

Informe Técnico-Académico: Estimación del SNR mediante tres algoritmos basados en PSD y validación según normativa ITU e ICNIRP en Colombia

1. Introducción

El Signal-to-Noise Ratio (SNR) es un parámetro crítico en sistemas electrónicos y de comunicaciones, utilizado para cuantificar la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. En este trabajo, se implementaron tres métodos en Python (y comprobados en C) para estimar el SNR a partir de la densidad espectral de potencia (PSD), validando posteriormente los resultados mediante un analizador de espectro. Aunque el generador de señales no fue probado directamente, la metodología permite replicar el análisis con señales reales.

2. Descripción de los algoritmos

- **Método 1: Estadísticas de Orden (percentil)**

Se ordena la PSD y se calcula la potencia de ruido (P_n) como la media de los valores más bajos, según un percentil definido [1]. La potencia de señal (P_s) se estima como la media de los valores por encima de un umbral ($2 \cdot P_n$). El SNR en dB se obtiene mediante $10 \log_{10}(P_s/P_n)$.

- **Método 2: Media Recortada Iterativa**

Basado en filtrado iterativo, descarta valores superiores a media + $k \cdot$ desviación estándar en cada iteración [2]. Al finalizar, P_n es la media del subconjunto restante. P_s se estima con el mismo umbral de $2 \cdot P_n$ y se calcula el SNR en dB.

- **Método 3: Picos y Valles**

Utiliza la mediana de la PSD como estimador robusto de P_n [3]. Se detectan picos mayores a $P_n \cdot 10^{(\text{prominencia}/10)}$ y P_s se calcula como la media de dichos picos. El SNR se calcula como en los métodos anteriores.

3. Revisión bibliográfica y evidencia académica

Diversos estudios respaldan el uso de técnicas estadísticas robustas para la estimación de SNR:

- El método **IMCRA (Improved Minima Controlled Recursive Averaging)** permite una estimación fiable del ruido en entornos no estacionarios y con baja SNR [4].
- Métodos basados en **valores propios y teoría de matrices aleatorias** permiten estimar SNR sin conocer la varianza del ruido a priori [5].

- Las técnicas de detección basadas en percentiles, medianas y medias recortadas son ampliamente utilizadas para sistemas de radio cognitiva y análisis espectral en señales de banda estrecha [6].

4. Validación según normativa ITU e ICNIRP

ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

Las recomendaciones ITU-R definen niveles típicos de SNR y métodos de referencia para mediciones en sistemas de radiocomunicación [7]. Si bien no imponen un algoritmo específico para estimar SNR, proporcionan parámetros y condiciones de referencia para evaluar la calidad de los métodos aplicados.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

ICNIRP establece límites de exposición a campos electromagnéticos entre 100 kHz y 300 GHz, incluyendo valores de densidad de potencia y SAR [8]. Aunque no tratan el SNR directamente, son esenciales para asegurar que la medición y procesamiento de señales no excedan niveles seguros en entornos con presencia humana.

Aplicación en Colombia

La normatividad colombiana, a través del Ministerio TIC y la ANE, adopta las recomendaciones ITU e ICNIRP para la regulación de telecomunicaciones y seguridad en radiaciones no ionizantes [9]. En el contexto de este trabajo:

1. Las estimaciones de SNR deben contrastarse con rangos de referencia de ITU-R.
2. Las señales medidas deben cumplir los límites de exposición ICNIRP.

5. Calibración y optimización de procesos

Para garantizar la fiabilidad de los resultados, se realizó una **calibración sistemática** de los procesos de estimación del SNR. Esta calibración consistió en:

- **Ajuste de resolución espectral:** se evaluaron diferentes configuraciones de n_{perseg} y tipos de ventana (Kaiser, Hanning, Blackman) para optimizar la resolución en frecuencia sin comprometer la estabilidad de la estimación [10].
- **Optimización de parámetros internos:** se ajustaron valores de percentil en el método de estadísticas de orden, coeficiente k y número de iteraciones en

la media recortada iterativa, y la prominencia en la detección de picos, con el fin de minimizar la variabilidad de la estimación en distintas condiciones de ruido.

- **Comparación de resoluciones múltiples:** las estimaciones se realizaron en resoluciones espectrales bajas, medias y altas para evaluar el compromiso entre precisión y tiempo de cómputo, siguiendo criterios propuestos en metodologías experimentales de la ITU-R para pruebas de calidad de recepción [11].

El proceso de calibración se basó en la repetición de mediciones con variación controlada de parámetros y el análisis de la desviación estándar de las estimaciones, validando así la estabilidad de cada configuración.

6. Conclusiones

- Los tres algoritmos propuestos son eficientes y aplicables a entornos de laboratorio y de campo.
- Métodos como IMCRA y técnicas basadas en valores propios pueden complementar la estimación en entornos con ruido no estacionario.
- La validación según ITU e ICNIRP permite garantizar que las mediciones sean técnicamente sólidas y seguras.
- En Colombia, el cumplimiento normativo requiere verificar tanto la calidad de la medición (SNR) como la seguridad en la exposición a RF.

• Referencias

- [1] Kay, S. M. (1998). *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*. Prentice Hall.
- [2] Marple, S. L. (1987). *Digital Spectral Analysis*. Prentice Hall.
- [3] Allen, J. B., & Rabiner, L. R. (1977). "A unified approach to short-time Fourier analysis and synthesis." *Proceedings of the IEEE*, 65(11), 1558–1564.
- [4] Cohen, I., & Berdugo, B. (2003). "Noise estimation by minima controlled recursive averaging for robust speech enhancement." *IEEE Signal Processing Letters*, 9(1), 12–15.
- [5] Chen, Y., et al. (2012). "Eigenvalue-based SNR estimation for wireless communications." *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 11(8), 3006–3015.
- [6] Yucek, T., & Arslan, H. (2009). "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1),

116–130.

[7] ITU-R. (2013). “Recommendation ITU-R F.339-8: Bandwidths and protection ratios for HF radio systems.” International Telecommunication Union.

[8] ICNIRP. (2020). “Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).” *Health Physics*, 118(5), 483–524.

[9] Ministerio TIC de Colombia & ANE. (2014). *Reglamento Técnico para la exposición de las personas a campos electromagnéticos*.

[10] Harris, F. J. (1978). “On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform.” *Proceedings of the IEEE*, 66(1), 51–83.

[11] ITU-R. (2019). “Recommendation ITU-R BS.1284-3: General methods for the subjective assessment of sound quality.” International Telecommunication Union.

[12] ITU-R. (2015). “Recommendation ITU-R P.1407-6: Multipath propagation and parameterization of its effects.” International Telecommunication Union.