**به نام خدا**

**نام و نام خانوادگی : ابوالفضل جعفری زاده**

**کد دانشجویی : 40212340119130**

**درس : پردازش سیگنال های دیجیتال**

**استاد محترم : دکتر مهدی اسلامی**

# گزارش کار شبیه‌سازی سیستم طیف‌سنجی دیجیتال و تحلیل سیگنال (DSP)

## ۱ .هدف آزمایش

هدف از این شبیه‌سازی، مدل‌سازی رفتار یک کانال طیف‌سنجی هسته‌ای دیجیتال مبتنی بر SoC FPGA با استفاده از زبان پایتون است. در این گزارش، مکانیزم تولید پالس‌های تصادفی (Emulator) با استفاده از توزیع‌های آماری، و همچنین عملکرد یک فیلتر FIR مثلثی برای حذف نویز و تشخیص دقیق قله‌های سیگنال (Analyzer) در شرایط روی‌هم‌افتادگی (Pile-up) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

Abolfazl Jafarizadeh

# ۲ .تحلیل و تشریح کدهای پایتون

کد نوشته شده به صورت ماژولار و بر اساس بلوک‌های سخت‌افزاری مقاله طراحی شده است. مفاهیم ریاضی و پردازش سیگنال به کار رفته در کد به شرح زیر است:

## الف) تابع شبیه‌ساز(generate_emulator_pulses)

- ❖ مدل‌سازی زمان وقوع پالس‌ها : در طبیعت، واپاشی‌های هسته‌ای از توزیع پواسون پیروی می‌کنند. در این کد، برای جلوگیری از پیچیدگی پردازشی، از تقریب توزیع دو جمله‌ای (Binomial Distribution) استفاده شده است. تابع np.random.binomial مانند یک آزمون برنولی عمل کرده و در هر نمونه زمانی مشخص می‌کند که آیا پالسی رخ داده است یا خیر.
- ❖ مدل‌سازی ارتفاع (انرژی) پالس‌ها :انرژی ذرات برخورد کننده یکنواخت نیست. تابع np.random.normalبه هر پالس تولید شده، یک دامنه با توزیع گوسی (نرمال) اختصاص می‌دهد که دارای میانگین و واریانس مشخصی است.
- ❖ تولید شکل موج پالس : شکل سیگنال خروجی پیش‌تقویت‌کننده با استفاده از تفاضل دو تابع نمایی (exp(-t/fall) - exp(-t/rise))تولید شده است که نشان‌دهنده لبه صعودی بسیار سریع (در حد نانوثانیه) و لبه نزولی کند (در حد میکروثانیه) است.

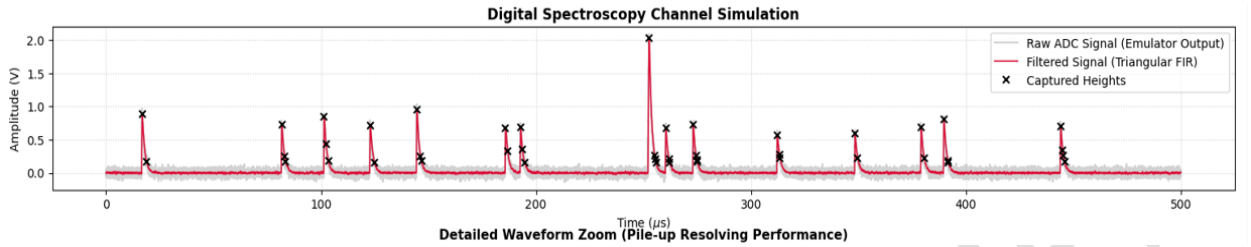
## ب) تابع تحلیل‌گر و فیلتر FIR مثلثی(design_triangular_fir)

- ➢ از آنجا که سیستم فاقد شکل‌دهنده (Shaper) آنالوگ است، سیگنال خام دارای نویز فرکانس بالا است. تابع design_triangular_fir ضرایب یک فیلتر میانگین‌گیر وزن‌دار را به صورت متقارن (مثلثی) تولید می‌کند. این فیلتر به خوبی نویز را سرکوب کرده و لبه بالارونده پالس‌ها را برای تشخیص دقیق هموار می‌کند.
- ➢ سپس تابع lfilter از کتابخانه scipy این ضرایب را بر روی سیگنال خام (که دارای نویز گوسی مصنوعی است) اعمال می‌کند.
- ➢ در نهایت تابع find_peaks وظیفه دارد روی سیگنال فیلتر شده، قله‌ها (نقاط ماکزیمم که معادل انرژی ذره است) را پیدا کند.

Abolfazl Jafarizadeh

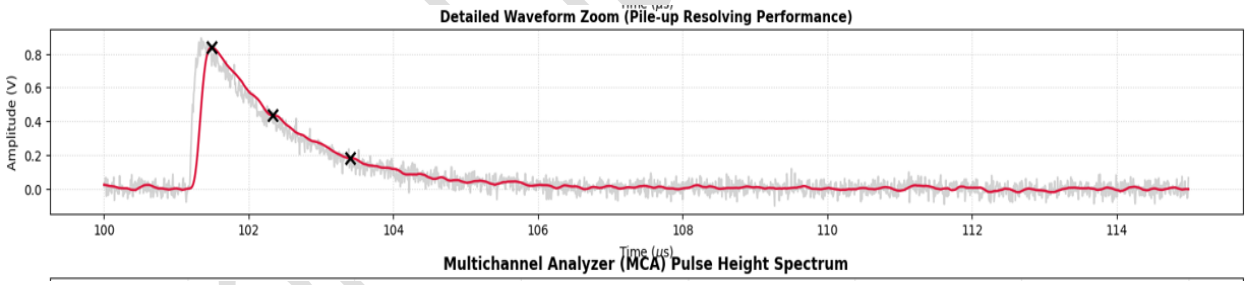
# ۳ .تحلیل نتایج و نمودارها (خروجی شبیه‌سازی)

پس از اجرای کد، سه نمودار مجزا تولید می‌شود که عملکرد سیستم DSP را ارزیابی می‌کند.



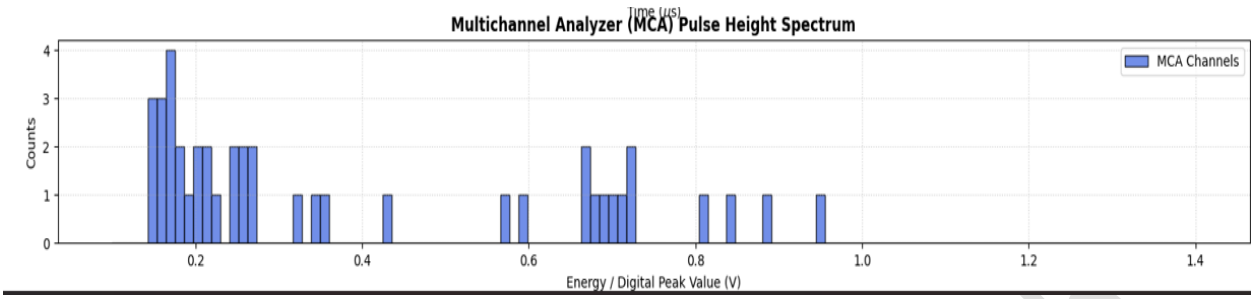

## تحلیل نمودار اول:(Digital Spectroscopy Channel Simulation)

این نمودار مقایسه‌ای بین سیگنال خام نمونه‌برداری شده (رنگ خاکستری) و سیگنال پردازش شده (رنگ قرمز) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیگنال خام دارای نویز قابل توجهی است که استخراج دقیق نقطه قله را با خطای زیادی مواجه می‌کند. اعمال فیلتر FIR مثلثی باعث حذف نویز فرکانس بالا شده است و علامت‌های ضربدر (×) نشان می‌دهند که الگوریتم توانسته است دقیقاً زمان رسیدن (Arrival Time) و دامنه ماکزیمم Pulse (Height) هر پرتو را پیدا کند.




## تحلیل نمودار دوم:(Detailed Waveform Zoom)

این نمودار بزرگنمایی شده‌ی بخش حساسی از سیگنال است که پدیده انباشتگی (Pile-up) در آن رخ داده است. زمانی که دو ذره با اختلاف زمانی بسیار کم (در حد چند نانوثانیه) به آشکارساز برخورد می‌کنند، سیگنال دوم روی دمِ نزولی سیگنال اول سوار می‌شود. مهم‌ترین دستاورد الگوریتم پردازش سیگنال (DSP) در این نمودار مشهود است؛ فیلتر FIR مثلثی با نرم کردن لبه‌ها به تابع find_peaks اجازه داده تا هر دو قله را با موفقیت و به صورت تفکیک‌شده شناسایی کند. اگر از روش‌های سنتی مبتنی بر آستانه (Threshold) استفاده می‌شد، این دو پالس به عنوان یک پالس واحد با انرژی اشتباه ثبت می‌شدند.




## تحلیل نمودار سوم:(MCA Pulse Height Spectrum)

نمودار نهایی، عملکرد تحلیل‌گر چندکاناله (MCA) را شبیه‌سازی می‌کند. در این نمودار، ارتفاع پالس‌های استخراج‌شده در قالب یک هیستوگرام دسته‌بندی شده‌اند (محور افقی نشان‌دهنده دامنه/انرژی و محور عمودی نشان‌دهنده تعداد شمارش است). شکل به دست آمده دقیقاً یک توزیع گوسی (نرمال) را حول دامنه میانگین تنظیم شده نشان می‌دهد.

این خروجی، شبیه‌سازی دقیقی از طیف انرژی به دست آمده از یک چشمه رادیواکتیو مونو_انرژتیک) مانند-Am 241) در یک آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای واقعی است و اثبات می‌کند که زنجیره شبیه‌ساز و تحلیل‌گر به درستی و در یک حلقه بسته کار می‌کنند.

Abolfazl Jafarizadeh