

Módulo 08

La Arquitectura von Neumann (Pt. 1)



Organización de Computadoras
Depto. Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur



Copyright

- Copyright © 2011-2023 A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, Versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos de cubierta delantera o trasera
- Una copia de esta licencia está siempre disponible en la página <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- La versión transparente de este documento puede ser obtenida de la siguiente dirección:

<http://cs.uns.edu.ar/~ags/teaching>

Contenidos

- Organización multinivel
- Concepto de máquina virtual
- Niveles en una máquina contemporánea
- Evolución histórica de los niveles
- Tecnologías de memoria principal
- Organización del procesador
- Arquitecturas de n-direcciones
- Subsistema de Entrada/Salida

¿Qué hay ahí adentro?

Organización en capas

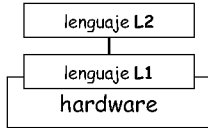
- Una computadora es una máquina que puede resolver problemas ejecutando las instrucciones que le van siendo indicadas
 - La secuencia de instrucciones que describen cómo hacer una cierta tarea se denomina programa
 - El conjunto de instrucciones que puede ejecutar un cierto procesador constituye su lenguaje máquina
 - El lenguaje coloquial empleado por las personas difiere considerablemente del lenguaje máquina

Organización en capas

- Programar una computadora implica que las personas logren “hablar” con las máquinas
- ¿Cómo podemos reconciliar estos lenguajes tan diferentes?
 - Una posibilidad es hacer uso de una jerarquía de niveles en los que cada uno de éstos haga uso de un lenguaje con un mayor nivel de abstracción
 - La idea es que a medida que ascendamos en la jerarquía el lenguaje se vaya alejando de la máquina y al mismo tiempo acercando a nosotros

Visión multinivel

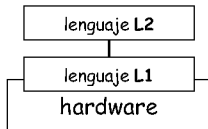
- El contar con múltiples niveles permite crear nuevas máquinas sobre un mismo hardware:



- L1 estará compuesto de aquellas primitivas de uso conveniente
- Esto permite implementaciones flexibles, ya que independiza a la máquina del hardware subyacente

Visión multinivel (cont)

- El contar con múltiples niveles permite crear nuevas máquinas sobre un mismo hardware:



- L2 estará más próximo a los algoritmos que se quieren implementar
- Esto facilita la programación y también posibilita la resolución de problemas más complejos

Vinculación entre los niveles

- Existen esencialmente dos mecanismos que nos permiten vincular a los niveles entre sí:

- Traducción: la traducción consiste en tomar un programa escrito en un cierto lenguaje para transformarlo en una secuencia de instrucciones equivalente de un lenguaje de nivel inferior
- Interpretación: la interpretación consiste en tomar instrucción por instrucción de un cierto lenguaje para ir transformándolas en tiempo de ejecución en un conjunto de instrucciones equivalente del lenguaje de nivel inferior

Mecanismo de traducción

- Características del mecanismo de traducción:
 - El programa que se utiliza para llevar adelante la traducción se denomina compilador y está compuesto de instrucciones del nivel inferior
 - El programa original de nivel superior sólo se utiliza durante la traducción
 - Luego, la computadora se desentiende de este programa ya que en tiempo de ejecución sólo accederá al nuevo programa de nivel inferior

Mecanismo de interpretación

- Características del mecanismo de interpretación:
 - El programa que se utiliza para llevar adelante la traducción se denomina intérprete y también está compuesto de instrucciones del nivel inferior
 - En contraste, este mecanismo no genera un nuevo programa en el nivel inferior, ya que la conversión se hace dinámicamente en tiempo de ejecución
 - Por esta razón, se debe conservar el programa original de nivel superior hasta el tiempo de ejecución, puesto que recién ahí se lleva adelante la conversión

Concepto de máquina virtual

- Más que pensar en términos de compilación o de interpretación para vincular las distintas capas entre sí, es conveniente abstraerse completamente de las capas inferiores
 - La idea es imaginar que existe una máquina virtual que directamente ejecuta las instrucciones de ese nivel superior
 - El lenguaje de ese nivel superior se convierte en un nuevo lenguaje máquina, en esta ocasión de una máquina virtual

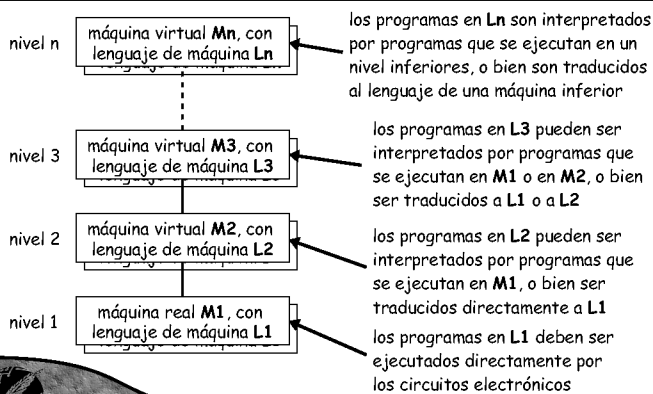
Relación entre niveles

- Con el objeto de que la traducción y/o la interpretación resulten viables y eficientes es esencial que los niveles adyacentes no difieran en gran medida
 - Recordemos nuestro objetivo inicial, cada nuevo nivel tiene por objeto acercarnos más a los usuarios
 - En principio podemos ir incorporando nuevas capas, cada una con su respectivo lenguaje máquina, hasta que alcancemos un nivel cuyo lenguaje resulte satisfactorio, es decir, lo suficientemente próximo a los usuarios del sistema

Lenguajes vs. máquinas

- En cada nivel de esta organización en capas se identifican dos componentes principales:
 - La máquina (virtual o no), caracterizada por el conjunto de instrucciones que puede ejecutar
 - El lenguaje, caracterizado por las facilidades a disposición del programador en ese nivel
- Obsérvese que una máquina determina a su lenguaje de la misma manera que un lenguaje determina a su máquina

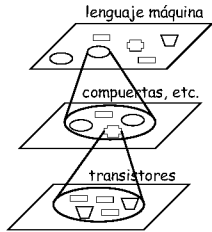
Organización multinivel



Organización multinivel

- Recordemos que esta organización multinivel permite atacar el complicado problema de relacionar humanos con computadoras de una manera paulatina

- La idea es que cada capa se construya con las capacidades provistas por la capa inferior
- A su vez, cada capa proveerá de mayores capacidades a las capas superiores



Máquinas contemporáneas

- La organización multinivel de una máquina contemporánea se compone de dos o más niveles
 - Más aun, es posible que en función de las nuevas tecnologías abarque hasta seis o incluso más niveles
- Nuestro repaso de los distintos niveles que usualmente componen estas máquinas comienza a nivel del hardware
 - Un electrónico o un físico estaría en condiciones de concebir incluso varias capas adicionales por debajo

Máquinas contemporáneas

- Nivel 0 (la máquina real, no virtual):
 - Este es el nivel de corte de nuestro análisis, por debajo existen otros niveles cuyo estudio en detalle corresponde a otras ramas de la ciencia
 - Está compuesto del conjunto de compuertas lógicas que implementa cada uno de las unidades funcionales que conforman la computadora
 - Cabe destacar que se construye usando componentes analógicos los cuales, sin embargo, terminan evidenciando un comportamiento digital

Máquinas contemporáneas

● Nivel 1 (microprogramación):

- Es el verdadero lenguaje máquina, pues en el nivel anterior no existe el concepto de programa como una secuencia de instrucciones a ser ejecutadas
- En este nivel corre un programa denominado microprograma el cual es capaz de interpretar las instrucciones del nivel 2
- Puede tener más de un intérprete corriendo en este nivel; naturalmente cada uno definirá un nuevo lenguaje de nivel 2 junto con su correspondiente máquina virtual

Microprogramación

- Recordemos que la microprogramación aparece como alternativa al hacer uso de la ley de equivalencia entre **HW** y **SW**
- Es decir, en este nivel es posible optar por ejecutar directamente en hardware las instrucciones más simples y resolver vía software las más complejas
- La idea de los diseñadores del sistema era alcanzar un adecuado balance entre costo y desempeño

Microprogramación

- A su vez, hay que considerar que la técnica de microprogramación floreció en la época en la que la memoria principal era muy lenta
 - En ese contexto contar con un set de instrucciones complejo permitía generar programas más compactos y con menor requerimiento de ancho de banda
 - Este tipo de arquitectura se denomina justamente Complex Instruction Set Computer (**CISC**)
 - La familia Intel **x86** es posiblemente el ejemplo más conocido de arquitectura **CISC**

Microprogramación

- La utilidad de la microprogramación empezó a ceder de la mano de dos avances:
 - Inicialmente el crecimiento exponencial de la cantidad de transistores disponibles permitió implementar en hardware más y más funcionalidad del nivel 2
 - Naturalmente el mayor impacto vino de la mano de la mejora en el desempeño de la memoria principal
- En la actualidad se opta por simplificar el set de instrucciones, dando a lugar a lo que hoy en día se conoce como arquitecturas **RISC**

Organización de Computadoras - Mg. A. G. Stankevicius - 22

Máquinas contemporáneas

- Nivel 2 (máquina convencional):
 - Este es el primer nivel al alcance del programador, más allá de que el verdadero lenguaje máquina sea el provisto por el nivel inmediato inferior
 - Es posible que un mismo **HW** soporte múltiples máquinas convencionales (a través de múltiples intérpretes corriendo en el nivel anterior)
 - En las computadoras de tipo **RISC** se ejecutan las instrucciones de este nivel directamente en **HW**, es decir, no cuentan con la capa de microprogramación

Organización de Computadoras - Mg. A. G. Stankevicius - 23

Máquinas contemporáneas

- Nivel 3 (sistema operativo):
 - Se trata de un nivel híbrido, gran cantidad de las instrucciones de este nivel son las mismas que las del nivel inmediato inferior
 - Existen muchas más variantes de máquinas en este nivel que en los niveles anteriores
 - Las nuevas facilidades provistas por este nivel fueron incorporadas por un intérprete llamado sistema operativos por razones históricas como veremos
 - En este nivel aparece la posibilidad de correr dos o más programas en simultáneo

Organización de Computadoras - Mg. A. G. Stankevicius - 24

Máquinas contemporáneas

- Existe una separación fundamental entre los niveles 3 y 4:
 - A diferencia de los niveles superiores, los niveles 1, 2 y 3 no fueron diseñados para ser usados directamente por el programador de aplicaciones
 - Los primeros tres niveles tiene por objeto sustentar a los intérpretes necesarios para que las máquinas virtuales de nivel superior funcionen correctamente
 - Los encargados de implementar estos programas se denominan programadores de sistema

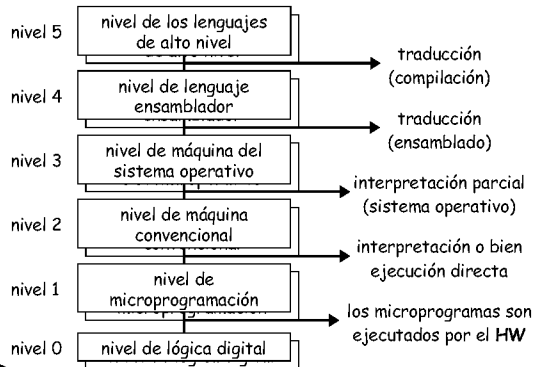
Máquinas contemporáneas

- Nivel 4 (lenguaje ensamblador):
 - Este es el primer nivel en donde se hace uso de los programas traductores
 - Por otra parte, es el primer nivel que cuenta con un lenguaje simbólico (los niveles inferiores sólo cuentan con un lenguaje numérico, compuesto de 1s y 0s)
 - Esta cambio hace que el nivel 4 sea el primer nivel inteligible por las personas
 - El programa encargado de traducir los programas de este nivel se denomina ensamblador

Máquinas contemporáneas

- Nivel 5 (lenguajes de alto nivel):
 - Este nivel está compuesto por los distintos lenguajes de programación de alto nivel, tales como **Java**, **Pascal** y **C** entre otros
 - Nótese que, como es usual, cada lenguaje define una máquina virtual diferente para este nivel
 - Los programas escritos en estos lenguajes suelen ser traducidos a instrucciones de los niveles 3 o 4 mediante compiladores, si bien también existen algunos lenguajes de programación que son directamente interpretados

Síntesis



Ejemplo

- A manera de ilustración de las diferencias entre los lenguajes de las distintas capas, analicemos el siguiente problema:
 - Se desea mostrar por pantalla la suma de los cuadrados de los primeros 100 naturales
- Supongamos que el lenguaje del nivel 5 es el lenguaje **C**, y que la arquitectura de los niveles inferiores es la **MIPS**
 - **MIPS** fue la primer arquitectura **RISC**

Ejemplo

- El programa de nivel 5 para resolver este problema podría ser:

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
    int i, sum = 0;
    for (i=0; i<=100; i++)
        sum += i * i ;
    printf("The sum from 0..100 is %d\n", sum);
}
```

Ejemplo

- Este mismo programa expresado en el lenguaje del nivel 4 resulta:

```
.text
.align 2
.global main

main:
    subu $fp, $sp, 32
    sw   $ra, 20($sp)
    sd   $a0, 32($sp)
    sw   $0, 24($sp)
    sw   $0, 28($sp)

loop:
    lw   $t6, 28($sp)
    mul  $t7, $t6, $t6
    lw   $t8, 24($sp)
    addu $t9, $t6, $t7
    sw   $t9, 24($sp)
    addu $t0, $t6, 1
    sw   $t0, 28($sp)
    ble  $t0, 100, loop
    la   $a0, $t9
    lw   $a1, 24($sp)
    jal  printf
    move $v0, $0
    lw   $ra, 20($sp)
    addu $sp, $sp, 32
    jr   $ra

.data
.align 0
str: .asciz "The sum from 0 ... 100 is %d\n"
```

Ejemplo

- Finalmente, expresado en el lenguaje propio del nivel 2 resulta:

```
00100111011101111111111111100000
10101111011111000000000010100
101011110100100000000000100000
101011110100101000000000100100
10101111010000000000000011000
101011110100000000000000001100
100011110101110000000000001100
00000001100110000000000011001
0010010110010000000000000001
00100100000001000000001100101
10101111010100000000000001100
000000000000001110000010010
0000001000011111001000010001
00010100001000011111111110111
1010111101100100000000011000
0011100000010000100000000000
10001111010010100000000001100
000011000010000000001101100
0010010010001000001000110000
100011110111100000000010100
0010011101110100000000100000
000000111100000000000001000
00000000000000000010000010001
```



Evolución histórica

- Las primeras computadoras allá por la década del '40 sólo contaban con dos niveles:
 - El nivel de la máquina convencional donde se realizaba la programación
 - El nivel de la lógica digital donde eran ejecutados los programas
- No había manera alguna de que la computación en estos términos se tornara masiva
 - ¡Los programadores eran en ocasiones los propios constructores de la computadora!

Evolución histórica

- En **1951** Maurice Wilkes propuso una arquitectura con tres niveles, con el objetivo de simplificar el hardware del nivel inferior
 - Wilkes en esencia inventó la microprogramación
 - Esta simplificación a nivel de **HW** se logra en virtud de que el repertorio de las microinstrucciones es menor que el de las instrucciones a nivel de la máquina convencional
 - En esa época las computadoras todavía se construían con válvulas, por lo que esta simplificación a nivel de **HW** implicaba un cuantioso ahorro

Evolución histórica

- La década del '**50** también se caracteriza por el desarrollo de los primeros lenguajes de programación:
 - Los lenguajes ensamblador de las distintas computadoras de la época (tales como la **EDVAC**, la primera computadora de programa almacenado)
 - Los lenguajes de programación imperativos **Fortran** (1957) y **Cobol** (1959) así como el lenguaje de programación funcional **Lisp** (1958) fueron diseñados e implementados a lo largo de esa década

Evolución histórica

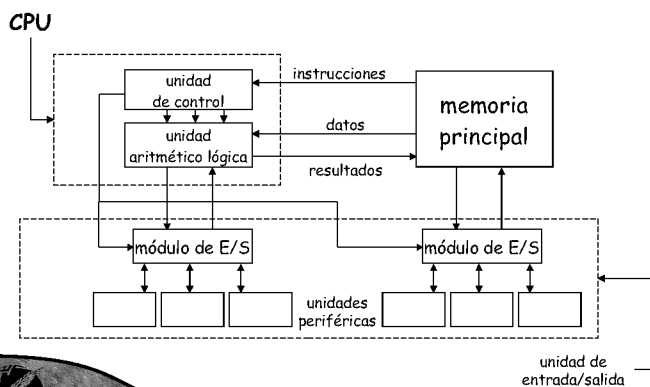
- Alrededor de la década del '**60** se intentó automatizar las repetitivas tareas que tenían que llevar a cabo los operadores
 - Recordemos lo enrevesado que resultaba ejecutar un programa escrito en alguno de estos lenguajes de programación en la época de las tarjetas perforadas y de las cintas de carrete abierto
 - Un programa llamado sistema operativo cuyo propósito era asistir al operador se mantenía en ejecución todo el tiempo

Evolución histórica

- Continúa:

- Recordemos también que el lenguaje de este nuevo nivel es híbrido, está compuesto mayormente por las instrucciones del nivel inmediato inferior y sólo una pocas nuevas instrucciones propias
- Las nuevas instrucciones se conocían como macros al sistema operativo o también llamadas al supervisor
- Un importante avance que incorporaron los sistemas operativos fue posibilitar el compartir el **HW** entre múltiples usuarios en simultáneo, dando a lugar a lo que se conoce como sistemas de tiempo compartido

Arquitectura von Neumann



Memoria

- En el modelo sugerido por la arquitectura von Neumann, la memoria principal es utilizada para almacenar tanto programas como datos
- La memoria se clasifica en función de distintos aspectos:
 - Por la forma de acceso
 - Por la forma de retención de los datos
 - Por el grado de persistencia de la información

Tipos de memoria

● Por la forma de acceso:

- **Memoria de acceso secuencial:** este tipo de memoria estipula que los datos en ella almacenados deben ser accedidos en un determinado orden secuencial
- **Memoria de acceso aleatorio:** esta es la memoria convencional, en la cual no existe restricción alguna en el orden en el cual se deban acceder los datos en ella almacenados
- **Memoria de acceso por contenido:** esta memoria, denominada asociativa, se caracteriza por ser capaz de resolver búsquedas por contenido

Tipos de memoria

● Por la forma de retención de los datos:

- **Memoria estática:** en este tipo de memoria una vez almacenado un dato el mismo queda retenido sin ser alterado hasta que vuelva a ser modificado. Logra este comportamiento insumiendo mayor cantidad de componentes por cada celda
- **Memoria dinámica:** en este tipo de memoria los datos son retenidos por breves intervalos de tiempo. Es decir, el sistema debe leer y volver a escribir cada locación de memoria antes de que se pierda su contenido. El beneficio es que insume una menor cantidad de componentes por cada celda

Tipos de memoria

● Por el grado de permanencia de la información:

- **Volátiles:** en este tipo de memoria la información almacenada se pierde en el mismo instante que se corte el suministro de corriente eléctrica
- **No volátiles:** en este tipo de memoria la información almacenada persiste en el tiempo, más allá de que se disponga o no de una fuente ininterrumpida de alimentación

Tecnologías de memoria

• Tecnologías para la memoria principal:

- Memoria **RAM** (Random Access Memory)
- Memoria **ROM** (Read-Only Memory)
- Memoria **PROM** (Programmable **ROM**)
- Memoria **EPROM** (Erasable **PROM**)
- Memoria **EEPROM** (Electrically Erasable **PROM**)
- Memoria **MRAM** (Magnetoresistively **RAM**)
- Memoria estilo **FLASH**

Bard, ¡proceda!

¿Cuál es el estado de la tecnología de memoria magnetoresistiva?

Ver otras diapos. ▾

La tecnología de memoria magnetoresistiva (MRAM) está en constante desarrollo, pero todavía se necesitan las mejoras necesarias para su adopción generalizada. El desafío es hacerla más rápida, más pequeña y más eficiente, y se espera que la MRAM se convierta en una alternativa viable a las memorias Flash y DRAM en futuro.

Ventajas de la MRAM

- **Mayor velocidad:** La MRAM ofrece una serie de ventajas sobre las memorias Flash y DRAM, entre las que se incluyen:
 - **Mayor velocidad:** La MRAM no requiere el tiempo necesario para acceder a los datos almacenados, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren un acceso constante a los datos, como los sistemas de control y el firmware.
 - **Mayor densidad:** La MRAM es tan rápida como la DRAM, lo que la hace adecuada para aplicaciones que requieren un acceso rápido a los datos, como los juegos y los gráficos de alta resolución.
 - **Mayor vida útil:** La MRAM tiene un potencial de densidad mucho mayor que la DRAM, lo que la hace adecuada para aplicaciones que requieren grandes cantidades de almacenamiento, como los centros de datos y los sistemas de almacenamiento masivo.

Desafíos de la MRAM

La tecnología de memoria magnetoresistiva todavía enfrenta algunos desafíos, y se necesitan más investigación y desarrollo para hacerla competitiva con las tecnologías existentes. Entre los desafíos se incluyen:

- **Coste:** La fabricación de MRAM es actualmente más costosa que la de las memorias Flash y DRAM.
- **Consumo energético:** La MRAM consume más energía que las memorias Flash y DRAM.
- **Compatibilidad:** La MRAM no es compatible con todas las tecnologías existentes, lo que requiere el desarrollo de nuevas interfaces y aplicaciones.

Estado actual

En 2020, la MRAM todavía se encuentra en fase de desarrollo. Las principales fabricantes de semiconductores, como Samsung, Intel y Micron, están trabajando en la comercialización de MRAM, y se espera que la tecnología se comercialice en los próximos años.

Aplicaciones potenciales

La MRAM tiene el potencial de ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- **Sistemas operativos y firmware:** La MRAM es ideal para almacenar el código y los datos del sistema operativo y del firmware, ya que es no volátil y rápida.
- **Juegos y aplicaciones multimedia:** La MRAM es adecuada para almacenar los datos de los juegos y las aplicaciones multimedia, ya que es rápida y tiene una alta densidad.
- **Centros de datos y sistemas de almacenamiento masivo:** La MRAM es adecuada para almacenar grandes cantidades de datos, porque tiene un alto potencial de densidad.

Conclusiones

La tecnología de memoria magnetoresistiva tiene un potencial de revolucionar el almacenamiento de datos. Sin embargo, aún quedan algunos desafíos que deben ser abordados antes de que la MRAM pueda convertirse en una tecnología dominante. En los próximos años, se espera que la MRAM se desarrolle rápidamente y se convierta en una alternativa viable a las memorias Flash y DRAM.

¿Preguntas?
