

Laboratorio 5:

Arduino Nano 33 BLE: GPIO y TinyML

Katherine Vargas, B88198
Susan Jiménez Hernández, B94031
Profesor: MSc. Marco Villalta Fallas

Resumen—Durante este laboratorio se llevó a cabo la creación de un sistema un clasificador/detector de máscara facial para monitorear que las personas con síntomas de virus respiratorios la tengan correctamente colocada, ya que, estas enfermedades suelen transmitirlas por medio de las vías respiratorias, por lo tanto uno de los cuidados para evitar la propagación de las enfermedades es el uso de máscaras faciales, el detector podrá determinar si una persona esta utilizando o no una de estas máscaras.

Para ello se utilizó el Arduino Nano 33 Ble, la cámara OV7675 y machine learning, para entrenar el modelo que se va a encargar de detectar si una persona tiene colocada correctamente la máscara facial se utiliza la plataforma de Edge Impulse, donde se recolecta los datos en este caso fotos de diferentes situaciones y se entrena y valida el modelo y sea lo más correcto posible. Por último, en caso de no detectar una cara encender el led color azul, en caso de detectar una cara sin máscara encender el led color rojo, en caso de detectar una cara con mascarilla encender el led color verde, para ello se utiliza led RGB que se encuentra integrado en el Arduino Nano 33 BLE.

Palabras clave—Arduino Nano 33 BLE, Cámara OV7675, Machine learning, Detector de máscara facial, Edge Impulse.

I. NOTA TEÓRICA

I-A. Información general MCU

El Arduino Nano 33 BLE cuenta con un núcleo del módulo NINA B306 se basa en el Nordic nRF52840 y cuenta con un robusto procesador ARM Cortex-M4F. Esta combinación de hardware hace que Arduino Nano 33 BLE sea una opción excepcional para proyectos donde las limitaciones de tamaño y la eficiencia energética son fundamentales. Su diseño es particularmente beneficioso para la tecnología portátil, aplicaciones de IoT y cualquier proyecto donde la compactidad sea primordial. La integración Bluetooth Low Energy (BLE) de la placa agrega una capa de conectividad, lo que permite la comunicación inalámbrica y facilita su uso en ecosistemas de IoT modernos. [1]

Los sensores integrados, incluida una unidad de medición inercial (IMU) de 9 ejes, proporcionan datos valiosos para el seguimiento de movimiento y la detección ambiental, ampliando aún más el alcance de aplicación del Arduino Nano 33 BLE. Sus entradas y salidas digitales y analógicas integradas y una gama de interfaces periféricas la convierten en una herramienta increíblemente versátil para una amplia gama de proyectos. [1]

Reporte entregado el 26 de junio del 2024.

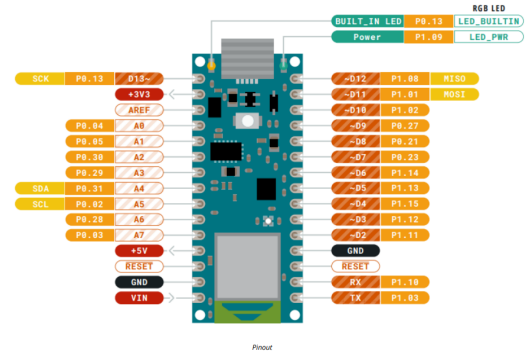


Figura 1: Digrama de pines del Arduino Nano 33 BLE. [?]

I-B. Periféricos

- 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 kps ADC
- 128 bit AES/ECB/CCM/AAR co-processor

I-C. Cámara OV7675

La cámara Arducam OV7675 proporciona soporte para resoluciones de hasta 640x480 píxeles, garantizando la captura de imágenes claras y nítidas. Su versátil gama de características mejora la funcionalidad en los proyectos, ya sea, que se esté desarrollando un sistema de automatización del hogar, un dispositivo de monitoreo inteligente u otro proyecto basado en Arduino que requiera entrada visual, la cámara OV7675 ofrece una solución confiable y flexible. Con su interfaz fácil de usar, calidad de imagen superior y compatibilidad perfecta con la placa Arduino, es una opción ideal para diversas aplicaciones donde los datos visuales son cruciales. [2]

I-D. Edge Impulse

Edge Impulse es la plataforma de IA en el borde para la recopilación de datos, el entrenamiento de modelos y su implementación en tus dispositivos de computación en el borde. Proporciona un marco de trabajo de extremo a extremo que se integra fácilmente en tu flujo de trabajo de MLOps en el

borde. Es una herramienta basada en la web con una interfaz gráfica que te ayuda a recopilar datos, construir un impulso e implementarlo en un dispositivo final.[3]

Edge Impulse ayuda en cada paso del ciclo de vida de la IA en el borde, desde la recopilación de datos, la extracción de características, el diseño de modelos de aprendizaje automático (ML), el entrenamiento y la prueba de esos modelos, y la implementación de los modelos en dispositivos finales, como se muestra en la Figura 2. [3]

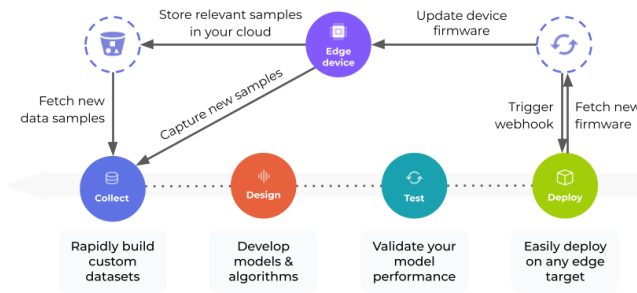


Figura 2: Edge Impulse para el ciclo de vida de la IA en el borde.[3]

I-E. TinyML y Tensorflow

- **TinyML:** Tiny Machine Learning (o TinyML) es una técnica de aprendizaje automático que integra aplicaciones de aprendizaje automático reducidas y optimizadas que requieren soluciones de "pila completa"(hardware, sistema, software y aplicaciones), incluidas arquitecturas, técnicas, herramientas y enfoques de aprendizaje automático. capaz de realizar análisis en el dispositivo en el mismo borde de la nube. TinyML se puede implementar en sistemas de baja energía, como sensores o microcontroladores , para realizar tareas automatizadas. [4]

- **Tensorflow:** Se trata de una librería de código libre para Machine Learning (ML). Fue desarrollado por Google para satisfacer las necesidades a partir de redes neuronales artificiales. TensorFlow te permite construir y entrenar redes neuronales para detectar patrones y razonamientos usados por los humanos. [5]

TensorFlow es una plataforma que facilita la creación e implementación de modelos de aprendizaje automático. Lo que buscamos hoy en día es automatizar cientos de procesos y TensorFlow nos permite llegar a esta automatización. Nos permite crear y entrenar modelos de Aprendizaje Automático con facilidad mediante APIs intuitivas.[5]

II. LISTA DE COMPONENTES Y PRECIOS

Componentes	Cantidad	Precio unitario	Tienda
Arduino Nano 33 BLE	1	€19 878	Mouser electronics
Camara OV7675	1	€2.604,25	RobotShop
Total:		€25.482,25	

Cuadro I: Tabla de precios

III. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

III-A. Adquisición de datos

La adquisición de los datos se hizo directamente en la plataforma de *Edge Impulse* haciendo uso de la *Cámara OV7675*, para ello se tomaron 28 fotos de diferentes fondos y 53 fotos de personas con mascarilla y sin mascarilla, se decide tomar más fotos de las personas con y sin mascarillas, ya que, se estaba teniendo problemas al detectar la mascarilla em las fotos que el cabello se encontraba cerca del rostro de la persona, por lo tanto se decidió tomar más fotos donde el rostro se encuentre más libre. Para en entrenamiento se utiliza un porcentaje de 80/20 como se muestra en la Figura ??, en el caso de las fotos del fondo se utilizó un porcentaje de 78/22 debido a que se detectó que el modelo no tenía problemas al identificar en que momento se trata de un fondo sin ninguna persona.



Figura 3: División de datos entre entrenamiento y prueba

III-B. Etiquetado de Datos

Para el método de etiquetado, se eligió el de 'one label per data', y de esta forma manualmente se realizo el etiquetado de las 3 clases (fondo, mask y no_mask).

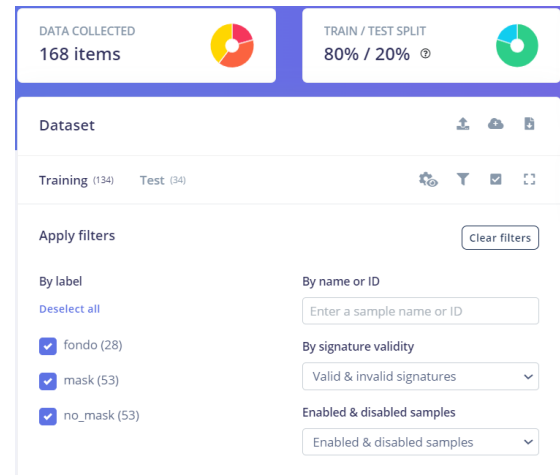


Figura 4: Etiquetado

III-C. Creación del impulso

Para la generación del impulso, se agregó un bloque de datos de imagen con un ancho y alto de 96x96 (estos valores se eligieron en base a los modelos que se utilizarán más adelante). Además, se seleccionó la opción 'squash', que redimensiona la imagen mediante interpolación, utilizando toda la imagen y comprimiendo el eje más largo. Adicionalmente, para la profundidad de color se selecciono la de 'grayscale' tomando

en cuenta las capacidades limitadas de memoria con las que contamos al trabajar con el microcontrolador, además de que el color no representa un factor clave en la detección de la mascarilla. Con esto listo se genero el vector de características.

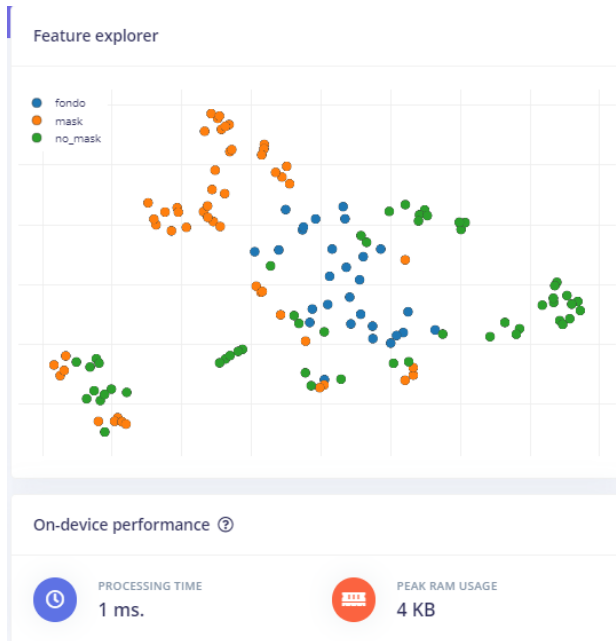


Figura 5: Generación de características

También se selecciono el bloque "Transfer Learning (Images)", conforme a las indicaciones del laboratorio, y se guardó el impulso.

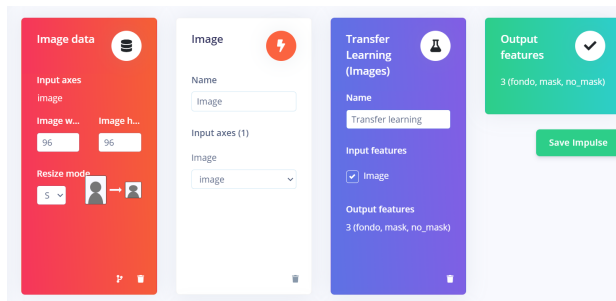


Figura 6: Creación del impulso

III-D. Entrenamiento del modelo

Para poder realizar el entrenamiento fue necesario seleccionar un modelo, para ello se tomo en cuenta las características propias del microcontrolador, el cual cuenta con un procesador de 32 bits a 64 MHz, 256 KB de RAM y 1 MB de memoria flash. Por lo tanto se probaron modelos que estuvieran dentro de ese rango como el MobileNetV1 96x96 0.1, el MobileNetV1 96x96 0.2 y el MobileNetV1 96x96 0.25, al final decidimos utilizar el de mayores recursos pero que obtenía mejores resultados, es decir el de MobileNetV1 96x96 0.25.

Posteriormente, a la selección del modelo se procedió a variar diferentes parámetros como el número de ciclos de entrenamiento y la razón de aprendizaje. El Data augmentation,

se decidió dejar seleccionado tomando en cuenta que contamos con pocos datos para el entrenamiento del modelo.

Además de todo esto, para la exportación del modelo se decidió utilizar la optimización de Quantized (int8) en base a la cantidad de RAM que consume esta, por lo tanto a la hora de correr las diferentes pruebas nos centramos en los resultados obtenidos en este.

Variando los parámetros mencionados se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

	1	6	3	4	4	5
Numero de ciclos	40	45	50	50	60	60
Learning rate	0,005	0,005	0,005	0,05	0,005	0,0005
Data augmentation	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Datos de validacion	20 %	20 %	20 %	18 %	20 %	20 %
Modelo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	0,25
ACCURACY (Quantized)	79.8 %	83,3 %	89.9 %	77,8 %	77.8 %	72,20 %

Cuadro II

III-E. Resultados del modelo

En base a la tabla anteriormente mostrada nos quedamos con la variación de 50 ciclos, con una razón de aprendizaje de 0.005, utilizando el modelo MobileNetV1 96x96 0.25.

Al hacer el testeo del modelo se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 7: Testeo del modelo: Accuracy y matriz

Como se puede observar, obtuvimos un valor de accuracy de 88.42 % que es mejorable pero aceptable para la cantidad y calidad de datos recolectados.

Además, es importante destacar que en la matriz de confusión se observa un rendimiento bastante bueno del 100 % y 92.3 % al clasificar un fondo o una persona sin mascarilla. Sin embargo, el rendimiento es menor al detectar a una persona con mascarilla, con un 15 % de error al clasificarla incorrectamente como si no llevara mascarilla, además de un 7 % que no sabe como calificarlo. A pesar de esto, el rendimiento obtenido fue suficiente para desarrollar el proyecto. La única observación es

que el modelo tardaba unos pocos segundos más en detectar que una persona llevaba mascarilla, mientras que era más rápido en detectar si era un fondo o una persona sin mascarilla. Además de esto notamos en el entrenamiento y validación que las fotos en las que no teníamos el pelo recogido en una cola presentaban más problemas para detectar la mascarilla, lo cual influyó durante el entrenamiento y la validación del modelo.

Por último podríamos mencionar que la área bajo la curva ROC alcanza un impresionante 0.99, muy cercano a 1, indicativo de una muy buena capacidad del modelo para distinguir entre clases positivas y negativas. La precisión promedio ponderada es del 95 %, lo que significa que el 95 % de las predicciones positivas son correctas, mientras que el recall ponderado promedio es del 94 %, indicando que el modelo identifica correctamente el 94 % de las instancias positivas en los datos. Además, el puntaje F1 ponderado promedio de 0.94 muestra un buen equilibrio entre precisión y recall, demostrando la efectividad general del modelo.

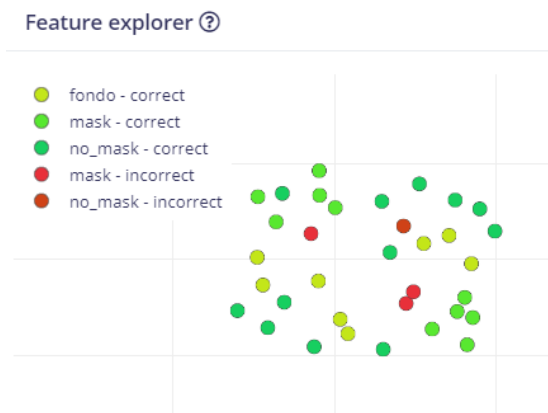


Figura 8: Testeo del modelo: Explorador de características

Finalmente para la exportación se seleccionó la optimización de Quantized, como se explicó con anterioridad esto en base a la RAM que consume (a pesar de tener un desempeño menos óptimo). A continuación se muestra una comparativa entre ambas:

EON™ Compiler Same accuracy, 18% less RAM, 15% less ROM.				
Quantized (int8)				
Selected ✓				
		IMAGE	TRANSFER LEARN...	TOTAL
LATENCY	1 ms.		65 ms.	66 ms.
RAM	4.0K		124.7K	124.7K
FLASH	-		303.8K	-
ACCURACY				88.24%
Unoptimized (float32)				
Select				
		IMAGE	TRANSFER LEARN...	TOTAL
LATENCY	1 ms.		155 ms.	156 ms.
RAM	4.0K		300.1K	300.1K
FLASH	-		857.1K	-
ACCURACY				91.18%

Figura 9: Optimizaciones

Con esto completado, procedimos a la siguiente fase: la exportación del modelo.

III-F. Exportación del modelo

En el momento que se tiene el modelo funcionando correctamente, se exporta como una librería para que pueda ser utilizado en el Arduino Nano 33 BLE, se utilizó como base el ejemplo que incluye la librería exportada que se llama *nano_ble33_sense_camera*, el cual imprime en consola el porcentaje de fondo, mask o no_mask, con esto se implementó el código para las leds donde al tener un porcentaje mayor o igual a 0.7 en fondo se activa el led azul, en mask se activa el led verde y en no_mask el led rojo.

III-G. Resultados de los leds

En las Figura 10 se muestra el funcionamiento del led al no estar ninguna persona frente a la cámara, por lo que, se enciende un led azul, en la Figura 12 se muestra el led verde encendido en el momento que una persona con máscara se coloca frente a la cámara y por último, en la Figura 14 se muestra el led rojo encendido al no tener una máscara puesta la persona frente a la cámara.



Figura 10: Prueba de el modelo sin persona frente a la cámara.

```
Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 755 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.99609
mask: 0.00000
no_mask: 0.00000

Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 755 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.99609
mask: 0.00000
no_mask: 0.00000
```

Figura 11: Monitor serial del arduino: Prueba de el modelo sin persona frente a la cámara.

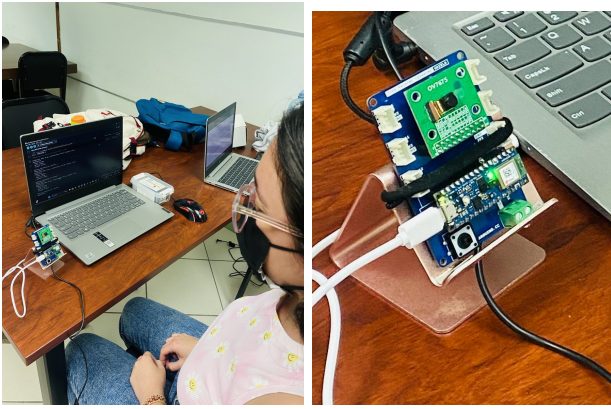


Figura 12: Prueba de el modelo con una persona con máscara frente a la cámara.

```
Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 756 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.00000
mask: 0.00391
no_mask: 0.99609

Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 756 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.00781
mask: 0.01553
no_mask: 0.97266
```

Figura 13: Monitor serial del arduino: Prueba de el modelo con una persona con máscara frente a la cámara.

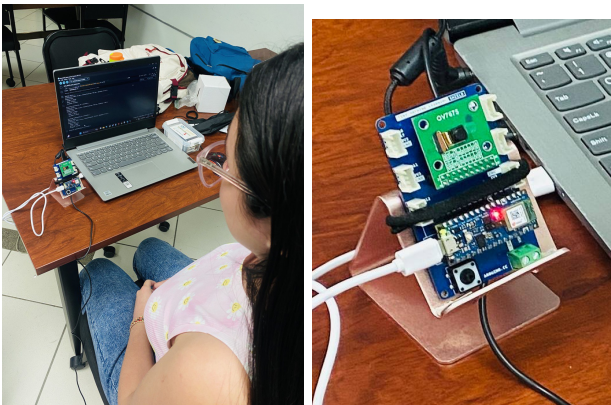


Figura 14: Prueba de el modelo con una persona sin máscara frente a la cámara.

```
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 756 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.08203
mask: 0.49844
no_mask: 0.01953

Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 756 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.08984
mask: 0.76562
no_mask: 0.14453

Starting inferencing in 2 seconds...
Taking photo...
Predictions (DSP: 14 ms., Classification: 756 ms., Anomaly: 0 ms.):
Predictions:
fondo: 0.09766
mask: 0.42031
no_mask: 0.08594
```

Figura 15: Monitor serial del arduino: Prueba de el modelo con una persona sin máscara frente a la cámara.

IV. VÍDEO DEL FUNCIONAMIENTO

<https://youtube.com/shorts/7IauiKWpPQ?feature=share>

V. CONCLUSIONES

- En este laboratorio, se ha desarrollado un detector de mascarilla facial utilizando el Arduino Nano 33 BLE y la plataforma Edge Impulse. El proyecto permitió explorar el proceso completo de creación de un modelo de inteligencia artificial embebida, desde la preparación inicial hasta la implementación práctica en un dispositivo físico.
- Fue una experiencia nueva trabajar con el Arduino Nano 33 BLE y la interfaz de Edge Impulse. Esta combinación facilitó significativamente la captura de datos, lo cual ha permitido enfocar el tiempo en el entrenamiento y la validación de los modelos.
- También fue una experiencia muy provechosa experimentar con la variación de parámetros y observar su impacto en la efectividad del modelo entrenado. No solo era crucial revisar el porcentaje de precisión obtenido, sino también analizar la matriz de confusión. En algunos casos, notamos que, aunque la precisión era la misma, la matriz indicaba que mientras una o dos clases eran correctamente clasificadas, otra apenas superaba el 50 % de aciertos. Esto no es deseable en un modelo, ya que podría equipararse a lanzar un dado, y ese no es el objetivo al entrenar un modelo para clasificación.
- El porcentaje de precisión en la detección de la mascarilla, aunque aceptable, podría mejorar significativamente con la adición de más datos y una mayor calidad en los conjuntos de entrenamiento y validación. A pesar de esto, el modelo generado fue suficiente para obtener un funcionamiento correcto, aunque se observó que tarda unos segundos más en detectar la mascarilla en comparación con las otras dos clases.
- Además, aprendimos cómo importar los modelos creados en Edge Impulse y ejecutarlos en el Arduino. Posteriormente, editamos el código generado para incorporar la funcionalidad de los LEDs.
- Finalmente, podemos concluir que lo solicitado en el laboratorio se logró exitosamente, como se evidencia en el video y las imágenes mostradas

VI. RECOMENDACIONES

- Entre las recomendaciones consideramos que sería importante aumentar la cantidad de datos. Por ejemplo, solo variamos con 5 personas, y la mayoría de las fotos fueron nuestras, además tomamos pocas fotos con la mascarilla azul (solo utilizamos dos tipos de mascarilla). Por lo tanto, sería crucial contar con más fotos de diferentes personas, abarcando diversas características físicas como tipo de cabello, color de piel, forma de cara, variando los diferentes tipos de mascarillas. También podríamos variar la iluminación en cada foto y mejorar la calidad de las mismas, ya que algunas quedaban más borrosas que otras.

- También sería beneficioso variar aún más las posiciones de la cabeza. Observamos que al ladear la cabeza, a veces el modelo tenía dificultades para detectar la mascarilla. Esto tiene sentido dado que tomamos muchas fotos desde ángulos variados, capturas muy pocas fotos específicamente con esa acción de inclinar la cabeza.
- Asimismo, podríamos intentar realizar muchas más variaciones en los parámetros, para asegurarnos de no quedarnos estancados en un mínimo local. En el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial, puede ocurrir que el algoritmo converja hacia una solución óptima localmente, pero no necesariamente esta es global. Además, podríamos intentar exportar los datos para mejorar la validación y las pruebas del modelo, por ejemplo.

IX. APENDICE

REFERENCIAS

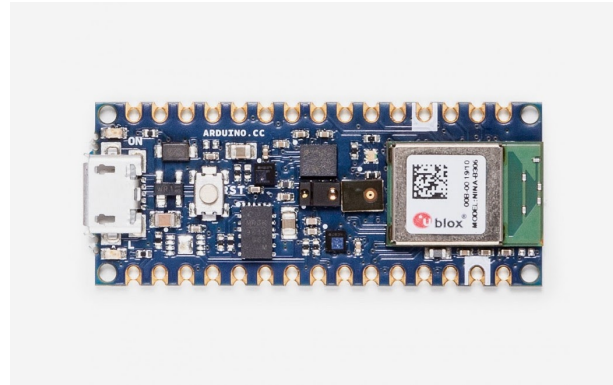
- [1] S. Handi, “Explorando el arduino nano 33 ble: el poder de la innovación compacta,” 2024, <https://full-skills.com/es/arduino-uno-projects/arduino-nano-33-ble/>.
- [2] “Arducam 0.3MP OV7675 20-pin DVP Camera Module for Arduino GIGA R1 WiFi.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arducam-camera-module>
- [3] “What is Edge Impulse? — Edge Impulse Documentation.” [Online]. Available: <https://docs.edgeimpulse.com/docs/concepts/edge-ai/what-is-edge-impulse>
- [4] “¿Qué es TinyML y por qué es importante?” 12 2020. [Online]. Available: <https://ichi.pro/es/que-es-tinyml-y-por-que-es-importante-270142243498102>
- [5] “¿Qué es TensorFlow y para qué sirve?” 4 2024. [Online]. Available: <https://www.incentro.com/es-ES/blog/que-es-tensorflow>

VII. LINK DEL GITHUB

https://github.com/katyvc29/Laboratorio_de_microcontroladores

VIII. LINK DEL EDGE IMPULSE

<https://studio.edgeimpulse.com/public/421014/live>



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 ksp/s 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



Contents

1 The Board	5
1.1 Ratings	5
1.1.1 Recommended Operating Conditions	5
1.2 Power Consumption	5
2 Functional Overview	5
2.1 Board Topology	5
2.2 Processor	6
2.3 Crypto	6
2.4 IMU	7
2.5 Barometer and Temperature Sensor	7
2.6 Relative Humidity and Temperature Sensor	7
2.7 Digital Proximity, Ambient Light, RGB and Gesture Sensor	7
2.7.1 Gesture Detection	7
2.7.2 Proximity Detection	7
2.7.3 Color and ALS Detection	8
2.8 Digital Microphone	8
2.9 Power Tree	8
3 Board Operation	9
3.1 Getting Started - IDE	9
3.2 Getting Started - Arduino Web Editor	9
3.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud	9
3.4 Sample Sketches	9
3.5 Online Resources	9
3.6 Board Recovery	9
4 Connector Pinouts	9
4.1 USB	10
4.2 Headers	10
4.3 Debug	11
5 Mechanical Information	11
5.1 Board Outline and Mounting Holes	11
6 Certifications	12
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	12
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	12
6.3 Conflict Minerals Declaration	13
7 FCC Caution	13
8 Company Information	14
9 Reference Documentation	14
10 Revision History	14



As all Nano form factor boards, Nano 33 BLE Sense does not have a battery charger but can be powered through USB or headers.

NOTE: Arduino Nano 33 BLE Sense only supports 3.3V I/Os and is **NOT** 5V tolerant so please make sure you are not directly connecting 5V signals to this board or it will be damaged. Also, as opposed to Arduino Nano boards that support 5V operation, the 5V pin does NOT supply voltage but is rather connected, through a jumper, to the USB power input.

1.1 Ratings

1.1.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (40 °F)	85°C (185 °F)

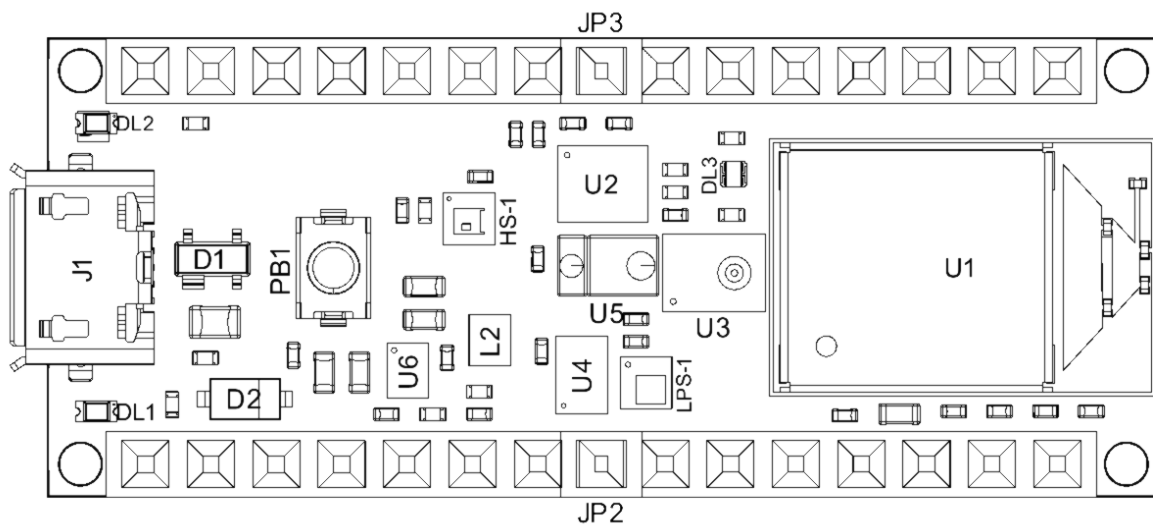
1.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
PBL	Power consumption with busy loop		TBC		mW
PLP	Power consumption in low power mode		TBC		mW
PMAX	Maximum Power Consumption		TBC		mW

2 Functional Overview

2.1 Board Topology

Top:



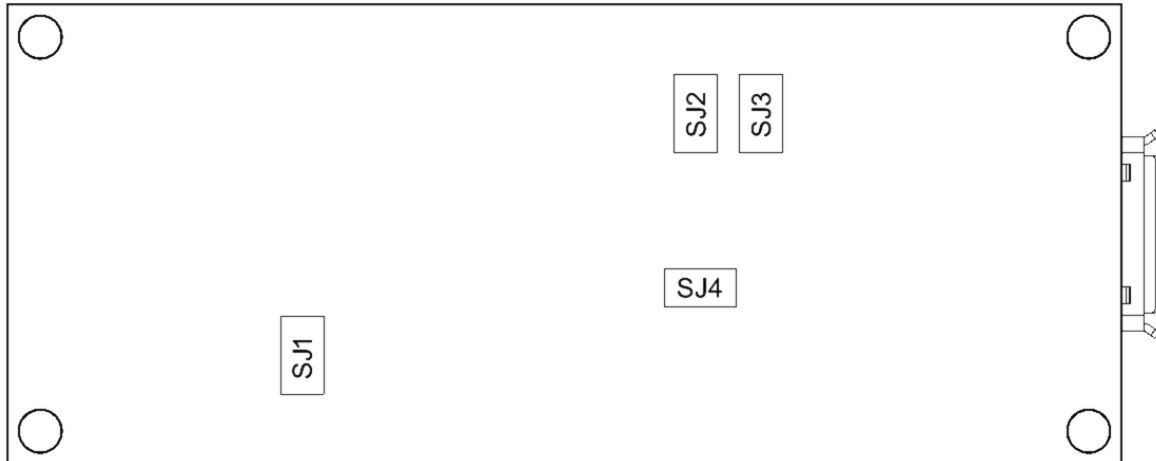
Board topology top

Ref.	Description	Ref.	Description
U1	NINA-B306 Module Bluetooth® Low Energy 5.0 Module	U6	MP2322GQH Step Down Converter
U2	LSM9DS1TR Sensor IMU	PB1	IT-1185AP1C-160G-GTR Push button
U3	MP34DT06JTR Mems Microphone	HS-1	HTS221 Humidity Sensor
U4	ATECC608A Crypto chip	DL1	Led L



Ref.	Description	Ref.	Description
U5	APDS-9660 Ambient Module	DL2	Led Power

Bottom:



Board topology bot

Ref.	Description	Ref.	Description
SJ1	VUSB Jumper	SJ2	D7 Jumper
SJ3	3v3 Jumper	SJ4	D8 Jumper

2.2 Processor

The Main Processor is a Cortex M4F running at up to 64MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the wireless module and the on-board internal I²C peripherals (IMU and Crypto).

NOTE: As opposed to other Arduino Nano boards, pins A4 and A5 have an internal pull up and default to be used as an I²C Bus so usage as analog inputs is not recommended.

2.3 Crypto

The crypto chip in Arduino IoT boards is what makes the difference with other less secure boards as it provides a secure way to store secrets (such as certificates) and accelerates secure protocols while never exposing secrets in plain text.

Source code for the Arduino Library that supports the Crypto is available [\[8\]](#)



2.4 IMU

Arduino Nano 33 BLE has an embedded 9 axis IMU which can be used to measure board orientation (by checking the gravity acceleration vector orientation or by using the 3D compass) or to measure shocks, vibration, acceleration and rotation speed.

Source code for the Arduino Library that supports the IMU is available [\[9\]](#)

2.5 Barometer and Temperature Sensor

The embedded Barometer and temperature sensor allow measuring ambient pressure. The temperature sensor integrated with the barometer can be used to compensate the pressure measurement.

Source code for the Arduino Library that supports the Barometer is available [\[10\]](#)

2.6 Relative Humidity and Temperature Sensor

Relative humidity sensor measures ambient relative humidity. As the Barometer this sensor has an integrated temperature sensor that can be used to compensate for the measurement.

Source code for the Arduino Library that supports the Humidity sensor is available [\[11\]](#)

2.7 Digital Proximity, Ambient Light, RGB and Gesture Sensor

Source code for the Arduino Library that supports the Proximity/gesture/ALS sensor is available [\[12\]](#)

2.7.1 Gesture Detection

Gesture detection utilizes four directional photodiodes to sense reflected IR energy (sourced by the integrated LED) to convert physical motion information (i.e. velocity, direction and distance) to a digital information. The architecture of the gesture engine features automatic activation (based on Proximity engine results), ambient light subtraction, cross-talk cancellation, dual 8-bit data converters, power saving inter-conversion delay, 32-dataset FIFO, and interrupt driven I2C communication. The gesture engine accommodates a wide range of mobile device gesturing requirements: simple UP-DOWN-RIGHT-LEFT gestures or more complex gestures can be accurately sensed. Power consumption and noise are minimized with adjustable IR LED timing.

2.7.2 Proximity Detection

The Proximity detection feature provides distance measurement (E.g. mobile device screen to user's ear) by photodiode detection of reflected IR energy (sourced by the integrated LED). Detect/release events are interrupt driven, and occur whenever proximity result crosses upper and/ or lower threshold settings. The proximity engine features offset adjustment registers to compensate for system offset caused by unwanted IR energy reflections appearing at the sensor. The IR LED intensity is factory trimmed to eliminate the need for end-equipment calibration due to component variations. Proximity results are further improved by automatic ambient light subtraction.



2.7.3 Color and ALS Detection

The Color and ALS detection feature provides red, green, blue and clear light intensity data. Each of the R, G, B, C channels have a UV and IR blocking filter and a dedicated data converter producing 16-bit data simultaneously. This architecture allows applications to accurately measure ambient light and sense color which enables devices to calculate color temperature and control display backlight.

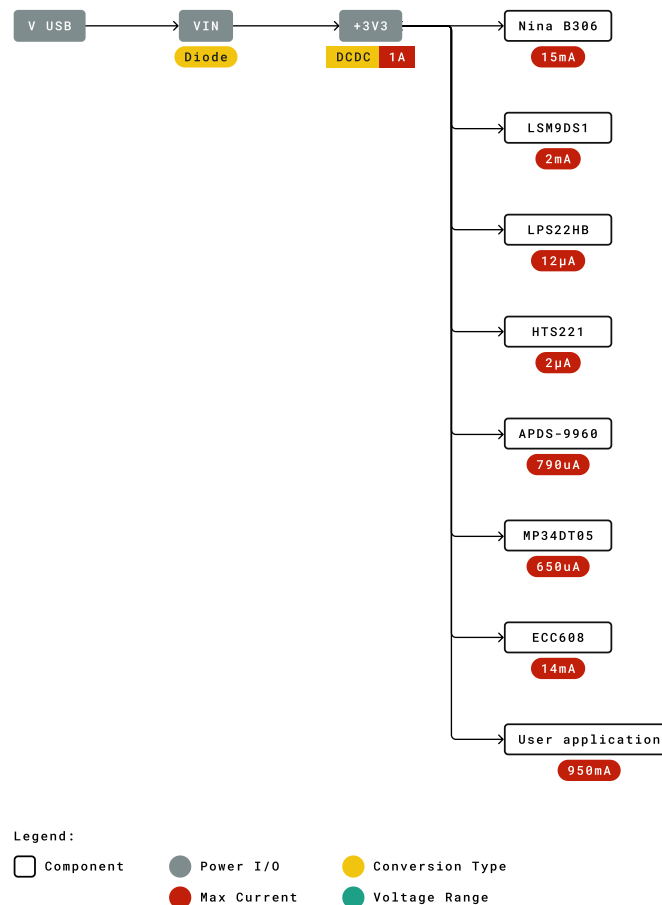
2.8 Digital Microphone

The MP34DT05 is an ultra-compact, low-power, omnidirectional, digital MEMS microphone built with a capacitive sensing element and an IC interface.

The sensing element, capable of detecting acoustic waves, is manufactured using a specialized silicon micromachining process dedicated to produce audio sensors

2.9 Power Tree

The board can be powered via USB connector, V_{IN} or V_{USB} pins on headers.



Power tree

NOTE: Since V_{USB} feeds V_{IN} via a Schottky diode and a DC-DC regulator specified minimum input voltage is 4.5V the minimum supply voltage from USB has to be increased to a voltage in the range between 4.8V to 4.96V depending on the current being drawn.



3 Board Operation

3.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino Nano 33 BLE while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino Nano 33 BLE to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

3.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

3.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

3.4 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino Nano 33 BLE can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino Pro website [4]

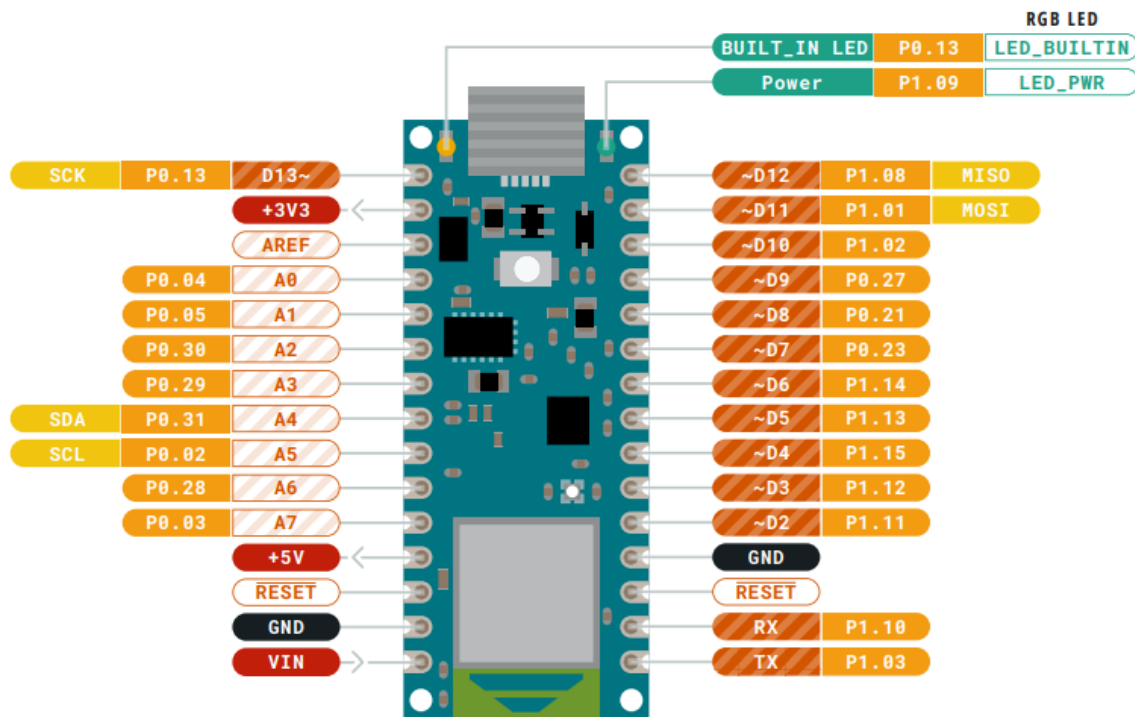
3.5 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [13], the Arduino Library Reference [14] and the on line store [15] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more.

3.6 Board Recovery

All Arduino boards have a built-in bootloader which allows flashing the board via USB. In case a sketch locks up the processor and the board is not reachable anymore via USB it is possible to enter bootloader mode by double-tapping the reset button right after power up.

4 Connector Pinouts



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

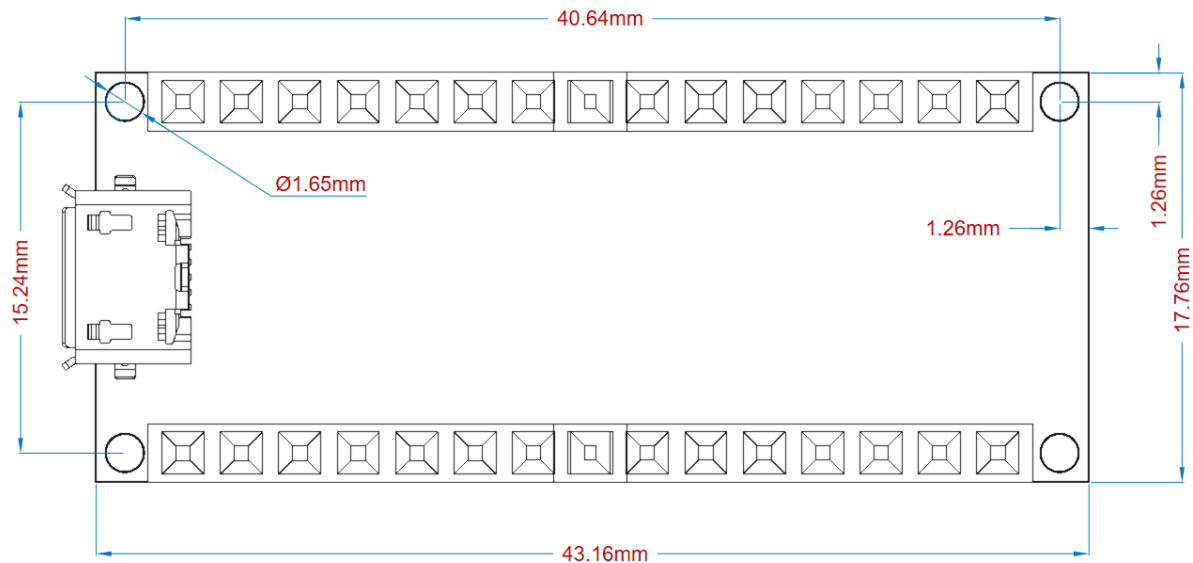
On the bottom side of the board, under the communication module, debug signals are arranged as 3x2 test pads with 100 mil pitch with pin 4 removed. Pin 1 is depicted in Figure 3 – Connector Positions

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



Board layout

6 Certifications

6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions : No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List"



(Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.

6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.

Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

Frequency bands	Maximum output power (ERP)
863-870Mhz	5.47 dBm



8 Company Information

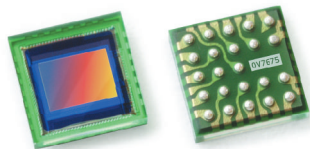
Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Forum	http://forum.arduino.cc/
Nina B306	https://content.u-blox.com/sites/default/files/NINA-B3_DataSheet_UBX-17052099.pdf
ECC608	https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/SCBU/ProductDocuments/DataSheets/ATECC608A-CryptoAuthentication-Device-Summary-Data-Sheet-DS40001977B.pdf
MPM3610	https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MPM3610_r1.01.pdf
ECC608 Library	https://github.com/arduino-libraries/ArduinoECCX08
LSM6DSL Library	https://github.com/adafruit/Adafruit_LSM9DS1
LPS22HB	https://github.com/stm32duino/LPS22HB
HTS221 Library	https://github.com/stm32duino/HTS221
APDS9960 Library	https://github.com/adafruit/Adafruit_APDS9960
ProjectHub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/

10 Revision History

Date	Revision	Changes
08/03/2022	2	Reference documentation links updates
04/27/2021	1	General datasheet updates



OV7675 VGA product brief



available in
a lead-free
package

Higher Performance, Feature Rich VGA Sensor to Support Fast Growing Emerging Markets

The OV7675 is a high performance VGA sensor designed specifically to address growing demand for consumer electronics from emerging markets. Its small optical format enables ultra-thin camera modules, which, combined with its excellent low-light performance, make it a very attractive solution for entry-level and mainstream mobile phones, notebooks, netbooks and webcams.

The OV7675 is a low-voltage color CMOS image sensor that supports the full functionality of a single chip VGA (640 x 480) camera in a small footprint package. The 1/9-inch OV7675 uses a unique 2.5-micron OmniPixel3-HS™ pixel design, which allows it to offer best-in-class low-light sensitivity (1800 mV/lux-sec), significantly reduced noise and outstanding color reproduction.

The OV7675 provides full-frame, sub-sampled, windowed images in VGA, QVGA and QQVGA formats via the control of the serial camera control bus (SCCB) interface. Its image array is capable of operating at up to 30 frames per second (fps) in full VGA resolution with complete user control over image quality, formatting and output data transfer.

All required image processing functions, including exposure control, gamma, white balance, color saturation, hue control, defective pixel canceling, noise canceling are programmable through the SCCB interface. In addition, OmniVision image sensors use proprietary sensor technology to improve image quality by reducing or eliminating common lighting/electrical sources of image contamination, such as fixed pattern noise and smearing to produce a clean, fully stable color image.

Find out more at www.ovt.com.

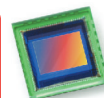
Applications

- Mobile Phones
- Notebooks/Netbooks and Webcams

Product Features

- support for image sizes:
VGA (640 x 480), QVGA (320 x 240)
and QQVGA (160 x 120)
- support for output formats:
YUV4:2:2, Raw RGB, ITU656, RGB565
- digital video port (DVP) parallel output
interface
- on-chip phase lock loop (PLL)
- built-in 1.5V regulator for core
- capable of maintaining register values
at power down
- programmable controls for
frame rate, mirror and flip, AEC/AGC,
and windowing
- support for horizontal and vertical
sub-sampling
- automatic image control functions:
- automatic exposure control (AEC)
- automatic white balance (AWB)
- automatic black level calibration (ABLC)
- image quality controls: defect pixel
correction and lens shading correction
- support for black sun cancellation
- standard serial SCCB interface
- parallel I/O tri-state configurability
and programmable polarity
- module size: 6 mm x 6 mm

OV7675



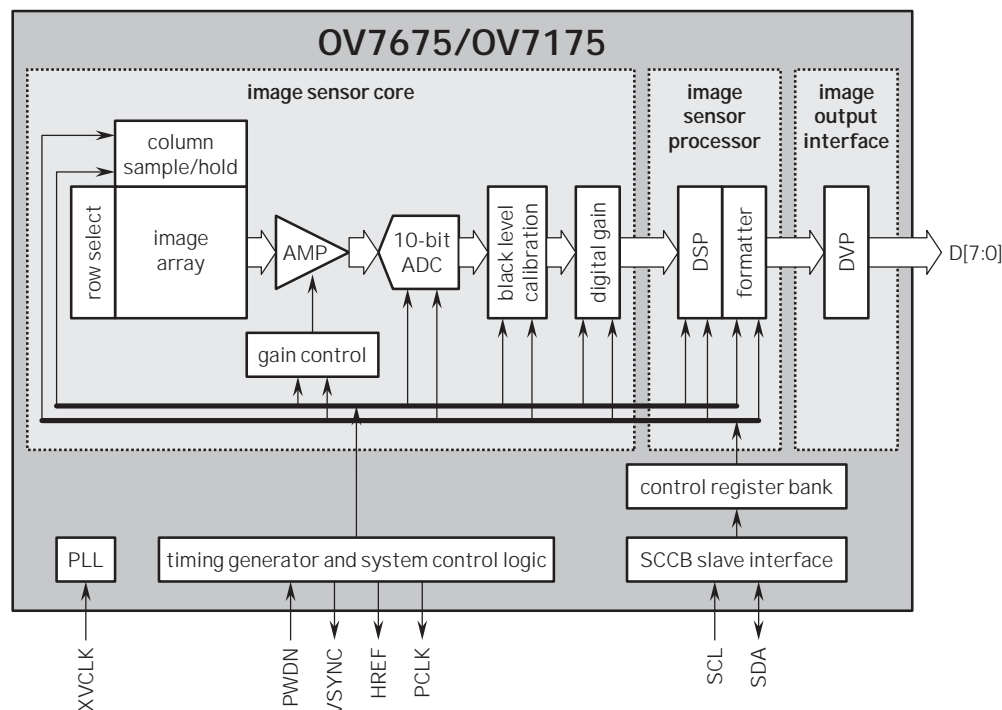
Ordering Information

- **OV07675-A23A**
(color, lead-free, 23-pin CSP3)
- **OV07675-G04A**
(color, chip probing, 200 μ m
backgrinding, reconstructed wafer)
- **OV07175-A23A**
(B&W, lead-free, 23-pin CSP3)

Product Specifications

- active array size: 640 x 480
- power supply:
- analog: 2.6 ~ 3.0 V
- core: 1.5 V \pm 5% (internal regulator)
- I/O: 1.71 ~ 3.0 V
- power requirements:
- active: 98 mW
- standby: 60 μ W
- temperature range:
- operating: -30°C to 70°C
- stable image: 0°C to 50°C
- output formats: YUV422, RAW RGB,
ITU656, RGB565
- lens size: 1/9"
- lens chief ray angle: 21°
- input clock frequency: 1.5 ~ 27 MHz
- scan mode: progressive
- maximum image transfer rate:
- VGA: 30 fps
- QVGA: 60 fps
- QQVGA: 240 fps
- sensitivity: 1800 mV/(lux-sec)
- shutter: rolling shutter
- S/N ratio: 38 dB
- dynamic range: 71 dB
- maximum exposure interval:
510 x t_{row}
- pixel size: 2.5 μ m x 2.5 μ m
- image area: 1640 μ m x 1220 μ m
- package dimensions:
- CSP3: 2815 μ m x 2825 μ m
- COB: 2830 μ m x 2840 μ m

Functional Block Diagram



4275 Burton Drive
Santa Clara, CA 95054
USA

Tel: + 1 408 567 3000
Fax: + 1 408 567 3001
www.ovt.com

Omnivision reserves the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without further notice. OmniVision and OmniPixel are registered trademarks of OmniVision Technologies, Inc. The OmniVision logo and OmniPixel3-HS are trademarks of OmniVision Technologies, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners.

Omnivision