



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

**TRABAJO FIN DE GRADO
INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN**

**Control de drones mediante
bioseñales y FPGA Icezum
Alhambra**

Autor

José Luis Arco López

Directores

Encarnación Castillo Morales
JoseMaria Cañas Plaza



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE
TELECOMUNICACIÓN**

—
Granada, noviembre de 2019

Control de drones mediante bioseñales y FPGA Icezum Alhambra

Autor

José Luis Arco López

Directores

Encarnación Castillo Morales
Jose María Cañas Plaza

Control de drones mediante bioseñales y FPGA Icezum Alhambra

José Luis Arco López

Palabras clave: Bioseñal, EMG, FPGA, dron, control

Resumen

El propósito de este proyecto es la investigación, estudio y finalmente la realización de un sistema de adquisición de señales EMG, con el objetivo de poder usar dichas señales para controlar un dron radiocontrol. Se presenta como una oportunidad de usar las nuevas tecnologías de las FPGAS con un supuesto bastante necesario a nuestros días: el procesamiento de bioseñales para hacer la vida más fácil. Se comienza estudiando las señales electromiográficas y sus formas de obtención. Para ello se realiza un estudio de estas bioseñales, desde cómo obtenerlas hasta la instrumentación adecuada para tal fin. Tras realizar un banco de datos se desarrolla un algoritmo en Matlab para la extracción de la información de dichas señales para controlar luego el robot. A continuación se implementará este algoritmo en la FPGA de software libre Icezum Alhambra. Por último se realizarán las pruebas necesarias para depurar el sistema con simuladores para luego su puesta en marcha con robots reales.

Drone control using biosignals and FPGA Icezum Alhambra

José Luis Arco López

Keywords: biosignal, EMG, FPGA, drone, control

Abstract

The purpose of this project is the research, study and finally the realization of an EMG signal acquisition system, with the aim of being able to use these signals to control a radiocontrol drone. It is presented as an opportunity to use the new technologies of the FPGAS with a fairly necessary assumption to this day: the processing of biosignals to make life easier. It begins by studying the electromyographic signals and their ways of obtaining them. For this, a study of these biosignals is carried out, from how to obtain them to the appropriate instrumentation for this purpose. After performing a data bank, an algorithm is developed in Matlab for the extraction of information from these signals to then control the robot. This algorithm will then be implemented in the free software FPGA Icezum Alhambra. Finally, the necessary tests will be carried out to debug the system with simulators and then start up with real robots.

Yo, **José Luis Arco López**, alumno de la titulación Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 77142961H, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: José Luis Arco López

Granada a 11 de mes de 2019.

D.^a **María Encarnación del Castillo Morales**, Profesora del Área de Electrónica del Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada.

D. **Jose María Cañas Plaza**, Profesor del Área de Telemática del Departamento de Teoría de la Señal, Comunicaciones, Sistemas Telemáticos y Computación de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

Informan:

Que el presente trabajo, titulado ***Control de drones mediante bioseñales y FPGA Icezum Alhambra***, ha sido realizado bajo su supervisión por **José Luis Arco López**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a X de mes 11 de 2019 .

Los directores:

**María Encarnación del Castillo Morales
Plaza**

Jose María Cañas

Agradecimientos

Índice general

1. Introducción	19
1.1. Motivación del proyecto y objetivos	19
1.2. Planificación	21
1.3. Estructura de la memoria	21
2. Estado del arte	23
2.1. Robótica, drones	23
2.1.1. Evolución histórica	23
2.1.2. Tipos	25
2.2. Bioseñales y el EMG	26
2.2.1. Tipo de señal	28
2.2.2. Adquisición del EMG	28
3. Herramientas software y hardware	31
3.1. Biosignalplus	31
3.2. Matlab	32
3.3. FPGAS	32
3.3.1. FPGAs vs MCU	32
3.3.2. FPGAS libres	36

Índice de figuras

2.1.	Kettering Bug	24
2.2.	Ala fija	25
2.3.	Ala rotatoria	26
2.4.	ECG de un corazón en ritmo sinusal normal	27
2.5.	ECG de un corazón en ritmo sinusal normal	27
2.6.	Posición de los electrodos	29
3.1.	Hub de Biosignalplus	31
3.2.	Estructura interna de una FPGA	32
3.3.	FPGA EP4CE6E22C8N	33
3.4.	MCU PIC16F887	33
3.5.	La ley de Moore	35
3.6.	Icezum Alhambra II	36
3.7.	Icezum Alhambra II	38

Índice de cuadros

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación del proyecto y objetivos

Este trabajo pretende poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante la carrera en base a un supuesto cada vez con más importancia en nuestros días: el control referido a señales biomédicas. Tras realizar mis estudios me di cuenta de que sabía un poco de muchas cosas, pero si quería tener un conocimiento específico en este tema tenía que trabajar e investigar por mi cuenta en mi propio proyecto.

Nuestros cuerpos están constantemente comunicando información sobre nuestra salud. Las señales biomédicas son la representación de las actividades del cuerpo, que pueden ser capturadas a través de instrumentos que miden la frecuencia cardíaca, la presión arterial, los niveles de saturación de oxígeno, la glucosa en sangre, la conducción nerviosa, la actividad cerebral, etc.

Tradicionalmente el procesamiento de señales lo que hacía era extraer información significativa de estas señales con el objetivo de comprender mejor el cuerpo humano. Este procesamiento es lo que permite a los médicos monitorear distintas enfermedades y tener toda la información posible para sus diagnósticos.

En nuestros días los ingenieros están haciendo un arduo trabajo descubriendo nuevas formas de procesar estas señales, ya no sólo para conseguir determinar el estado de salud de un paciente a través de medidas menos invasivas; si no también con el objeto de usar estas señales junto a las nuevas tecnologías para hacer la vida más fácil a las personas. Una nueva apuesta de trabajo surge en base al control de robots usando señales biomédicas que permitan hacer tareas por nosotros que no podríamos hacer de otra manera.

Se me presenta como ingeniero por lo tanto, la oportunidad de ofrecer

un granito de arena a esta nueva apuesta investigando y usando una de las tecnologías más innovadoras hasta el momento, las FPGAS libres. Esta tecnología digital se encuentra cada vez más en auge debido a que es muy barata y permite unos procesamientos muy rápidos. Así usando estas FPGAS podríamos procesar señales adquiridas de nuestro cuerpo y usarlas para control de un sistema robótico.

Como sistema robótico que controlar se propone usar un dron telerigido ya que cada vez tienen más funcionalidades y su uso está muy extendido; por lo que tenemos bastante información sobre ellos.

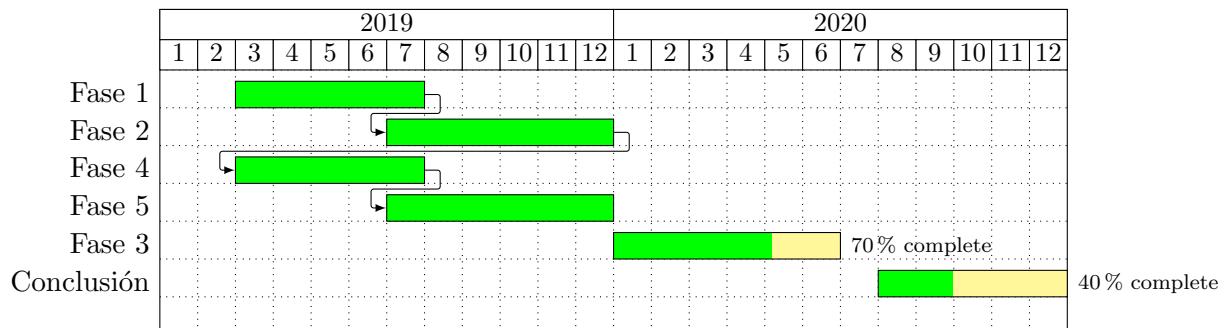
El objetivo principal y más importante del proyecto sería por lo tanto conseguir el diseño de un sistema de control para robots a través de bioseñales. Para conseguir el objetivo principal, hay que conseguir otros objetivos más pequeños:

- Realizar un estudio de las diferentes bioseñales disponibles, dentro de las cuales elegiremos la EMG.

- Adquirir conocimientos básicos de distintos lenguajes y herramientas en los que incluimos:

- Lenguajes de descripción hardware (Verilog)
 - Matlab
 - Empleo de herramientas para su uso en la FPGA como icesstudio.
 - Hardware de obtención de señales, como Biosignalplus.
 - Software de visualización de señales
- Comprender el funcionamiento de las FPGAS existentes y realizar con ellas el sistema.
- Usar estas herramientas y las señales captadas para desarrollar un modo de control.

1.2. Planificación



1.3. Estructura de la memoria

Esta memoria se divide en dos partes

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Robótica, drones

Un dron se puede definir como una “aeronave” pilotada de forma remota. El uso de los drones se ha ido instaurando poco a poco en la sociedad; actualmente con sus nuevas mejoras y reducido coste, estos han pasado de una situación en la que era más “amateur” a una función más profesional. En los últimos años han estado cada vez más presentes ya que ofrecen una gran herramienta de trabajo para diferentes sectores tanto comerciales como de seguridad.

2.1.1. Evolución histórica

La palabra inglesa drone tiene varios significados, aunque en su origen se refiere a los zánganos de las colmenas y al zumbido que emiten. El ruido que se escucha en tierra cuando vuelan a cierta altura estos vehículos recordaba a estos “zánganos” y de ahí que se quedaran con este nombre. Su evolución proviene sobretodo en el ámbito militar dónde tenían funciones de reconocimiento y permitían tener ventaja en la batalla.

Los primeros vehículos no tripulados fueron construidos durante la Primera Guerra Mundial . Estos primeros modelos fueron lanzados por catapulta o volados usando radio control. En enero de 1918, el ejército de los Estados Unidos comenzó la producción de torpedos aéreos teleridigidos de forma remota. El modelo que se desarrolló, el Kettering Bug , fue volado con éxito en algunas pruebas, pero la guerra terminó antes de que pudiera desarrollarse más.



Figura 2.1: Kettering Bug

Durante el período de entreguerras continuó el desarrollo y las pruebas de aviones no tripulados. En 1935, los británicos produjeron una serie de aviones controlados por radio para ser utilizados como objetivos con fines de entrenamiento . Los drones controlados por radio también se fabricaron en los Estados Unidos y se utilizaron para prácticas de tiro y entrenamiento.

Los UAV de reconocimiento se desplegaron por primera vez a gran escala en la Guerra de Vietnam. Los drones también comenzaron a usarse en una variedad de nuevos roles, como actuar como señuelos en combate, lanzar misiles contra objetivos fijos y lanzar folletos para operaciones psicológicas.

Después de la Guerra de Vietnam, otros países fuera de Gran Bretaña y Estados Unidos comenzaron a explorar la tecnología aérea no tripulada. Los nuevos modelos se volvieron más sofisticados, con una resistencia mejorada y la capacidad de mantener una mayor altura. En los últimos años, se han desarrollado modelos que utilizan tecnología como la energía solar para abordar el problema de alimentar vuelos más largos.

Los drones ahora tienen muchas funciones, que van desde monitorear el cambio climático hasta llevar a cabo operaciones de búsqueda después de desastres naturales, fotografía, filmación y entrega de bienes. Pero su uso más conocido y controvertido es el uso militar para reconocimiento, vigilancia y ataques dirigidos. Desde los atentados terroristas del 11 de septiembre, Estados Unidos en particular ha aumentado significativamente su uso de dro-

nes. Se utilizan principalmente para la vigilancia en áreas y terrenos donde las tropas no pueden ir con seguridad. Pero también se usan como armas y se les atribuye el asesinato de presuntos militantes. Su uso en conflictos actuales y en algunos países ha planteado preguntas sobre la ética de este tipo de armamento, especialmente cuando resulta en muertes de civiles, ya sea debido a datos inexactos o debido a su proximidad a un 'objetivo'.

2.1.2. Tipos

Los drones están en su punto más alto y cada vez son más las empresas que definen sus productos como "drones", por lo que existe un gran abanico de posibilidades en cuanto a su clasificación. Sin embargo la más extendida son según su uso y según el tipo de ala.

Según su uso:

- Uso Militar: Se usan con fines de reconocimiento, como ofensiva e incluso reabastecimiento de provisiones. En este campo se pueden incluir los usados por la policía.
- Uso Comercial: Se encuentran desde los usados como diversión hasta los usados para publicidad,etc.

Según el tipo de ala:

- Drones de ala fija: Estos drones proporcionan una gran autonomía durante el vuelo ya que son muy aerodinámico; sin embargo necesitan mucho espacio para aterrizar y un sistema de lanzado para despegar, lo que los hace muy engorrosos. Se utilizan sobre todo para hacer mapas y labores de riego.



Figura 2.2: Ala fija

- Drones de Ala Rotatoria: Son los más extendidos en el ámbito comercial. A diferencia con los de Ala Fija estos pueden permanecer suspendidos en el aire gracias al sistema de hélices que llevan; no obstante tienen mucha menos autonomía que los de Ala Fija haciéndolos útiles solo para vuelos cortos. Cómo se pueden mantener estables gracias a sus giroscopios y estabilizadores son ideales para sacar fotos y hacer videos.



Figura 2.3: Ala rotatoria

2.2. Bioseñales y el EMG

Entendemos por bioseñal cualquier señal de los seres vivos que se puede medir así como monitorear. Normalmente el término bioseñal se usa para referirse a señales bioeléctricas variantes en el tiempo; pero puede usarse también para señales no eléctricas, como por ejemplo la termografía o el pH. Estas bioseñales eléctricas generalmente se caracterizan por un cambio de corriente eléctrica producido por la diferencia de potencial eléctrico a través de un tejido, órgano o sistema. Entre las más conocidas tenemos:

Electrocardiograma

Un electrocardiograma es un registro de la actividad eléctrica del corazón, tomado a partir de unos electrodos colocados en la piel. Los electrodos detectan la despolarización y repolarización del corazón durante cada latido cardíaco, lo que proporciona una visión de la actividad muscular del corazón. Un trazado de ECG típico es un ciclo de tres entidades:

- La onda P, que representa la despolarización de las aurículas
- El complejo QRS, que representa la despolarización de los ventrículos

- La onda T, que representa la repolarización de los ventrículos

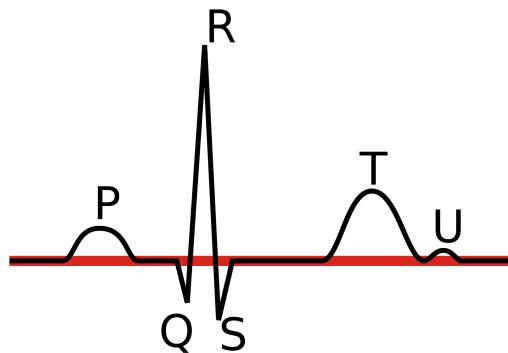


Figura 2.4: ECG de un corazón en ritmo sinusal normal

Electroencefalografía

La electroencefalografía mide la actividad eléctrica del cerebro, registrada a partir de electrodos colocados en el cuero cabelludo. Cuando se analizan estas señales, se utilizan como una herramienta de diagnóstico para detectar patologías asociadas con un comportamiento eléctrico extraño. Se usa con mayor frecuencia para diagnosticar la epilepsia , lo que causa anomalidades en las lecturas del EEG. También se usa para diagnosticar trastornos del sueño , profundidad de la anestesia , coma , encefalopatías y muerte cerebral.

Tumor cerebral
Daños cerebrales por lesiones en la cabeza
Disfunciones cerebrales que pueden tener diversas causas (encefalopatía)
Inflamación del cerebro (encefalitis)
Accidente cerebrovascular
Trastornos del sueño

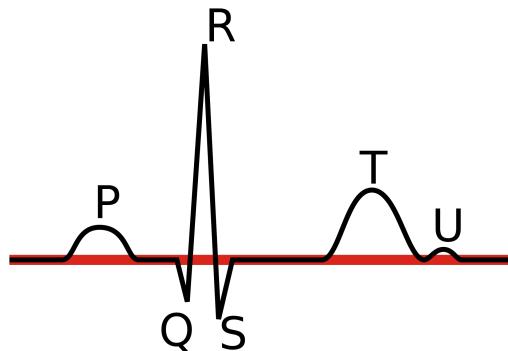


Figura 2.5: ECG de un corazón en ritmo sinusal normal

Electromiograma

2.2.1. Tipo de señal

Una señal de EMG tiene las siguientes características:

- La amplitud de la señal EMG se encuentra entre 1-10 mV, lo que la convierte en una señal considerablemente débil.
- La señal se encuentra en el rango de frecuencia de 0-500 Hz y la más dominante es entre 50-150 Hz.
- La señal EMG está muy influenciada por el ruido:

-El ruido ambiental puede ser causado por fuentes de radiación electromagnética, por ejemplo, dispositivos de transmisión de radio, luces fluorescentes y la interferencia de la línea de alimentación de los cables eléctricos. Estas interferencias son casi imposibles de evitar por medios externos. Este ruido particular existe en el rango de frecuencia de 50-60 Hz.

-El ruido también se puede generar a partir de artefactos de movimiento. Las dos fuentes principales de este ruido son la inestabilidad de la interfaz de la capa del electrodo y el movimiento del cable del electrodo y se encuentra principalmente en el rango de 0-20 Hz. Se puede eliminar mediante un conjunto adecuado de equipos y circuitos de EMG. La máxima fidelidad de la señal está determinada por la relación señal / ruido EMG adquirida.

2.2.2. Adquisición del EMG

A la hora de adquirir señales EMG hay que tener en cuenta un correcto acondicionamiento tanto como de la piel como del sistema.

Preparación de la piel

Es necesario a la hora de obtener señales EMG una correcta preparación de la piel dónde vamos a colocar los electrodos; de forma que la calidad de la señal obtenida sea la mejor posible. Para este propósito es recomendable usar un gel abrasivo o alcohol tanto para eliminar las células muertas de la piel como para reducir la sequedad de la misma. Tras la correcta limpieza con un paño suave se asegura que la zona quede totalmente limpia y seca.

Los electrodos

Para obtener señales EMG se usan 3 electrodos (2 y uno de referencia) que se colocan directamente sobre la piel y son capaces de captar la actividad bioeléctrica. La ubicación de los electrodos va a influir directamente sobre la calidad de las señales obtenidas; una correcta colocación sería en paralelo a las fibras musculares, en la zona central del músculo del que queremos obtener la actividad eléctrica. Estos deberán estar separados de 1 a 2 cm y el de referencia deberá estar colocado en un sitio donde sepamos que la actividad será mínima. En los tendones y el borde del músculo las fibras musculares se vuelven más delgadas y pequeñas por lo que son el sitio ideal para colocar el electrodo de referencia. Así por ejemplo para obtener la señal EMG del brazo un correcto sitio sería con los 2 en la parte central y el de referencia en el codo.

Antes de colocar los electrodos se puede usar una pasta conductiva que mejora considerablemente la captación de estos de las señales. Tan importante como que la piel esté preparada es que la colocación de los electrodos sea adecuada. Hay que tener en cuenta no sólo su ubicación, sino también su orientación en el músculo para que la captación sea máxima. Los electrodos EMG deben colocarse a una distancia de 1 a 2 centímetros de distancia en una zona del músculo central, teniendo en cuenta que el eje longitudinal que pasa por los dos electrodos debe de ser paralelo a las fibras musculares.

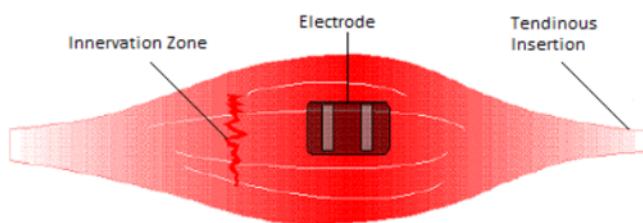


Figura 2.6: Posición de los electrodos

El kit biosignalplus nos va a permitir adquirir las señales EMG y poder ver la interacción eléctrica en tiempo real. Este kit será el que utilicemos para obtener las señales EMG y procesarlas posteriormente.

Capítulo 3

Herramientas software y hardware

3.1. Biosignalplus

Para la adquisición usaremos el kit de investigación de Biosignalplus de 8 canales. Utiliza el software OpenSignals para adquirir y visualizar simultáneamente hasta 8 sensores de EMG.

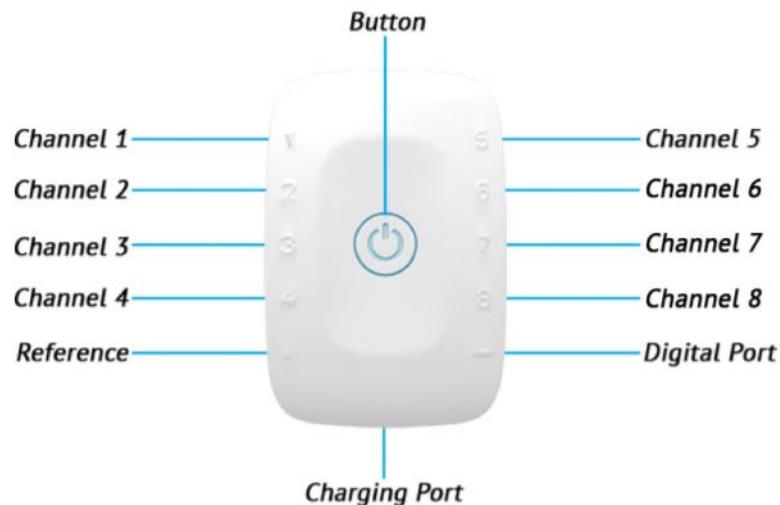


Figura 3.1: Hub de Biosignalplus

3.2. Matlab

Es un programa de cálculo numérico el cual cuenta con su propio lenguaje de programación. Permite la comunicación con dispositivos hardware así como la visualización y programación de manera fácil e intuitiva dónde las soluciones se expresan como funciones matemáticas. Como ventaja permite resolver problemas computacionales en un tiempo menor de lo que tardaría un lenguaje escalar no interactivo como C.

3.3. FPGAS

Una FPGA (Field Programmable Gate Array) es un dispositivo programable con bloques lógicos cuya interconexión puede ser configurada mediante un lenguaje de descripción para crear circuitos digitales.

Están compuestos internamente por puertas lógicas, cables y biestables; todo ello sin conectar, como una plantilla en blanco. Para su programación requiere la carga de un archivo con la descripción del circuito - o bitstream - que define las uniones entre los biestables y puertas lógicas para crear el circuito que deseemos.

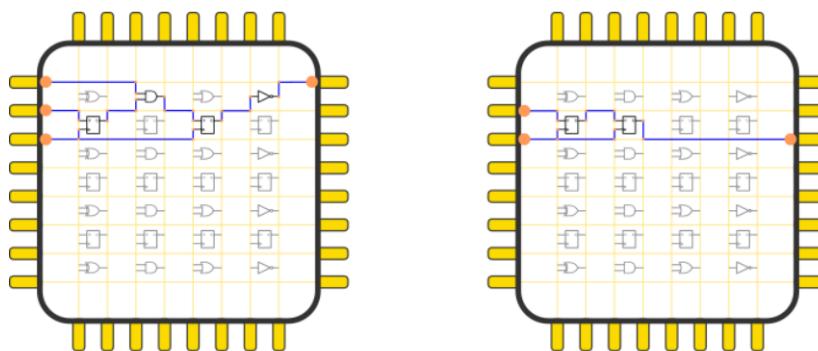


Figura 3.2: Estructura interna de una FPGA

3.3.1. FPGAs vs MCU

Las FPGA y los MCU (microcontroller unit - microcontrolador) son dos de las herramientas más poderosas disponibles para un ingeniero electrónico en la actualidad. Es esencial para cualquier persona que trabaje en electrónica digital, como para un profesional en cualquier industria, o incluso un aficionado, obtener una comprensión completa de las herramientas disponibles para ayudar en su trabajo. Esto es especialmente cierto en una industria acelerada, donde las herramientas y tecnologías están sujetas a

cambios repentinos y frecuentes.



Figura 3.3: FPGA EP4CE6E22C8N



Figura 3.4: MCU PIC16F887

Estos dispositivos se usan generalmente en escenarios muy similares; para decirlo de manera muy amplia: los dos permiten introducir unos valores de entrada y obtener los cambios que deseemos en las salidas. De hecho, casi cualquier aplicación que use un microcontrolador podría emplearse en una FPGA para el mismo efecto, y viceversa. Esto no quiere decir que las dos tecnologías sean intercambiables; a veces lo que es muy difícil lograr usar en un dispositivo, podría ser una cuestión simple para el otro.

La diferencia más importante entre los microcontroladores y las FPGAs es la forma en que procesan las instrucciones. Los primeros procesan comandos secuencialmente, lo que significa que un micro lee cada línea del programa de una en una, en secuencia. Por el contrario, los FPGA procesan comandos simultáneamente, por lo que las líneas de código se ejecutan a

la vez; traduciéndose en un incremento de la velocidad. Además en un microprocesador cada instrucción está asociada a un hardware de manera fija, y el programador no puede usar más instrucciones de las que le ofrece el fabricante. Las FPGAs no tienen nada conectado de manera fija, el usuario es el que determina mediante conexiones el comportamiento del circuito. Debido a esto las FPGAs generalmente se usan en escenarios que requieren un procesamiento de datos en paralelo de alta velocidad, o un alto grado de personalización, pero pueden resultar engorrosas por su relativa complejidad de configuración. Mientras tanto, los MCUs son mucho más fáciles de configurar y usar desde el principio, manejan de manera aceptable los datos en serie de alta velocidad y su producción es más barata.

Sin embargo, el panorama actual de los MCUs está a punto de cambiar debido al estancamiento de la ley de Moore.

El estancamiento de la ley de Moore

La Ley de Moore es la observación empírica realizada el 19 de abril de 1965 por Gordon Moore, cofundador de Intel , en la que postulaba que el número de transistores por unidad de superficie de un microprocesador iba a duplicarse cada 2 años- y por lo tanto la velocidad del procesador o la potencia de procesamiento general-, al menos durante las siguientes dos décadas.

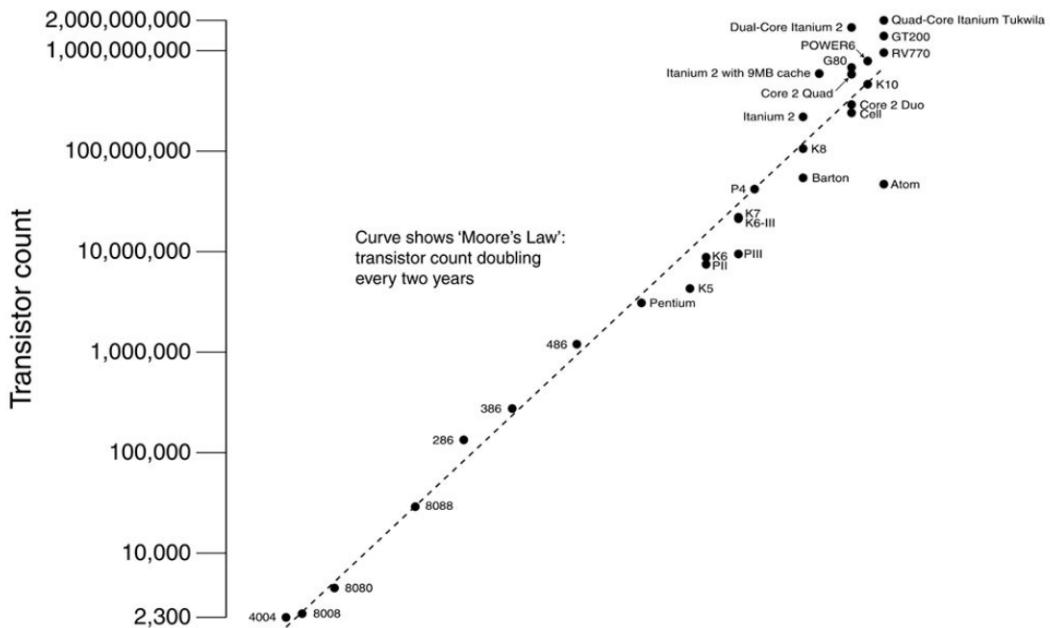


Figura 3.5: La ley de Moore

La mayoría de los expertos, incluido el propio Moore esperan que esta apreciación se mantenga vigente hasta 2020-2025 donde dejará de cumplirse definitivamente . El estancamiento de la ley de Moore es la consecuencia de los límites físicos de la tecnología actual, en la que un número mayor de transistores para un mismo volumen se traduce en un mayor calor generado que no se va a poder disipar sin dañar el microcontrolador (Enfriar los transistores requiere más energía de la que pasa por los transistores). Este estancamiento de la tecnología de los microprocesadores, hará que no se pueda equiparar la potencia a la continua mejora de la velocidad de sus algoritmos; por lo que será necesario la búsqueda de nuevas tecnologías para que las empresas puedan seguir desarrollando sus productos.

Aquí es donde entran en juego las FPGAs y el hecho de la importancia que están adquiriendo para las empresas su uso; ya que les permite multiplicar por un factor considerable la velocidad en sus circuitos. Las FPGAS se conocen desde los años 80, pero era una tecnología cerrada que muy pocos podían usarla; además, las herramientas para manejarlas eran complejas de usar. Todo cambió con la llegada de las FPGAS "libres", que ha propiciado que muchos aficionados creen herramientas para poder usarlas de una manera más intuitiva y sencilla.

3.3.2. FPGAS libres

El término “libre” se refiere a los productos que se han diseñado específicamente para que sean totalmente accesibles para todos los usuarios, disponiendo de total libertad para utilizar, modificar y trabajar con estos productos. Las ventajas que permiten son enormes para el patrimonio tecnológico. Normalmente son mucho más fiables ya que hay un gran número de usuarios que trabajan para hacer que llegue a más gente.

A las FPGAs les llegó su momento en mayo del 2015, en el panorama cambió con el Proyecto IceStorm creado por el ingeniero austriaco Clifford Wolf. Wolf hizo ingeniería inversa de una de la FPGA ICE40 de Lattice para obtener toda la información de funcionamiento y poder crear herramientas libres que no dependieran de ningún fabricante. Esto permitió un gran desarrollo del sector ya que rápidamente se creó una gran comunidad. La placa que usaremos para el proyecto será la Icezum Alhambra, pero existe una amplia variedad de placas con FPGAs libres.

Icezum Alhambra II

Tras un pequeño estudio del mercado de las FPGAs libres, la placa Icezum Alhambra II será la que utilicemos para este proyecto. Tanto la primera versión como la revisión fueron diseñadas en Pinos del Valle(Granada) por Eladio Delgado. Sus dimensiones y apariencia es muy similar al de la placa Arduino UNO; ya que el objetivo era que fuera compatible con la mayoría de Shields de Arduino, que son placas de circuitos modulares que le dan funcionalidades extras. Además, al igual que Arduino es una placa que está pensada para el aprendizaje y la docencia, por lo que cuenta con bastantes añadidos como LEDs y pulsadores para que sea más fácil y cómodo su uso para pequeños proyectos.



Figura 3.6: Icezum Alhambra II

Las características principales de la Icezum Alhambra II son:

- Placa de desarrollo con FPGA iCE40HX4K (Lattice)
- Hardware abierto
- Compatible con Icestudio
- Se pueden reutilizar la mayoría de los shield disponibles en Arduino
- Placa recomendada para proyectos robóticos
- El dispositivo USB FTDI 2232H permite la programación de la FPGA y la interfaz UART la conexión a un PC
- Interruptor electrónico de encendido/apagado
- 8 LED de uso general (LED de usuario)
- 2 botones de propósito general
- Memoria flash de 32 Mb
- 20 pines de entrada / salida de 3.3V (tolera 5V)
- Todos los pines de E/S incluyen resistencias en serie de 200 ohmios para la activación directa de LED
- Convertidor A/D de 4 canales y 12 bits
- Pines de arranque en frío accesibles desde GPIO
- Reguladores de commutación para procesamiento de alta frecuencia a baja potencia de entrada
- Oscilador MEMS de 12 MHZ
- Botón de reinicio
- Fuente de alimentación USB, dos conectores (hasta 4.8A)

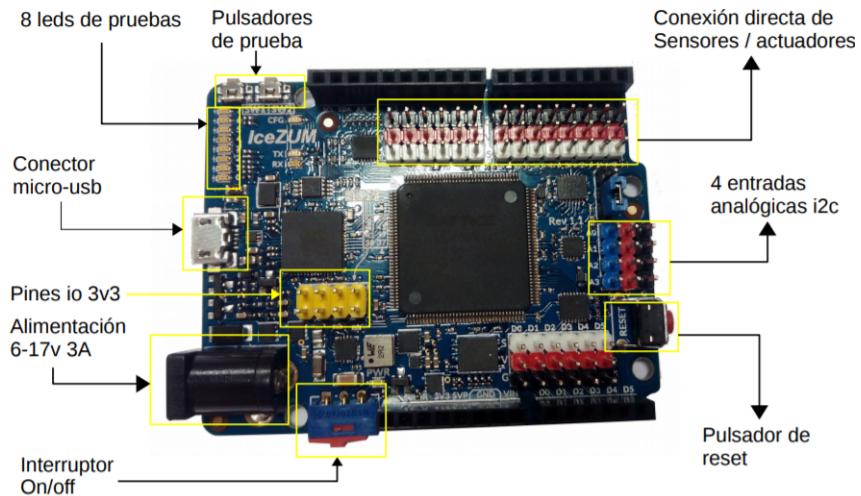


Figura 3.7: Icezum Alhambra II

Icestudio

Icestudio se trata de un editor visual para FPGAs libres, el cual permite el diseño de forma bastante sencilla para FPGAs mediante la creación de bloques con funcionalidades definidas. Icestudio utiliza el lenguaje de descripción hardware Verilog para la creación de estos bloques, que se muestra al usuario como puertas lógicas y biestables. La interfaz es la siguiente:

