

# Análisis de interacciones de partículas mediante implementación de una librería para su detección con sensores CMOS

DARÍO FEDERICO BALMACEDA

Laboratorio Detección de Partículas y Radiación. Centro Atómico Bariloche

leschatten@gmail.com

14 de mayo de 2018

## Resumen

*Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et nequepharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectusvelit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel,semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue aleo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus,aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictumturpis accumsan semper*

## I. INTRODUCCIÓN

**L**orem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et nequepharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectusvelit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede.

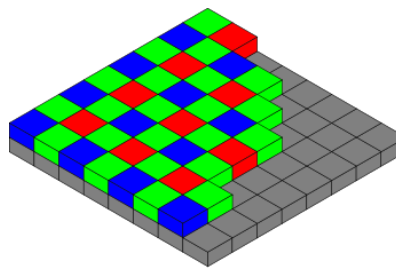
### I. Sensores CMOS-APS

Un sensor de píxeles activos (APS por sus siglas en inglés) es un sensor que detecta la radiación basado en tecnología CMOS. Este tipo de sensores son ampliamente utilizados de manera comercial debido a su bajo costo de producción y sus buenos resultados en fotografía. Estos sensores están presentes en teléfonos celulares, ordenadores portátiles, cámaras de acción, y en la mayoría de los dispositivos electrónicos que posee una cámara.

Los sensores consisten en un arreglo matricial de fotodiodos, que producen una corriente eléctrica que varía en función de la intensidad de luz recibida. Por cada fotodiodo, se incorpora un amplificador y un conversor analógico digital (ADC) para la lectura de los datos.

### 1. Filtro de Bayer

Típicamente los sensores CMOS destinados para fotografías poseen un filtro de Bayer, el mismo consiste en un arreglo de filtros rojos, verdes y azules dispuestos como se muestra en la Fig. 1. De esta forma, cada píxel posee la información de un único rango de longitudes de onda, esto permite una composición de la imagen en 3 colores diferentes, de manera análoga al ojo humano.



**Figura 1:** Filtro de Bayer típico de un sensor CMOS-APS. Por cada 4 píxeles 2 son verdes, 1 es rojo y 1 es azul. El color verde es utilizado dos veces debido a la sensibilidad al verde del ojo humano.

## II. Interacción de la radiación de partículas con la materia

En este contexto, se definirá un evento como los efectos que provoca en un sensor una única partícula. Si la densidad de eventos en una imagen es baja<sup>1</sup>, es posible identificar eventos a partir de los píxeles de una vecindad, debido a que se desprecia la probabilidad de encontrar un píxel que haya acumulado carga de dos eventos.

En caso de haber una densidad de eventos mayor, se debe hacer uso de otros métodos como técnicas basadas en *machine learning* e inteligencia artificial [1].

### III. Picos $K_\alpha$ y $K_\beta$

### IV. Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas que llegan desde el espacio y bombardean constantemente la Tierra desde todas direcciones. La mayoría de estas partículas son protones o núcleos de átomos. Al interactuar con la atmósfera terrestre, estas partículas generan una cascada de muones

## II. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

### I. Sensor CMOS

Se ha utilizado el sensor OmniVision OV5647 de la cámara Raspicam V1.3 cuyo precio ronda los 23 dólares. El sensor posee una resolución de 2592x1944 píxeles, lo que le da una resolución total de 5 MP. El tamaño de un píxel es de  $1.4\ \mu\text{m} \times 1.4\ \mu\text{m}$ . El capacidad de carga máxima hasta llegar a saturación es de 4300 electrones (*Well Capacity*). El sensor posee un ADC de 10 bits por píxel. El tamaño total por imagen raw es de unos 6.4 MB

Debido a que cada píxel presenta una electrónica separada, se tomó una foto.

<sup>1</sup>En relación con el tamaño de los eventos

## II. Raspberry

Se utilizó una Raspberry Pi modelo B, con una memoria micro SD de 16 GB, para la obtención de imágenes. Debido a la resolución de las imágenes, la profundidad de bits de las imágenes y del tamaño del sistema operativo *Raspbian*, la memoria disponible permitió almacenar del orden de 1000 fotografías en simultáneo.

### III. Librería raspiraw

Para la adquisición de datos se utilizó la librería *raspiraw*[2] debido a la rapidez con la que se toman los datos. En el apéndice A se muestran otras alternativas que son más lentas para la toma de datos, pero que pueden resultar más simples y sencillas de implementar.

Los datos sin procesamiento (datos *raw*) eran guardados con extensión raw. Los mismos consistían en 1952 filas de 3264 bytes. Las últimas 8 filas de dato no contienen información y no son utilizadas, ya que sólo existen debido a que 1952 es menor múltiplo de 16 mayor a las 1944 que posee el sensor filas del sensor (ver sección I).

De la misma forma, los últimos 24 bits de cada fila no son utilizados y deben ser descartados.

Cada píxel se representa mediante un número de 10 bits (ver sección I), En una misma columna, los píxeles son agrupados de a 4, formando una estructura de 5 bytes. En los primeros 4 bytes se encuentran los bits más significativos de los 4 píxeles que conforman la estructura. El quinto byte contiene los últimos 2 bits menos significativos de cada píxel.[3] La manera en la que los bits están ordenados en un grupo se muestra en la Fig. 2

Los parámetros que permite variar esta librería son:

**Tiempo de exposición** Se define como el tiempo en el que sensor acumula carga. A mayor tiempo de exposición, mayor es la carga leída por el detector.

En lo que sigue, se utilizó un tiempo de exposición de 0.5 ms, a no ser que se aclare lo

		Bits							
		MSB	8	7	6	5	4	3	2
Bytes	1	10	9	8	7	6	5	4	3
	2	10	9	8	7	6	5	4	3
	3	10	9	8	7	6	5	4	3
	4	10	9	8	7	6	5	4	3
	5	2	1	2	1	2	1	2	1

**Figura 2:** Representación de un grupo 4 píxeles.  
 Los 40 bits de los 4 píxeles están distribuidos como ilustra la figura. Colores distintos corresponden a píxeles distintos.  
 En las filas se indica en número de byte (siendo 5 en total).  
 En cada celda se encuentra un número que representa el bit de información de un píxel, siendo 1 el bit menos significativo (LSB) y 10 el bit más significativo (MSB).

contrario.

**Cuadros por segundos** También conocido como *fps* por sus siglas en inglés. Se refiere a la frecuencia con la que se toman las imágenes y generalmente viene expresado en fotografías por segundo.

En lo que sigue, se capturó a 2 cuadros por segundo, a no ser que se aclare lo contrario.

#### iv. Emisor de rayos X

Para la calibración de la carga dada por el detector CMOS como función de la energía se utilizó un emisor de rayos X.

#### v. Observación de rayos cósmicos.

Utilizando la librería es posible identificar eventos en simultaneo con la toma de imágenes, por lo que se implementó un sistema que guarde solamente las imágenes que poseen píxeles que superen un umbral establecido. Debido al ruido de fondo, dicho umbral se ajustó en 75 Unidades de ADC. Como se verá en la sección III, con esta configuración fue posible

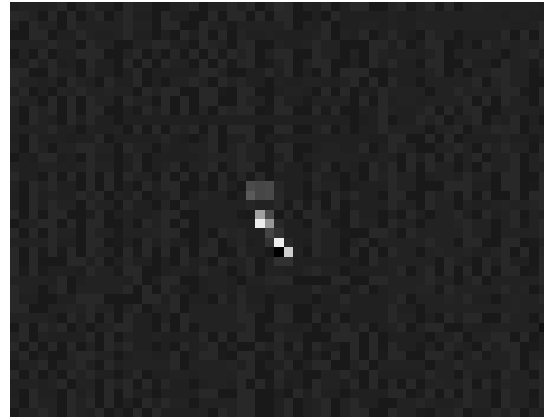
detectar eventos, por lo que el umbral establecido resultó válido y suficiente.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para probar el correcto funcionamiento de la librería, se utilizó el poder de procesamiento en dos aplicaciones diferentes. Una de ellas consistió en detectar Rayos Cósmicos, y la otra la de observar los picos  $K_\alpha$  y  $K_\beta$  de diferentes elementos.

#### i. Determinación del ruido de fondo

Se tomaron 30 imágenes con tiempo con tiempo de exposición de 0.5 ms a 2 cuadros por segundos (*fps*). Se promediaron las 30 imágenes para obtener una estimación sobre el ruido de fondo con la configuración dada. En la Fig. 3 se muestra el promedio por píxel de las fotografías tomadas.



**Figura 3:** Promedio de las 30 imágenes. En la misma se observa una dependencia del valor promedio como función de la posición. Esta dependencia es más sensible como función de la columna del píxel.

#### ii. Mediciones de picos $K_\alpha$ y $K_\beta$ y calibración de energía

Se analizó el espectro de Cu, Fe y Ca utilizando la librería *ParticleDetections*. Para esto se

realizó un histograma de la carga de los eventos. En estos espectros fue posible identificar los picos  $K_\alpha$  y  $K_\beta$  de Cu y los picos  $K_\alpha$  del Fe y del Ca, esta identificación y asociación nos permitió hacer una calibración de energía como función del canal. tal como se muestra en la Fig. 4.

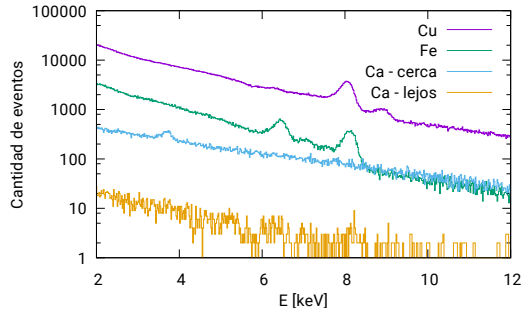


Figura 4: Espectro patronum!

Conociendo la energía característica de cada uno de estos picos, se realizó una calibración del valor raw de un pixel como función de la carga (energía) depositada. Esta calibración se muestra en la Fig. 5

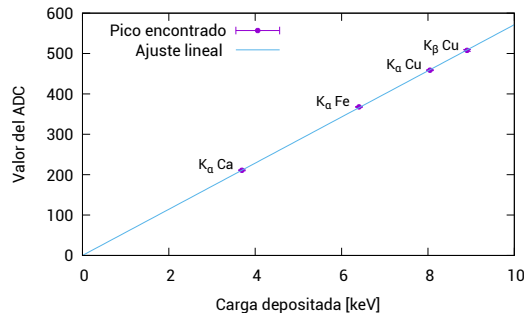


Figura 5: Calibración del canal del sensor como función de la energía de los picos  $K_\alpha$  y  $K_\beta$  encontrados. En el mismo se puede apreciar que la relación es lineal y la relación carga por unidad de ADC obtenida es de

### III. Medición de Rayos Cósmicos

Utilizando la librería se pudo encontrar N eventos en completa oscuridad, y sin la presencia de fuentes radioactivas cerca. Estos eventos

son asociados a muones generados en la parte más alta de la atmósfera debido a los rayos cósmicos. En la Fig. 6 se muestra uno de los eventos detectados.

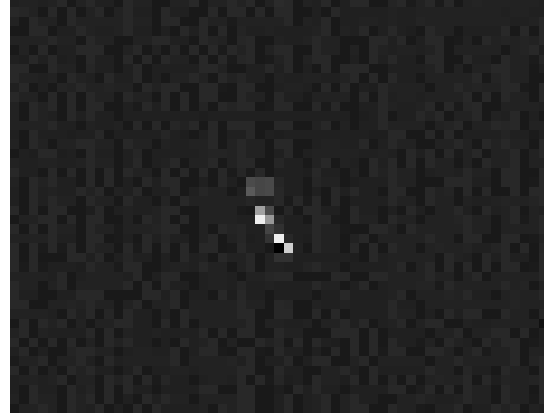


Figura 6: Recorte de una imagen tomada en la que se observa un evento. En este caso el color negro representa el 0 unidades de ADC, y el color blanco, 176 unidades de ADC.

Debido a la baja estadística que se presenta sobre los rayos cósmicos no resulta viable calcular la frecuencia con la que estos eventos suceden.

## IV. CONCLUSIONES

Las pruebas en humanos empezaran pronto...

## REFERENCIAS

- [1] Byron P. Roe, Hai-Jun Yang, Ji Zhu, Yong Liu, Ion Stancu, and Gordon McGregor. Boosted decision trees as an alternative to artificial neural networks for particle identification. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 543(2):577 – 584, 2005.
- [2] 6by9. raspiraw. <https://github.com/6by9/raspiraw>, 2018.

- [3] Dave Jones. Picamera 1.13 documentation. <https://picamera.readthedocs.io/en/release-1.13/>, Febrero 2017.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de Xavier Bertou por la experiencia brindada y por acompañar el trabajo en forma constante.

A Miguel Sofo por la disponibilidad y por su flexibilidad a la hora de trabajar.

## A. ALTERNATIVAS A RASPIRAW

### I. Raspistill y Raspivid

Ambos vienen por defecto instalados en el sistema operativo *Raspbian*. Raspistill permite capturar fotografías en formato *Joint Photographic Experts Group* (jpeg/jpg). Si bien las imágenes tomadas presentan un post-procesamiento, Raspistill es capaz de añadir a la imagen los datos sin procesar (*raw*),

Por el otro lado, raspivid permite grabar videos en formato *H.264*. Este formato también presenta compresión de datos, al igual que .jpg, pero no existe parámetro que permita obtener las imágenes sin procesamiento. Por lo debe ser utilizado de manera ilustrativa y cuantitativa, pero no cuantitativa.

### II. Picamera, librería en Python

La librería Picamera presenta en su documentación una forma para obtener los datos *raw*, sin procesamiento previo.