



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA (DIMA)

Sistemas digitales embebidos

INFORME 1

INGENIERÍA MECATRÓNICA AGRÍCOLA

ELABORADO POR:
SANCHEZ RODRIGUEZ LUIS ANGEL

6º

PROFESOR:
Luis Arturo Soriano Avendaño

Fecha de entrega: 17 de mayo de 2021



Índice

Introducción	2
Desarrollo	3
Introducción a los sistemas embebidos	3
Arquitectura interna del microcontrolador.	4
Arquitectura externa del microcontrolador.	6
Arquitectura interna de los microprocesadores de 8 y 16 bits, 32 bits (ARM).	7
Arquitectura externa de los microprocesadores de 8 y 16 bits, 32 bits (ARM).	11
Procesadores digitales de señal, DSP.	11
Visión hardware / software de los sistemas embebidos.	13
Conclusión.....	14
Fuentes bibliográficas	14

Introducción

En el mundo en el que vivimos, prácticamente todo es un sistema embebido, todo sistema electrónico que no sea una computadora de propósito general es un sistema embebido [3]. Estos están compuestos por diversas partes y dependiendo de la función que vayan a desempeñar y qué tanta precisión o rendimiento se requiera, se emplean distintos elementos que cumplan con estas exigencias. Un sistema embebido es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas [1].

Los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos se pueden utilizar lenguajes como C; en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico.

Los sistemas embebidos demandan una gran cantidad de personas con conocimientos y habilidades específicas, sin embargo, no se debe olvidar la parte humana, que es también importante para el desarrollo personal y profesional de la persona [2].

Este documento tiene la intención de dar a conocer los componentes que tiene un sistema embebido y sus características, además de algunas definiciones básicas para que, si se piensa construir alguno, se tome en consideración las exigencias que debe cumplir el mismo para escoger un tipo de sistema.

El contenido comienza con una introducción a los sistemas embebidos, después se habla de la arquitectura interna y externa del microcontrolador, seguidamente la arquitectura interna y externa de los microprocesadores ARM, por último, se habla de los procesadores digitales de señal, también conocidos como DSP.

Desarrollo

Se desarrollará el contenido de este informe por cada tema de este.

Introducción a los sistemas embebidos

Un sistema embebido (SE) es un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar unas determinadas funciones, habitualmente formando parte de un sistema de mayor entidad. La característica principal es que emplea para ello uno o varios procesadores digitales (CPU) en formato microprocesador, microcontrolador o DSP lo que le permite aportar inteligencia al sistema anfitrión al que ayuda a gobernar y del que forma parte [4].

Los sistemas embebidos son una combinación de hardware y software de computadora, añadiendo tal vez algunas piezas mecánicas o de otra índole, diseñado para tener una función específica. Esta combinación puede ser reemplazada por un circuito integrado que realice la misma tarea. La ventaja de estos es su flexibilidad, ya que resulta más sencillo realizar modificaciones.

Estructura de un sistema embebido

Los sistemas embebidos son de bajo costo y bajo consumo de potencia. Puesto que muchos de estos son producidos en masa se emplean procesadores lentos y memorias pequeñas para que el costo no sea elevado.

Características comunes de un sistema embebido

- Están diseñados para llevar a cabo acciones repetidas específicas en dispositivos de un solo propósito.
- Tienen que hacerlo de manera rápida.
- Están basados en microprocesadores y microcontroladores.
- Funcionan sin sistema operativo, o con sistemas operativos en tiempo real (RTOS).
- Operan con memoria, energía y recursos informáticos limitados.

Arquitectura de un sistema embebido

Microprocesador: es el encargado de realizar las operaciones de cálculo principales del sistema. Ejecuta código para realizar una determinada tarea y dirige el funcionamiento de los demás elementos que lo rodean.

Memoria: en ella se encuentra almacenado el código de los programas que el sistema puede ejecutar, así como los datos. Debe tener un acceso de lectura y escritura lo más rápido posible para que el microprocesador no pierda tiempo en tareas que no son propias de él. El sistema requiere un soporte donde se almacenen los datos cuando no se dispone de energía.

Entradas y salidas

Arquitectura interna del microcontrolador.

El microprocesador es el encargado de realizar las operaciones de cálculo principales del sistema. Ejecuta código para realizar una determinada tarea y dirige el funcionamiento de los demás elementos que lo rodean. Es un chip que incluye la CPU y los circuitos relacionados con los buses de datos y memoria. Para poder realizar sus tareas requiere de un sistema mínimo, el cual está conformado por las memorias, circuitos de entrada y salida y el reloj. Se puede acoplar cualquier módulo adicional para su configuración con las características que se deseen:

- Buses de datos
- Direcciones
- Control de memoria y los módulos de entrada y salida
- Está integrado por varios circuitos integrados dentro de la misma placa

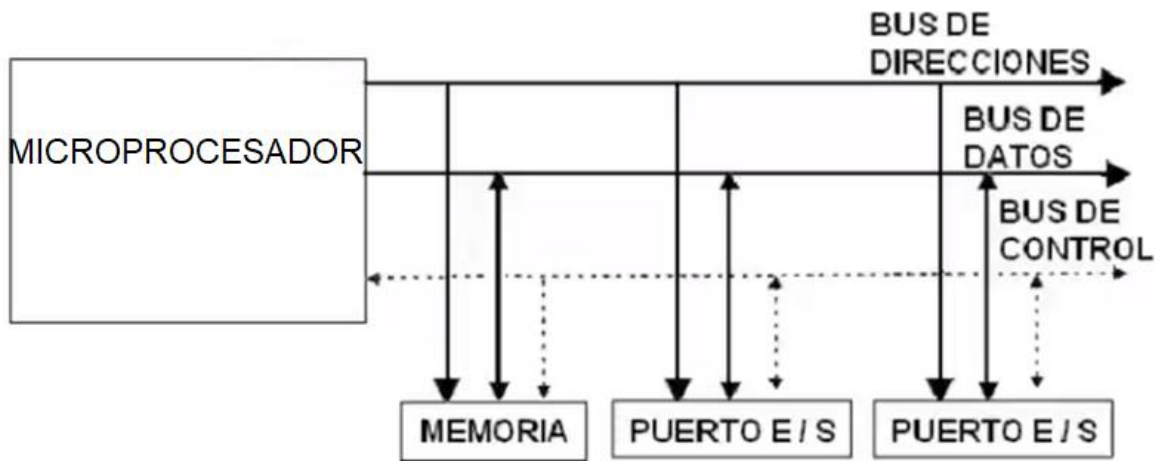


Ilustración 1. Estructura de un sistema digital basado en microprocesador.

Microcontrolador: es un circuito que encierra un sistema digital programable completo. Posee un CPU, memorias RAM, EEMPROM y circuitos de entrada y salida.

CPU: es considerado el cerebro del microprocesador ya que controla el programa almacenado en la memoria. Sus principales tareas son:

- Buscar las instrucciones almacenadas en la memoria.
- Interpretar las instrucciones
- Ejecutar las instrucciones

Incluye a la unidad aritmética lógica (ALU) que realiza operaciones con datos binarios.

Memorias

- **ROM:** es la memoria de solo lectura. Almacena de forma fija el programa y datos del usuario, es programada de fábrica, por lo que no puede ser cambiada por el usuario. Es útil cuando se manufactura en serie.

- EPROM: es un tipo de memoria de la memoria de solo lectura que se puede borrar. Puede programarse para que se pueda modificar por un dispositivo. Los datos pueden ser borrados por luz ultravioleta.

Reloj: provee el tiempo de conexión del microcontrolador con dispositivos externos. Se puede generar mediante un arreglo de un cristal y 2 capacitores. Opera a un cuarto de la frecuencia actual del oscilador.

Arquitectura de los procesadores

Existen 2 tipos de arquitecturas de los microcontroladores:

- Arquitectura Von Neumann

La CPU está conectada a una memoria única que contiene instrucciones del programa. La unidad de datos e instrucciones está fijada en un ancho del bus de datos de la memoria exterior, lo cual es de 8 bits. El bus limita la velocidad de operación debido a que, si se quiere tener acceso a una instrucción de más de un byte, deberá de realizar más de una operación.

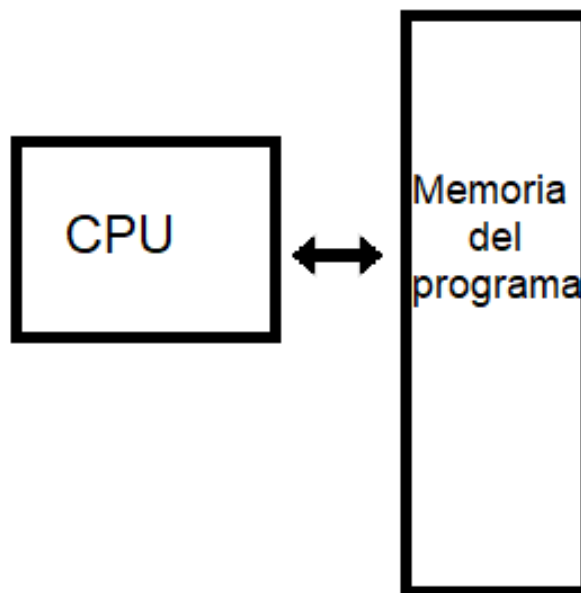


Ilustración 2. Arquitectura Von Neumann

Las fases de ejecución de una instrucción son:

- Búsqueda de la instrucción en memoria y cálculo de la siguiente instrucción
- Decodificación de la instrucción por parte de la CPU
- Búsqueda de los operandos
- Ejecución
- Escritura del resultado

Sistema de interrupciones

- Produce la interrupción de un programa en ejecución cuando aparece una señal externa a la máquina.
- El sistema de interrupciones permite una mejor sincronización de la entrada y salida con el exterior.
- Posibilita compartir la CPU por más de un programa.

Sistema de memoria caché

- Permite disminuir el tiempo de acceso a la memoria principal (Mp) ubicando una memoria de menor tamaño y mayor velocidad (memoria caché, Mc) entre la CPU y la memoria principal.
- El sistema explora la locación de referencia de los programas haciendo que la memoria caché contenga en cada momento los bloques de la memoria principal más referenciados, y evitando que la CPU tenga que acceder a la memoria principal.

- Arquitectura Harvard

Dispone de una sola memoria para el almacenamiento de datos y una sola memoria para las instrucciones. Cuenta con buses separados la memoria de datos y la de programa. Los buses son independientes y de distintos anchos.

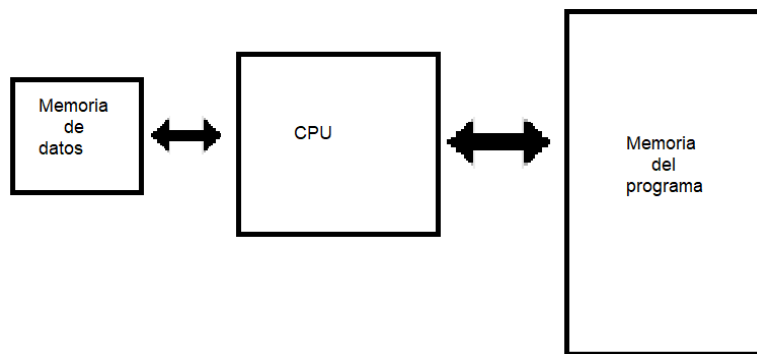


Ilustración 3. Arquitectura Harvard

Arquitectura externa del microcontrolador.

Puertos de entrada y salida: trabajan entre 0 y 5 voltios. Son capaces de entregar niveles TTL cuando la tensión de alimentación es de 5 V.

Oscilador: sus pines están etiquetados como OSC1/CLKIN y OSC1/CLKOUT. Definidos por las siguientes frecuencias:

- XT: cristal de cuarzo (1000 kHz – 4MHz)
- RC: oscilador con resistencia y capacitor
- HS: cristal de alta velocidad (4 MHz – 20 MHz)

- LP: cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia
- Externo: señal de reloj externa

Reset: Se denota por el pin Master Clear (MCLR). Cuando se presiona este botón se vuelve a la línea 1 del código para volverse a ejecutar.

Arquitectura interna de los microprocesadores de 8 y 16 bits, 32 bits (ARM).

El microcontrolador ARM son las siglas de Advanced RISC Machine, es uno de los núcleos de procesador más extensos y con mayor licencia en el mundo. Se utilizan en cámaras digitales, teléfonos móviles, redes domésticas, módulos y tecnologías de comunicación inalámbrica ya que tienen grandes ventajas como bajo consumo de energía, rendimiento razonable, entre otras.

Arquitecturas internas

Arquitecturas CISC (Complex set instruction computer) y RISC (Reduced instruction set computer)

- CISC: es un conjunto complejo de instrucciones que requieren muchos ciclos de reloj para ser ejecutadas.
- RISC: es un conjunto reducido de instrucciones muy simples y se ejecutan en un solo ciclo de máquina, pueden ejecutarse al mismo tiempo.
- SISC (Specific instruction set computer): son utilizadas en aplicaciones muy específicas.
- Arquitectura Ortogonal: una instrucción puede utilizar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o destino, tiene un work register/ACC acumulador para los pics. El resultado de la ALU va al registro W y a la memoria de datos.

Organización de la memoria

- Memoria de programa: en sus 1024 posiciones contiene el programa en las instrucciones que gobiernan la aplicación. Es de tipo no volátil, es decir, el programa se mantiene, aunque se desenergice.
- Memoria de datos RAM: se destina a guardar las variables y datos. Es volátil
- Memoria EEPROM: es de datos y escritura no volátil.

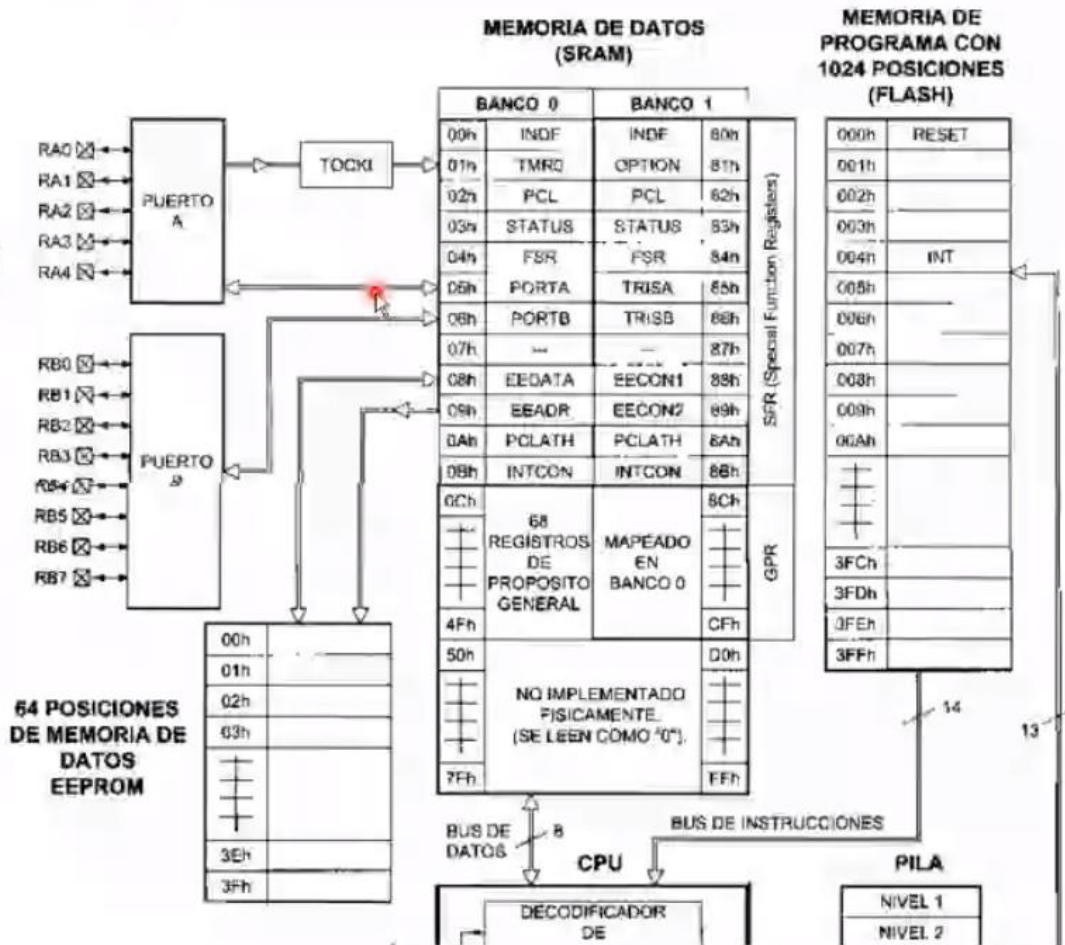


Ilustración 4. Organización de la memoria.

Mapa de memoria programable

- El microcontrolador PIC tiene memoria de programa no volátil.
- Espacio de memoria (0000h-3fffh)
- Reset vector (la primera dirección 0000h)
- Vector de interrupción: es la dirección a la que se dirige el PIC cuando se produce una interrupción
- Contador de programa: un registro de 13 bits que contiene la dirección de la memoria con la instrucción a ejecutar.
- Niveles de pila: son los niveles que se ejecutan cuando se utilizan subrutinas.

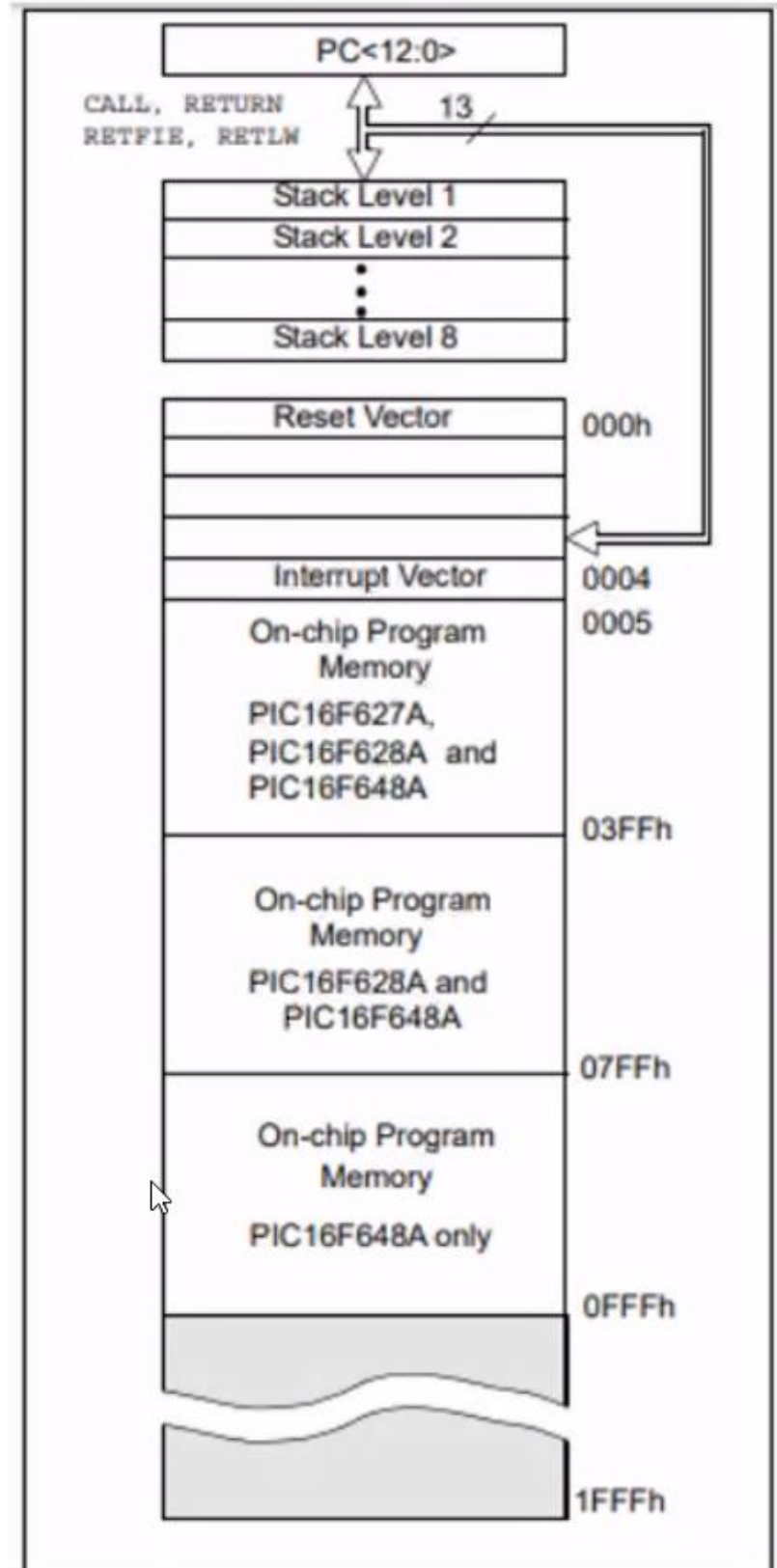


Ilustración 5. Mapa de memoria programable

Bancos de la memoria RAM

La memoria RAM de los microcontroladores PIC está dividida en 4 bancos, antes de modificar cualquier registro es necesario seleccionar el banco que contiene ese registro.

Cada banco se divide en 2 áreas:

- SFR: registros de funciones especiales
- GPR: registros de propósito general

Dir.	Nombre	Dir.	Nombre	Dir.	Nombre	Dir.	Nombre
00h	INDF	80h	INDF	100h	INDF	180h	INDF
01h	TMR0	81h	OPTION_REG	101h	TMR0	181h	OPTION_REG
02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h	PCL
03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h	STATUS
04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h	FSR
05h	PORTA	85h	TRISA	105h	WDTCON	185h	SRCON
06h	PORTB	86h	TRISB	106h	PORTB	186h	TRISB
07h	PORTC	87h	TRISC	107h	CM1CON0	187h	BAUDCTL
08h	PORTD	88h	TRISD	108h	CM2CON0	188h	ANSEL
09h	PORTE	89h	TRISE	109h	CM2CON1	189h	ANSELH
0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah	PCLATH
0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh	INTCON
0Ch	PIR1	8Ch	PIE1	10Ch	EEDAT	18Ch	EECON1
0Dh	PIR2	8Dh	PIE2	10Dh	EEDR	18Dh	EECON2
0Eh	TMR1L	8Eh	PCON	10Eh	EEDATH	18Eh	No utilizado
0Fh	TMR1H	8Fh	OSCCON	10Fh	EEDARH	18Fh	No utilizado
10h	T1CON	90h	OSCTUNE	110h		190h	
11h	TMR2	91h	SSPCON2				
12h	T2CON	92h	PR2				
13h	SSPBUF	93h	SSPADD				
14h	SSPCON	94h	SSPSTAT				
15h	CCPR1L	95h	WPUB				
16h	CCPR1H	96h	IOCB				
17h	CCP1CON	97h	VRCON				
18h	RCSTA	98h	TXSTA				
19h	TXREG	99h	SPBRG				
1Ah	RCREG	9Ah	SPBRGH				
1Bh	CCPR2L	9Bh	PWM1CON				
1Ch	CCPR2H	9Ch	ECCPAS				
1Dh	CCP2CON	9Dh	PSTRCON				
1Eh	ADRESH	9Eh	ADRESL				
1Fh	ADCON0	9Fh	ADCON1				
20h		A0h					
	Registros de propósito general		Registros de propósito general		Registros de propósito general		Registros de propósito general
7Fh	96 bytes	FFh	80 bytes	17Fh	96 bytes	1EFh	96 bytes

Ilustración 6. Bancos de la memoria RAM

Existen, para el caso de los microcontroladores PIC, gamas de microcontroladores:

- Microcontroladores de gama baja: el conjunto de instrucciones es de 33 y de 12 bits de largo, la memoria puede almacenar 2048 palabras donde cada palabra es de 12 bits.
- Microcontroladores de gama media: el conjunto de instrucciones es de 35 y de 14 bits de largo, la memoria puede almacenar 8192 palabras, donde cada palabra es de 14 bits.
- Microcontroladores de gama alta: el conjunto de instrucciones es de 58 y de 16 bits de largo, la memoria puede almacenar 65536 palabras, donde cada palabra es de 16 bits.

Arquitectura externa de los microprocesadores de 8 y 16 bits, 32 bits (ARM).

Unidad de control: decodifica las instrucciones y genera las señales de control que gobiernan el funcionamiento de las unidades internas y externas del microprocesador.

Unidad de proceso: el bloque principal es la Unidad Aritmética Lógica (ALU) que realiza las operaciones con uno o dos datos (+, -, AND, OR, complemento, desplazamientos...).

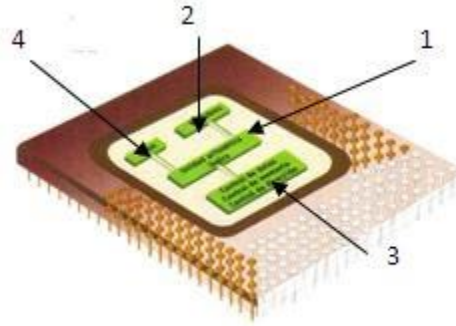


Ilustración 7. Arquitectura externa del microprocesador.

Donde:

1. ALU
2. Una serie de registros, donde se almacenan temporalmente los datos.
3. Una serie de bloques de control (direcciones, datos, memoria), para comunicarse con el exterior.
4. Reloj

Procesadores digitales de señal, DSP.

Un DSP es un microprocesador específico para el tratamiento de señales, esta especialización se necesita a la hora de procesar señales de cualquier tipo en tiempo real. La mayoría de los sistemas de audio, video y transmisión de datos digitales usados en la actualidad, requieren algoritmos de una elevada complejidad matemática. La solución que aportan los DSP es que pueden realizar operaciones matemáticas complejas en un solo ciclo de reloj por lo que el procesado (de señales de audio, de video, etc.) es el ideal [5].

La función principal de un procesador digital de señal es la siguiente:

- La entrada es una señal analógica, ya sea audio, video, cualquier señal recibida por cable, o por otro medio.
- Convierte la señal analógica a digital para su posterior procesado.
- Procesa la representación de la señal de forma matemática.
- Se convierte la señal obtenida de digital a analógica nuevamente.
- Se da a la salida una salida analógica. De esta forma se obtiene un procesamiento en tiempo real de la representación matemática de la señal.

La diferencia principal entre un DSP y un microprocesador convencional es que el DSP es muy rápido para un tipo de operaciones concretas.

- Tiene instrucciones especiales para ellas
- Las pueden realizar de forma paralela
- Su velocidad de procesamiento es más baja que un procesador convencional, pero para las operaciones que deben realizar es suficiente.
- La velocidad de procesado en un DSP no es la característica más importante.

Aplicaciones

Se utilizan para comunicaciones mediante Modem ADS, manejo en comunicaciones entre protocolos diferentes, procesos de comunicación entrada salida para los que requieren un procesador en exclusiva.

Sus aplicaciones más importantes se dan en la telefonía móvil, en aparatos de audio y video digital, en MODEM y sistemas de comunicación. Algunos ejemplos: codificación de Huffman, utilizado en algoritmos de comunicaciones. Para la transformada discreta del coseno, utilizada en imagen y video, entre otras.

Los DSPs están diseñados, en su mayoría, para sistemas embebidos, es decir, para sistemas autónomos como teléfonos móviles, cámaras digitales, entre otros. El precio, el consumo de energía, el tamaño y la utilización de memoria son factores básicos a la hora de la comercialización.

Historia del DSP

Durante los últimos 25 años, los diferentes dispositivos se han ido desarrollando desde el primer procesador de señal programable ICs a los diseños de actuales sistemas en chip y los basados en soluciones FPGA (Full Programmable Gate Array)

Aparición del DSP mejorado

Destacan por la presencia de un segundo MAC (Mutiply, Add, Accumulate) que permite un cierto paralelismo en el cómputo. Este paralelismo se puede extender a ciertos elementos de este, permitiendo que el dispositivo realice en una sola instrucción, operaciones de múltiples datos.

El paralelismo

Existen dos principales opciones para conseguir este lanzamiento múltiple de instrucciones en los DSPs:

- Very Long Instruction Word (VLIW)
- Arquitecturas superescalares

Visión hardware / software de los sistemas embebidos.

Hardware

Normalmente un sistema embebido se trata de un módulo electrónico alojado dentro de un sistema de mayor entidad al que ayuda en la realización de tareas tales como el procesamiento de información generada por sensores, el control de determinados actuadores, etc. El núcleo de dicho módulo lo forma al menos una CPU en cualquiera de los formatos conocidos:

- Microprocesador
- Microcontrolador de 8, 16 o 32 bits.
- DSP
- Diseño a medida

El módulo o tarjeta, además puede haber sido desarrollado para satisfacer una serie de requisitos específicos de la aplicación a la que está dirigido. Entre estos están:

-Tamaño: por lo general deberá ser reducido, aunque también es posible que se desee que adopte un formato estándar: PC-104, Eurocard, etc.

-Margen de temperatura específico del ámbito de aplicación:

Gran consumo (0°C hasta 70°C)

Industrial y automoción. Márgenes de temperatura hasta 125°C

Aeroespacial

Militar

Electromedicina

-Consumo de energía: En aplicaciones en las que es necesario el empleo de baterías, se buscará minimizar este.

-Robustez mecánica: Existen aplicaciones donde los dispositivos sufren un alto nivel de vibraciones, golpes bruscos, etc. En el diseño se deberá tener en cuenta dicha posibilidad.

-Costo: No es lo mismo diseñar un producto a medida con pocas unidades que diseñar un producto para el competitivo mercado del gran consumo. La calibración de los costos es esencial y es tarea de los ingenieros de diseño.

Software

Se tendrán requisitos específicos según la aplicación. En general para el diseño de un SE no se dispone de recursos ilimitados, sino que la cantidad de memoria será escasa, la capacidad de cálculo y dispositivos externos será limitada, etc. Podemos hablar de las siguientes necesidades:

-Trabajo en tiempo real.

-Optimizar al máximo los recursos disponibles.

-Disponer de un sistema de desarrollo específico para cada familia de microprocesadores empleados.

-Programación en ensamblador, aunque en los últimos años, los fabricantes o empresas externas han mejorado la oferta de compiladores que nos permiten trabajar en lenguajes de alto nivel, tales como C.

El empleo o no de un sistema operativo determinado dependerá del sistema a desarrollar y es una de las principales decisiones que habrá que tomar en la fase de diseño del SE. Así, en el caso de decidirse por el empleo de microcontroladores y DSP, por lo general no se usará sistema operativo mientras que, si se emplea algún micro del tipo ARM, etc., sí que lo llevará. La decisión dependerá de los requisitos del sistema, tanto técnicos como económicos.

Conclusión

Los microcontroladores han permitido al ser humano realizar una gran cantidad de cosas, el hecho más importante es que el hombre llegó a la luna gracias al microcontrolador de 8 bits, actualmente se tienen dispositivos con más potencia y se pueden realizar aplicaciones muchísimo más precisas y en un tiempo muy rápido.

Los sistemas embebidos se han vuelto muy ventajosos debido a que estos, además de tener muchas aplicaciones en nuestros días, tienen una gran capacidad de hacer tareas para eficientizar los sistemas electrónicos.

Al término de la práctica se logró identificar qué es un microcontrolador y un microprocesador, el primero es un chip que contiene una CPU que se encarga de administrar el sistema, mientras que el microprocesador es un circuito integrado que encierra un sistema digital programable completo.

Fuentes bibliográficas

1. Valvano, J. (2003). *Introducción a los sistemas de microcomputadoras embebidos: SIMULACIÓN DE MOTOROLA G811 Y G812*.
2. Cienfuegos, J., & Méndez, G. (2021). Capacidades de desarrollo de sistemas embebidos en México para la industria automotriz. En *Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.* (p. 1).
3. Pinos Méndez, D. (2021). Sistemas embebidos - Monografias.com. Consultado el 16 mayo 2021, de <https://www.monografias.com/trabajos105/estado-del-arte-sistemas-embebidos/estado-del-arte-sistemas-embebidos.shtml>

4. Úbeda Miñarro, B. (2009). *Apuntes de: Sistemas embebidos - Tema 1* [libro electrónico] (pp. 2-4). Obtenido de <https://www.um.es/documents/4874468/19345367/ssee-t01.pdf/4ea71f56-2950-4c3f-acbe-e7699e490f4e>
5. *DSPs*. (2021). [libro electrónico] (p. 1). Obtenido de <http://electronicasi.com/wp-content/uploads/2013/04/dspElectronica-avanzada.pdf>