

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

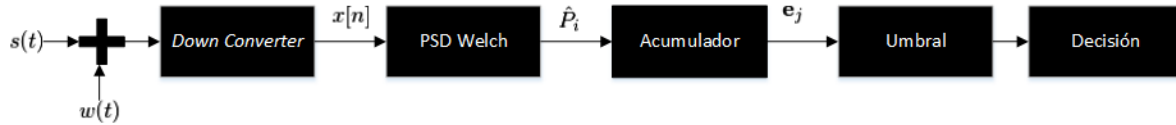


Figura 2 Detector de energía

1.1 Cálculo de la PSD por el método de Welch.

Con el fin de reducir la varianza del periodograma, éste se promedia con base a K observaciones de la señal aleatoria estacionaria (Manolakis, Ingle, & Kogon, 2005; Welch, 1967) la señal $x[n]$ se subdivide en pequeños segmentos como se muestra a continuación:

$$0 \leq n \leq L - 1$$

$$x_{i,k}[n] = x_i[kD + n]h[n] \quad 0 \leq k \leq K - 1 \quad (5)$$

$$0 \leq i \leq p$$

Donde $h[n]$ es una ventana de tipo: rectangular, Kaiser, Flat-top, Hanning o Hamming, L es la duración del segmento, D es la distancia de *off-set*. El cálculo del periodograma para K segmentos es definido por:

$$\hat{P}_i[f] = \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \left[\sum_{n=0}^{L-1} x_k[n] e^{-2\pi j f n} \right]^2 \quad (6)$$

La ecuación (6) muestra el promediado de K segmentos en una observación i , donde se forma la matriz $\mathbf{P} = [\hat{P}_1^T, \hat{P}_2^T, \dots, \hat{P}_p^T]$ donde cada fila representa el espectro de todos los canales sensados, cada columna representa las diferentes observaciones del espectro, la matriz \mathbf{P} es segmentada en el ancho de banda para los canales de FM de 200 kHz. La segmentación de la matriz \mathbf{P} representa las observaciones realizadas por canal como se muestra en (7).



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
MULTIDISCIPLINARIO



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

$$\mathbf{P}_j = [\hat{P}_1[f + jm]^T, \hat{P}_2[f + jm]^T, \dots, \hat{P}_p[f + j]^T]$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, f_s/200000$$

$$f = 0, 1, 2, \dots, m$$

$$m = 200000L/f_s$$

(7)

Donde f_s representa la frecuencia de muestreo, m representa el tamaño de las muestras del espectro segmentadas en canales de 200 KHz, j hace referencia al número de canal, cada \mathbf{P}_j considera el número p de observaciones. Con base en las observaciones del espectro por canal se calcula la matriz de autocorrelación y se descompone en sus valores singulares por el método SVD, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{P}_j \mathbf{P}_j^T\}$$

(8)

$$\mathbf{R} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$$

Una métrica para decidir si el ruido es gaussiano consiste en evaluar los coeficientes de la matriz diagonal $\mathbf{\Sigma}$ (ITU-R, 2010), la métrica \mathbf{v} y su índice k se calcula mediante la ecuación:

$$\mathbf{v}_i = \frac{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \dots + \sigma_k^2}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \dots + \sigma_m^2} > 0.95$$

(9)

$$k = \frac{m+1}{2}$$



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
MULTIDISCIPLINARIO



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

Una vez se evalúan todos los canales con la métrica se busca el argumento que minimiza el vector \mathbf{v} :

$$c = \min \mathbf{v} \quad (10)$$

El índice c hace referencia al canal que tiene menor presencia de señal y mayor componente de ruido para establecer el umbral λ para evaluar el detector de energía, este umbral es calculado mediante la acumulación de energía del promediado de todas las observaciones en el canal descrito por c .

$$\lambda = \sum \overline{P_c} + 3 \quad (11)$$

Con base en el reglamento de comunicaciones UIT al nivel de ruido calculado se le adicionan 3 dB y de este modo queda definido el umbral con el que se comparará cada canal y se determina su ocupación almacenando esta información durante el tiempo de observación, una vez finaliza la observación los canales ocupados se comparan con la base de datos del Plan Técnico nacional de radiodifusión sonora en FM (Colombia). Los canales ocupados que se encuentran fuera de la base de datos son considerados como clandestinos.

Resultados y discusión

En este experimento se crearon 9 emisiones clandestinas que se generaron una por una con parámetros de modulación $\Delta f = 75$ kHz, $\tau = 75$ μ s, usando como transmisor un USRP E310 variando su potencia de transmisión con el fin de evaluar la Potencia Radiada Isotrópica (PIRE) en la detección de emisiones clandestinas, como receptor se usó otro USRP E310 sensando el espectro durante 20 segundos. El equipo receptor fue configurado con una frecuencia de muestreo $f_s = 16$ MHz, frecuencia central 96 MHz con el fin de analizar las emisoras desde 88-104 MHz, en la Figura 3 se observa el espectro calculado por el periodograma normal y el periodograma del método de Welch.

Comparando las gráficas de la Figura 3 se observa el periodograma normal (gráfica azul) tiene mayor varianza que el periodograma calculado por el método de Welch (gráfica roja), para la identificación de emisiones clandestinas por el método de detección de energía es necesario disminuir la varianza del



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
MULTIDISCIPLINARIO



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

periodograma con el fin de establecer el umbral λ de manera más estable y así determinar la ocupación de canal.

En la Figura 4 se muestran los estudios de detección de las emisoras clandestinas generadas a diferentes frecuencias y potencias de transmisión señalando 1 como la máxima detección y 0 como detección nula.

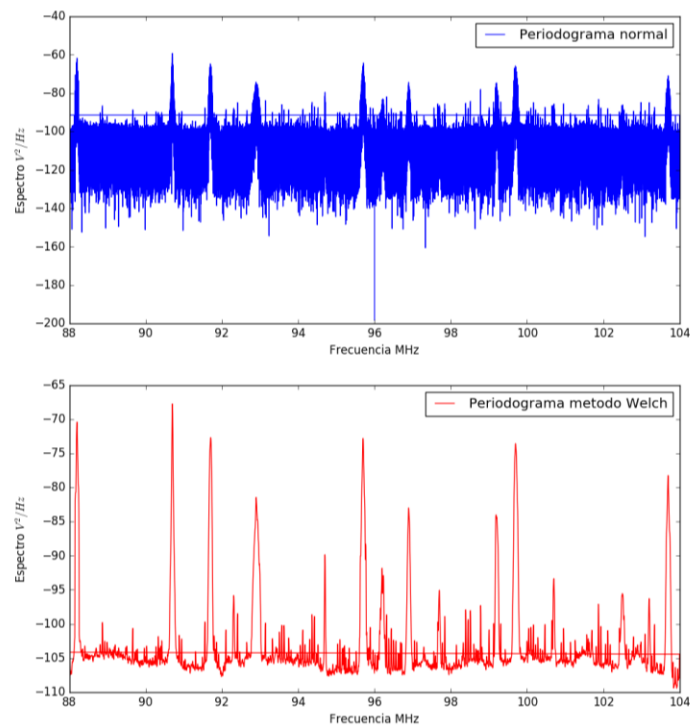


Figura 3 Comparación de periodograma normal y periodograma método de Welch

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

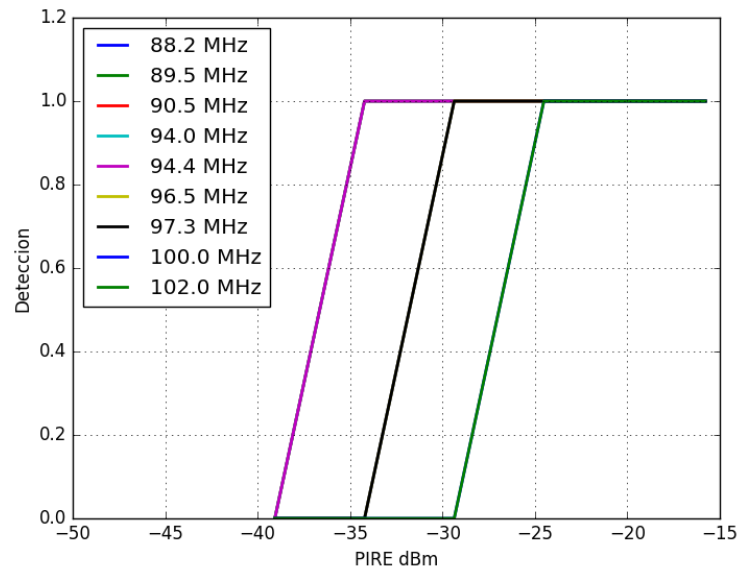


Figura 4 Detección de emisiones clandestinas en función de la PIRE

El transmisor y el receptor se dejaron en posición fija y se cambió la potencia de transmisión, esto es posible gracias a la tecnología SDR, las gráficas de la Figura 3, representa la detección de las frecuencias centrales de las emisiones clandestinas donde se observa que algunas detecciones se superponen formando tres grupos de gráficas debido a las diferentes PIRE, donde se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$PIRE = P_t + G_t - L_p \quad (12)$$

Donde P_t es la potencia del transmisor, G_t ganancia de la antena de transmisión y L_p es el modelo de propagación en el espacio libre (UIT, 2016).

Conclusión

En conclusión dependiendo de la potencia de la señal sensada con la antena, es posible detectar las emisiones clandestinas, mediante la observación de los canales ocupados empleando el detector de energía con umbral dinámico comparando los canales ocupados con la base de datos de usuarios licenciados. El cálculo de la PSD por el método de Welch disminuye la varianza del periodograma, esta característica permite establecer un nivel de ruido más robusto



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
MULTIDISCIPLINARIO



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2018”

Multidisciplinario

19 y 20 de abril de 2018, Cortazar, Guanajuato, México

ISSN 2448-6035

mediante la evaluación de los canales usando el método de descomposición de valores singulares de la matriz de auto correlación de las diferentes observaciones en el tiempo del canal. En este estudio el detector de emisiones clandestinas identifica correctamente las emisiones cuando el nivel de PIRE calculado es superior a -35 dBm.

Bibliografía

- ANE. (2017). Cuadro nacional de atribucion de bandas de frecuencia 2014, 1–375.
- Arslan, H., & Ahmed, S. (2007). *Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems. Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5542-3>
- Haykin, S. (2001). Continuous modulation. In I. Jhon Wiley & Sons (Ed.), *Communication Systems* (4th ed., pp. 107–111).
- ITU-R. (2010). *Recommendation ITU-R SM.1753-2 Methods for measurements of radio noise SM Series. Radiocommunication sector of ITU* (Vol. 1).
- Manolakis, D., Ingle, V., & Kogon, S. (2005). *Statistical and adaptive signal processing: spectral estimation, signal modeling, adaptive filtering, and array processing. Publishing House of Electronics Industry,*
- UIT. (2016). *Recomendación UIT-R P.525-3 cálculo de la atenuación en el espacio libre* (Vol. 3).
- Urkowitz, H. (1967). Energy detection of unknown deterministic signals. *Proceedings of the IEEE*, 55(4), 523–531. <https://doi.org/10.1109/PROC.1967.5573>
- Welch, P. D. (1967). The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms. *IEEE Trans. Audio and Electroacoustic*, 15, 70–73.