

Sistema de Monitoreo de Densidad de Potencia de RF Basado en SDR (Radio Definida por Software)

SDR-Based RF Power Density Monitoring System (Software Defined Radio)

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

Juan Francisco Loidi

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
juanfloidi@gmail.com

Tomás Alejo De Caso

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
tomydecaso@hotmail.com

Guillermo Héctor Reggiani

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
ghreggiani@frbb.utn.edu.ar

Sergio Gustavo Pellegrino

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
spellegrino@frbb.utn.edu.ar

Lorenzo De Pasquale

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
pasquale@frbb.utn.edu.ar

Mario Esteban Zabaloy

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
mariozabaloy@frbb.utn.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta la puesta en marcha de una red de sensores para medición de potencia de radio frecuencia, basados en un equipo de radio definida por software y en el ordenador de placa única Raspberry Pi. Estos dos forman nodos secundarios de medición que se conectan a un nodo primario que actúa como servidor. Los datos recolectados se transmiten hacia el servidor que se encarga de procesarlos, almacenarlos en una base de datos y presentarlos a través de una página web para su análisis en tiempo real y en forma de historial. El software desarrollado ofrece además la posibilidad de configurar filtros y alertas en función de niveles preestablecidos. La red de sensores se vincula a la web con un túnel virtual cifrado o red privada virtual. Permite medir potencia desde 50MHz hasta 2GHz aproximadamente. Se presenta también el esquema de validación de las mediciones.

Palabras clave: densidad de potencia, radio definida por software, radiaciones no ionizantes, comunicaciones inalámbricas.

Abstract

This paper presents the implementation of a network of sensors for measuring radio frequency power, based on a software defined radio and on the Raspberry Pi single board computer. With these equipments, measurement nodes are formed that connect to a server or primary, being one more node. The collected data is transmitted to the server that oversees processing it, storing it in a database and presenting it through a web page for analysis in real time and in the form of history. The software developed also offers the possibility of configuring filters and alerts based on pre-established levels. The sensor network is linked to the web with an encrypted virtual tunnel or virtual private network. It allows to measure power within from 50MHz to approximately 2GHz. The measurement validation scheme is also presented.

Keywords: power density, software defined radio, non-ionizing radiation, wireless communications

Introducción

Es bien sabido la elevada y creciente proliferación de sistemas y equipos de comunicaciones inalámbricos a un ritmo sostenido con el correr de los años. La incertidumbre que existe en torno a ellos con respecto a potenciales efectos nocivos sobre el medio ambiente y, específicamente sobre la salud humana, hace a la necesidad de medir y controlar el nivel de energía electromagnética, específicamente la densidad de potencia, irradiada por los mismos (OMS, 2006).

El presente tiene como objetivo la implementación de un sistema de monitoreo de densidad potencia electromagnética para exteriores en zonas urbanas. Un motivo obedece a la densidad de población y por consiguiente son de mayor interés los valores medidos, y la importancia de evaluar el impacto sobre el medio ambiente y la salud. El segundo motivo se debe a la infraestructura existente, en nuestro caso se instalan los equipos de medición en edificios de la Universidad, lo que facilita la conexión de los equipos a Internet como así también las instalaciones necesarias de montaje y el lugar donde se colocan los mismos. También se evita así el uso de antenas para el envío de los datos al servidor que recolecta los mismos.

Esta presentación también se vincula a una problemática de interés mundial, se refiere a las radiaciones no ionizantes (RNI) emitidas principalmente por las redes de telefonía móvil. Nuestro receptor de radio definida por software (SDR) el cual fue adquirido en Nooelec Store (disponible en <https://www.noelec.com/store/nedr-smartee-xtr-sdr.html>), puede detectar esas bandas de comunicaciones y medirlas con el esquema propuesto en el presente desarrollo. Otros ejemplos de interés ambiental se tienen en la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), que desarrolló un sistema de monitoreo continuo para analizar los niveles de radiación presentes en la ciudad durante los años 2019 y 2020 (disponible en <https://itma-cem.unlp.edu.ar/sistema-de-monitoreo-continuo>). Suiza (Madžarević et al., 2018) y Colombia (Vega et al., 2016) son otros ejemplos de países que analizan los niveles de radiación con el objetivo de compararlos con los límites establecidos en las reglamentaciones internacionales.

La línea de investigación presentada se encuentra en ejecución en el marco del proyecto titulado: “Medición Automática de Niveles de Radiaciones No Ionizantes (RNI) con Sistema en Red”, PID UTN 8187. El mismo es financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, y su ámbito de realización es el Grupo SiTIC (Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) de la UTN-Facultad Regional Bahía Blanca.

Desarrollo

Partiendo de un resultado preliminar (Guidi et al., 2017), se implementa la red de monitoreo sobre una zona urbana para obtener un muestreo de valores de potencia electromagnética en el ambiente. Para ello se deben responder algunas preguntas claves para su implementación, tales como el lugar específico ¿dónde se realizarán las mediciones?, ¿cómo adaptar el conjunto SDR y Raspberry Pi? para funcionar a la intemperie o ¿cómo implementar la comunicación entre los distintos equipos?

El lugar físico de implementación para esta red es la ciudad de Bahía Blanca, específicamente en la zona de macrocentro y periferia. Se decidió utilizar las propias instalaciones de la Facultad ya que se encuentran en zonas

urbanas de estas características con una supuesta elevada contaminación electromagnética y poseen las torres e infraestructura necesaria para montar el sistema de monitoreo. Esto puede observarse en la Figura 1.

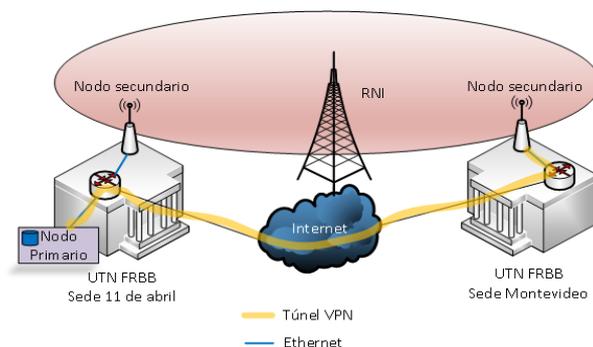


Figura 1. Diagrama ilustrativo del sistema de monitoreo

Se gestiona la comunicación entre los equipos con la infraestructura brindada por Internet, aprovechando que es en una zona urbana con múltiples accesos a través de los proveedores de servicios de Internet (ISP). Para trabajar de la misma manera que en una red LAN se configura una red privada virtual (VPN) entre los nodos, tal como se observa en la Figura 1.

El dispositivo de medición, denominado nodo secundario, se adapta para su funcionamiento en intemperie y con un diseño robusto que asegure su funcionamiento, incluso en condiciones climáticas desfavorables. La unidad de medición conformada por el conjunto SDR y Raspberry Pi ubicada en el exterior se aloja en un gabinete estanco. La comunicación con el enrutador Ethernet que da acceso a Internet se realiza a través de un cable U/UTP Categoría 6 que, además de datos, alimenta a los dispositivos de medición (Power Over Ethernet, PoE).



Figura 2. Diagrama en bloques del sistema

En la Figura 2 se muestra un diagrama en bloques del sistema de monitoreo, donde se ilustran sus principales elementos previamente mencionados. En el caso del nodo primario, cuya función es recolectar información de los secundarios y darle una interfaz gráfica al usuario, no se realizan mayores cambios en su diseño a excepción de la configuración de un servidor VPN. No es necesario el uso de un gabinete estanco, ya que va ubicado en un sector interno al edificio, donde no se ve afectado por condiciones de alta humedad, cambios bruscos de temperatura, suciedad, vibraciones y/o golpes.

A. Primario y secundario

El nodo primario y los secundarios son similares y poseen el mismo hardware. El primario cumple las funciones de servidor recopilando la información enviada por los secundarios y a su vez la presenta en una página web. Esto último con software propio desarrollado para tal fin, permitiendo configurar distintos tipos de mediciones (rango de frecuencia, paso en frecuencia y periodo de muestreo). La Figura 3 presenta el nodo secundario (de monitoreo), ubicado en un gabinete estanco para el exterior. De esta manera, quedan todos los elementos confinados herméticamente donde solo se tienen dos conexiones con el exterior, una para los datos y alimentación con un conector de Ethernet PoE, y la otra con un conector SMA hembra para la conexión de la antena al SDR.



Figura 3. Nodo de monitoreo

B. Fuente de Alimentación

Se decide enviar un nivel de 24 V CC a través del PoE que luego se regula a 5 V CC mediante una fuente conmutada. Esta solución resulta en una disminución de la corriente en el cable de red al aumentar la tensión y posteriormente adaptarla dentro del equipo a las especificaciones del hardware. El conjunto diseñado, encastra en la parte superior de la Raspberry Pi, agregando un ventilador de refrigeración para el procesador que está en el centro de la placa. En la Figura 4 se puede ver el conjunto descripto.

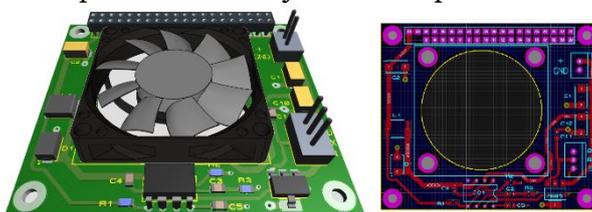


Figura 4. Diseño de fuente de alimentación

C. Antena

Los dispositivos SDR disponen de un conector SMA hembra para hacer uso de diferentes tipos de antenas, dependiendo del rango de frecuencias deseadas a monitorear, incluyendo una antena patch diseñada en la Facultad para fines específicos (Microstrip). En la Figura 5 se muestran los distintos tipos de antenas proporcionadas por el fabricante del SDR y la antena diseñada en la Facultad (Aburto et al., 2018). Esta última a su vez tiene un contenedor estanco para su uso en el exterior.

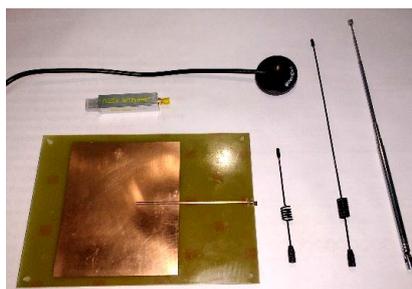


Figura 5. Antenas por utilizar por el esclavo

D. Comunicación del sistema de monitoreo

Los equipos de monitoreo se colocan en sitios remotos y se conectan a la red de Internet de forma cableada para poder alimentarlos a través de PoE. Una vez conectados los dispositivos a la red, establecen una conexión remota a la VPN para mantener la comunicación segura. Todos los nodos secundarios los datos al nodo primario a través del túnel VPN.

En el nodo primario a su vez corre el sistema web el cual permite realizar la configuración y visualización del monitoreo. Los datos son almacenados en una base de datos dentro del mismo. Se utilizó WireGuard (disponible en <https://www.wireguard.com>) para crear los túneles VPN.

Para acceder al sistema web desde otra computadora ubicada en un lugar diferente de los nodos, se debe instalar WireGuard y con las credenciales de este acceder a la red. Una vez creado el túnel VPN, a través del

navegador se puede ingresar al sistema para realizar las configuraciones, mediciones y extracción de la información.

E. Presentación de los datos

La Figura 6 muestra el sistema web desarrollado para tomar las mediciones que efectúan los nodos. En la misma se puede seleccionar el nodo, el rango de frecuencias, el paso o intervalo de frecuencia y el periodo de tiempo de muestreo.

Los resultados se guardan en una base de datos para después poder descargarlos en un archivo con formato ".csv".

En la pantalla se muestra la última medición con una gráfica de los valores obtenidos de frecuencia y amplitud.

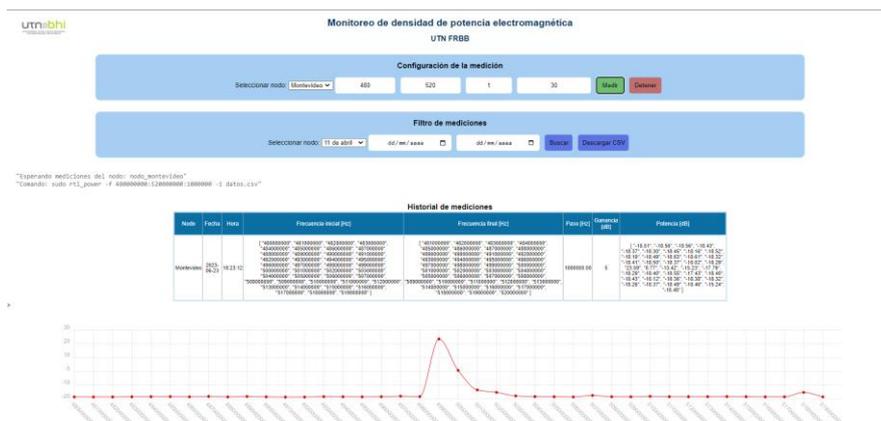


Figura 6. Presentación web del sistema de monitoreo

F. Verificación de las mediciones

La figura 7 muestra el esquema utilizado para la verificación de las mediciones tanto en amplitud como en frecuencia. Las mismas fueron hechas a una frecuencia de 500 MHz debido a que ésta es la máxima que provee el generador de señales existente en el laboratorio (HP 8640B). La limitante para medir en otras frecuencias se debe a la falta de más antenas. Las mediciones de amplitud se efectúan con el medidor de intensidad de campo TENMARS TM-105 (disponible en <http://www.tenmars.com/>). La frecuencia se monitorea con un analizador de espectro Gw Instek GSP 730



Figura 7. Esquema para la verificación de mediciones

Conclusiones

Dentro de la temática y objetivos del proyecto en que se realiza este trabajo, se puede mencionar que se ha desarrollado una experiencia importante plasmada a través de diversos trabajos publicados (Guidi et al., 2017), (Banfi et al., 2015), (Macchi Konrad et al., 2013), (De Pasquale et al., 2014), (Ortiz et al., 2014), (Macchi Konrad et al., 2014: 3-8) y (Banchieri et al., 2014). La técnica empleada de medición fue considerada como producto innovador (Innovar, 2015). En estas referencias se trabaja tanto en el hardware para tomar las mediciones como en herramientas para procesar los datos recolectados. En el presente desarrollo se llegó a implementar todo el hardware y el software para el manejo de los datos de potencia y frecuencia de las señales detectadas, trabajando con una red de nodos ubicados en puntos específicos de la ciudad (edificios de la facultad). Con este sistema se puede seleccionar la banda de frecuencias de interés, acceder a un historial de valores medidos previamente y

se tiene la posibilidad de agregar nodos secundarios adicionales en cualquier sector de la ciudad siempre que cuenten con acceso a Internet, brindándole la característica de escalabilidad al sistema. Para futuros trabajos se incorporará el procesamiento de los datos con algunas de las herramientas desarrolladas en las referencias (Macchi Konrad et al., 2013), (De Pasquale et al., 2014), (Ortiz et al., 2014), (Macchi Konrad et al., 2014: 3-8) y (Banchieri et al., 2014).

Referencias

Aburto M., Anastasi Muschong M., Vivier S. y Banchieri M. (2018). "Diseño e Implementación de Antena Microstrip", IX UEA 2018 (μ EA) Congreso de Microelectrónica Aplicada, 9 y 10 de octubre de 2018, Universidad Nacional de Catamarca.

Banchieri, M. A., Macchi Konrad, J. M. y De Pasquale, L. (2014). "La transformada wavelet packet en las técnicas de sensado espectral", V Congreso de Microelectrónica Aplicada 2014, 14 al 16 de mayo de 2014, Instituto Universitario Aeronáutico, Córdoba.

Banfi D., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L., Banchieri M. A. y Alvarez M. (2015). "Sistema de medición de potencia de RF empleando un software defined radio (SDR)", VI Congreso de Microelectrónica Aplicada 2015, 27 al 29 de mayo de 2015, Universidad Nacional de La Matanza. ISBN 978-987-3806-24-7.

De Pasquale L., Macchi Konrad J. M. y Banchieri M. A. (2014). "Análisis basado en la transformada wavelet packet para determinar bandas de frecuencias vacantes", V Congreso de Microelectrónica Aplicada, 2014.

Guidi J. C., Mancini M., De Pasquale L., Banchieri M. A., Pellegrino S. y Reggiani G. (2017). "Red de Sensores para Monitoreo Remoto de Densidad de Potencia de RF basado en Radio Diseñada por Software", VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2017, 11 al 13 de octubre de 2017, Universidad Nacional de Córdoba.

INNOVAR 2015 -Catálogo concurso nacional de innovaciones, Producto Innovador N° 18471, Undécima Edición del Concurso Nacional de Innovaciones.

Macchi Konrad J.M. , De Pasquale L., Banchieri M. A., Reggiani G., Cayssials R. y Ferro G. (2014). "Wavelet hardware processing unit for transient signal detection", Proceedings of the IX IEEE Southern Programmable Logic Conference, pp.:3-8, November 5-7, 2014, Buenos Aires, Argentina, ISBN – 978-1-4799-6848-0.

Macchi Konrad, J. M., De Pasquale y L., Banchieri, M. A. (2013). "Análisis basado en la transformada wavelet para determinar duración de transitorios en señales", IV Congreso de Microelectrónica Aplicada 2013, 25 al 27 de septiembre de 2013, Facultad Regional Bahía Blanca de la UTN.

Madžarević V., Tešanović M. y Hrustanović-Bajrić M. (2018). "Monitoring of Non-ionizing Electromagnetic Fields in the Urban Zone of Tuzla City", Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT), Volume 1. Suiza.

OMS - Organización Mundial de la Salud. (2006). "Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos". ISBN 92 4 354571 X. <disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42844>>

Ortiz L., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L. y Banchieri M. A. (2014). "Determinación de transitorios en sistemas físicos usando la transformada discreta wavelet", WICC 2014, XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 7 y 8 de mayo 2014, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Instituto de Desarrollo Económico e Innovación, Ushuaia, Argentina. Red UNCI, ISBN: 978-950-34-1084-4.

Vega F., Pantoja J. y Morales S. (2016). "An IoT-based open platform for monitoring non-ionizing radiation levels in Colombia", 2016 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM).