

UT 1. Introducción a la Arquitectura de Computadores

Tema 1.1 Concepto de Arquitectura de Computadores

J. Flich, P. López, V. Lorente,
A. Pérez, S. Petit, J.C. Ruiz, S. Sáez, J. Sahuquillo

Departamento de Informática de Sistemas y Computadores
Universitat Politècnica de València



Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

Bibliografía

 John L. Hennessy and David A. Patterson.

Computer Architecture, Sixth Edition: A Quantitative Approach.
Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 6
edition, 2018.

Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

1. Concepto de arquitectura

La arquitectura de un computador define su *hardware*, distinguiendo entre:

Juego de instrucciones (ISA, *Instruction Set Architecture*): Define lo que las instrucciones de la máquina ofrecen al programador (operaciones, tipo y número de operandos, modos de direccionamiento, etc.)

Organización del procesador: Describe los elementos lógicos que permiten ejecutar las instrucciones: registros, decodificadores, operadores aritmético-lógicos, interfase con las memorias, etc.

Tecnología base: Establece la realización del dispositivo en forma de transistores, conexiones, etc.

Estos tres niveles no son independientes, con lo que las decisiones tomadas en cada uno de ellos pueden influir sobre el diseño del resto.

1. Concepto de arquitectura

La tarea del Ingeniero de Computadores

Partiendo de unos requisitos establecidos y teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas, energéticas y de coste existentes → realizar el mejor diseño → necesidad de cuantificar las prestaciones, el coste y otros atributos de la máquina para poder comparar alternativas de diseño

Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

2. Los requisitos de un computador

Para diseñar un computador, el arquitecto considera distintos tipos de requisitos, como por ejemplo:

- La clase de computador que se precisa y su propósito (pc, solución empotrada y/o móvil, servidor, etc.) [▶ ir](#)
- El nivel de compatibilidad necesario

Código fuente	necesidad de recompilar el software
---------------	-------------------------------------

Binario	ISA definido → no se necesita software nuevo
---------	--

- El sistema operativo a utilizar

Espacio direccionamiento	Limita el tamaño de las aplicaciones
--------------------------	--------------------------------------

Gestión de memoria	Paginación, segmentación, ...
--------------------	-------------------------------

Gestión de procesos	Soporte multitarea
---------------------	--------------------

2. Los requisitos de un computador

■ Estándares existentes en el mercado

Coma flotante	IEEE 754
E/S	SATA, SCSI, PCI, PCI Express...
Sistema operativo	Linux, Windows, Mac OSX...
Redes	Soporte de Ethernet, InfiniBand...
Lenguajes	C, C++, Java, FORTRAN, ...

Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste**
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

3. Tecnología, consumo y coste

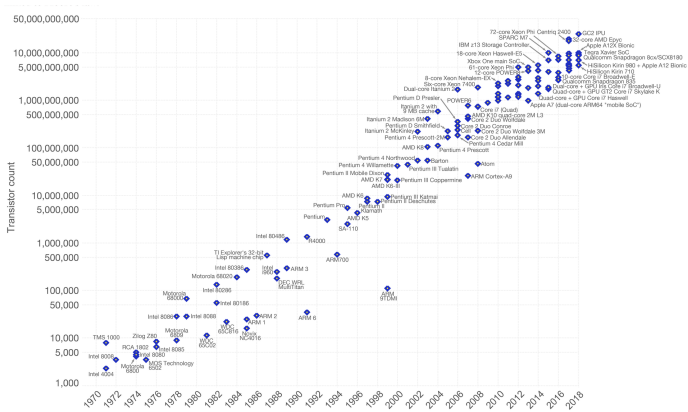
El trabajo del diseñador debe tener en cuenta:

- La tecnología disponible
- El consumo y disipación de calor
- Coste

3. Tecnología, consumo y coste

Tecnología de los circuitos integrados: La Ley de Moore

El nº de transistores por chip crece exponencialmente a lo largo del tiempo → se duplica cada 18 meses aproximadamente

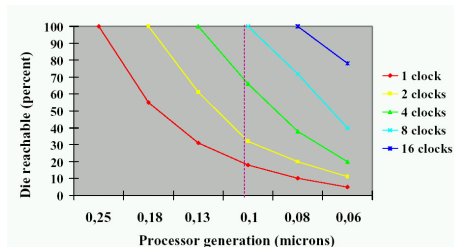
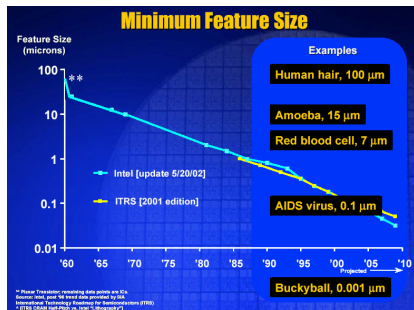


Tendencia difícilmente sostenible (ver [DARPA ERI Summit 2018](#)).

3. Tecnología, consumo y coste

Influencia del tamaño del transistor (*Feature size*)

- El nº de transistores crece cuadráticamente con la reducción del tamaño de transistor, y su velocidad lo crece linealmente.
- La fracción de chip accesible en un ciclo de reloj se va reduciendo a medida que se reduce el tamaño del transistor: 100 % del chip en un ciclo con $0.25\mu\text{m}$ a 5 % con $0.06\mu\text{m}$.



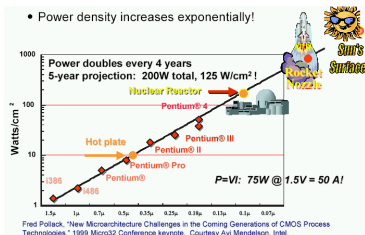
3. Tecnología, consumo y coste

Consumo y disipación de calor

Potencia por transistor = $Pot_{dinamica} + Pot_{estatica}$ (hay que reducirla)

- $Pot_{dinamica} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \cdot f \rightarrow$ proporcional a la frecuencia
 - Existe poco margen de mejora en lo relativo a la reducción del voltaje que ha pasado de 12 V a los 0.7 V actuales.
- $Pot_{estatica} = I_{fuga} \cdot V.$
 - A menor tamaño de transistor, $\uparrow I_{fuga}$
 - A mayor número de transistores, mayor contribución de la $Pot_{estatica}$.

El aumento del número de transistores y de la frecuencia predomina sobre la reducción debida a la tensión y capacidad \rightarrow De 0.01 W en los primeros microprocesadores a cerca de 130 W en un Itanium2.



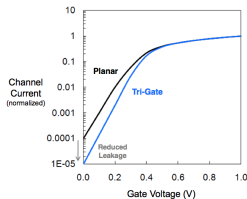
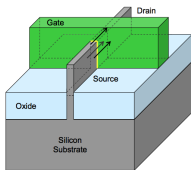
3. Tecnología, consumo y coste

Consumo y disipación de calor (cont.)

Implicaciones:

- Distribución de la corriente al microprocesador mediante cientos de patillas para la alimentación.
- Evacuación del calor generado.
- Desarrollo de nuevos materiales para reducir la corriente de fuga. Mejora del dieléctrico (*high-k* o *Tri-Gate* de Intel).

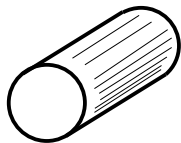
Ejemplo: Transistor *Tri-Gate*



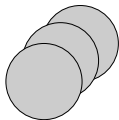
3. Tecnología, consumo y coste

Coste

■ Coste de un circuito integrado.



BARRA DE SILICIO



OBLEA



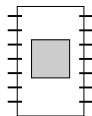
DADOS



DADO
(defectos)



DADO



CIRCUITO INTEGRADO

Coste final $\approx f$ (superficie dado⁴)

Superficie dado = f (complejidad del diseño)

3. Tecnología, consumo y coste

Coste (cont.)

- Factores que disminuyen el coste de los componentes:

Curva de aprendizaje: El coste de un componente disminuye con el tiempo, al aumentar la productividad (disminuir la tasa de componentes defectuosos).

Volumen de ventas: Duplicar el volumen de ventas disminuye un 10 % el coste.

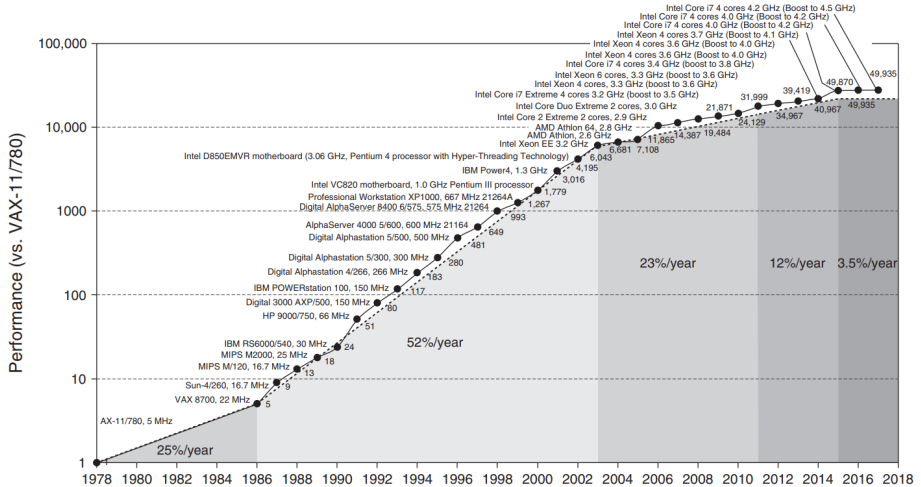
- Costes de diseño

- El coste de una fábrica es inversamente proporcional al *feature size*.
- El tamaño del equipo de diseñadores es inversamente proporcional al *feature size*: de 3 personas en el Intel 4004 a más de 300 en los modernos procesadores.

Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores**
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

4. Evolución del rendimiento de los procesadores



4. Evolución del rendimiento de los procesadores

Periodo I (1978–1986). Las prestaciones crecen un 25 % anual, principalmente debido a mejoras tecnológicas.

Periodo II (1986–2003). Las prestaciones crecen un 52 % anual, debido a mejoras tecnológicas y **arquitectónicas**:

- **Arquitectura RISC**: Instrucciones sencillas que se ejecutan rápidamente. Hardware simple.
- **Segmentación**: Descomposición del ciclo de instrucción en fases que se realizan concurrentemente.
- **Explotación del ILP**: Ejecución de instrucciones en orden distinto al del programa.

Periodo III (2003–2011). Las prestaciones crecen un 23 % anual. Alcanzando límites en ILP, alta latencia de la memoria, alto consumo y disipación de potencia → la mejora de las prestaciones debe buscarse en el empleo del paralelismo.

4. Evolución del rendimiento de los procesadores

- **DLP** *Data-Level Paralellism*. Realización de una operación sobre múltiples datos.
- **TLP** *Thread-Level Paralelism*. Realización de varias tareas en paralelo.

Periodo IV (2011–2015). Las prestaciones crecen un 12 % anual debido a límites tecnológicos y a límites del paralelismo (Ley de Amdahl).

Periodo V (2015–2018). Crecimiento prácticamente estancado (3,5 % anual) debido a:

- Fin de la ley de Moore.
- La tecnología no ofrece mejoras significativas en eficiencia energética.
- Límites del paralelismo.

4. Evolución del rendimiento de los procesadores

Situación actual:

- Mejora de prestaciones y eficiencia energética mediante especialización → incluir aceleradores de tareas específicas (*domain-specific*). Por ejemplo, Google Tensor Processing Unit (TPU) multiplica por 80 las prestaciones/Vatio comparado con una CPU para tareas de inferencia en redes neuronales.
- Búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación. Por ejemplo:

<https://francis.naukas.com/2019/08/29/rv16x-nano-un-microprocesador-risc-de-16-bits-con-14702-transistores-de-nanotubos-de-carbono/>.

4. Evolución del rendimiento de los procesadores

Algunas ideas arquitectónicas las motivan la tecnología disponible

Muchas de estas mejoras sólo son posibles cuando el número de transistores disponibles es suficientemente elevado. Ejemplos:

Caches La diferencia de velocidad entre el procesador y la memoria motivó la introducción de la memoria *cache* entre el procesador y la memoria. El continuo crecimiento de esta diferencia ha sugerido el empleo de varios niveles (L1, L2, L3) de *cache* en los diseños.

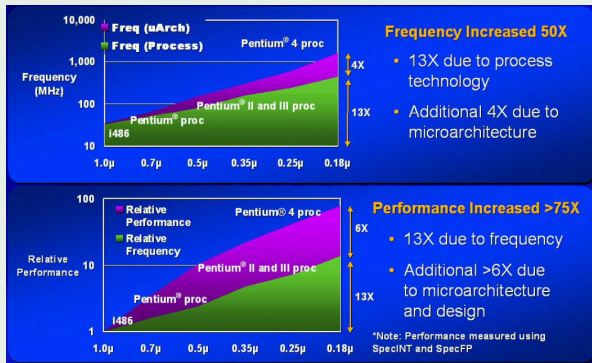
Etapas para propagar señales El retardo creciente de los cables motivó la inclusión en el Pentium 4 de dos etapas de segmentación destinadas únicamente a la propagación de la señales a través de los cables.

Multiprocesadores en un chip Un procesador sofisticado que funciona a mucha frecuencia consume mucho y disipa mucho calor. En su lugar, podemos poner varios procesadores más sencillos que funcionan a menor frecuencia y menor tensión.

4. Evolución del rendimiento de los procesadores

La importancia de la arquitectura

Ejemplo: procesadores de Intel



→ Las mejoras arquitectónicas han permitido mejorar en un factor de 7 lo que se conseguiría únicamente con mejoras tecnológicas.

Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores**
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

5. Clases de computadores

Clases de computadores

El mercado de los computadores evoluciona a la tecnología disponible y los hábitos de consumo de la sociedad.

En cada momento, la industria de la informática propone una serie de dispositivos posibles.

Por ejemplo, en la década de 1970, mientras se estaban construyendo los primeros microprocesadores, había dos categorías de computadores

Mainframes: grandes computadores, carísimos y sólo accesibles a grandes corporaciones.

Minicomputers: computadores de tamaño medio, muy utilizados en las universidades.



5. Clases de computadores

Clases de computadores (cont.)

En 2012, gracias al progreso en el diseño de los microprocesadores, de las comunicaciones y de las interfaces hombre—máquina, las aplicaciones de los computadores se han ampliado:

- Un procesador y su memoria pueden ocupar muy poco espacio y formar parte del diseño de un dispositivo de uso corriente.
- Un computador puede estar formado por una gran cantidad de procesadores con memoria que suman sus prestaciones.

Los tipos de computadores más relevantes actualmente son:

5. Clases de computadores

Personal Mobile Devices

Incluye: *Smartphones*, Tabletas, PDAs, etc.

Características generales.

- Consumo de energía muy limitado
 - Dependen de la batería
 - No hay ventilación forzada
- Diseño orientado al tiempo de respuesta garantizado (*responsiveness* y *predictability*)
 - Necesitan una interfaz multimedia
 - Deben procesar cuadros de vídeo o bloques de audio a tiempo (requisitos de tiempo real *real-time*).
- Capacidad de la memoria principal reducida:
 - Código compacto
- Memoria secundaria de tecnología *flash*.

5. Clases de computadores

Sistema empotrados

Incluye: Electrónica diversa, sistemas embarcados de automoción y aeronáuticos, electrodomésticos, navegación (aviación, marítima, espacial), etc

El PMD es un caso particular de sistema empotrado.

Diferencias con el PMD:

- Ventaja amplísima de diseños y prestaciones.
- Programado de fábrica (no hay programas de terceras partes)

5. Clases de computadores

Computadores personales

Incluye: Sobremesa, Portátiles, Netbooks.

Características generales:

- Potencia equilibrada de cálculo y gráficos
- Optimiza precio-prestaciones
- Diverso rango de configuraciones

5. Clases de computadores

Servidores

Computador que ofrece servicios (de datos, de correo, de impresión, etc.) dentro de una red.

Suele estar en la infraestructura informática de base de una corporación.

Características generales:

- La disponibilidad (asegurar funcionamiento ininterrumpido) es crítica
- Diseño escalable
- Orientado al tiempo de respuesta garantizado (*responsiveness*)
- Prima la productividad



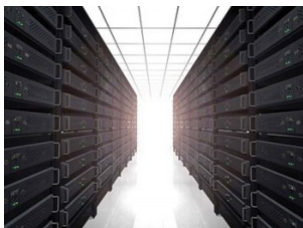
5. Clases de computadores

Cluster

Es una colección de computadores, cada uno con su sistema operativo, interconectados con una red, visible desde el exterior como un único computador

Características generales:

- La alimentación y la refrigeración son una parte importante de la inversión
- Escalabilidad: El sistema se adapta fácilmente a variaciones (habitualmente, el crecimiento) de la carga de trabajo



5. Clases de computadores

Cluster a gran escala

Da soporte a los grandes servicios de Internet: redes sociales, buscadores, plataformas de comercio electrónico, compartición de archivos, etc.

Características generales:

- Necesitan un gran ancho de banda de Internet y un gran volumen de almacenamiento secundario
- Componentes baratos, redundancia. Prima la relación prestaciones/coste.
- Diseño orientado a la confiabilidad (*dependability*): Implica atributos como fiabilidad (funcionamiento correcto), disponibilidad (funcionamiento ininterrumpido), seguridad-inocuidad (los fallos no son catastróficos), integridad (evita modificaciones incontroladas de datos o componentes), confidencialidad (información sólo accesible a sus dueños)

5. Clases de computadores

Supercomputador

Son máquinas diseñadas para obtener unas prestaciones muy elevadas, sin importar el coste.

Características generales:

- Ejecutan grandes aplicaciones científicas con poca interacción con el usuario (predicción del tiempo, plegado de proteínas, ...)
- Gran productividad de aritmética en coma flotante
- Cada vez más frecuentemente basados en clusters



Índice

- 1 Concepto de arquitectura
- 2 Los requisitos de un computador
- 3 Tecnología, consumo y coste
- 4 Evolución del rendimiento de los procesadores
- 5 Clases de computadores
- 6 Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

¿Interesado en Aprender Más? RISC V

- RISC V es una arquitectura de conjunto de instrucciones (ISA) de hardware libre basado en un diseño de tipo RISC
 - Habilita a los arquitectos (de la industria o academia) para diseñar, fabricar y vender chips y software de RISC-V
 - Tiene mucho soporte software: compiladores (chisel, GCC) y depuradores, simulador de placa base, etc.
- Convergencia de los ISA en las distintas clases de computadores
 - Es útil para una amplia gama de dispositivos: supercomputadores, clusters, PCs, portátiles, tabletas, móviles
 - Ejemplos procesadores que soportan RISC V de código abierto
 - Rocket: implementa una arquitectura simple para dispositivos móviles con bajo consumo energético
<https://github.com/chipsalliance/rocket-chip>
 - BOOM: implementa un procesador de altas prestaciones. Diseñado en la Univ. Berkeley
<https://github.com/riscv-boom/riscv-boom>

¿Interesado en Aprender Más?

- Título oficial, 1 año de duración (60 ECTS).
 - Más información en <http://mic.disca.upv.es>.
- Asignaturas relacionadas:
 - Arquitectura y Tecnología de los Procesadores Multinúcleo
 - Claves de las prestaciones de los procesadores multinúcleo.
 - Diseño de los procesadores multinúcleo actuales.
 - Conceptos avanzados sobre caches compartidas.
 - Memoria principal con controladores de memoria compartidos.
 - Redes en Chip (arquitecturas heterogéneas)
 - Arquitecturas Heterogéneas.
 - GPUs, embedded (Jetson, Coral, ...)
 - FPGAs, sistólicos
 - Redes en chip

¿Interesado en Aprender Más? (cont.)

- Arquitectura de Redes de Altas Prestaciones
 - Diseño y construcción de redes de altas prestaciones.
 - Técnicas de control de flujo, tráfico, tolerancia a fallos, etc.
 - Reducción del consumo en redes de altas prestaciones.
 - Diseño de routers.
- Configuración, Administración y Utilización de Clusters
 - Diseño y configuración de clusters.
 - Sistemas de almacenamiento.
 - Equilibrado de carga.
 - Clusters de alta disponibilidad.