

APLICACIÓN DE UN SIMULADOR AL DESARROLLO DE PRÁCTICAS CON MICROCONTROLADORES

Juan J. Rodríguez Andina, Alfredo del Río Vázquez
Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo
Apartado de Correos Oficial, 36200 VIGO
Teléfono: (986) 812161 Fax: (986) 469547
E-mail: jjrdguez@uvigo.es

RESUMEN.- En esta comunicación se presenta el entorno de simulación del microcontrolador 8051 desarrollado en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo, se describe su aplicación a las prácticas de alumnos no especialistas en la E.T.S.I. Industriales de Vigo y se evalúa su influencia en el aprendizaje de éstos, mediante el análisis de sus resultados académicos y de los comentarios y críticas que han realizado.

1.-INTRODUCCIÓN

La metodología empleada tradicionalmente en la enseñanza de microcontroladores consiste en una formación teórica inicial, de carácter general, seguida de la descripción de uno o varios dispositivos reales. Todo ello se complementa con la realización de prácticas basadas en tarjetas de evaluación. Las principales limitaciones de este método residen tanto en la dificultad del estudio descriptivo de un microcontrolador sobre el papel como en la discontinuidad que supone el paso a la realización de prácticas.

La utilización de un simulador en la enseñanza práctica de los microcontroladores permite familiarizar al alumno con su estructura y comportamiento internos de una forma sencilla, como paso previo al desarrollo de aplicaciones *hardware* o *software* complejas [1]. Con este objetivo, en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo se ha desarrollado un entorno de simulación del microcontrolador 8051 [2] [3], denominado UVIENT51 [4].

Este entorno se ha incorporado en el curso 95/96 al programa de prácticas de Electrónica Industrial [5], correspondientes a la intensificación Electrotecnia de los estudios de Ingeniero Industrial. Debido a que la asignatura en cuestión no se dirige a futuros especialistas en Electrónica, se ha considerado adecuado dar una orientación fundamentalmente *software* a las prácticas, de forma que los alumnos aprendan a programar el microcontrolador y comprueben el efecto de las distintas instrucciones y modos de operación sobre su funcionamiento. Una vez que los alumnos se han ejercitado adecuadamente con el simulador, las prácticas se completan con el desarrollo de aplicaciones mediante una tarjeta de evaluación.

2.-DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE SIMULACIÓN

En la actualidad existen varios simuladores comerciales del microcontrolador 8051, orientados en su mayoría al desarrollo de aplicaciones [6]. Sin embargo, se ha optado por crear un

entorno de simulación propio, en lugar de utilizar alguno de los existentes, para alcanzar los siguientes objetivos:

a) Obtener un producto orientado específicamente a la enseñanza, con énfasis en los aspectos funcionales a nivel de instrucción y de periféricos.

b) Servir, en su fase de realización, como una tarea formativa para el profesorado. El desarrollo del entorno (ensamblador y simulador) proporciona un conocimiento detallado del funcionamiento del microcontrolador.

c) Posibilitar la elaboración de nuevas versiones en función de la experiencia derivada de su implantación en la docencia. La propiedad sobre el *software* permite realizar modificaciones y añadir nuevos elementos al entorno.

El entorno de simulación debe, por lo tanto, caracterizarse por la sencillez de manejo, una presentación en pantalla completa pero clara, y la ausencia de elementos protegidos por derechos de autor ajenos. El sistema desarrollado posee la estructura indicada en la Figura 1, y se ejecuta en un ordenador personal bajo el sistema operativo MSDOS.

El entorno integra el acceso a un editor del programa fuente, al ensamblador y al simulador. Dado que el sistema operativo incluye un editor de texto ASCII válido para la generación de los programas fuente (EDIT), no se ha considerado oportuno desarrollar uno propio.

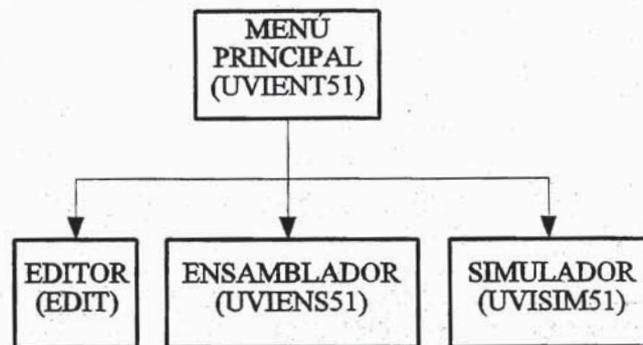


Figura 1.- Estructura del entorno de simulación desarrollado

2.1.- El ensamblador UVIENS51

Es un "mini-ensamblador" para la familia 8051 de Intel, cuya principal aplicación se encuentra en la enseñanza de microcontroladores. Genera un fichero de salida con la extensión LST y, si no encuentra errores, un fichero en formato Intel-hex, con la extensión HEX, que contiene el código objeto absoluto (no reubicable). El fichero LST permite consultar la descripción de los errores encontrados. Además, el simulador UVISIM51 utiliza este fichero para relacionar el código generado con el fichero fuente.

UVIENS51 acepta como entrada ficheros fuente en formato ASCII. No posee capacidad de macroensamblado, es decir, no permite definir ni utilizar macroinstrucciones. Además, genera directamente un código absoluto ejecutable a partir de un fichero fuente. Por lo tanto, no permite ensamblar módulos independientes y enlazarlos a continuación con un editor de enlaces (*linker*). Por todo ello, muchas de las directivas existentes en los macroensambladores comerciales carecen de sentido en UVIENS51. Solamente se definen las directivas ORG, EQU, BIT, DATA, CODE, DB y END. La sintaxis empleada en las líneas de instrucción sigue el formato utilizado por el ensamblador ASM51 de Intel [7]. UVIENS51 no realiza evaluación de expresiones en la fase de ensamblado, a excepción de la sustitución de símbolos y el cálculo de saltos relativos. Se permite el uso del símbolo \$ para hacer referencia al valor actual del contador de programa.

En definitiva, UVIENS51 cumple los objetivos mencionados anteriormente: incluye únicamente aquellas opciones que permiten al alumno desarrollar correctamente las prácticas

propuestas y permite modificaciones y mejoras en función de la experiencia, al poseer el profesorado la propiedad sobre el *software*.

El ensamblador propio puede ser sustituido por macroensambladores comerciales en combinación con utilidades de conversión a código absoluto (como, por ejemplo, OH de Intel).

2.2.- El simulador UVISIM51

Es un simulador orientado a la enseñanza de microcontroladores tanto a nivel de programación en ensamblador (*software*) como de estructura de registros (*hardware*). Entre sus objetivos no se encuentra la enseñanza de la estructura de control, o del funcionamiento interno de los buses. La sencillez de manejo y un buen grado de realismo se consideran factores primordiales para su utilización en la docencia.

Estos objetivos definen determinadas especificaciones generales de diseño. Se adopta una simulación a nivel de instrucción, en la cual el evento mínimo es la ejecución de una instrucción. Tal elección oculta la secuencia de ciclos y fases que componen la búsqueda y ejecución de cada instrucción. La Figura 2 reproduce la pantalla principal del simulador.

```

UVISIM51: SIMULADOR DEL MICROCONTROLADOR 8051 (v1.4 20/1/96)
0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 PROGRAMA: ejemplos\test
  R A M      S F R
7 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0000 020100
  4 jmp inicio
0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0100 758117
 13 inicio: mov sp,#17h
6 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0103 D288
 16 setb IT0
5 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0105 C28A
 17 clr IT1
4 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0107 900000
 18 mov dptr,#0
3 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 010A 7400
 19 mov a,#0
2 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
1 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
                                X R A M
                                0000 00 00 00 00 00 00 00 00
TCON:00:00000000:      T(us)
ACC:00:00000000: PSW:00:00000000: IE:00:00000000: TMOD:00:00000000: 0000000004
B:00:      CAFBkO-P IP:00:00000000: T0:00:00: P0:FF:11111111:
DPTR:0000 -> XRAM:00 ROM(A+DPTR):02 ROM(A+PC):D2 T1:00:00: P1:FF:11111111:
PC:0103: SP:17: PCON:00:00000000:      |pi=0| P2:FF:11111111:
SCON:00:00000000: SBUF:00:      P3:FF:11111111:

```

Figura 2.- Pantalla principal del simulador UVISIM51

UVISIM51 permite las modalidades de ejecución "paso a paso" y en "modo continuo". La primera es adecuada para el estudio de las instrucciones, mientras que la segunda permite verificar el comportamiento global de un programa. En el modo paso a paso, se visualiza en pantalla un histórico del programa, con indicación de los contenidos hexadecimales de la ROM y las correspondientes líneas del programa fuente.

En ambos modos de operación, se visualiza la evolución del contenido de registros, RAM, XRAM, puertos de E/S, nivel de la interrupción en curso, etc. Además, se presenta en pantalla un indicador de "tiempo real" que sirve como referencia en programas donde el tiempo es una variable fundamental (medida de retardos, etc.). En el modo continuo, el operador sólo puede modificar los niveles presentes en las líneas de los puertos de E/S, lo que se corresponde con

el funcionamiento del microcontrolador real.

En el prototipo actual, escrito en lenguaje C, se ha intentado optimizar la velocidad de ejecución. Si se ejecuta en un PC-486-DX2-66, simula a un 8051 con reloj de 12 MHz a una velocidad aproximadamente 1/14 de la real.

Para simplificar el manejo, se ha optado por definir un número reducido de comandos y utilizar el ratón. El simulador dispone de ayudas al operador tanto sobre su propio manejo como sobre la estructura del 8051.

3.-APLICACIÓN PRÁCTICA DEL ENTORNO DE SIMULACIÓN

La asignatura Electrónica Industrial (con una carga lectiva de cuatro horas teóricas y una práctica a la semana, durante un curso completo) es la segunda y última relacionada directamente con la Electrónica en la intensificación Electrotecnia de la E.T.S.I. Industriales de la Universidad de Vigo. Los alumnos han cursado previamente una asignatura en la que se tratan temas básicos de Electrónica Analógica, Digital y de Potencia.

En el primer cuatrimestre de Electrónica Industrial, se realiza un estudio teórico de las estructuras básicas de los microcontroladores, para centrarse posteriormente en el estudio detallado del 8051. Como complemento, se realizan cuatro prácticas, de cuatro horas de duración, cuyo contenido se describe a continuación:

- Entorno de simulación I: instrucciones de transferencia de datos, aritméticas, lógicas, binarias y de control de programa.
- Entorno de simulación II: temporizaciones e interrupciones.
- Entorno de simulación III: desarrollo de una aplicación.
- Tarjeta de evaluación: comprobación sobre el *hardware* del programa desarrollado en la práctica anterior.

Para dar una idea más concreta del contenido de las prácticas, a continuación se indica el enunciado de la parte de la primera práctica correspondiente a las estructuras de control de programa. En ella se pide escribir (y comprobar) un programa en el ensamblador del 8051 que realice las siguientes estructuras de alto nivel:

a) Estructura if-then-else mediante saltos condicionados a igualdad:

```
if p0=1 then a=0
else if p0=2 then a=1
else if p0=4 then a=2
else a=FFh
```

b) Estructura switch-case mediante jmp@a+dptr:

```
case (p0 and #3) of
0: registro_b=80h
1: registro_b=81h
2: registro_b=82h
3: registro_b=83h
endcase
```

c) Bucle for-next mediante djnz: cálculo de $p0^3$.

d) Paso de variables a subrutinas y devolución de resultados: la subrutina multiplica por 2 el valor contenido en p0, sin que se modifiquen los contenidos de éste ni del acumulador.

El interés de los alumnos hacia la asignatura y hacia las prácticas en sí se ha incrementado notablemente con respecto a años anteriores. El cuestionario acerca del entorno de simulación que los alumnos han cumplimentado al finalizar las prácticas indica su alto grado de satisfacción respecto a lo aprendido en ellas. Un dato objetivo que avala la idoneidad de la

solución adoptada se desprende de los resultados de la evaluación de conocimientos de los alumnos: el índice de aprobados ha pasado del 20% en el primer examen parcial del curso anterior a más de un 60% en el actual.

Un dato interesante para la valoración de estos resultados es el hecho de que el tiempo empleado por los distintos grupos de prácticas en la realización de cada una de ellas (excluyendo el necesario para aprender a utilizar el entorno) se redujo progresivamente, dándose la circunstancia de que el desarrollo de la aplicación "real" fue realizado por todos los grupos en un tiempo mínimo y sin cometer apenas errores.

4.-CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha presentado el entorno de simulación del microcontrolador 8051 desarrollado en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo, denominado UVIENT51, y se ha descrito y evaluado su aplicación en la realización de prácticas docentes.

El desarrollo del entorno de simulación ha sido de gran utilidad en la preparación de la docencia teórica, pues ha suscitado discusiones e intercambios de parecer entre los profesores involucrados, que han contribuido a que todos en conjunto hayan mejorado su conocimiento del 8051.

En el futuro se prevé la ampliación de los modos de operación del simulador, para que sea posible observar los sucesos que se producen dentro de cada ciclo de máquina, con el doble objetivo de mejorar la formación del profesorado y de ser utilizado en las prácticas de los futuros especialistas en Electrónica. También está en proyecto la modificación del ensamblador, de forma que permita al alumno observar cómo se realiza el proceso de ensamblado.

Por último, es importante resaltar los excelentes resultados obtenidos en la práctica, tanto en lo que se refiere a la valoración y el interés de los alumnos como a los resultados de su evaluación.

5.-REFERENCIAS

- [1] Ferreiros, J., M.A.Berrojo y E.Fenoll. "Curso de aprendizaje del microcontrolador de Intel 8051". *Actas de TAEE'94*, pp. 389-395.
- [2] Intel Corporation. "Embedded controller handbook. Volume I-8 bits". 1988.
- [3] Philips. "8051-based 8-bit microcontrollers". 1991.
- [4] Río Vázquez, A. del. "UVIENT51. Manual del usuario". Dpto. de Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo, 1995.
- [5] Rodríguez Andina, J.J. "Manual de prácticas de Electronica Industrial". Dpto. de Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo, 1995.
- [6] Avocet Systems, Inc. "AVSIM51 v1.6. Assembly-Level Simulator".
- [7] Intel Corporation. "MCS-51 Macroassembler Reference Manual". 1988.