

Sistema de transmisión de RF mediante modulación digital QPSK para aplicaciones de telemedicina en señales Biomédicas

Dr. J. R. Cárdenas-Valdez^a, M.C. Manuel de Jesús García-Ortega^a, M.C. Ángel Humberto Corral-Domínguez^a y Dr. Paul Javier Campos-Hernández^a.

^a Tecnológico Nacional de México/ IT de Tijuana, {jose.cardenas, manuel.garcia, angel.corral, paul.campos}@tectijuana.edu.mx, Tijuana, Baja California, México.

Resumen

En este trabajo de investigación aplicada se desarrolla un sistema de transmisión inalámbrica de modulación por desplazamiento de amplitud y fase (QPSK) para manejo de señales biomédicas, en este caso en particular se evalúa la transmisión y demodulación en el sistema transmisión de radio frecuencia (RF) de la banda de los 2 GHz, para una señal monitoreada de electrocardiograma (ECG). El sistema utilizado es un transceptor para aplicaciones en la 4G, mediante una tarjeta de desarrollo FPGA y un transceptor. La señal modulada y transmitida se obtiene de una tarjeta de adquisición ECG y electrodos de superficie, y mediante variables almacenadas en programación en lenguaje C y moduladas digitalmente en QPSK se pasa mediante un filtro pasabandas cuadrática y se utiliza en ambiente Simulink un bloque transmisor para la tarjeta ARRADIO+SocKit. La implementación desarrollada pretende ser una aportación a trabajos de telemedicina para la transmisión de señales biomédicas en aplicaciones post-pandemia. El sistema muestra la constelación QPSK transmitida, así como el análisis espectral del ancho de banda, potencia transmitida, además de la frecuencia portadora. El sistema es un punto de partida para aplicaciones en procesos de linealización y regularización espectral, si la aplicación se desarrolla en bandas libres del espectro de RF, además de su potencial migración rumbo a la 5G.

Palabras clave— ECG, QPSK, Post-pandemia, RF, Telemedicina.

Abstract

In this applied research work, a wireless transmission system for modulation by Quadrature phase-shift keying (QPSK) is developed for the management of biomedical signals, in this particular case, the transmission and demodulation in the transmission system of radio frequency (RF) of the 2 GHz band, for a monitored electrocardiogram (ECG) signal. The system used is a transceiver for 4G applications, using an FPGA development card and a transceiver. The modulated and transmitted signal is obtained from an ECG/EKG acquisition card and surface electrodes, and through variables stored in C language programming and digitally modulated in QPSK, it is passed through a quadratic bandpass filter, and a transmitter block is used in a Simulink environment. for the ARRADIO+SocKit card. The implementation developed is intended to be a

contribution to telemedicine work for the transmission of biomedical signals in post-pandemic applications. The system displays the transmitted QPSK constellation, as well as the spectral analysis of the bandwidth, transmitted power, and the carrier frequency. The system is a starting point for applications in spectral linearization and regularization processes if the application is developed in free bands of the RF spectrum, in addition to its potential migration towards 5G.

Keywords— ECG, QPSK, Post-pandemic, RF, Telemedicine.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología de la información en la actualidad se encuentra en amplio desarrollo, tanto en aplicaciones de transmisión de información digital como de análisis clínicos y medicos [1], que incluyen el uso de diversos dispositivos y aplicaciones inalámbricas y de internet de sistemas que procesen etapas de adquisición de señales biomédicas, para un posterior proceso de clasificación o simplemente de almacenamiento de la información [2]. Los problemas de señales cardiacas producen a nivel mundial el 31% de las causas de muerte, de forma directa o relacionada, por lo que el manejo de la información para señales biomédicas de este tipo forma parte primordial en el uso de las tecnologías de la información. El análisis de señales biomédicas en particular de electrocardiograma (ECG) en un hospital requiere de múltiples horas diarias de sensado, donde la información no esta necesariamente disponible todo el tiempo, incluso el monitoreo de diversos pacientes ronda los rangos de 24-48 horas, donde se pierde información crucial para el diagnóstico de alguna patología [3].

En este sentido existen diversos esfuerzos relacionados a manejo de las tecnologías para aplicaciones biomédicas, en [4] se propone un método de encriptamiento de datos para ECG, el esquema propuesto está diseñado para detectar regiones de fallos de los datos del ECG. En [5] se analizan datos relacionados a las tecnologías de la información, así como el manejo y monitoreo continuo de la DAIBETES Mellitus 1 (DM1) además de una propuesta para páncreas artificial y manejo de datos en la nube. En [3] se desarrolla un trabajo para la compresión inalámbrica de ECG y descompresión sin pérdidas, utilizando una combinación de tres técnicas diferentes para aumentar el espacio de almacenamiento y reducir tiempo de transmisión.

En [6] se desarrolla una propuesta de encriptación logística de mapeo en una dimensión (1-D) mediante simulación, los experimentos se evalúan en base a histogramas, y la relación de señal-ruido (SNR), relación de similitud, distorsión espectral y coeficiente de correlación. Otros esfuerzos proponen monitoreo señales musculares de electromiografía (EMG) uterinas como una solución de transmisión, la señal se opera en tiempo real eficiente y sin pérdidas que resuelve problemas de compresión de información de datos EMG [7]. Otros trabajos importantes también realizan tratamiento de la señal procesada de forma inalámbrica pero como

clasificación mediante máquina de soportes vectoriales (SVM) de señales musculares que fueron enviadas mediante el protocolo de ZigBee en la banda de los 2 GHz [2]. En [8] se desarrolla una implementación EMG mediante programación en Python, así como una clasificación SVM, en este caso en la plataforma de Raspberry Pi3 [9] se desarrolla un sistema de implementación en hardware mediante programación en VHDL para el análisis y clasificación de señales ECG.

En este contexto, los autores creen que el proceso de señales de forma inalámbrica y aplicaciones en radio frecuencia (RF) para el manejo de señales es un parteaguas para aplicaciones en el área de la Telemedicina, en este caso de señales ECG que pueden emigrarse para aplicaciones EMG y monitoreo y control de DM1, dado que los datos se evalúan de forma discreta en simulación y se analizan en el dominio de la frecuencia debido al transceptor utilizado. Este artículo se divide en las siguientes secciones, en la Sección 2 se describen el desarrollo de la implementación realizada, en la Sección 3 se muestran los resultados obtenidos de la transmisión QPSK. Finalmente, en la sección 4 se muestran las Conclusiones obtenidas.

2. DESARROLLO

En este trabajo de investigación se implementó una señal de electrocardiograma (ECG) la cual se adquirió mediante un sistema embebido en la tarjeta ECGVEKG con electrodos de superficie de contacto. En la Figura 1 se observan 21 ciclos de adquisición de la señal ECG en un adulto de 24 años. El propósito de este trabajo es transmitir una señal de tipo ECG mediante modulación por desplazamiento de fase (QPSK) y validar su transmisión en un sistema transceptor que opere en la banda de los 2 GHz, con la finalidad de desarrollar una cadena para aplicaciones de telemedicina en la era post-Covid.

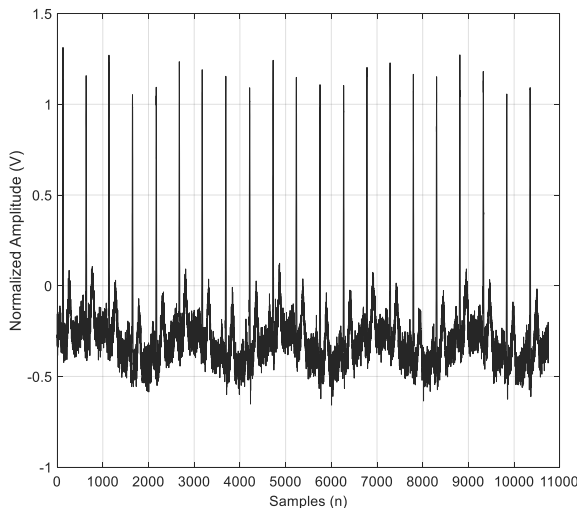


Fig. 1. 21 Ciclos de adquisición de señal ECG en el dominio del tiempo.

Un sistema desarrollado en modulación QPSK o también conocido como 4-modulación de amplitud en cuadratura (4-QAM) aunque es de baja resolución puede implementarse para señales que en la gran mayoría de su muestreo son periódicas, ideal para señales biomédicas dada las características en tiempo que emana el cuerpo humano. QPSK es un esquema de modulación representado por cuatro símbolos, que codifica dos bits por cada símbolo, manteniendo la misma amplitud, pero presentando las cuatro fases de un ciclo de la señal como se observa en la Figura 2.

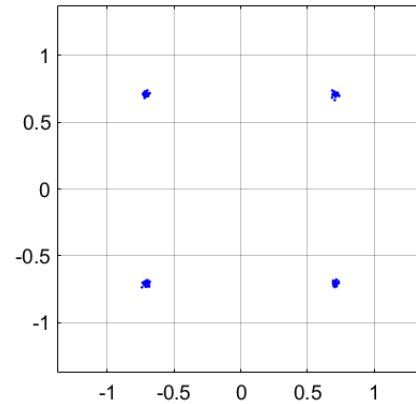


Fig. 2. Constelación QPSK para codificación de la señal ECG.

La modulación QPSK se representa por un diagrama de constelación donde, cada símbolo en el dominio $s_n(t)$ es representado por la ecuación (1).

$$s_n(t) = a \cos(2\pi f_c t + (2n - 1) \frac{\pi}{4}), \quad [1]$$

donde $n \in \{1, \dots, 4\}$ que representan las 4 fases para una potencia definida, modulador QPSK y un filtro cosenoidal. En la Figura 3 se muestra la caja de herramientas de Simulink para implementar en el transceptor de RF, en esta sección se establece la frecuencia portadora de 2.4 GHz, este comprende el bloque IIO System Object Simulink para el dispositivo AD9361.

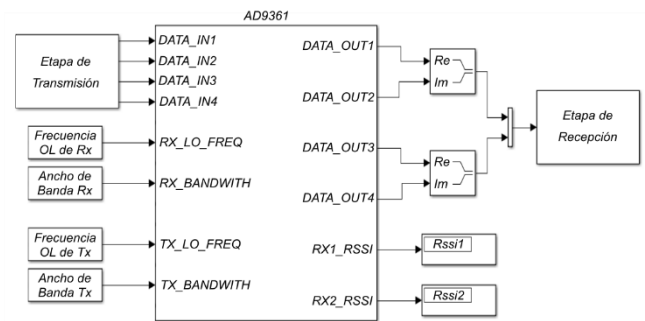


Fig. 3. Desarrollo de la etapa de transmisión, mediante el bloque de herramientas del AD9361.

La etapa del transmisor se detalla en la Figura 4 que comprende la señal almacenada ECG, la etapa de modulación QPSK y filtrado previo a ser enviado en el bloque transceptor de RF, todo lo anterior opera en ambiente gráfico de Simulink enlazada al transceptor ARRADIO+SocKit mediante IP.

El transmisor QPSK mostrado en la Figura 4 consiste en un modulador QPSK de banda base, un filtro de coseno elevado y un bloque de ganancia para escalar las señales antes de la transmisión. El receptor QPSK de recepción consta de los siguientes bloques: un bloque de control de ganancia automática, un bloque de filtro de coseno elevado del receptor, un bloque de compensación de frecuencias, un bloque de compensación de frecuencia de ajuste fino y un bloque de recuperación de tiempo, después del proceso de demodulación QPSK.

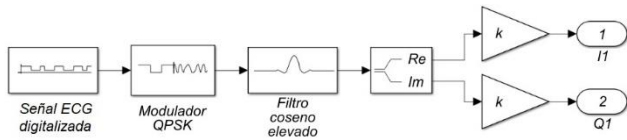


Fig. 4. Subsistema modulador QPSK para el transceptor AD9361.

3. RESULTADOS

El sistema desarrollado comprende las siguientes etapas, se realiza un ajuste de parámetros de transmisión como se explicó en la sección de descripción de la metodología anterior a utilizar de acuerdo con las características de QPSK. Se genera la señal de QPSK, se transmite la señal mediante la librería de LibIO de la tarjeta transceptor y se realiza un pos-procesamiento y captura de datos. La tarjeta bajo uso requiere de ajuste de la dirección de IP con la finalidad de ser implementada en hardware, en este caso la señal tiene un ancho de banda de 5-MHz. El sistema permite un análisis espectral de la transmisión desarrollada, en la Figura 5 se muestra la implementación y monitoreo espectral del transmisor y receptor, así como el análisis de la constelación de cuatro símbolos con la finalidad de detectar problemas de balances de amplitud de fase.

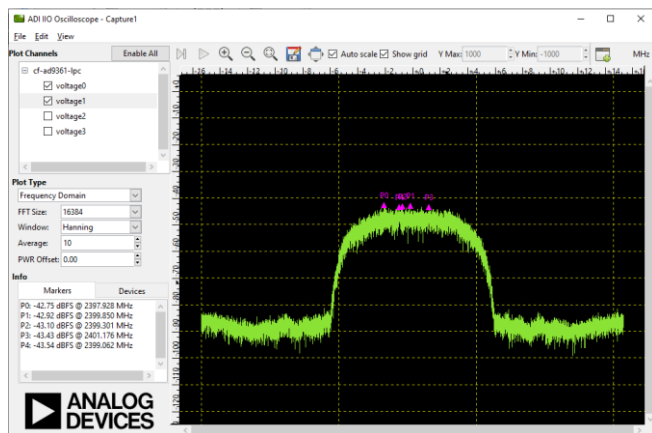


Fig. 5. Implementación y análisis en el transceptor AD9361 en el dominio de la librería Libbio.

En la Figura 6 se muestra la transmisión la cual en dividida por dos canales mediante hardware y el uso de un divisor de señal, uno para análisis espectral en el analizador de espectro y otro de retorno hacia el receptor del transceptor, en este caso se tiene una atenuación de 3 dB inducida por el divisor de señal.

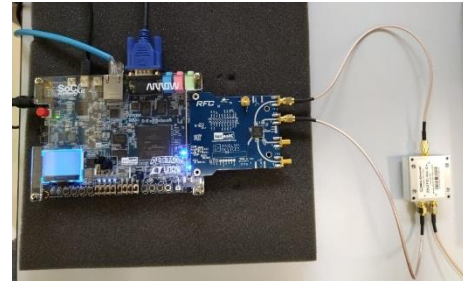


Fig. 6. Transceptor ARRADIO+AD9361 e implementación en hardware.

En la Figura 7 se observa la señal monitoreada con el analizador de espectros para un ancho de banda de 5-MHz, aunque el ancho de banda esta sobrado para propósito del manejo de una señal de tipo ECG, se multiplexar la información para aplicaciones de telemedicina y utilizar señales de EMG o DM1, incluso durante monitoreo de señales de largos periodos de tiempo. Aunque esta potencia esta en el orden de los -34.65 dBm, es decir 342 nW, la propuesta desarrollada se puede escalar en potencia mediante amplificadores de potencia (PA) de RF.

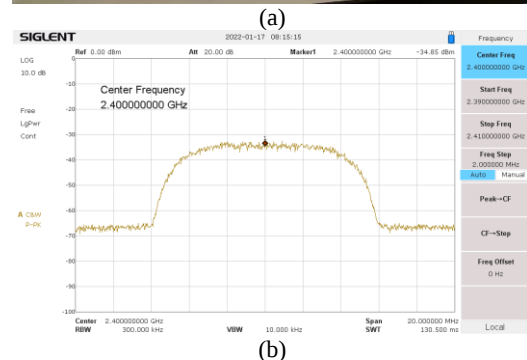
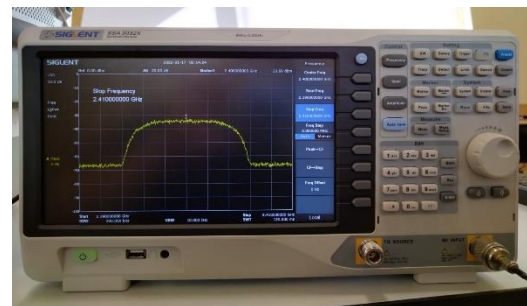


Fig. 7. (a) Análisis de la señal en el dominio de la frecuencia, (b) señal exportada para análisis de resultados del analizador de espectros.

Una vez recibida la señal dentro del transceptor se realiza el proceso de demodulación QPSK, en este caso se realiza un post-procesamiento debido a que el receptor sobre muestrea la señal del transmisor, la señal obtenida se puede

normalizar para un voltaje determinado dependiendo la aplicación, en este ejemplo se obtiene una señal de 1.58-Vpp donde cada periodo tiene 550 muestras definida por los límites de la onda P.

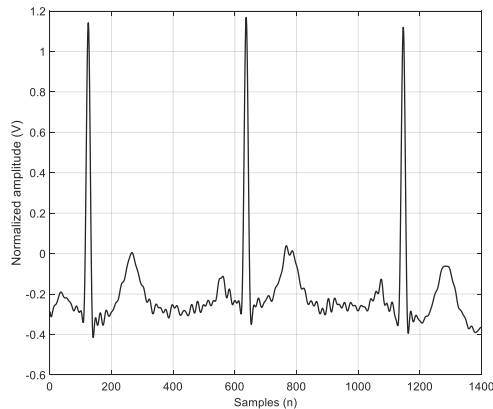


Fig. 7. Señal ECG demodulada en el transceptor.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se implementó una transmisión, modulación y demodulación QPSK de forma satisfactoria con una frecuencia portadora de 2.4 GHz, mediante el transceptor ARRADIO+SocKit. Este trabajo es la pauta para procesos de predistorsión digital (DPD) y regulación de este tipo de transmisiones, dado que son aplicaciones relacionadas a la Telemedicina se deben de buscar bandas libres de 4G y rumbo a la 5G de mayor frecuencia y tasa de transmisión.

El desarrollo de este trabajo se puede emigrar para aplicaciones de amplificadores de potencia con tecnologías como la de InGaP/GaAs, que operen tanto en la banda de los 2 GHz, como en aplicaciones rumbo a la 5G de los 3-6 GHz. Aunque el ancho de banda QPSK es limitado a 5-MHz, es ideal para el manejo de señales biomédicas periódicas del cuerpo como las de ECG y EMG, además de señales obtenidas de monitoreo como de DM1 por citar algunos ejemplos.

El sistema desarrollado se considera como de aplicación en la era post-pandemia dado que opera en banda de los 2 GHz que se utiliza actualmente en México y su sistema transmisor está listo para emigrar la 5G, en este caso bastaría con un cambio en la tarjeta de desarrollo para operar en la banda de los 3-6 GHz bajo el mismo esquema de multiplexación OFDM con una mayor tasa de transmisión.

4. REFERENCIAS

[1] S. Bhalerao, I. A. Ansari, A. Kumar, D. K. Jain, "A reversible and multipurpose ECG data hiding technique for telemedicine applications," *Pattern Recognition Letters*, vol. 125, pp. 463-473, 2019.

[2] L. D. Reyes Crusaley, J. R. Cárdenas-Valdez, G. E. Vázquez, M. de J. García-Ortega, A. Calvillo-Téllez, "Sistema de clasificación SVM de señales electromiográficas extraídas en un sistema embebido," *Research in Computing Science*, vol. 148, no. 2, pp. 135-141, 2019.

[3] T. -H. Tsai and W. -T. Kuo, "An Efficient ECG Lossless Compression System for Embedded Platforms With Telemedicine Applications," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 42207-42215, 2018.

[4] S. Bhalerao I. A. Ansari, A. Kumara, D. K. Jain, "A reversible and multipurpose ECG data hiding technique for telemedicine applications," in *Pattern Recognition Letters*, vol. 125, pp. 463-473, 2019.

[5] I. Rodríguez-Rodríguez, M. A. Zamora-Izquierdo, and J.-V. Rodríguez, "Towards an ICT-Based Platform for Type 1 Diabetes Mellitus Management," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 1-15, Mar. 2018.

[6] A. D. Algarni, N. F. Soliman, H. A. Abdallah and F. E. Abd El-Samie, "Encryption of ECG signals for telemedicine applications," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 80, pp. 10679-10703, 2021.

[7] C. Gyoung-Yon, L. Gyoung-Yon and L. Tae-Ro, "Efficient Real-Time Lossless EMG Data Transmission to Monitor Pre-Term Delivery in a Medical Information System," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 7, no. 4 pp. 1-14, 2017.

[8] J.R. Cárdenas-Valdez, D. Valdez-Luis, M. de J. García-Ortega and A. H. Corral-Domínguez, "Classification and Transmission System of ECG Signals on Development Board," *Jornada de Ciencia y Tecnología Aplicada*, Vol. 4, O. 2, Diciembre 2021.

[9] C. Gyoung-Yon, L. Gyoung-Yon and L. Tae-Ro, "Efficient Real-Time Lossless EMG Data Transmission to Monitor Pre-Term Delivery in a Medical Information System," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 7, no. 4 pp. 1-14, 2017.