

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y
SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN SOBRE FPGA DE UN
PEDAL MULTI-EFECTOS DIGITAL SOBRE
PROTOCOLO I2S2**

**EROS GARCÍA ARROYO
ENERO 2020**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Título: Diseño e implementación sobre FPGA de un pedal multi-efectos digital sobre protocolo I2S2

Título (inglés): Design and implementation on FPGA of a digital multi-effects pedal on I2S2 protocol

Autor: Eros García Arroyo

Tutor: Samuel López Asunción

Ponente: Pablo Ituero Herrero

Departamento: Departamento de Ingeniería Electrónica

MIEMBROS DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

Presidente: —

Vocal: —

Secretario: —

Suplente: —

FECHA DE LECTURA:

CALIFICACIÓN:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**

Departamento de Ingeniería Electrónica
LSI



TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN SOBRE FPGA
DE UN PEDAL MULTI-EFECTOS DIGITAL
SOBRE PROTOCOLO I2S2**

Eros García Arroyo

Enero 2020

Resumen

Este trabajo persigue y tiene como principal finalidad obtener un pedal multiefectos, plenamente funcional a tiempo real, para guitarras eléctricas o sistemas de captación de audio, como micrófonos, aunque el objetivo principal será la guitarra eléctrica. De esta forma lo que se pretende es que, a través de una señal de entrada, consigamos hacer variarla de manera digital y obtener a su salida otra señal modificada por el efecto seleccionado dentro de la arquitectura del pedal.

Para definir los múltiples efectos del pedal debemos tener en cuenta que vamos a tratar con 3 tipos de resultados:

- Efectos basados en retardadores.
- Efectos basados en sistemas no lineales.
- Efectos basados basados en sistemas lineales.

El producto de los efectos retardadores tendrán como finalidad añadir una línea de retardo o de espera sobre la señal de entrada que luego se solapará junto con la señal de salida. Los efectos no lineales se encargarán de afectar a la ganancia de la señal de entrada para obtener una modificación no lineal de está a la salida y, finalmente, los efectos lineales tienen una función similar al descrito anteriormente pero, como su categoría indica, será de forma lineal. REVISAR

El proyecto partirá desde la elección de la FPGA, protocolo y algoritmo de trabajo, hasta la obtención de un pedal multiefectos perfectamente implementado y funcional como prototipo y siendo este el resultado final del proyecto.

Además, debido a las características de este proyecto y al lenguaje de programación empleado (VHDL) y el entorno de desarrollo utilizado (Vivado), podrá modificarse en versiones futuras de manera muy sencilla y contener los efectos que el usuario necesite dependiendo de la aplicación profesional que se le quiera dar.

Por tanto, el prototipo desarrollado en este trabajo fin de grado me ha servido, para afianzar mis conocimientos sobre electrónica digital y tratamiento/procesado de señales de audio.

Palabras clave: Pedal multiefectos, FPGA, VHDL, I2S2, Nexys A7, Tiempo real, Línea de retardo, Umbral de ganancia

Abstract

This work pursues and has as its main purpose to obtain a multi-effects pedal, fully functional in real time, for electric guitars or audio capture systems, such as microphones, although the main object will be the electric guitar. In this way the aim is that, through an input signal, we can make it vary digitally and get at its output another signal modified by the selected effect within the pedal architecture.

To define the multiple effects of the pedal we must take into account that we will deal with 3 types of results:

- Retardant-based effects.
- Effects based on non-linear systems.
- Linear system-based effects.

The product of the retarding effects will aim to add a delay or wait line over the input signal which will then overlap along with the output signal. Nonlinear effects will be responsible for affecting the gain of the input signal to obtain a nonlinear modification of is to the output and eventually, linear effects have a function similar to the one described above but, as its category indicates, it will be linearly. REVISAR

The project will start from the choice of FPGA, protocol and working algorithm, to obtaining a perfectly implemented and functional multi-effects pedal as a prototype and this being the final result of the project.

In addition, due to the features of this project and the programming language used (VHDL) and the development environment used (Vivado), it can be modified in future versions in a very simple way and contain the effects that the user needs depending on the professional application you want to give it.

Therefore, the prototype developed in this end-of-degree work has served me, to strengthen my knowledge of digital electronics and the treatment/processing of audio signals.

Keywords: Multi-effects pedal, FPGA, VHDL, I2S2, Nexys A7, Real-time, Delay line, Gain threshold

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos aquellos que me han apoyado y ayudado desinteresadamente durante todo este tiempo sin esperar nada a cambio: mis padres y mi hermana por haberme ayudado en los momentos difíciles cuando empecé este camino universitario, a mis abuelos paternos por haberme acogido en su casa y a mi abuela materna por haberme cuidado desde que era pequeño. También quiero hacer una mención especial a mi tutor Samuel López por haberme ayudado todas y cada una de las semanas desde que decidimos llevar a cabo el proyecto y a Pablo Ituero por haberme ofrecido la oportunidad de llevarlo a cabo. También y no menos importante agradecer a mi amigo Daniel Payno por haber sido mi compañero de carrera universitaria durante todo este tiempo.

Contents

Resumen	I
Abstract	III
Agradecimientos	V
Contents	VII
1 Introducción, estado del arte y motivación	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos del proyecto	3
1.3 Estructura del documento	3
1.4 Metodología	3
1.5 Resultados esperados	3
1.6 Conocimientos adquiridos	3
2 Enabling Technologies	5
2.1 Analysis and annotation	5
2.1.1 Emotional Analysis	5
2.2 More stuff	5
3 Requirement Analysis	7
3.1 Introduction	7
3.2 Use cases	7
3.2.1 System actors	7
4 Architecture	9

4.1	Introduction	9
5	Case study	11
5.1	Introduction	11
5.2	Rule edition	11
6	Conclusions and future work	13
6.1	Conclusions	13
6.2	Achieved goals	13
6.3	Future work	13
Appendix A Impact of this project		i
A.1	Social impact	i
Appendix B Economic budget		iii
B.1	Physical resources	iii
Bibliography		v

Introducción, estado del arte y motivación

1.1 Introducción

Hoy en día vivimos en un mundo donde se ha desarrollado la electrónica digital en el ámbito tecnológico, pero, a su vez y en otro ámbito paralelo, la música también ha experimentado un gran avance. Por ello, gracias a ello, la creación de un pedal de efectos es una iniciativa factible ya que se puede lograr de manera eficaz.

Un pedal de efectos es un dispositivo que se encarga de tomar una señal de entrada de audio. Una vez el dispositivo recibe esta señal de audio, deberá aplicar ciertas modificaciones sobre la misma. Normalmente estos cambios suelen ir destinados a variar el timbre, tono, volumen o intensidad (e incluso, todos al mismo tiempo). Si nos fijamos detenidamente, hablando en términos musicales, los efectos del pedal afectan a los cuatro elementos sonoros fundamentales de la música. Por ello, se establece una relación directa entre el mundo musical con el mundo del tratamiento digital de audio. Finalmente, el resultado que debemos obtener será una señal de audio, transformada oportunamente por el efecto seleccionado.

Ahora bien, debido a las características de este tipo de pedales, su uso más común es sobre instrumentos de tipo electrófono. Es decir, aquellos instrumentos que se hacen valer de un sistema electrónico para producir el sonido. Por esta razón, la idea será destinar este pedal al uso de la guitarra eléctrica debido a que es un instrumento muy empleado en la actualidad y que ofrece una gran variedad de posibilidades para sus usuarios más experimentados. De esta manera se pueden lograr distintos sonidos que son capaces de dar gran matiz a las distintas obras musicales que decidamos interpretar, ya sea en directo empleando el pedal como un sistema en tiempo real o en grandes post-producciones para generar arreglos sobre pistas de audio que han sido previamente grabadas por una guitarra eléctrica sin ningún tipo de efecto.

Por lo tanto, la idea que vamos a perseguir en este proyecto es la creación del pedal multi-efectos partiendo desde cero pero siempre ateniendo a que todos los pasos realizados deben

ser previamente acordados con el tutor debido a que el trabajo no estaba ofertado por el Departamento de Ingeniería Electrónica pero, que Pablo Ituero me dió como posible opción de trabajo fin de grado debido a mis motivaciones profesionales y mis conocimientos musicales de guitarra eléctrica.

Para la realización del prototipo vamos a emplear una arquitectura de FPGA Artix-7 orientada a estudiantes y que se monta sobre la plataforma Nexys A7. Esta plataforma con la FPGA mencionada se puede encontrar en *Xilinx* con la referencia *XC7A100T-1CSG324C* (la sección previa al guión hace referencia al tipo de arquitectura que se monta sobre la plataforma y la sección posterior al guión hace referencia a la plataforma que sustenta todo el *Hardware* necesario para poder emplear dicha arquitectura).

La elección de esta FPGA y plataforma se debe a que, es la que nos puede proporcionar el departamento de ingeniería electrónica para no tener que asumir los costes de nuestro bolsillo y que además, ofrece un entorno *Hardware* muy accesible basado en 15 *Switches*, varios diodos *LEDs*, 5 botones o pulsadores, un total de ocho *displays* de 7 segmentos y lo más importante es que incorpora los *Pmod Headers* que serán esenciales para la interconexión de nuestros dos sistemas: La FPGA y la guitarra eléctrica.

Además, necesitaremos una etapa que se encargue de digitalizar nuestra guitarra eléctrica para conseguir llevar la señal de salida de la guitarra eléctrica hasta la entrada de la FPGA, para ello usaremos el *Pmod i2s2* de *Digilent* el cual también será proporcionado por el departamento de ingeniería electrónica. Este *Pmod* incorpora ADC, DAC y los conectores mini-jack estándar de audio, que nos serán de ayuda para gestionar la señal de entrada y salida de nuestra guitarra, lo único que debemos añadir será unos adaptadores de mini-jack a jack-estándar debido a que la guitarra eléctrica usa entradas de jack-estándar.

Finalmente, para capturar el sonido de la guitarra eléctrica emplearemos una etapa de pre-amplificación basada en un amplificador de guitarra eléctrica de baja potencia (hasta unos 10W) y una vez procesado el efecto del pedal en baja potencia, colocaremos a la salida otro amplificador de guitarra eléctrica pero de alta potencia (puede ser un amplificador de guitarra eléctrica basado en transistores de 150W, por ejemplo).

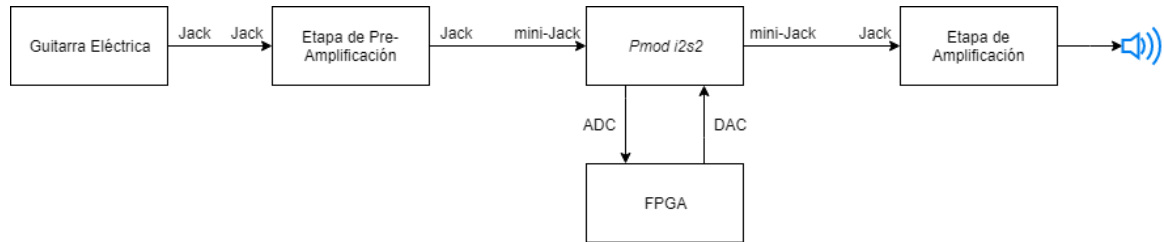


Figure 1.1: Arquitectura general del proyecto

1.2 Objetivos del proyecto

- G1

1.3 Estructura del documento

1.4 Metodología

1.5 Resultados esperados

1.6 Conocimientos adquiridos

Chapter 1 ...

Enabling Technologies

2.1 Analysis and annotation

2.1.1 Emotional Analysis

2.2 More stuff

Requirement Analysis

3.1 Introduction

3.2 Use cases

3.2.1 System actors

Architecture

4.1 Introduction

In this chapter, we cover the design phase of this project, as well as implementation details involving its architecture. Firstly, we present an overview of the project, divided into several modules. This is intended to offer the reader a general view of this project architecture. After that, we present each module separately and in much more depth.

Case study

5.1 Introduction

In this chapter we are going to describe a selected use case. This description will cover the main Wool features, and its main purpose is to completely understand the functionalities of Wool, and how to use it.

5.2 Rule edition

...

Conclusions and future work

In this chapter we will describe the conclusions extracted from this project, and the thoughts about future work.

6.1 Conclusions

6.2 Achieved goals

N1

6.3 Future work

- F1

Impact of this project

This appendix reflects, quantitatively or qualitatively, on the possible impact...

A.1 Social impact

Economic budget

This appendix details an adequate budget to bring about the project...

B.1 Physical resources

Bibliography

- [1] Oscar Araque. Design and Implementation of an Event Rules Web Editor. Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Telecomunicación, July 2014.
- [2] J. Fernando Sánchez-Rada. Design and Implementation of an Agent Architecture Based on Web Hooks. Master's thesis, ETSIT-UPM, 2012.