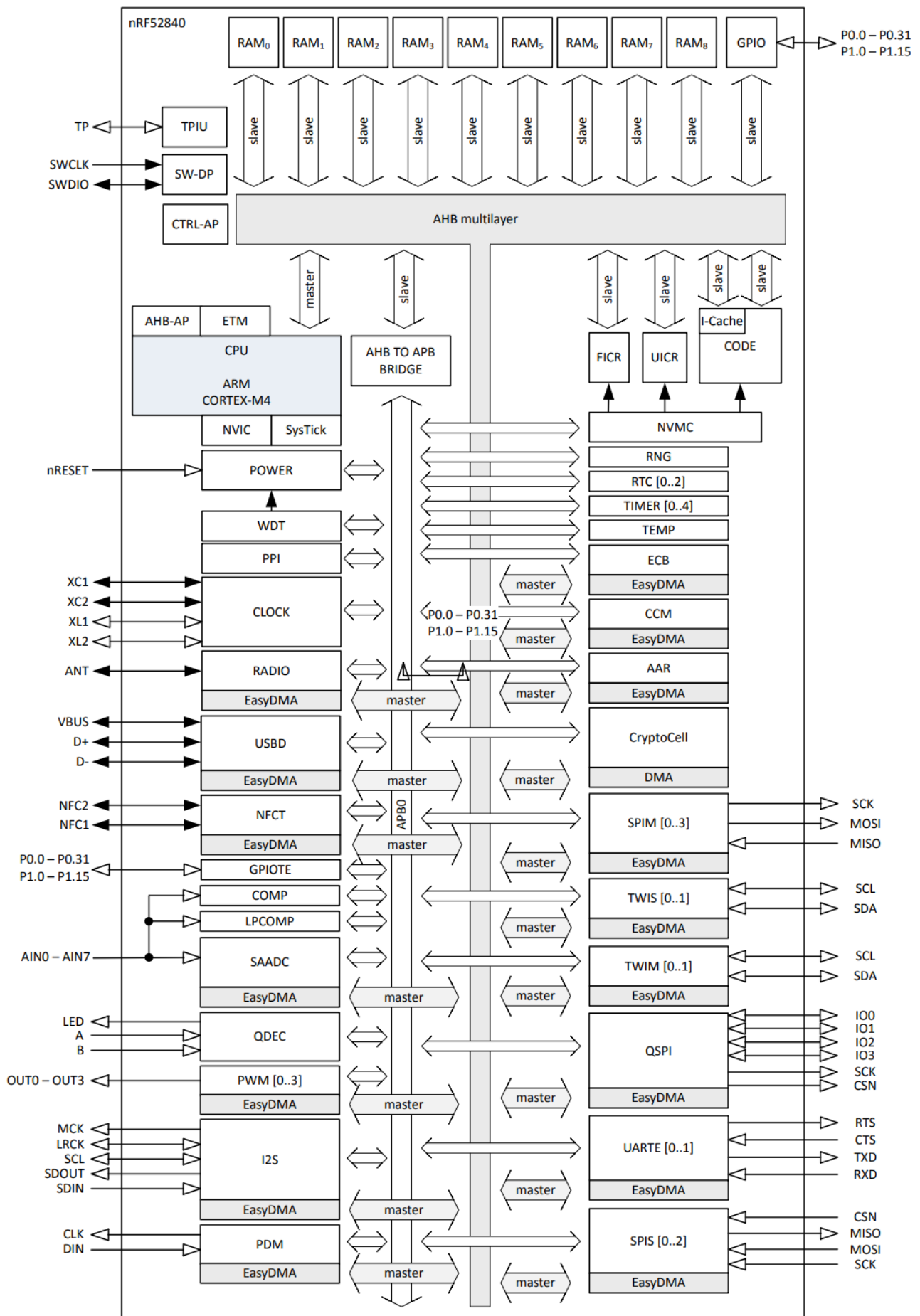


Figura 2: Diagrama de bloques del Nordic nRF52840 [2].

En la figura 3 se puede observar el diagrama de pines del Nordic nRF52480:

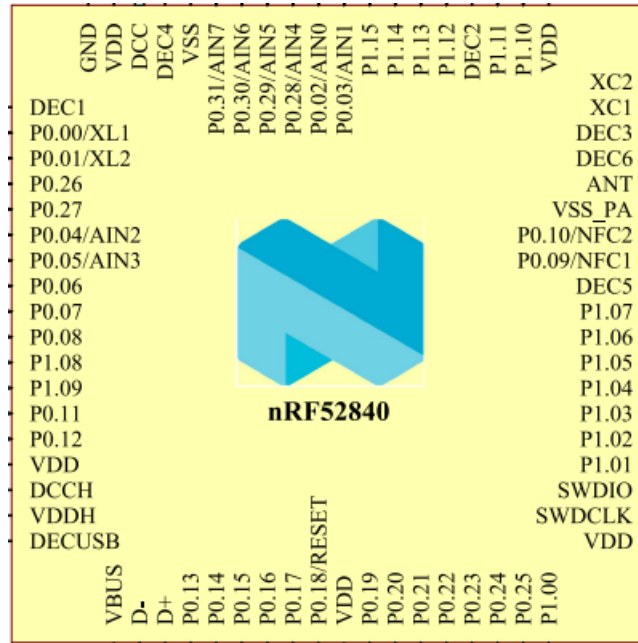


Figura 3: Diagrama de pines del Nordic nRF52480 [2].

Las características eléctricas del Nordic nRF52480 son las siguientes [2]:

	Note	Min.	Max.	Unit
Supply voltages				
VDD		-0.3	+3.9	V
VDDH		-0.3	+5.8	V
VBUS		-0.3	+5.8	V
VSS			0	V
I/O pin voltage				
$V_{I/O}$, VDD \leq 3.6 V		-0.3	VDD + 0.3	V
$V_{I/O}$, VDD > 3.6 V		-0.3	3.9	V
NFC antenna pin current				
$I_{NFC1/2}$			80	mA
Radio				
RF input level			10	dBm
Environmental aQFN™ package				
Storage temperature		-40	+125	°C
MSL	Moisture Sensitivity Level		2	
ESD HBM	Human Body Model		2	kV
ESD HBM Class	Human Body Model Class		2	
ESD CDM	Charged Device Model		750	V
Environmental WLCSP 3.544 x 3.607 mm package				
Storage temperature		-40	+125	°C
MSL	Moisture Sensitivity Level		1	
ESD HBM	Human Body Model		1	kV
ESD HBM Class	Human Body Model Class		1C	
ESD CDM	Charged Device Model		500	V
Flash memory				
Endurance		10 000		Write/erase cycles
Retention		10 years at 40°C		

Figura 4: Características eléctricas del Nordic nRF52480 [2].

2.3. LSM9DS1

El LSM9DS1 se destaca por ser un sistema empaquetado de un sensor digital de aceleración lineal 3D, un sensor digital de velocidad angular 3D y un sensor digital magnético 3D. Entre sus características se encuentra lo siguiente [3]:

- 3 canales de aceleración, de velocidad angular y de campo magnético. Plena escala de aceleración lineal de $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g (gravedad). Plena escala de flujo magnético de $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss. Plena escala de velocidad angular de $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps. Salida de datos de 16 bits. Interfaces seriales I2C/SPI.
- Alimentación analógica de 1.9 V a 3.6 V. Modo de alimentación eco “Always-on” de 1.9 mA. Generadores de interrupciones programables. Sensor de temperatura y FIFO integrados. Funciones de detección de posición y movimiento. Reconocimiento de click/doble-click.

En las figuras 5 y 6 se puede observar el diagrama de bloques del LSM9DS1:

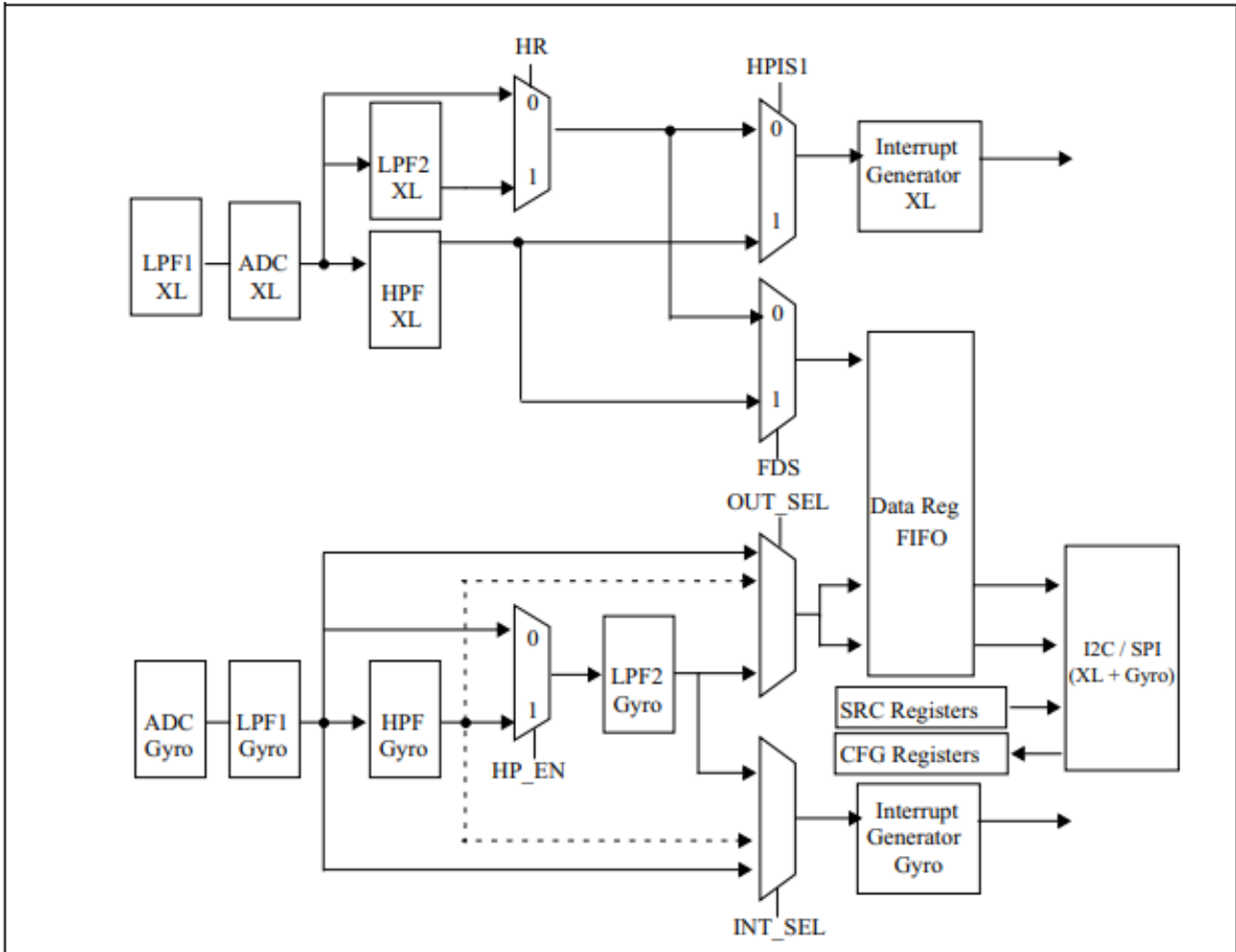


Figura 5: Diagrama de bloques del LSM9DS1 (acelerómetro y giroscopio) [3].

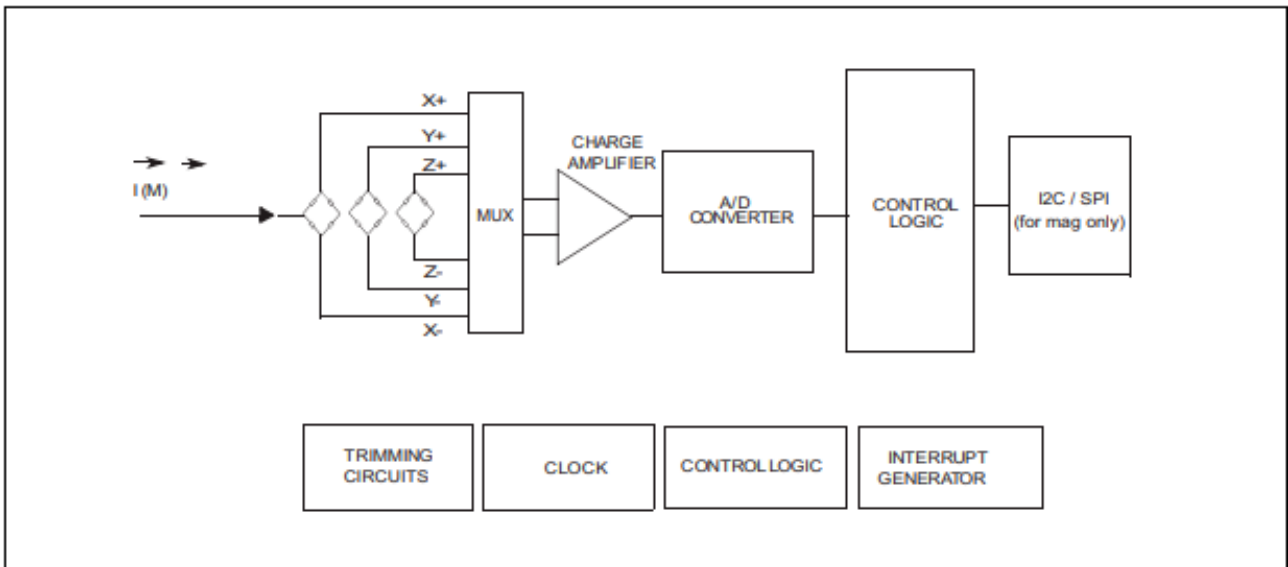


Figura 6: Diagrama de bloques del LSM9DS1 (magnetómetro) [3].

En la figura 7 se puede observar el diagrama de pines del LSM9DS1:

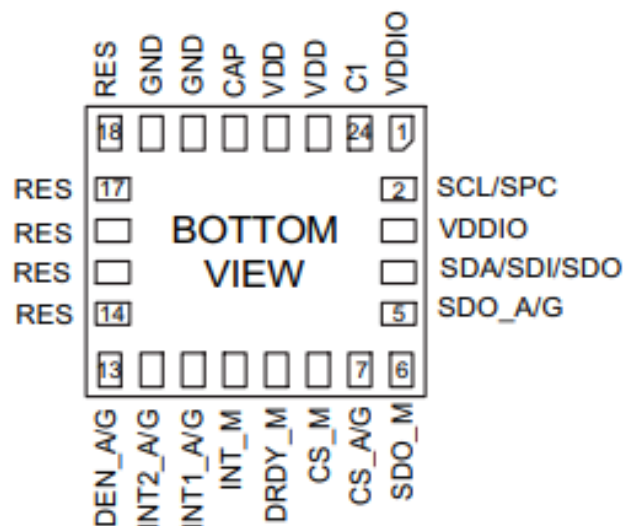


Figura 7: Diagrama de pines del LSM9DS1 [3].

Las características eléctricas del LSM9DS1 son las siguientes [3]:

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		1.9		3.6	V
Vdd_IO	Module power supply for I/O		1.71		Vdd+0.1	
Idd_XM	Current consumption of the accelerometer and magnetic sensor in normal mode ⁽²⁾			600		μA
Idd_G	Gyroscope current consumption in normal mode ⁽³⁾			4.0		mA
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C
Trise	Time for power supply rising ⁽⁴⁾		0.01		100	ms
Twait	Time delay between Vdd_IO and Vdd ⁽⁴⁾		0		10	ms

Figura 8: Características eléctricas del LSM9DS1 [3].

Symbol	Ratings	Maximum value	Unit
Vdd	Supply voltage	-0.3 to 4.8	V
Vdd_IO	I/O pins supply voltage	-0.3 to 4.8	V
Vin	Input voltage on any control pin (including CS_A/G, CS_M, SCL/SPC, SDA/SDI/SDO, SDO_A/G, SDO_M)	0.3 to Vdd_IO +0.3	V
A _{UNP}	Acceleration (any axis)	3,000 for 0.5 ms	g
		10,000 for 0.1 ms	g
M _{EF}	Maximum exposed field	1000	gauss
ESD	Electrostatic discharge protection (HBM)	2	kV
T _{STG}	Storage temperature range	-40 to +125	°C

Figura 9: Rangos absolutos máximos del LSM9DS1 [3].

2.4. Diseño de circuito y lista de precios

En este laboratorio se hará uso del sensor LSM9DS1 que ya está integrado en el Arduino Nano 33 BLE Sense Lite, por lo que no es necesario implementar más circuitos externos.

El costo del Arduino Nano 33 BLE Sense es de \$40.50 y el cable de USB-A a micro USB es de \$6.90 (<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble-sense>).

3. Desarrollo/Análisis de resultados

3.1. Funcionalidad del programa

Para implementar este laboratorio, fue necesario hacer uso de Python y de C/C++ para la toma de datos, entrenamiento del modelo y posteriormente su implementación en el Arduino Nano 33 BLE Sense. Los archivos son los siguientes: `data_generator.ino`, `data_generator.py`, `Laboratorio5.ipynb`, `gesture_tflite.ino` y `gesture_tflite.py`. Los archivos `.ino` y el Jupyter Notebook fueron basado en la documentación oficial del Arduino Nano 33 BLE Sense [4].

3.1.1. `data_generator.ino` y `data_generator.py`

El `data_generator.ino` es el firmware que se carga al Arduino Nano 33 BLE Sense para la toma de datos de movimientos. El diagrama de flujos es la figura 10.

El `data_generator.py` lee del puerto Serial los datos enviados por el microcontrolador y los guarda en un archivo csv, el nombre de dicho csv es dado a través de la terminal. Ejemplo:

```
$: ./data_generator.py punch.csv
```

3.1.2. `Laboratorio5.ipynb`

Este Jupyter Notebook consiste en la creación del modelo y su entrenamiento con Tensor Flow. El diagrama de bloques es la figura 11.

3.1.3. `gesture_tflite.ino` y `gesture_tflite.py`

El `gesture_tflite.ino` es el firmware que se carga al Arduino Nano 33 BLE Sense para la identificación de tipo de movimiento usando el modelo de Tensor Flow Lite. El diagrama de flujos es la figura 12.

El `gesture_tfLite.py` lee del puerto Serial los datos de identificación enviados por el micro-controlador y los guarda en un archivo csv.

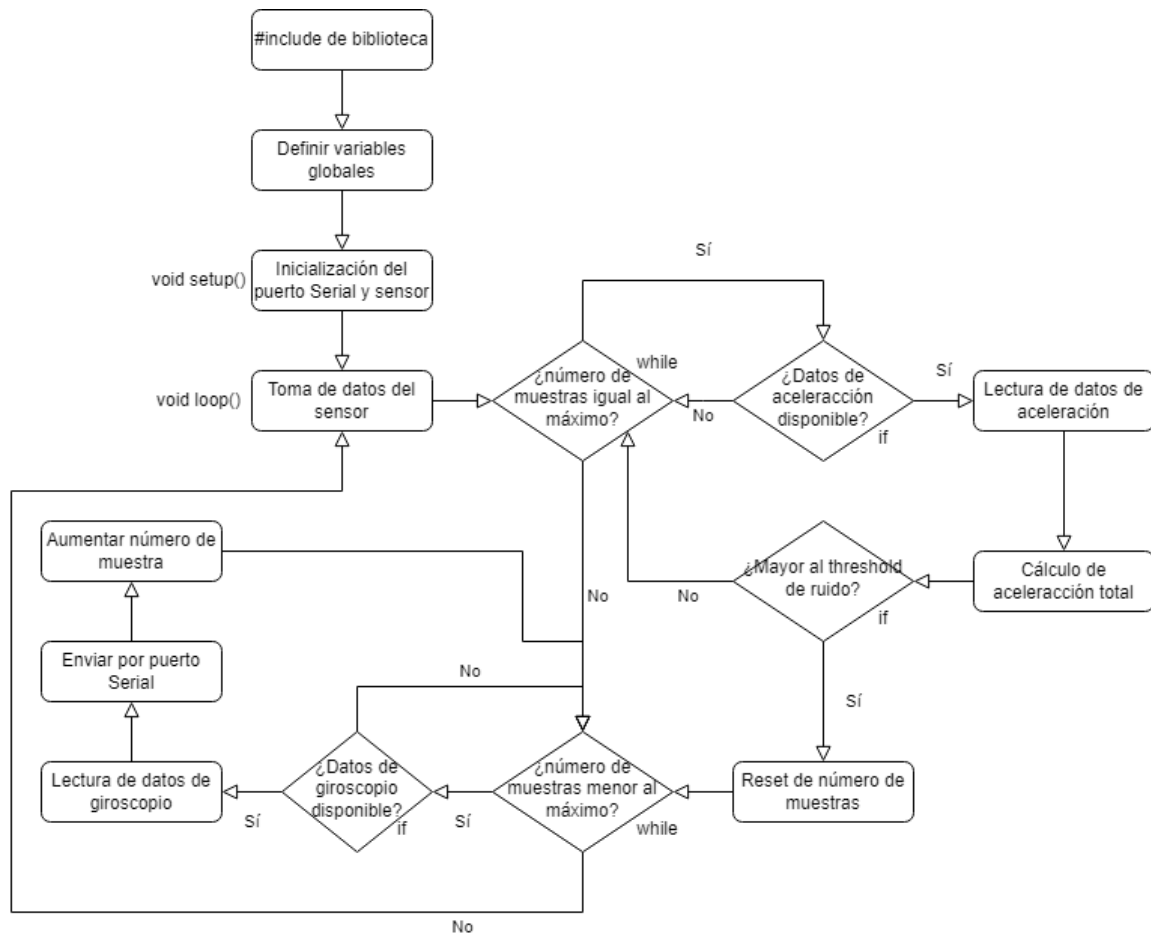


Figura 10: Diagrama de flujos usado para `data_generator.ino`.

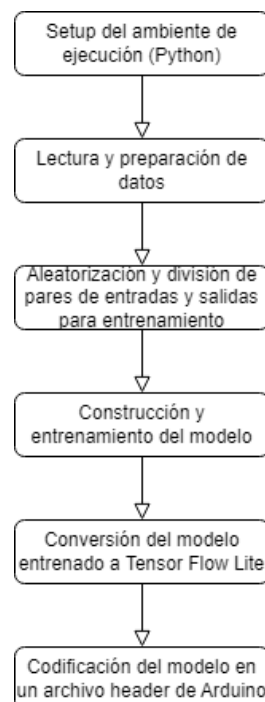


Figura 11: Diagrama de flujos usado para `Laboratorio5.ipynb`.

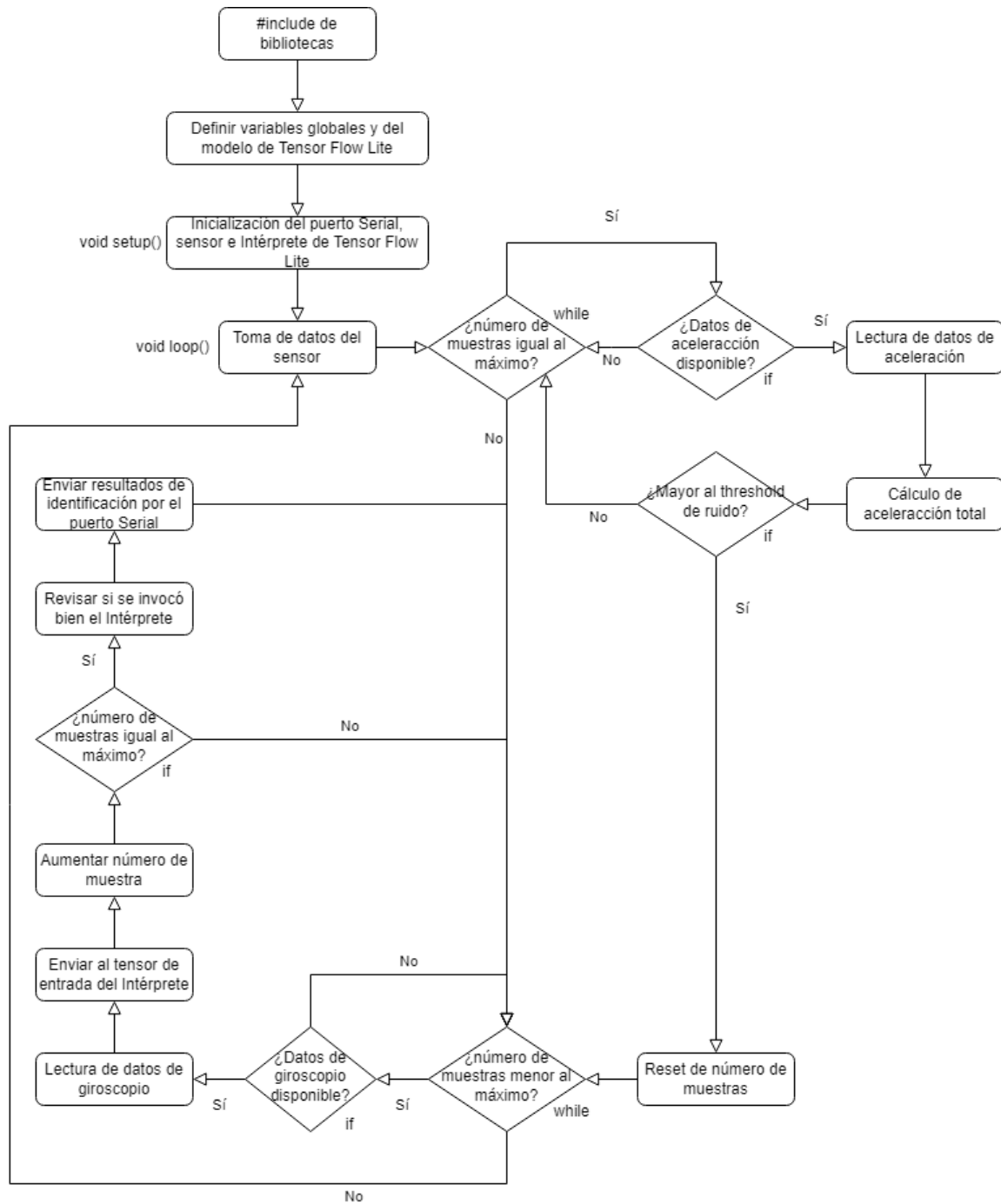


Figura 12: Diagrama de flujos usado para gesture_tflite.ino.

3.2. Funcionalidad electrónica

Se observó que el sensor LSM9DS1 es bastante sensible a cualquier movimiento cuando se sostiene el Arduino Nano en la mano, lo cual fue necesario implementar un threshold para evitar que éste registre movimientos indeseados como parte de los datos para entrenamiento. Ya que el sensor está integrado al Arduino Nano, no fue posible hacer mediciones de corriente y tensión.

Los 3 movimientos escogidos para el entrenamiento son: punch, like y circle.

- punch: se tiene el dorso de la mano hacia arriba y se sostiene con la palma el microcontrolador (mirando hacia arriba). Se pone el puño a la altura y cerca de las costillas y se estira el brazo hacia el frente, similar a golpear a alguien con el puño.

- like: se estira el brazo hacia el frente y a la altura del hombro. Con el dorso de la mano hacia arriba se sostiene el microcontrolador y el dedo pulgar apuntando la izquierda, se gira la mano hacia arriba dejando que el pulgar ahora apunte hacia arriba. El giro de la mano debe ser medianamente brusco para superar el threshold de movimiento.
- circle: se estira el brazo hacia el frente y a la altura del hombro. Con el dorso de la mano hacia arriba se sostiene el microcontrolador. Manteniendo el brazo recto y hacia el frente, se gira la mano con la muñeca haciendo como un círculo. El giro de la muñeca debe ser medianamente brusco para superar el threshold de movimiento.

En el repositorio está un video corto donde se muestra los 3 movimientos y su identificación a través del modelo de Tensor Flow Lite (<https://github.com/KevinChenWu/IE-0624-Laboratorio-5/blob/main/DemoMovimientos.mp4>).

4. Conclusiones y recomendaciones

Como conclusión principal se logró implementar un modelo de Tensor Flow Lite en el Arduino Nano 33 BLE Sense la cual es capaz de identificar 3 movimientos con una precisión y exactitud aceptable con los datos del giroscopio LSM9DS1.

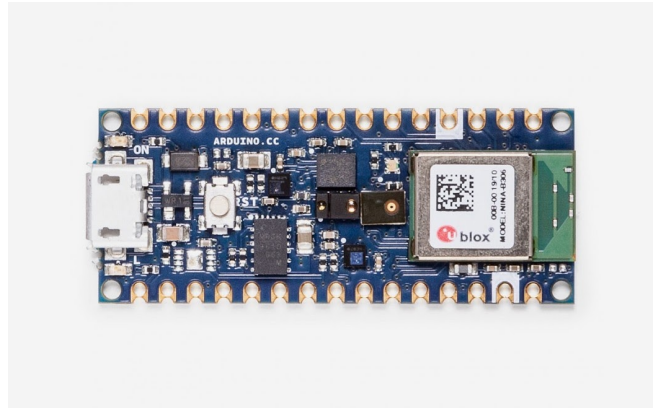
Como aprendizaje adicional se destaca la construcción y entrenamiento de un modelo mediante la biblioteca Tensor Flow además de uso de Google Colab para realizar lo anterior mediante la nube, evitando así un largo tiempo de entrenamiento usando recursos físicos de la computadora.

5. Bibliografía

Referencias

- [1] Arduino, *Arduino@Nano 33 BLE Sense*, ARDUINO.cc, 2022, Tomado de <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00031-datasheet.pdf>. Disponible en línea, accesado el 23 de Febrero de 2023.
- [2] Nordic Semiconductor ASA, *nRF52840 Product Specification v1.1*, ARDUINO.cc, 2019, Tomado de https://content.arduino.cc/assets/Nano_BLE_MCU-nRF52840_PS_v1.1.pdf. Disponible en línea, accesado el 23 de Febrero de 2023.
- [3] STMicroelectronics, *iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer*, ST.com, 2015, Tomado de https://content.arduino.cc/assets/Nano_BLE_Sense_lsm9ds1.pdf. Disponible en línea, accesado el 23 de Febrero de 2023.
- [4] S. Mistry y D. Pajak, *Get Started With Machine Learning on Arduino*, ARDUINO.cc, feb. de 2023, Tomado de <https://docs.arduino.cc/tutorials/nano-33-ble-sense/get-started-with-machine-learning#capturing-gesture-training-data>. Disponible en línea, accesado el 23 de Febrero de 2023.

6. Apéndices



Description

Nano 33 BLE Sense is a miniature sized module containing a NINA B306 module, based on Nordic nRF52480 and containing a Cortex M4F, a crypto chip which can securely store certificates and pre shared keys and a 9 axis IMU. The module can either be mounted as a DIP component (when mounting pin headers), or as a SMT component, directly soldering it via the castellated pads

Target areas:

Maker, enhancements, IoT application

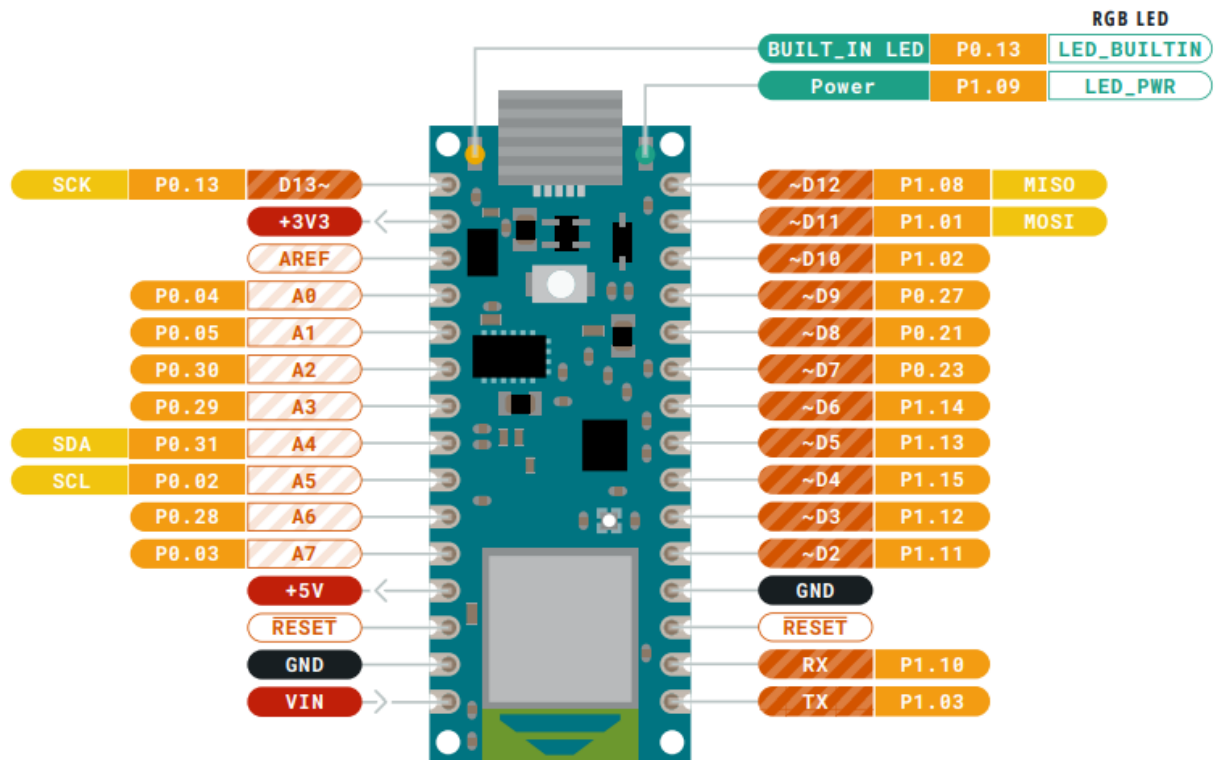


Features

- **NINA B306 Module**
 - **Processor**
 - 64 MHz Arm® Cortex-M4F (with FPU)
 - 1 MB Flash + 256 KB RAM
 - **Bluetooth® 5 multiprotocol radio**
 - 2 Mbps
 - CSA #2
 - Advertising Extensions
 - Long Range
 - +8 dBm TX power
 - -95 dBm sensitivity
 - 4.8 mA in TX (0 dBm)
 - 4.6 mA in RX (1 Mbps)
 - Integrated balun with 50 Ω single-ended output
 - IEEE 802.15.4 radio support
 - Thread
 - Zigbee
 - **Peripherals**
 - Full-speed 12 Mbps USB
 - NFC-A tag
 - Arm CryptoCell CC310 security subsystem
 - QSPI/SPI/TWI/I²S/PDM/QDEC
 - High speed 32 MHz SPI
 - Quad SPI interface 32 MHz
 - EasyDMA for all digital interfaces
 - 12-bit 200 ksps ADC
 - 128 bit AES/ECB/CCM/AAR co-processor
- **LSM9DS1** (9 axis IMU)
 - 3 acceleration channels, 3 angular rate channels, 3 magnetic field channels
 - $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g linear acceleration full scale
 - $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss magnetic full scale
 - $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps angular rate full scale
 - 16-bit data output
- **LPS22HB** (Barometer and temperature sensor)
 - 260 to 1260 hPa absolute pressure range with 24 bit precision
 - High overpressure capability: 20x full-scale
 - Embedded temperature compensation
 - 16-bit temperature data output
 - 1 Hz to 75 Hz output data rate
 - Interrupt functions: Data Ready, FIFO flags, pressure thresholds
- **HTS221** (relative humidity sensor)
 - 0-100% relative humidity range
 - High rH sensitivity: 0.004% rH/LSB
 - Humidity accuracy: $\pm 3.5\%$ rH, 20 to +80% rH
 - Temperature accuracy: ± 0.5 °C, 15 to +40 °C
 - 16-bit humidity and temperature output data



- **APDS-9960** (Digital proximity, Ambient light, RGB and Gesture Sensor)
 - Ambient Light and RGB Color Sensing with UV and IR blocking filters
 - Very high sensitivity – Ideally suited for operation behind dark glass
 - Proximity Sensing with Ambient light rejection
 - Complex Gesture Sensing
- **MP34DT05** (Digital Microphone)
 - AOP = 122.5 dB SPL
 - 64 dB signal-to-noise ratio
 - Omnidirectional sensitivity
 - -26 dBFS \pm 3 dB sensitivity
- **ATECC608A** (Crypto Chip)
 - Cryptographic co-processor with secure hardware based key storage
 - Protected storage for up to 16 keys, certificates or data
 - ECDH: FIPS SP800-56A Elliptic Curve Diffie-Hellman
 - NIST standard P256 elliptic curve support
 - SHA-256 & HMAC hash including off-chip context save/restore
 - AES-128 encrypt/decrypt, galois field multiply for GCM
- **MPM3610** DC-DC
 - Regulates input voltage from up to 21V with a minimum of 65% efficiency @minimum load
 - More than 85% efficiency @12V



Pinout

4.1 USB

Pin	Function	Type	Description
1	VUSB	Power	Power Supply Input. If board is powered via VUSB from header this is an Output (1)
2	D-	Differential	USB differential data -
3	D+	Differential	USB differential data +
4	ID	Analog	Selects Host/Device functionality
5	GND	Power	Power Ground

4.2 Headers

The board exposes two 15 pin connectors which can either be assembled with pin headers or soldered through castellated vias.

Pin	Function	Type	Description
1	D13	Digital	GPIO
2	+3V3	Power Out	Internally generated power output to external devices
3	AREF	Analog	Analog Reference; can be used as GPIO
4	A0/DAC0	Analog	ADC in/DAC out; can be used as GPIO
5	A1	Analog	ADC in; can be used as GPIO
6	A2	Analog	ADC in; can be used as GPIO
7	A3	Analog	ADC in; can be used as GPIO
8	A4/SDA	Analog	ADC in; I2C SDA; Can be used as GPIO (1)
9	A5/SCL	Analog	ADC in; I2C SCL; Can be used as GPIO (1)
10	A6	Analog	ADC in; can be used as GPIO
11	A7	Analog	ADC in; can be used as GPIO
12	VUSB	Power In/Out	Normally NC; can be connected to VUSB pin of the USB connector by shorting a jumper
13	RST	Digital In	Active low reset input (duplicate of pin 18)
14	GND	Power	Power Ground



Pin	Function	Type	Description
15	VIN	Power In	Vin Power input
16	TX	Digital	USART TX; can be used as GPIO
17	RX	Digital	USART RX; can be used as GPIO
18	RST	Digital	Active low reset input (duplicate of pin 13)
19	GND	Power	Power Ground
20	D2	Digital	GPIO
21	D3/PWM	Digital	GPIO; can be used as PWM
22	D4	Digital	GPIO
23	D5/PWM	Digital	GPIO; can be used as PWM
24	D6/PWM	Digital	GPIO, can be used as PWM
25	D7	Digital	GPIO
26	D8	Digital	GPIO
27	D9/PWM	Digital	GPIO; can be used as PWM
28	D10/PWM	Digital	GPIO; can be used as PWM
29	D11/MOSI	Digital	SPI MOSI; can be used as GPIO
30	D12/MISO	Digital	SPI MISO; can be used as GPIO

4.3 Debug

On the bottom side of the board, under the communication module, debug signals are arranged as 3x2 test pads with 100 mil pitch with pin 4 removed. Pin 1 is depicted in Figure 3 – Connector Positions

Pin	Function	Type	Description
1	+3V3	Power Out	Internally generated power output to be used as voltage reference
2	SWD	Digital	nRF52480 Single Wire Debug Data
3	SWCLK	Digital In	nRF52480 Single Wire Debug Clock
5	GND	Power	Power Ground
6	RST	Digital In	Active low reset input

5 Mechanical Information

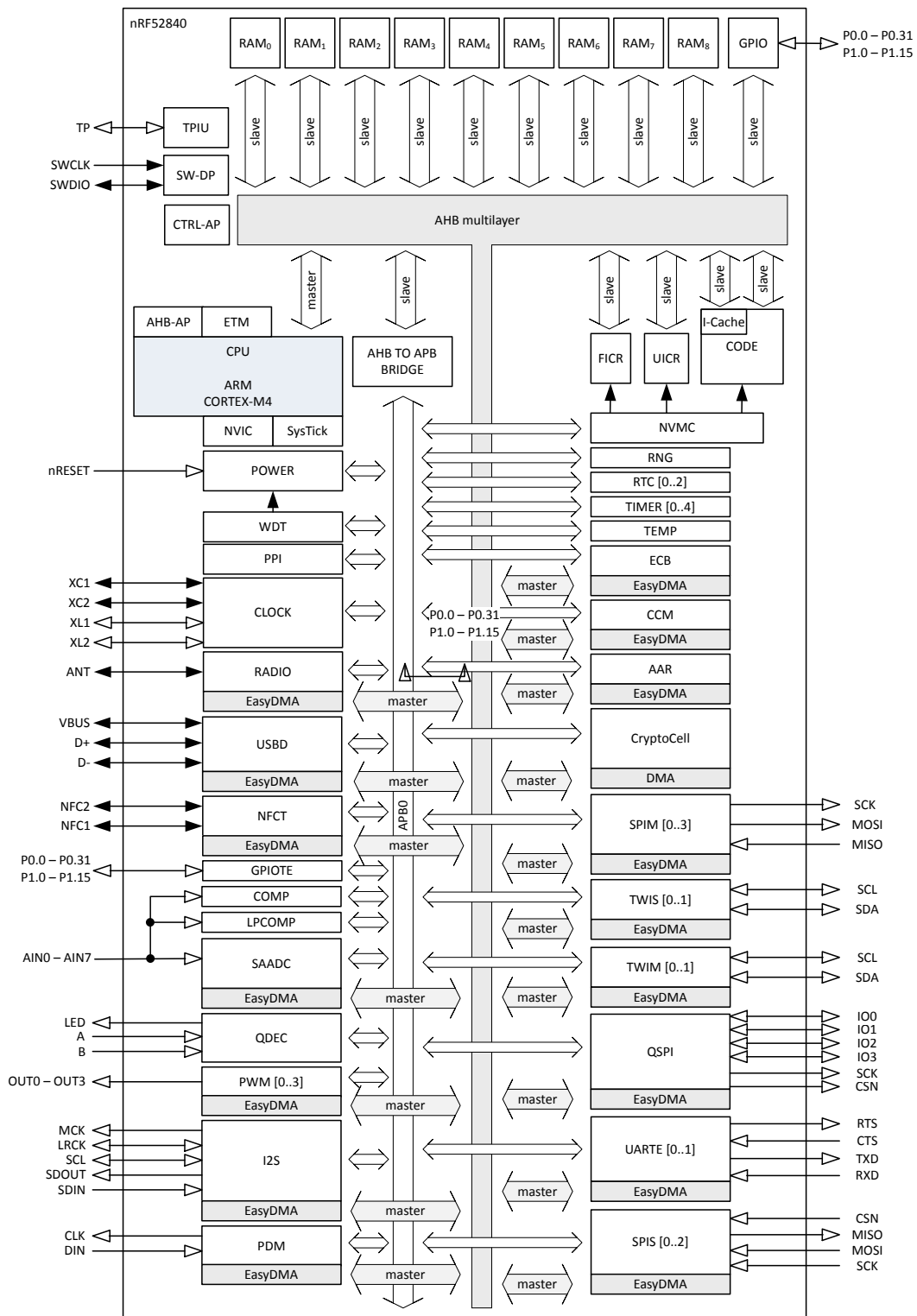
5.1 Board Outline and Mounting Holes

The board measures are mixed between metric and imperial. Imperial measures are used to maintain 100 mil pitch grid between pin rows to allow them to fit a breadboard whereas board length is Metric

Feature list

Features:

- **Bluetooth® 5**, IEEE 802.15.4-2006, 2.4 GHz transceiver
 - -95 dBm sensitivity in 1 Mbps **Bluetooth®** low energy mode
 - -103 dBm sensitivity in 125 kbps **Bluetooth®** low energy mode (long range)
 - -20 to +8 dBm TX power, configurable in 4 dB steps
 - On-air compatible with nRF52, nRF51, nRF24L, and nRF24AP Series
 - Supported data rates:
 - **Bluetooth®** 5: 2 Mbps, 1 Mbps, 500 kbps, and 125 kbps
 - IEEE 802.15.4-2006: 250 kbps
 - Proprietary 2.4 GHz: 2 Mbps, 1 Mbps
 - Single-ended antenna output (on-chip balun)
 - 128-bit AES/ECB/CCM/AAR co-processor (on-the-fly packet encryption)
 - 4.8 mA peak current in TX (0 dBm)
 - 4.6 mA peak current in RX
 - RSSI (1 dB resolution)
- **ARM® Cortex® -M4** 32-bit processor with FPU, 64 MHz
 - 212 EEMBC CoreMark score running from flash memory
 - 52 µA/MHz running CoreMark from flash memory
 - Watchpoint and trace debug modules (DWT, ETM, and ITM)
 - Serial wire debug (SWD)
- Rich set of security features
 - **ARM® TrustZone®** Cryptocell 310 security subsystem
 - NIST SP800-90A and SP800-90B compliant random number generator
 - AES-128: ECB, CBC, CMAC/CBC-MAC, CTR, CCM/CCM*
 - Chacha20/Poly1305 AEAD supporting 128- and 256-bit key size
 - SHA-1, SHA-2 up to 256 bits
 - Keyed-hash message authentication code (HMAC)
 - RSA up to 2048-bit key size
 - SRP up to 3072-bit key size
 - ECC support for most used curves, among others P-256 (secp256r1) and Ed25519/Curve25519
 - Application key management using derived key model
 - Secure boot ready
 - Flash access control list (ACL)
 - Root-of-trust (RoT)
 - Debug control and configuration
 - Access port protection (CTRL-AP)
 - Secure erase
- Flexible power management
 - 1.7 V to 5.5 V supply voltage range
 - On-chip DC/DC and LDO regulators with automated low current modes
 - 1.8 V to 3.3 V regulated supply for external components
 - Automated peripheral power management
 - Fast wake-up using 64 MHz internal oscillator
 - 0.4 µA at 3 V in System OFF mode, no RAM retention
 - 1.5 µA at 3 V in System ON mode, no RAM retention, wake on RTC
- 1 MB flash and 256 kB RAM
- Advanced on-chip interfaces
 - USB 2.0 full speed (12 Mbps) controller
 - QSPI 32 MHz interface
 - High-speed 32 MHz SPI
 - Type 2 near field communication (NFC-A) tag with wake-on field
 - Touch-to-pair support
 - Programmable peripheral interconnect (PPI)
 - 48 general purpose I/O pins
 - EasyDMA automated data transfer between memory and peripherals
- Nordic SoftDevice ready with support for concurrent multi-protocol
- 12-bit, 200 ksp/s ADC - 8 configurable channels with programmable gain
- 64 level comparator
- 15 level low-power comparator with wake-up from System OFF mode
- Temperature sensor
- 4x 4-channel pulse width modulator (PWM) unit with EasyDMA
- Audio peripherals: I2S, digital microphone interface (PDM)
- 5x 32-bit timer with counter mode
- Up to 4x SPI master/3x SPI slave with EasyDMA
- Up to 2x I2C compatible 2-wire master/slave
- 2x UART (CTS/RTS) with EasyDMA
- Quadrature decoder (QDEC)
- 3x real-time counter (RTC)
- Single crystal operation
- Package variants
 - aQFN™ 73 package, 7 x 7 mm
 - WLCSP93 package, 3.544 x 3.607 mm



Config no.	Supply configuration		Enabled features				
	VDDH	VDD	EXTSUPPLY	DCDCEN0	DCDCEN1	USB	NFC
Config. 1	USB (VDDH = VBUS)	N/A	Yes	No	No	Yes	No

Table 148: Configuration summary for circuit configuration no. 1

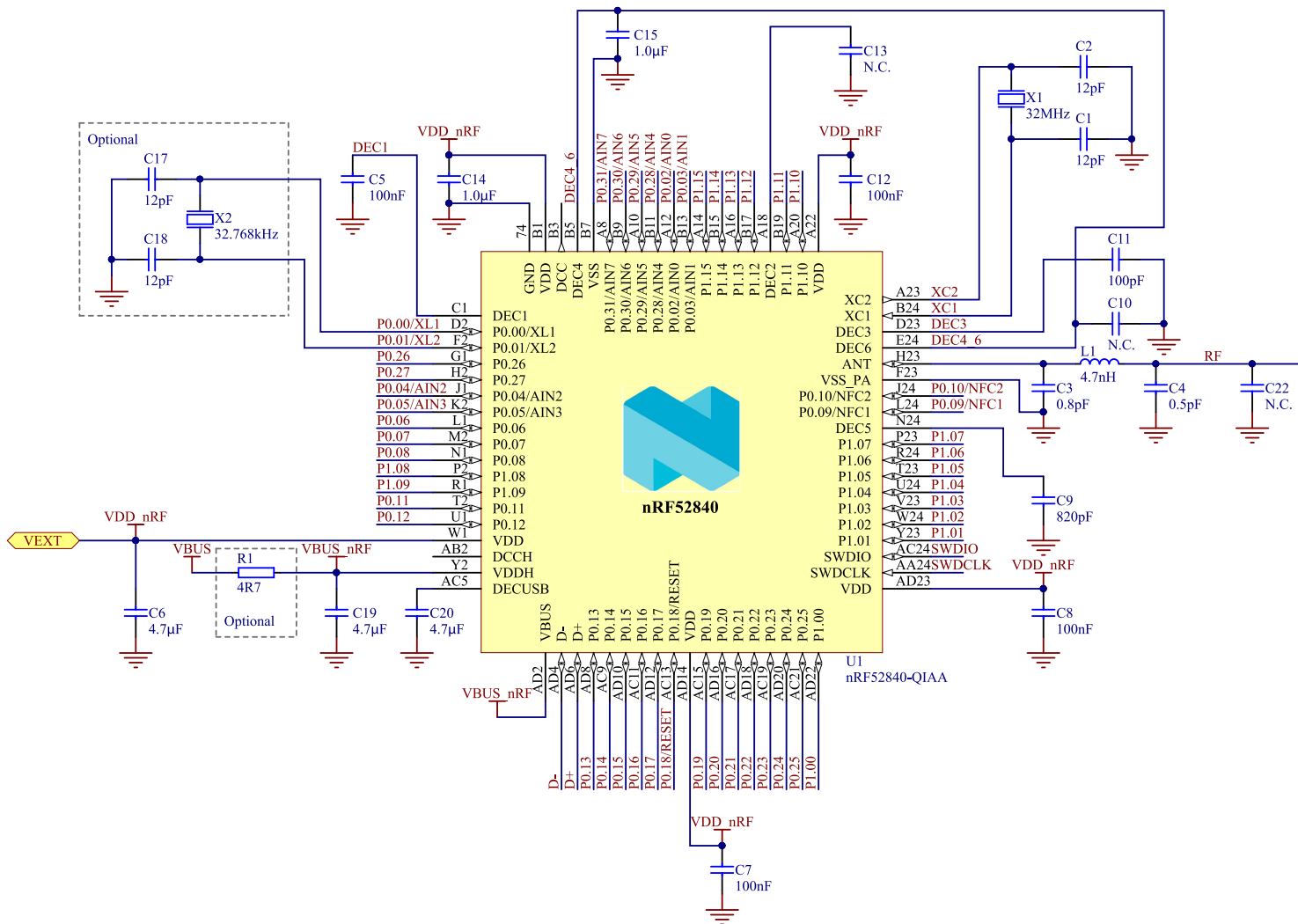


Figure 210: Circuit configuration no. 1 schematic

Note: For PCB reference layouts, see the product page for the nRF52840 on www.nordicsemi.com.

9 Absolute maximum ratings

Maximum ratings are the extreme limits to which the chip can be exposed for a limited amount of time without permanently damaging it. Exposure to absolute maximum ratings for prolonged periods of time may affect the reliability of the device.

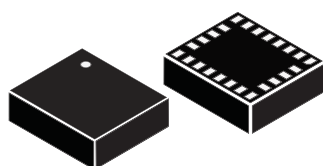
	Note	Min.	Max.	Unit
Supply voltages				
VDD		-0.3	+3.9	V
VDDH		-0.3	+5.8	V
VBUS		-0.3	+5.8	V
VSS			0	V
I/O pin voltage				
$V_{I/O}$, VDD ≤ 3.6 V		-0.3	VDD + 0.3	V
$V_{I/O}$, VDD > 3.6 V		-0.3	3.9	V
NFC antenna pin current				
$I_{NFC1/2}$			80	mA
Radio				
RF input level			10	dBm
Environmental aQFN™ package				
Storage temperature		-40	+125	°C
MSL	Moisture Sensitivity Level		2	
ESD HBM	Human Body Model		2	kV
ESD HBM Class	Human Body Model Class		2	
ESD CDM	Charged Device Model		750	V
Environmental WLCSP 3.544 x 3.607 mm package				
Storage temperature		-40	+125	°C
MSL	Moisture Sensitivity Level		1	
ESD HBM	Human Body Model		1	kV
ESD HBM Class	Human Body Model Class		1C	
ESD CDM	Charged Device Model		500	V
Flash memory				
Endurance		10 000		Write/erase cycles
Retention		10 years at 40°C		

Table 173: Absolute maximum ratings



iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer

Datasheet - production data



LGA-24L (3.5x3x1.0 mm)

Features

- 3 acceleration channels, 3 angular rate channels, 3 magnetic field channels
- $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g linear acceleration full scale
- $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss magnetic full scale
- $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps angular rate full scale
- 16-bit data output
- SPI / I²C serial interfaces
- Analog supply voltage 1.9 V to 3.6 V
- “Always-on” eco power mode down to 1.9 mA
- Programmable interrupt generators
- Embedded temperature sensor
- Embedded FIFO
- Position and motion detection functions
- Click/double-click recognition
- Intelligent power saving for handheld devices
- ECOPACK[®], RoHS and “Green” compliant

Applications

- Indoor navigation
- Smart user interfaces
- Advanced gesture recognition
- Gaming and virtual reality input devices
- Display/map orientation and browsing

Description

The LSM9DS1 is a system-in-package featuring a 3D digital linear acceleration sensor, a 3D digital angular rate sensor, and a 3D digital magnetic sensor.

The LSM9DS1 has a linear acceleration full scale of $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8/\pm 16$ g, a magnetic field full scale of $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gauss and an angular rate of $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps.

The LSM9DS1 includes an I²C serial bus interface supporting standard and fast mode (100 kHz and 400 kHz) and an SPI serial standard interface.

Magnetic, accelerometer and gyroscope sensing can be enabled or set in power-down mode separately for smart power management.

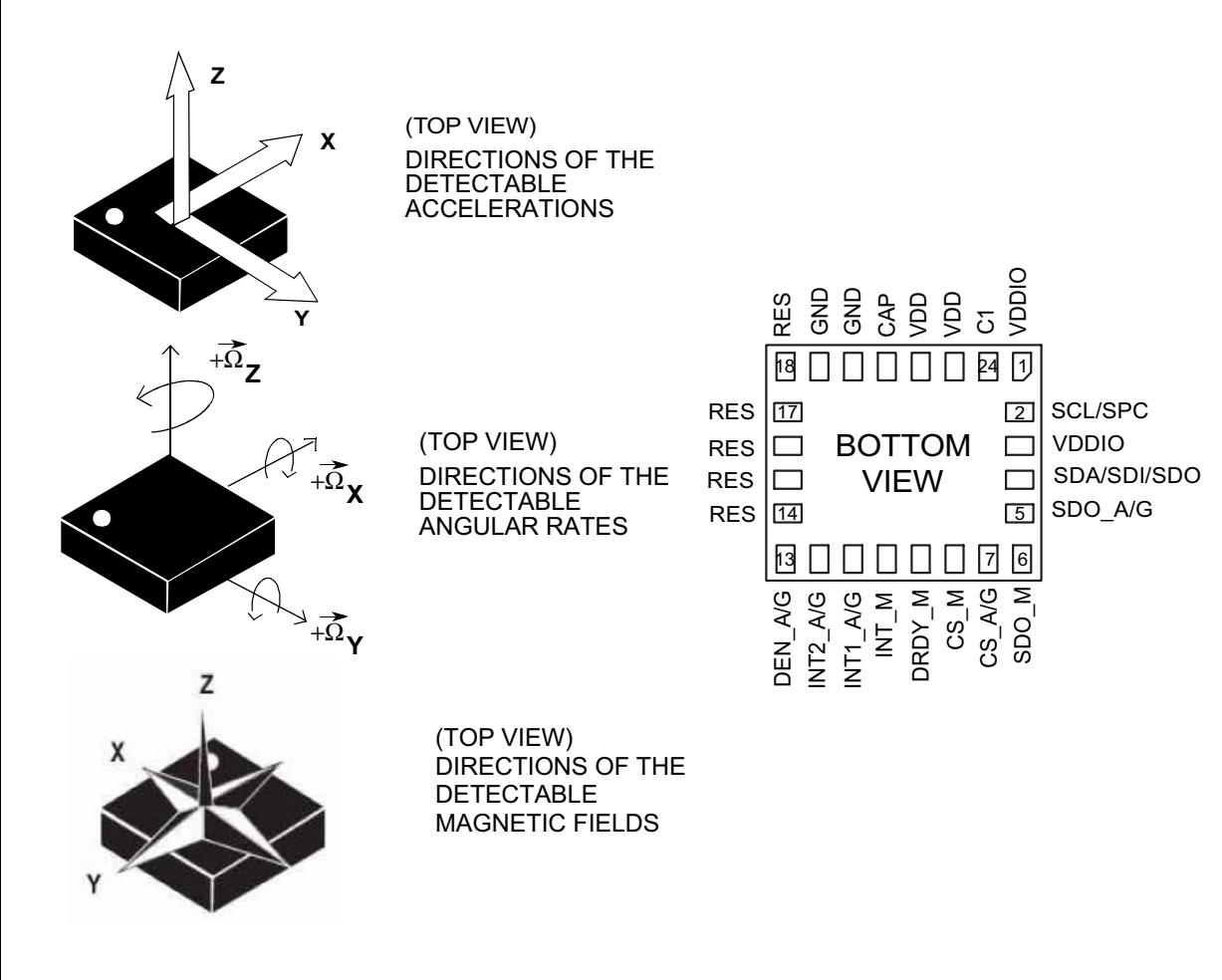
The LSM9DS1 is available in a plastic land grid array package (LGA) and it is guaranteed to operate over an extended temperature range from -40 °C to +85 °C.

Table 1. Device summary

Part number	Temperature range [°C]	Package	Packing
LSM9DS1	-40 to +85	LGA-24L	Tray
LSM9DS1TR	-40 to +85	LGA-24L	Tape and reel

1 Pin description

Figure 1. Pin connections



2.2 Electrical characteristics

@ Vdd = 2.2 V, T = 25 °C unless otherwise noted^(b)

Table 4. Electrical characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		1.9		3.6	V
Vdd_IO	Module power supply for I/O		1.71		Vdd+0.1	
Idd_XM	Current consumption of the accelerometer and magnetic sensor in normal mode ⁽²⁾			600		μA
Idd_G	Gyroscope current consumption in normal mode ⁽³⁾			4.0		mA
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C
Trise	Time for power supply rising ⁽⁴⁾		0.01		100	ms
Twait	Time delay between Vdd_IO and Vdd ⁽⁴⁾		0		10	ms

1. Typical specifications are not guaranteed

2. Magnetic sensor in high-resolution mode (ODR = 20 Hz), accelerometer sensor in normal mode, gyroscope in power-down mode

3. Accelerometer and magnetic sensor in power-down mode

4. Please refer to [Section 2.2.1: Recommended power-up sequence](#) for more details.

b. LSM9DS1 is factory calibrated at 2.2 V.

2.5 Absolute maximum ratings

Stresses above those listed as “Absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device under these conditions is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Table 8. Absolute maximum ratings

Symbol	Ratings	Maximum value	Unit
Vdd	Supply voltage	-0.3 to 4.8	V
Vdd_IO	I/O pins supply voltage	-0.3 to 4.8	V
Vin	Input voltage on any control pin (including CS_A/G, CS_M, SCL/SPC, SDA/SDI/SDO, SDO_A/G, SDO_M)	0.3 to Vdd_IO + 0.3	V
A _{UNP}	Acceleration (any axis)	3,000 for 0.5 ms	g
		10,000 for 0.1 ms	g
M _{EF}	Maximum exposed field	1000	gauss
ESD	Electrostatic discharge protection (HBM)	2	kV
T _{STG}	Storage temperature range	-40 to +125	°C

Note: Supply voltage on any pin should never exceed 4.8 V.



This device is sensitive to mechanical shock, improper handling can cause permanent damage to the part.



This device is sensitive to electrostatic discharge (ESD), improper handling can cause permanent damage to the part.

3.4 Block diagram

Figure 8. Accelerometer and gyroscope digital block diagram

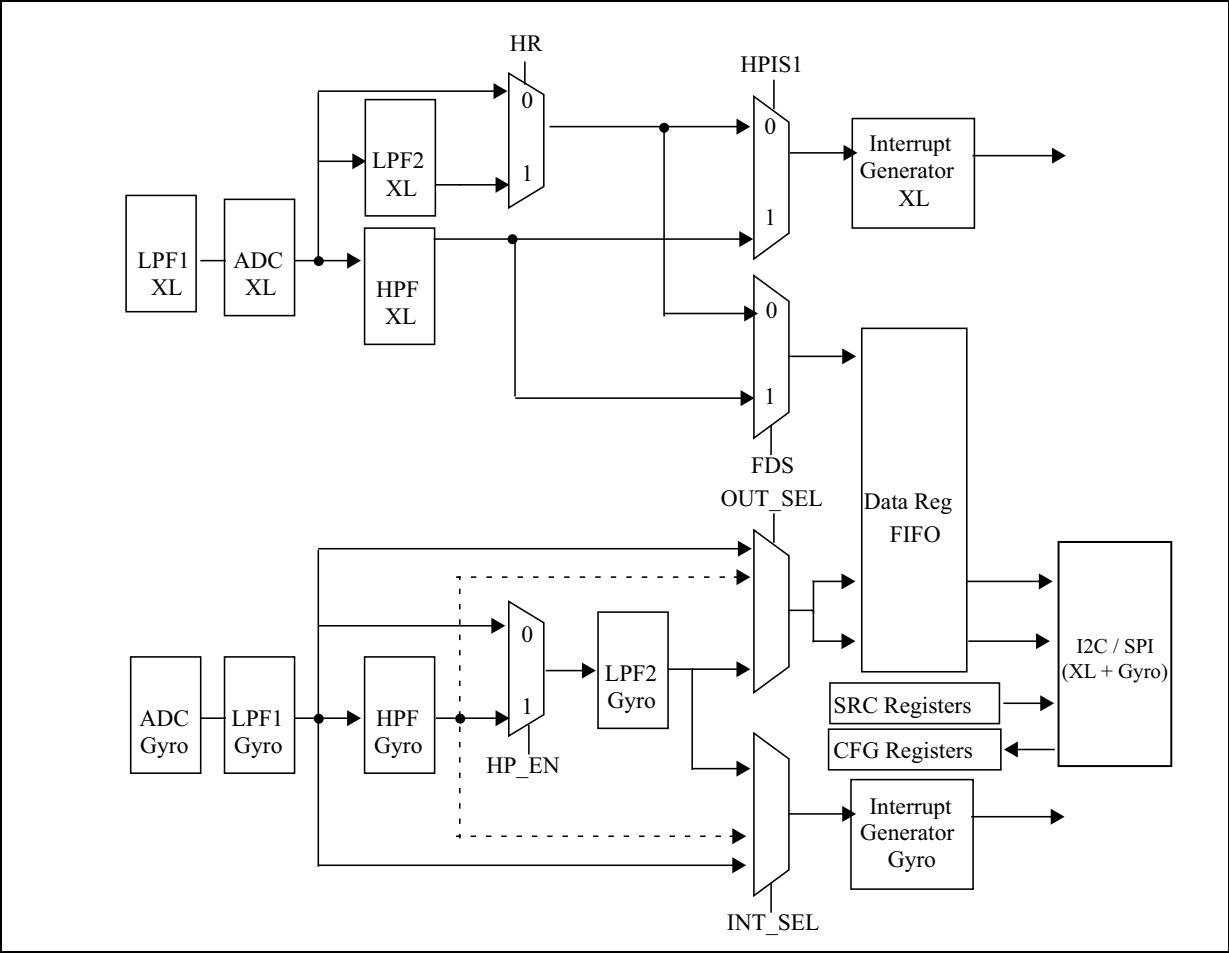


Figure 9. Magnetometer block diagram

