

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE SEÑALES DIGITALES CON FEC REED
SOLOMON UTILIZANDO USRP (UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL)
2920 COMO TRANSCEIVER.

AUTOR:

RICARDO ISRAEL ZAPATA YACELGA

TUTOR:

MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito, septiembre del 2016.

Cesión de derechos de autor

Yo, Ricardo Israel Zapata Yacelga con documento de identificación N° 1720822814, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “Análisis del desempeño de señales digitales con Fec Reed Solomon utilizando USRP (Universal Software Radio Peripheral) 2920 como transceiver”., mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Ricardo Israel Zapata Yacelga

Cédula: 1720822814

Fecha: 29 de septiembre del 2016.

Declaratoria de coautoría del docente tutor/a

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE SEÑALES DIGITALES CON FEC REED SOLOMON UTILIZANDO USRP (UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL) 2920 COMO TRANSCEIVER realizado por Ricardo Israel Zapata Yacelga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, 11 de agosto de 2016



Milton Napoleón Tipán Simbaña

Cédula de identidad:171358312-6

Análisis de Reed Solomon en transmisión de señales digitales utilizando USRP.

Ricardo Israel Zapata¹ y Milton Tipán Simbaña², *Universidad Politécnica Salesiana*

Abstracto—El artículo presenta el estudio experimental de la aplicación de la corrección de errores en las redes de acceso de radio definidas por software mediante transceptores basados en el USRP 2920. Se probó el sistema en un enlace inalámbrico a 1 m de distancia y se obtuvo una mejora en el rendimiento de 4 dB para los formatos de modulación BPSK y QPSK cuando se añade un código Reed Solomon (127, 123) para reducir los errores. También se presenta una caracterización del USRP como transceptor.

Abstract—The paper presents the experimental study of the application of correction of errors in access networks using software defined radio transceivers based on the USRP. The system was tested in a wireless link to 1 m and an improvement was obtained in the yield of 4 dB for BPSK modulation formats and QPSK when a Reed Solomon code (127, 123) is added to reduce errors. A characterization of the USRP is also presented as a transceiver.

IndexTerms—software defined radio, digital modulation, PSK, Reed Solomon, FEC.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas se enfrentan a un requerimiento de aumento en la capacidad debido a las aplicaciones en tiempo real [1-2]. Los usuarios esperan altas tasas de bits y al mismo tiempo una alta fiabilidad y ubicuidad. Estos requisitos se suman a la restricción de las redes de acceso de radio (RAN) y se necesitan nuevas técnicas para proporcionar un alto ancho de banda (BW) con bajas retransmisiones debido a errores en los datos [3]. Por otra parte, en las recientes discusiones sobre el protocolo 5G se espera que las RAN sean también lo suficientemente flexibles como para hacer más eficiente el uso de BW.

Entre las posibles técnicas para mejorar la calidad de la señal se encuentra el uso de códigos de corrección de errores. Estos códigos añaden algunos bits a la trama de datos por lo que es más resistente a los deterioros que se enfrentan en el canal de

comunicación. Entre las más populares esta el código Reed Solomon (RS) de corrección de errores en recepción (FEC) códigos [4-8].

En este trabajo se estudia el efecto de la adición de códigos FEC en una señal digital en un enlace inalámbrico por medio del radio definido por software (USRP). Estos dispositivos se los utilizan como transceptores (TRx) y pueden ser programados de acuerdo al esquema a utilizar. El rendimiento del sistema se probó con modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) y por cuadratura (QPSK). Varios códigos RS fueron evaluados con diferentes valores de ruido.

II. CÓDIGOS REED SOLOMON

Los códigos RS añaden bits de paridad a la trama de datos. Se caracterizan con los parámetros (n, k, t) que representan la longitud total de código, el número total de símbolos y el número de errores capaz de corregir respectivamente [4]. El valor del parámetro t se calcula a partir de los otros dos de acuerdo con la siguiente relación: $2 \cdot t = n - k$. Cada símbolo se compone de varios bits, por lo tanto, el número total de símbolos que se agregan a la trama es $n - k$.

$$2t = n - k ; n = 2^M - 1 \quad (1)$$

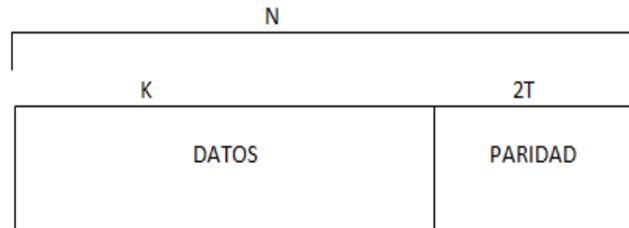


Fig. 1. Longitud de palabra código Reed Solomon.

En la tabla 1 se resumen los valores de los cuatro códigos RS estudiados RS (127, 123), RS (255, 253), RS (511, 505) y RS (1023, 1017). El valor de los bits corregidos se calculó con la ecuación (1). El valor de datos efectivos representa el porcentaje de los bits que contienen datos de trama de tamaño n. Además, se incluye el tiempo de procesamiento que tomó para la decodificación y la detección de cada trama de la señal en el Rx.

III. MONTAJE EXPERIMENTAL

Se configuró el programa para trabajar bajo el diagrama de bloques de la Fig.2. El transmisor (Tx) y el receptor (Rx)

¹R. I. Zapata estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador (e-mail: rzapatay@est.ups.edu.ec)

²M. Tipán Jefe de Área de Especialización de la Carrera de Ingeniería Electrónica Universidad Politécnica Salesiana Campus-Sur, Quito, Ecuador (e-mail: mtipans@ups.edu.ec)

fueron implementados en el USRP 2920. Un total de 2^{17} bits fueron generados a partir de un generador de bits pseudo aleatorios.

Tabla 1. Parámetros de código y tiempo de procesamiento.

Código	Símbolos corregidos	Datos efectivos [%]	Tiempo de procesamiento [ms]
RS(127, 123)	2	96.85	0.596
RS(255, 253)	1	99.21	1.13
RS(511, 505)	3	98.82	2.27
RS(1023, 1017)	3	99.41	4.27

Los flujos de bits fueron convertidos en tramas y los códigos de Reed Solomon se calcularon para cada palabra y se añadieron bits de paridad como un bloque. Los tramas fueron mapeadas y moduladas en BPSK y QPSK, un parámetro importante a considerar son las muestras por símbolos. En el experimento se utilizó 50 muestras / bits con el fin de reflejar una señal analógica lo más exacta posible.

Como resultado, las tasas de bits de transmisión eran de 800 kb / s y 1,6 Mb / s en BPSK y QPSK respectivamente, estos valores fueron los más altos alcanzados con el USRP para las muestras utilizadas.

Los componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) de la señal se modulan en una frecuencia portadora y se convierten en el dominio analógico por medio de un convertidor digital a analógico (DAC) que funcionaba a 100 MSa / s. La forma de onda se amplifica y se transmite a través de una antena de 170 mm tri banda (Comet SMA - 703).

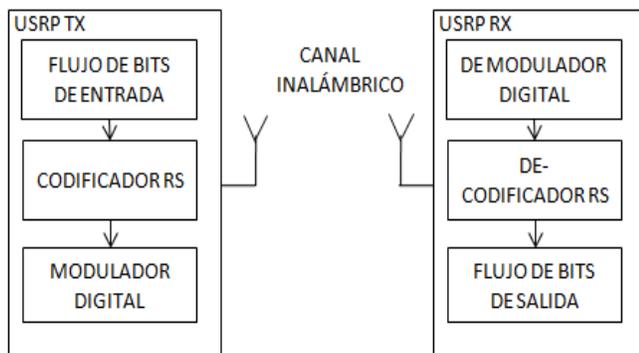


Fig. 2. Esquema de configuración experimental.

En el Rx, una antena detecta la señal. Antes de su transformación al dominio digital, se añadió ruido blanco gaussiano para emular el ruido más fuerte en el canal. Después, la señal se muestrea a 100 MSa / s con una resolución de 14 bits con un convertidor analógico a digital (ADC). Las muestras a continuación, pasan a través de un demodulador PSK y se demuepan.

Los bits resultantes se ordenaron en tramas y los bits adicionales se extrajeron utilizándolos para decodificar la señal. Por último, la relación de bits erróneos (BER) se calculó por recuento de error directo. Un resumen de los principales parámetros de la USRP se presenta en la Tabla 2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Empezamos la caracterización con el Tx USRP para determinar la ganancia de la antena en el rango de funcionamiento de frecuencias. La fig.3 representa gráficamente la potencia de transmisión frente a la frecuencia con valores de ganancia K: 0, 10, 20 y 31.

Tabla 2. Principales parámetros del USRP en el experimento.

Parámetros	Valor
Rango de frecuencias de trabajo	50 MHz – 2.2 GHz
Ganancia máxima de la antena	31 dB
DAC	400 MSa/s
ADC	100 MSa/s, 14 bits de resolución

La potencia Tx no es constante en el rango de frecuencias por las limitaciones de los dispositivos electrónicos. Sin embargo, es más importante tener en cuenta que, incluso con un factor de ganancia de 31 (más alta disponible), el Tx no se satura. De la Fig. 3, se verifica que el Tx presentó algunas caídas de potencia a ciertas frecuencias (e. g. 1,5 GHz) que tuvieron que ser evitadas. La principal razón de este comportamiento era la frecuencia de trabajo de las antenas. Dos zonas pueden distinguirse en la Fig.3y la frecuencia límite de 600 MHz. Para frecuencias < de 600 MHz la potencia Rx fue alta y luego comenzó a decaer como la frecuencia aumentaba.

Para frecuencias > 800 MHz, el comportamiento fue casi constante. Después de la caracterización decidimos trabajar en la frecuencia de 915 MHz, ya que estaba en la región de potencia constante y era el interior de una de las bandas espectrales sin licencia.

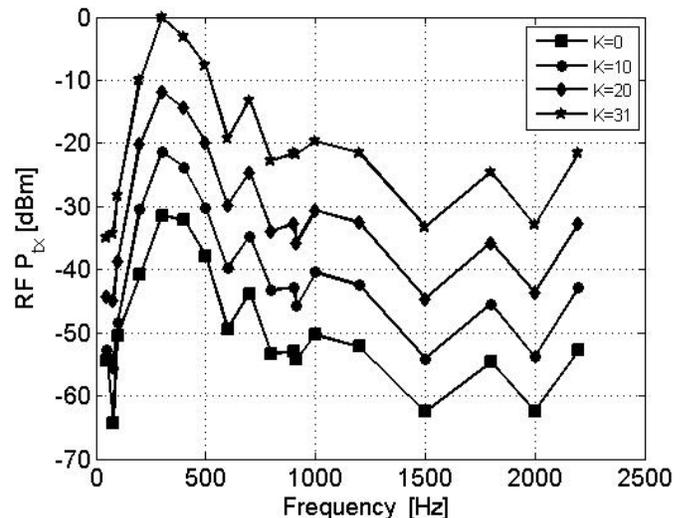


Fig. 3. Potencia de Tx vs Frecuencia con diferentes valores de ganancia K.

Habiendo establecido el parámetro de ganancia de 31 dB tanto en el Tx como en el Rx, medimos el rendimiento del sistema a una separación de 1 m. Se midió en primer lugar el BER a diferentes valores de relación señal a ruido (E_b/N_0) con BPSK y QPSK.

Los resultados se presentan en la Fig. 4 junto con las constelaciones de las señales detectadas a un BER = 10-4.

Cada punto se midió 1000 veces y se trazó su valor medio. Para un BER objetivo de 10^{-4} , el sistema requiere una E_b/N_0 de 8,1 dB y 8,7 dB para BPSK, QPSK respectivamente. Es importante mencionar que, debido a la limitación de la memoria del equipo, el valor BER fiable más bajo fue de 10^{-5} . Se esperaba valores diferentes de E_b/N_0 para cada modulación en vista que más símbolos se transmitieron al aumentar el formato de modulación.

A continuación, evaluamos el sistema con la codificación RS, el rendimiento en términos del BER frente al E_b/N_0 se representa en la Fig.5a para la modulación BPSK. Para el BER objetivo de 10^{-4} , los valores medidos de la relación E_b/N_0 fueron aproximadamente 4,2 dB, 5,1 dB, 5,8 dB y 6,5 dB para RS (127, 123), RS (255, 253), RS (511, 505) y RS (1023, 1017), respectivamente.

En comparación con un BPSK convencional, la ganancia más alta fue de casi el 4 dB, y la más baja de 1,6 dB. Mientras que este último valor no parecía ser impresionante, a una E_b/N_0 de 8,1 dB del BER fue de 10^{-4} sin codificación y $< 10^{-5}$ con la codificación.

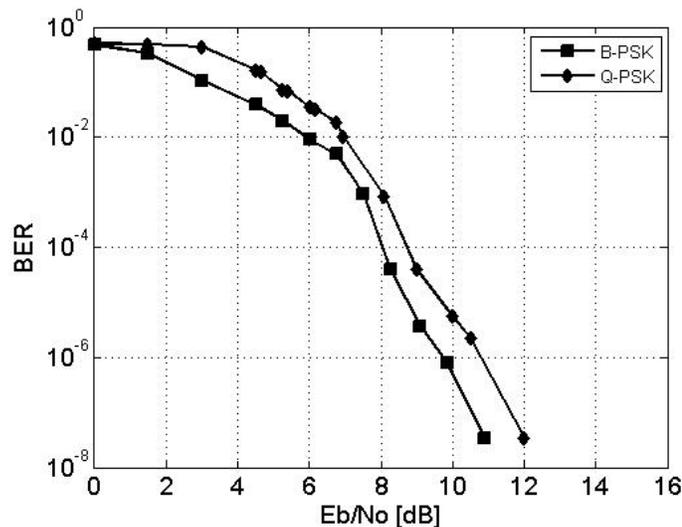


Fig.4. BER versus E_b/N_0 para BPSK y QPSK sin Reed Solomon. Constelaciones de la señal RxBpsk y QPSK.

Los resultados con QPSK se muestran en la Fig.5 (b). en la cual se observa que para un BER = 10^{-4} la relación E_b/N_0 fue de aproximadamente 4,8 dB, 5,4 dB, 6,8 dB y 7,2 dB para RS (127, 123), RS (25, 253), RS (511, 505), y RS (1023, 1017), respectivamente. En comparación con la curva de QPSK sin Reed Solomon (8,7 dB), la ganancia máxima fue de casi 4 dB y el mínimo de 1,5 dB, muy similar que en el caso BPSK.

Es interesante para las 2 modulaciones estudiadas, el código Reed Solomon RS (127, 123) dio el mejor rendimiento de los códigos analizados. La razón es que el código tenía la longitud de trama más bajo y podría corregir 2 símbolos de cada uno y

agregaba más bits de paridad en comparación a los bits enviados. En comparación con RS (1023, 1017), cada trama de esta última incluyó 8 palabras de longitud 127 símbolos, por lo tanto, aunque el RS (1023, 1017) podía corregir 3 símbolos de la trama, en un marco similar de longitud 1023, el RS (127, 123) tenía casi 16 símbolos corregidos por ende la mejora en el rendimiento. Sin embargo, el precio a pagar es una tasa de transmisión menos eficaz, y se añaden más símbolos redundantes. Por último, es importante mencionar que hemos ampliado la separación entre Tx y Rx a 10 m, y se lograron resultados similares. La codificación RS puede adaptarse en función de la velocidad de bits, la respuesta del canal, y el tiempo de procesamiento para un RAN de software flexible.

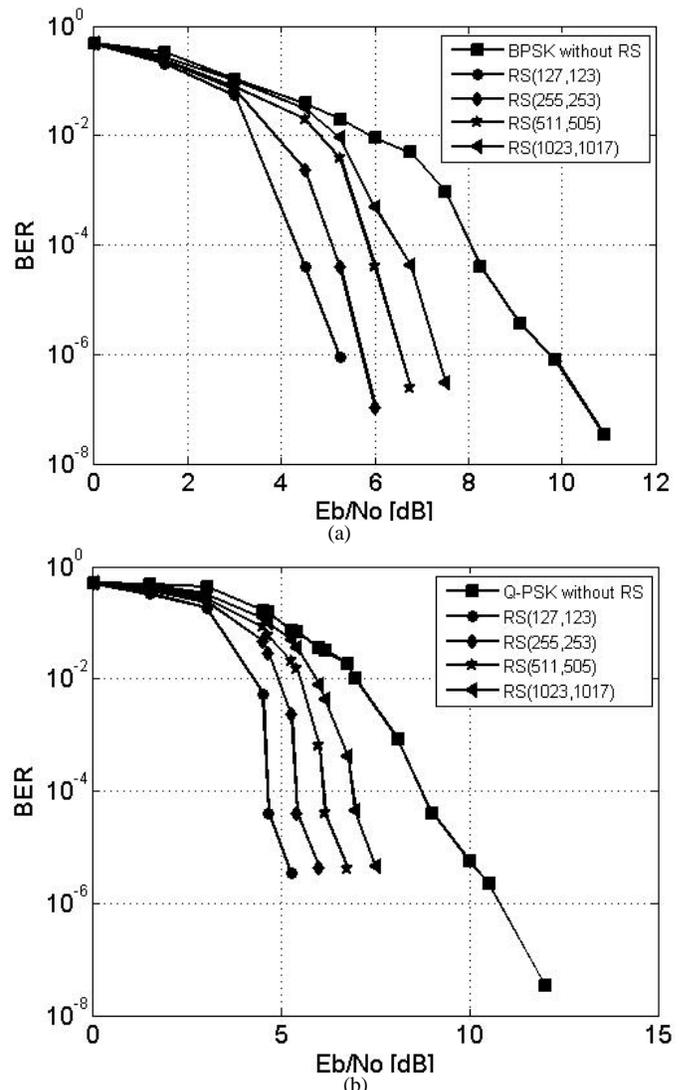


Fig. 5. BER versus E_b/N_0 para (a) BPSK, (b) QPSK con RS(127, 123), RS(255, 253), RS(511, 505) y RS(1023, 1017).

V. CONCLUSIONES

Un enlace inalámbrico implementado con USRP se puso a prueba con la codificación Reed Solomon y con las modulaciones BPSK y QPSK. El rendimiento se midió en términos del BER frente a la relación señal a ruido en el Rx

con varios códigos RS. La máxima mejora del rendimiento fue de casi 4 dB para BPSK y QPSK.

El código RS (127, 123) dio los mejores resultados en los dos formatos de modulación, porque era el más corto y fue el que más bits corrigió en comparación a los otros códigos planteados. Estos resultados indican que los códigos RS se pueden emplear con USRPs para potencialmente converger una comunicación inalámbrica con un sistema de fibra óptica.

REFERENCIAS

- [1] M. Agiwal, A. Roy and N. Saxena, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. PP, no.99, pp.1-1, Feb. 2016.
- [2] T. Asai, "5G radio access network and its requirements on mobile optical network," in *International Conference Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, Pisa, Italy, pp. 7-11, May 2015.
- [3] O. O. Ogundile, O. O. Oyerinde and D. J. J. Versfeld, "Decision directed iterative channel estimation and Reed–Solomon decoding over flat fading channels," in *IET Communications*, vol. 9, no. 17, pp. 2077-2084, Nov. 2015.
- [4] Y. Wu, "Novel Burst Error Correction Algorithms for Reed-Solomon Codes," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 58, no. 2, pp. 519-529, Feb. 2012.
- [5] Y. R. RafieBorujeny and M. Ardakani, "A New Class of Rateless Codes Based on Reed–Solomon Codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 1, pp. 49-58, Jan. 2016.
- [6] Y. H. Chen, C. L. Chu and C. C. Yeh, "FPGA implementation and verification of Reed-Solomon (31, 15, 8) code in SDR system," in *International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, Changchun, China, pp. 465-468, Dec. 2012.
- [7] G. C. Ahlquist, M. Rice and B. Nelson, "Error control coding in software radios: an FPGA approach," in *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 35-39, Aug. 1999.
- [8] Haesik Kim and A. Mämmelä, "Concatenated codes using coded modulation with a phase shift," in *Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Jeju Island, South Korea, pp. 889-893, Oct. 2012.