

Modelado de un sistema de radiofrecuencia para una aplicación
médica utilizando tecnología BLE mediante un SoC nRF52832 Nordic
Semiconductor como TX y RX

Grupo 1

J. Brenes Alfaro P. Calderón Piedra K. Carvajal Méndez
J. Valverde Picado

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Taller de Comunicaciones Eléctricas

29 de noviembre de 2021

Contenidos

- 1 Introducción
 - Resumen
 - Objetivo General
- 2 Metodología de medición
 - Metodología
 - Análisis de Resultados
- 3 Conclusiones
 - Conclusiones
 - Recomendaciones
- 4 Bibliografía
 - Bibliografía

Resumen

Consta del procesamiento de datos, concretamente de una prueba de ecostress, donde se requiere el acondicionamiento de la señal para ser transmitida por medio de un canal AWGN para lo cual se le aplica una transformación de analógico a digital, además de una adición extra de bits para implementar una codificación tipo Hamming en la versión 7, 4 y 15, 11. Una vez realizada la transmisión de datos, el receptor es capaz de detectar y corregir errores en la secuencia de bits afectados por el ruido, en los casos en los que el SNR no supera los 10 dB. Finalmente los resultados del proceso son analizados y visualizados para determinar el nivel de confianza del sistema, obteniendo un error cuadrático medio de 1.811 latidos y un Pbias con un sesgo de 0.2667 %.

Objetivo General

- Estudiar algoritmos de detección/corrección de errores, preprocesamiento de señales, esquemas de modulación los cuales son temáticas de estudios del área de comunicaciones eléctricas y serán aplicados a un caso de estudio en el área médica específicamente cuando profesionales en cardiología aplican pruebas de esfuerzo o llamado también prueba de ecostress.

Metodología

Análisis de Datos

- Uso de la estadística.
- Test de Anderson Darling.
- Hipótesis:
 - H_0 : los datos siguen una distribución normal.
 - H_1 : los datos no siguen una distribución normal.
- Test de Grubbs.

Preprocesamiento

- Filtrado Moving Average
- Topología Simple Moving Average.
- Magnitud de ventana de 3.

Codificación

- Se realiza una codificación tipo Hamming 7-4 y 15-11.

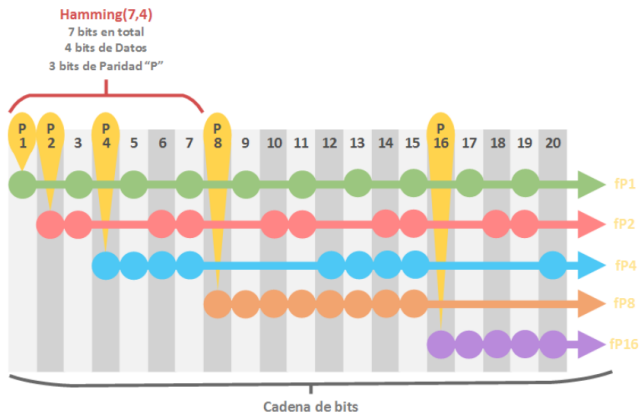


Figura 1: Codificación Hamming. Fuente: [5]

Antena

- El diseño de la antena utilizando la topología **Meandered Inverted-F Antenna (MIFA)**.
- Compacta, midiendo 7.2 mm x 11.1.

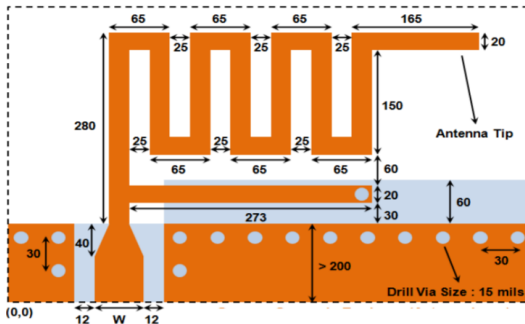


Figura 3: Diseño de la antena transmisora. Fuente: [3].

Antena

- Trabaja en la banda de 2.4 GHz.
- Ancho de banda de aproximadamente 2.4 a 2.48 GHz.
- En cuanto a las pérdidas, posee un valor mayor o igual a los 10 dB.
- Tiene una impedancia de 50Ω .
- Posee una polarización vertical.
- Es una antena directiva.

Decodificación

- Se realiza una adquisición de datos del canal para aplicarle un análisis de los errores del mensaje transmitido.
- Se aplica una decodificación Hamming para realizar la corrección de errores.

Visualización

- Se visualizan los datos recopilados de la prueba de ecostress y los obtenidos tras la transmisión y recepción de la señal.
- Se obtienen las gráficas de la tasa de errores por bit (BER) para la codificación Hamming (7,4) y (15,11).
- Zonas de entrenamiento en las que se encuentra el paciente.
- Comparación entre la señal real y la obtenida.
- Métricas del error cuadrático medio (MSE) y el Pbias.

Análisis de resultados

Análisis de Datos

- Promedio de 129.16 latidos/s y desviación de 19.73 latidos/s.
- Valor de p de 0.5780 a un valor de significancia del 5%.
- Se cumple la hipótesis nula: los datos siguen una distribución normal.
- Histograma refleja distribución normal.

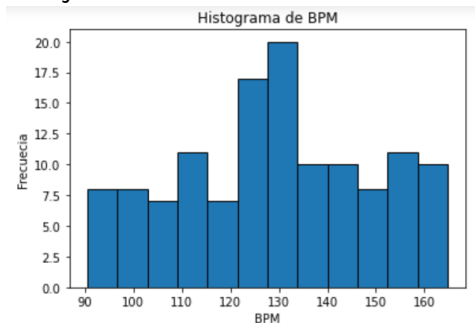


Figura 6: Histograma del conjunto de datos recopilados.

Análisis de Datos

- No existen valores atípicos en el conjunto de datos recopilados.
- El diagrama de caja apoya la afirmación de la test de Grubbs.

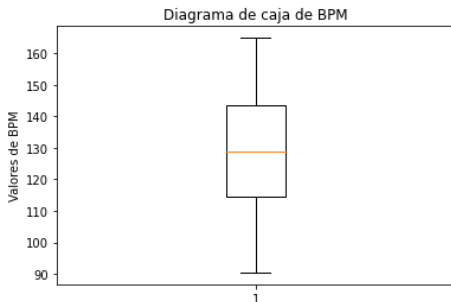


Figura 7: Diagrama de caja del conjunto de datos recopilados.

Preprocesamiento

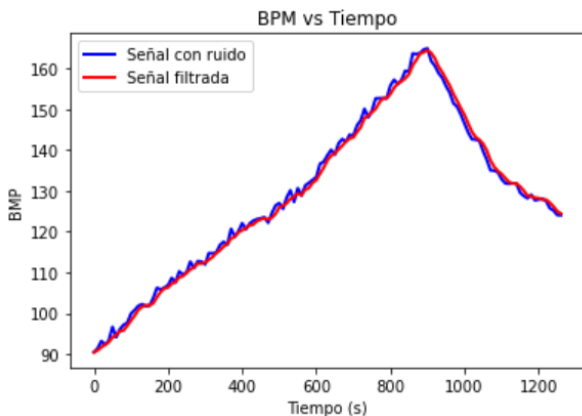


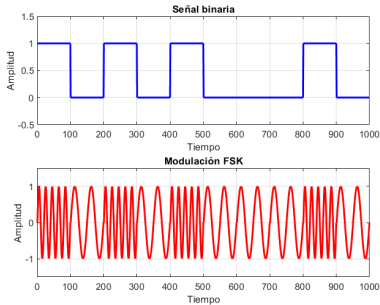
Figura 8: Señal filtrada contra señal con ruido.

Cuadro 1: Ejemplo de funcionamiento del bloque de codificación.

Decimal	Binario	Hamming (7,4)	Hamming (15,11)
90.4358	01011010	0101'10'1' 1010'01'0'	01011011'0011'01'0'

Modulación

- Suaviza las curvas.
- Reduce el ancho de banda.



(a) Modulación FSK

(b) Con filtro gaussiano

Figura 9: Proceso de modulación GFSK

Antena

- El diseño conlleva a incrementar las medidas de la PCB en 2.69 mm.

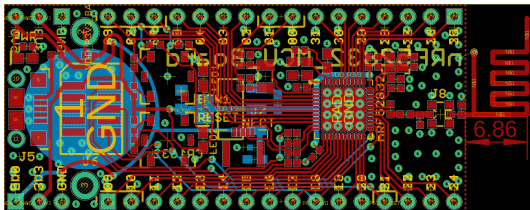
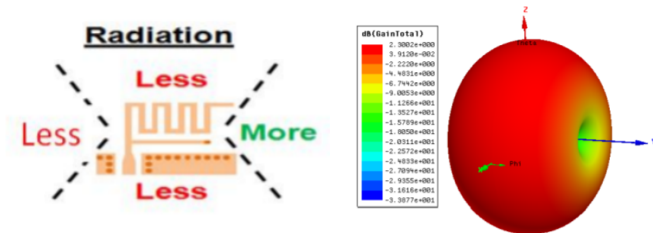


Figura 10: Antena MIFA diseñada en el PCB.

Antena

- En la Fig. 11 se observa como irradia la antena diseñada.
- La antena es direccional.
- La simulación se puede llevar a cabo con el software Ansys HFSS.



(a) Radiación de la antena. (b) Patrón de radiación en 3D.

Figura 11: Radiación de la antena MIFA diseñada. Fuente: [3][2].

Antena

- Se obtiene el parámetro S_{11} de la antena diseñada.
- Se puede observar que:
 - Opera en la banda funcional del Bluetooth.
 - Posee un ancho de banda de aproximadamente 200 MHz.
 - Minimiza pérdidas por reflexiones.

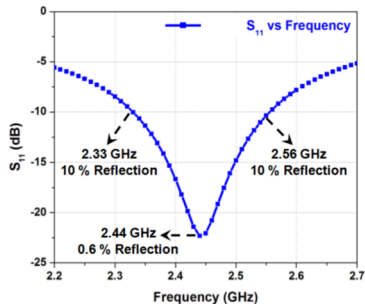


Figura 12: Parámetro S_{11} de la antena MIFA diseñada. Fuente: [3].

Canal

- La afectación del ruido hace que hayan valores distintos de 0 y 1 en el receptor.

Mensaje Tx	Mensaje Rx
0	0.4184542881880277
1	0.6498734739898206
0	0.3781474543893707
1	1.417049848768126
1	0.4182742684486527
0	-0.4352071485490354
1	1.3275530745234716
0	0.32356543261226434
0	-0.024062836591557855
0	0.6351922290021934
1	1.0381514518182104
1	1.5783955466316606
0	0.15677371339242427
0	0.17833538440434676
1	0.8106483793355859
1	1.2389354830377544
1	1.0613559733284117
0	0.24214355850681593

Figura 13: Mensaje transmitido y mensaje recibido.

Demodulación

- Recuperación de la señal.

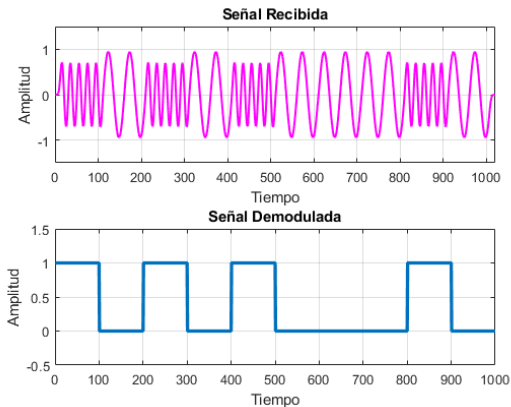


Figura 14: Demodulación GFSK

Visualización

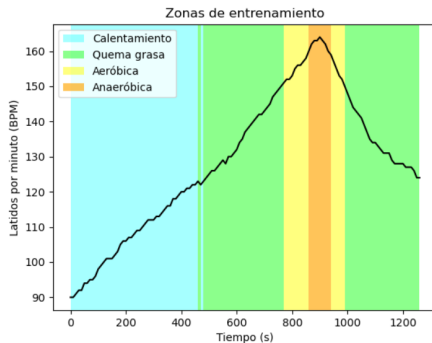
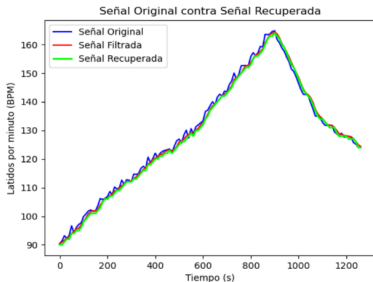


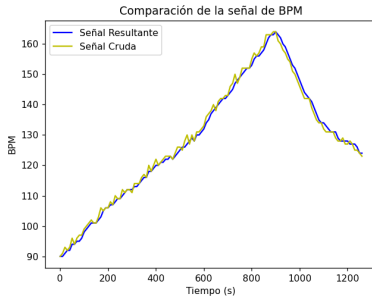
Figura 16: Zonas de Entrenamiento.

Visualización

- Métricas de error:
 - Valor del error cuadrático medio: 1.811 latidos.
 - Pbias presenta un sesgo del 0.2677 %.



(a) Original vs Obtenida



(b) Real vs Decodificada

Figura 17: Comparación entre señales.

Conclusiones

- Tras el desarrollo de la metodología y el respectivo análisis de cada sección se concluye que el proceso realizado es fiable, tanto para la transmisión como la recepción de datos.
- La desviación entre la señal cruda y la obtenida en el proceso tienen una ligera variación de máximo 2 latidos por segundo, valor que no implica un riesgo a la hora de diagnosticar el paciente ya que no significa un cambio abrupto en la cantidad de latidos.
- Llevar a cabo un filtrado Moving Average para eliminar ruido, una codificación Hamming, una modulación GFSK y una antena con diseño MIFA, es un proceso adecuado para la transmisión de una señal con datos sensibles.

Recomendaciones

- Llevar a cabo la simulación de la antena para validar el diseño realizado, al igual que estimar sus valores de relación frente-espalda, ROE, y ganancia.
- Siempre es importante hacer una revisión de las funciones que se encuentran habilitadas en cada software, con el fin de utilizar las más óptimas para el diseño del proyecto.
- Se debe escoger el método de codificación y decodificación que asegure la mayor corrección de errores, debido al nivel de seguridad que se debe tener cuando se implementa una aplicación médica.
- Si el consumo de energía no presenta un factor relevante en el sistema, es recomendable optar por un SNR de gran magnitud para de este modo asegurar una buena detección del mensaje o al menos corregir el 100 % de los errores.

Bibliografía



KioNetworks, "Protocolos de comunicación de redes", 2020. [Online] Disponible en: <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/protocolos-de-comunicaci%C3%B3n-de-redes>.



S. Arriola, "Modelado de un sistema de radiofrecuencia para una aplicación médica utilizando tecnología BLE mediante un SoC nRF52832", *Instructivo Proyecto Final*, 2021.



L. Avila y C. Reyes, "Revisión estado del Arte de la tecnología Bluetooth", Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 2017.



Minitab, "El estadístico de Anderson-Darling", s.f. [Online] Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/the-anderson-darling-statistic/>



S. Smith, "Moving Average Filters", en *The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing, 1998, pp. 277-284.

Bibliografía



D. Franco y F. Castillo, Comunicaciones Inalámbricas: Bluetooth, Pri, vol. 1, n.º 1, pp. 19-21, sep. 2009.



W. Novoa Rodriguez, "Modulador y Demodulador GFSK", 2015. [Online] Disponible en: https://prezi.com/xy7hjjz_bdqrk/modulador-y-demodulador-gfsk/.



T. Pattnayak & G. Thanikachalam, "Antenna Design and RF Layout Guidelines", s.f. Disponible en: <https://www.cypress.com/file/136236/download>.



P. Gonzáles, "Tipos de ruido en la comunicación humana", 2018. Disponible en: <https://www.unprofesor.com/lengua-espanola/tipos-de-ruido-en-la-comunicacion-humana-2757.html>



R. Invarato, "Código de Hamming: Detección y Corrección de Errores", 2016. [Online]. Disponible en: <https://jarroba.com/codigo-de-hamming-deteccion-y-correccion-de-errores/>.

Bibliografía



D. Santana, "Estudio e implementación de un modem digital HFSK aplicado a comunicaciones móviles", Tesis, Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, Monterrey, México, 2005.



NXP Semiconductors, "BLE Antenna Design Guide", 2018. [Online] Disponible en: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10992.pdf>.



M. López, "Calibración del modelo para el transporte de contaminantes en los sedimentos en la cuenca Jequetepeque, Cajamarca, Perú", Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2012.