

Z-80[®] como modelo básico de arquitectura

Juan Pérez, August Climent, Josep M^a Ribes

Dept. de Informàtica

Enginyeria i Arquitectura La Salle - Universitat Ramon Llull

08022 Barcelona

e-mail: juanp@salleURL.edu, augc@salleURL.edu, jmribes@salleURL.edu

Resumen

En este artículo se presentan diferentes formas para explicar la arquitectura de un procesador y los conceptos básicos de funcionamiento asociados a este. Se presentan diferentes alternativas con el fin de encontrar la que mayores beneficios docentes otorga.

Tras evaluar las alternativas se propone una nueva alternativa que utiliza el Z-80 como modelo simple de arquitectura, sirviendo esta como introducción a la materia impartida. En ella se describe la importancia del enfoque práctico que debe darse en concordancia con la elección realizada.

1. Introducción

Lo primero que debe hacerse es centrar el contexto en el cual se introducen los conceptos básicos de un procesador. En Ingeniería La Salle, se realiza dicha introducción en la asignatura de *Sistemas de Proceso Digital* o *Computadores I* [1] (dependiendo de la especialidad pero con temarios y enfoques idénticos, a partir de ahora nos referiremos a ella como *Computadores I*). Se trata de una asignatura común a las diferentes ingenierías que se imparten (telemática, electrónica, informática...) con un total de 10 créditos, una parte teórica y otra práctica. El alumno que cursa *Computadores I* ha realizado previamente la asignatura de *Introducción a los Ordenadores*, donde ha adquirido conocimientos básicos sobre el diseño digital y lo que es un computador. La finalidad de la asignatura es que el alumno adquiera práctica en el diseño de sistemas digitales y para ello debe adquirir los

conceptos básicos del funcionamiento de un procesador, su evolución interna y el modo de conexionado con periféricos externos.

El problema que se encuentra al introducir los conceptos de un μ Procesador es la forma de hacerlo, es decir, la metodología utilizada. Para el alumno son conceptos completamente nuevos y, muchas veces, complicados. Ello provoca que no se asimile el funcionamiento correcto de tales dispositivos. Por esta razón, la forma de introducir esta materia debe ser lo más simple posible y evitar todo aquello que pueda complicar la asimilación de conceptos.

Sin embargo, esta explicación no tiene sentido si se realiza en su totalidad de una forma teórica y genérica. Es decir, una explicación de como deberían ser todos los procesadores puede que no ayude al alumno a centrar ideas sobre los conceptos ni a tener una imagen clara de lo que estudia. Por ello, el planteamiento de cualquier modelo de enseñanza de esta asignatura debería estar marcado por un enfoque práctico sobre un modelo concreto de arquitectura, que reúna la mayoría de características básicas.

Las diferentes alternativas que se plantearán en este artículo tratarán de mejorar la actividad docente basándose en un modelo de arquitectura concreto. Así que el problema se podría reducir a dos puntos principales: la elección del modelo y el grado de enfoque práctico.

El artículo se divide en una serie de apartados que permiten exponer unas alternativas y evaluarlas en función de los criterios de la asignatura. El apartado dos de este artículo tratará de exponer las diferentes alternativas que se podrían escoger,

muchas de ellas implantadas en otros centros docentes, pero que en ningún momento se dice que sean buenas o malas, todo depende de la finalidad y enfoque que se da a la asignatura. El tercer apartado evalúa las alternativas, escogiendo una de ellas que surgirá de agrupar lo mejor de todas las propuestas. En el último apartado se plantean las conclusiones de dicha elección.

2. Las diferentes alternativas

Antes de presentar ninguna propuesta de como debería impartirse la materia de esta asignatura, se puede eliminar una de las partes del problema. El enfoque que se da a la asignatura debe ser práctico de manera que los alumnos dispongan de alguna cosa tangible. Se trata de que no solo puedan ver la evolución de las señales en el laboratorio, sino de que diseñen la interconexión con otros periféricos, según su comportamiento. Se trata de que puedan programar el sistema y funcione según lo esperado. Para ello, la parte que se dedica a las prácticas ha de ser un tiempo del 30% al 50% del total de la asignatura.

Resuelta esta parte del problema, solo queda proponer una serie de modelos y comprobar si son los más adecuados para la finalidad docente. Estos son un 8088, DLX, μ Controlador y Pentium. A continuación se describen cada una de las alternativas:

1. La primera alternativa que se puede proponer es escoger como modelo a estudiar el μ Procesador 8088 [2,4]. Se trata de un modelo sin excesivas complicaciones y simple de explicar. Es ampliamente conocido en el mercado y se asocia a sus futuras evoluciones en los ordenadores personales, lo que despierta la curiosidad de los alumnos. Como elección es bastante buena ya que sigue un modelo teórico simple con su A.L.U., su banco de registros y unidad de control. Sin embargo, tiene una pequeña cola de *pre-fetch* de cuatro instrucciones que añade una pequeña dificultad al funcionamiento básico. En cuanto al juego de instrucciones puede considerarse una máquina CISC, con instrucciones muy fáciles de seguir. Ante un modelo como este se debe centrar la explicación de los conceptos en el

modelo hardware, y en base a este introducir la arquitectura interna. El juego de instrucciones sería la última parte a explicar.

2. Una segunda alternativa sería escoger como modelo de arquitectura un DLX [3]. No hay que olvidar que el DLX es un modelo docente, creado y pensado con dicha finalidad. Por tanto, integra un gran número de elementos para ser estudiados, pensados de tal manera que se pueden intercambiar entre ellos y realizar pequeñas modificaciones a la arquitectura básica. Contiene un camino de datos y una estructura base similar a la de un 8088, con el problema añadido de que la explicación se complica con temas como la predicción de saltos o la segmentación. Ante esta situación, el método docente a utilizar es la explicación teórica y la evaluación de diferentes configuraciones de arquitecturas, pero solo para cosas muy concretas y arquitecturas muy parecidas. Las sesiones de laboratorio son difíciles (sino imposibles) de llevar a cabo y la interconexión de periféricos es demasiado ambigua. Por tanto, el diseño esquemático en sistemas reales es la parte menos fuerte de esta alternativa.
3. Si la tendencia es utilizar modelos que puedan incluirse en otros diseños junto a periféricos, la idea de utilizar como modelo un μ Controlador es muy acertada. Aquí existe un gran abanico de posibilidades, entre las que incluimos un modelo de la casa PIC [5], un ST6 o un 8051. La actualidad de estos modelos y su gran utilización en el mercado son un fuerte aspecto motivador para el alumno. Pero es cierto que de un modelo a otro existen cambios sustanciales y, que por tanto, la generalización a una arquitectura base es algo más complicada de hacer. No hay que olvidar que son μ Controladores y que ello implica un conjunto de periféricos integrados que permiten realizar operaciones sin que sean vistas por el alumno (son operaciones internas al encapsulado), como es el tema de selección de periféricos o seguimiento de las señales importantes. En esta alternativa la enseñanza debería enfocarse a mostrar el comportamiento del μ Controlador escogido, haciendo pequeñas

incursiones sobre una arquitectura más genérica, pero siempre desde un punto de vista práctico. Pocas veces la teoría será la parte fuerte de este sistema. Puede remarcarse el aspecto de diseño esquemático e interconexión con periféricos externos.

4. Como última alternativa dentro de la gama de arquitecturas a utilizar como modelo docente se podría pensar en un Pentium. Son muchos los centros que utilizan la arquitectura de un procesador Pentium[2] o un 80386 con periferia interna como base para la explicación docente. Cabe destacar que es la solución más actual de todas las propuestas hasta el momento y su posibilidad de encontrarse dicho integrado para otros diseños es un hecho indiscutible. Sin embargo, son arquitecturas que nada tienen que ver con el antiguo 8088, tanto por su complejidad como por su funcionamiento. Pentium responde a una arquitectura mixta entre RISC y CISC con instrucciones complicadas de ejecutar para un alumno que ve el tema por primera vez. A todo ello se puede añadir el que pueda arrancar en modo real o protegido, que para entenderlo el alumno necesita una serie de conceptos que son propios de una introducción a las arquitecturas. La metodología docente en este caso debería responder a dar una visión general en forma de diagrama de bloques de la arquitectura en general. En ningún caso, podría entrarse en detalle en los diferentes bloques ni esperar una asimilación total del funcionamiento, a no ser a costa de muchas horas de teoría en decremento de la parte práctica.

3. La solución escogida

3.1. Criterios de evaluación

Todas las alternativas propuestas anteriormente tienen sus ventajas y sus desventajas frente a la actividad docente. Para evaluarlas y poder escoger una de ellas, primero se definirán los criterios que se consideran importantes.

- a. El primer criterio y el más importante según nuestra opinión será que la alternativa escogida permita tener un enfoque práctico. Es decir, que la teoría explicada en una clase se vea reforzada mediante unas prácticas en laboratorio y que estas prácticas no se realicen mediante un simulador, sino con placas reales.
- b. El segundo criterio se encara a conseguir una cierta automotivación del alumno por aquello que esta haciendo. Creemos que si el alumno ve la posibilidad de utilizar aquello que aprende en otros campos o aplicaciones fuera del laboratorio, dedicará mayor tiempo al estudio. Este criterio debería verse reforzado por el hecho de que el alumno pudiera adquirir el μ Controlador o μ Procesador con facilidad para utilizarlo en diseños propios. Es decir, que pueda aprovecharse en horas de laboratorio de otras asignaturas.
- c. El tercer criterio se basa en la idea de simplificar el problema tanto como se pueda evitando complicaciones debidas a otros conceptos o variaciones de aquello que es esencial. Por esta razón, deberían escogerse las opciones que presenten modelos simples y que remarquen aquello realmente importante.

3.2. Evaluación de las alternativas

A primera vista todas las alternativas explicadas en el capítulo anterior son igual de buenas para aplicarse como método docente de una arquitectura de computadores. Sin embargo, basándose en los criterios anteriores se puede decir que no es así.

1. La primera alternativa es de las que mejor responde al tercer criterio de sencillez. El 8088 es un procesador de 8 bits (externos) con una arquitectura cerrada y muy bien definida que no usa ningún tipo de periféricos internos. Por tanto, existen pocas cosas añadidas que dificulten su estudio. Entre estas pocas cosas cabe destacar la multiplexación del bus de datos y de direcciones como dificultad a su estudio externo o la cola de *pre-fetch*. Estos puntos

no suponen grandes problemas, pero de material para laboratorio basado en

Modelo	Enfoque práctico	Laboratorio	Sencillez	Coste
8088	Medio	Medio	Medio/Alto	---
DLX	Bajo	Bajo	Medio/Alto	---
PIC, 8051	Alto	Alto	Medio/Bajo	Medio
Pentium	Alto	Medio/Alto	Bajo	Alto

Figura 1. Tabla resumen de la evaluación de las alternativas

entrando en un poco más de profundidad aparece la complejidad de los segmentos de memoria. Otro de los puntos en contra es que el arranque de placas con un 8088 es complicado. El resto de criterios se encuentran bastante más comprometidos ya que es difícil que los alumnos integren este procesador en sus diseños, es un modelo obsoleto que ya no está a la venta. Ello también dificulta la realización de placas de pruebas para trabajar en un laboratorio.

- Si el modelo escogido es un DLX, explicando la parte básica de este, sin segmentación ni predicción de saltos, es un buen modelo. Incluso es un modelo mejor que el 8088, satisface completamente el tercer criterio de evaluación. Sin embargo, no cumple con el segundo criterio ni en una pequeña parte. El DLX, como modelo docente que es, nunca se llegó a implementar y por tanto nunca se podrán conseguir piezas del procesador para integrarlas en diseños propios. En cuanto a dar un enfoque práctico es otra parte difícil, solo pueden existir placas con dispositivos programables que simulen el comportamiento teórico. Esta sería una solución a la realización de prácticas para comprobar el comportamiento externo del procesador, sin embargo, sería deseable el poder evitarlo. En general, la solución es mejor que la anterior si se asume que es un procesador nunca implementado, gracias a la sencillez que puede tener.
- La tercera opción, se podría decir que es la más práctica de todas las expuestas. Resultaría muy fácil y rápido crear una serie

cualquiera de los μ Controladores comentados. Además, se cuenta con la existencia de emuladores, ensambladores, placas de evaluación y otros materiales que ayudan a trabajar con dichos controladores. Se pueden diseñar placas de evaluación a medida, con puntos de acceso a las señales importantes y crear bancos de pruebas que muestren ciertos comportamientos a estudiar. Por otro lado, al tratarse de controladores actuales, existe todo tipo de información facilitada por el fabricante, así como la posibilidad de adquirir piezas e incluirlas en diseños del alumno. No hay que olvidar que este punto es importante ya que ayuda a despertar la curiosidad e interés del alumno. Sin embargo, al incorporar un conjunto de periféricos internos gran parte del comportamiento queda oculto en un bus interno y no se muestra externamente con lo que se pierde la idea del funcionamiento que está llevando a cabo. En este caso, el alumno no puede asociar las ideas de la arquitectura interna con el movimiento de las señales externas. El tercer criterio de evaluación se satisface en menor grado aun, ya que se suele tratar de núcleos de arquitecturas sencillas pero modificadas para trabajar directamente con los periféricos internos, lo que añade complicación al sistema a estudiar. Esta alternativa sería muy buena para una asignatura dedicada exclusivamente al aprendizaje del diseño lógico, sin embargo, para explicar los conceptos básicos de arquitecturas por primera vez no es la mejor opción.

4. La última opción, la elección de un procesador Pentium como modelo, se podría considerar como la menos adecuada (para lo que se pretende en esta asignatura). Es cierto que a nivel de obtención de material de laboratorio no existiría el más mínimo problema, pero a nivel de costes de dicho material la diferencia con el resto de soluciones es muy grande. La complejidad del modelo de arquitectura utilizado hace pensar que el tercer criterio de evaluación no sea satisfeco a no ser que la explicación quede en pequeños diagramas de bloques, sin explicaciones en detalle. Esto puede provocar una explicación insuficiente de las señales externas del procesador, lo que implica lagunas en la explicación de qué tipo de periféricos se pueden conectar y como deben conectarse. De la misma manera, implica pedir al alumno que realice muchos actos de fe en el comportamiento de todos los bloques en conjunto. En definitiva, se trata de un modelo muy actual que llama la atención al alumno, sin embargo, se descartaría como primer modelo de arquitectura dada su complejidad.

En la figura 1 se puede observar una tabla resumen de la evaluación de las diferentes alternativas con respecto a los criterios utilizados.

3.3. La solución

Como hemos podido ver cada una de las alternativas anteriores tiene puntos fuertes en unos criterios y débiles en otros criterios. Lo ideal según lo visto, sería un procesador que se encuentre en el mercado, que sea de una arquitectura sencilla y que realice todo externamente. En este caso existe un procesador que cumple con tales características, es el Z-80.

Por tanto, la alternativa que se escoge no es ninguna de las anteriores. Si se evalúa la elección de un Z-80, se puede observar que el tercer criterio de evaluación se cumple perfectamente ya que la arquitectura es muy sencilla. Si se compara con la opción de arquitectura más sencilla, con el DLX, se observa que son muy similares ya que no hay multiplexación de datos y direcciones, un

banco de registros sencillo y sin periféricos internos.

El Z-80 es un procesador que puede incluirse en cualquier diseño fuera de un laboratorio ya que puede encontrarse en el mercado a un precio muy razonable y en un plazo de tiempo corto. Hay que remarcar que el coste es muy reducido, y más en comparación con las otras opciones. Por tanto, el alumno tiene completa libertad para diseñar con este modelo. A ello se debe añadir una serie de periféricos externos, programas de simulación, ensambladores y otras herramientas que permiten facilitar dicha tarea. El único problema que puede encontrarse en esta situación es que el Z-80 empieza a catalogarse como obsoleto en los diseños reales. Y ello se traduce en una mala imagen para los alumnos.

El primer criterio de dar un enfoque práctico a la asignatura se puede cumplir creando una serie de materiales de laboratorio con el diseño de placas. En el caso de esta asignatura se ha diseñado una placa basada en el Z-80 que permite al alumno cargar sus propios programas y conectar una serie de periféricos y evaluar el funcionamiento.

La experiencia docente con este modelo y estas placas de evaluación es buena en cuanto a la finalidad que se pretende conseguir a nivel de conocimientos. La parte práctica pocas veces da problemas y el tiempo que tardan los alumnos en empezar a trabajar con un Z-80 es muy corto. La única parte negativa que se puede encontrar es que no existen demasiadas herramientas software de apoyo a la docencia.

4. Conclusiones

Se puede observar que en función del enfoque que se quiera dar a una asignatura, el modelo que se debe escoger es diferente.

La asignatura que prefiera un enfoque teórico para sentar una buena base para futuras asignaturas relacionadas con el tema escogerá un modelo más teórico y con suficiente flexibilidad como para añadir nuevas partes y modificar otras. Será el caso de un modelo DLX.

La asignatura que sea práctica y dirigida más al diseño de sistemas digitales que al estudio de la arquitectura interna de un computador escogerá un μ Controlador y se dedicará a realizar diseños. Sin embargo, debe tenerse muy claro que muchos de los accesos a periféricos no serán detectados por el alumno y que la arquitectura que se explique será algo particular y no genérica.

Si la finalidad de la asignatura es ver algo actual y atractivo se decantará por un Pentium. Pero en estos casos la asignatura debe ser poco más que divulgativa o tener un gran número de horas para explicar todo lo que contiene este procesador.

Pero si se quiere un equilibrio entre los conceptos teóricos y la práctica en laboratorio, así como el diseño de sistemas, solo quedan las opciones de un 8088 o un Z-80. Este último tiene la ventaja de encontrarse en el mercado y tener un precio asequible.

Sin embargo, la opción de un Z-80 no es perfecta. Presenta una serie de problemas, entre ellos:

- La tendencia del mercado es abandonar los diseños con Z-80, debido a su bajo nivel de integración (en comparación con otros μ Controladores de igual precio).
- Z-80 es un procesador poco atractivo ya que ha perdido la actualidad y, por tanto, el alumno preferiría algo más actual.
- La mayoría de fabricantes empiezan a abandonar el soporte técnico de este procesador y sus periféricos, así como las herramientas software utilizadas.

Como conclusión final se puede decir que escoger un Z-80 es la mejor opción, pero solo como algo temporal. Se debe buscar un modelo que sea actual. Sin embargo, la tendencia del mercado es integrar procesador y periféricos y mejorar las arquitecturas para aumentar el rendimiento. Eso contrasta con la finalidad de tener una arquitectura sencilla para introducir al alumno y un material de laboratorio que se pueda seguir con facilidad.

Si este futuro modelo no aparece, una de las posibilidades sería implementar una arquitectura sencilla, basada en un modelo actual y conocido,

en dispositivos programables. Ello facilita la explicación y el material de laboratorio e introduce al alumno en algunas de las partes de un modelo de procesador del mercado.

Referencias

- [1] August Climent. *Introducció al Disseny Digital*. Enginyeria i Arquitectura La Salle, 1999.
- [2] James L. Antonakos. *An Introduction to the Intel Family of Microprocessors*. Prentice Hall, Second Edition, 1996
- [3] John L. Hennessy -David A. Patterson. *Arquitectura de Computadores - Un enfoque cuantitativo*. McGrawHill, 1993
- [4] *Microprocessor and Peripheral Handbook*. Volume I Microprocessor, 1988.
- [5] *Pic 16/17 Microcontroller Data Book*. MicroChip, 1996-1997.