

SISTEMAS DE MULTIPROCESAMIENTO

Tema 1 Introducción

5º Curso de Automática y Electrónica Industrial.

1

Contenido Tema 1

- Aplicaciones
- Incremento de las prestaciones
- Clasificación de los ordenadores en función del paralelismo
- Evolución de los ordenadores de altas prestaciones
- Multiprocesadores y multicomputadores

2

Aplicaciones con altas demandas de prestaciones

- **Demandas de velocidad de procesamiento**
 - (nos centramos en esto)
- **También demandas en cuanto a capacidad de almacenamiento**

4

Aplicaciones con altas demandas de procesamiento.

- Múltiples campos de aplicación tanto en ciencias como en ingeniería.
- Destacan las aplicaciones de simulación de modelos complejos.
- Algunos ejemplos de aplicación:
 - Modelado de la evolución global del clima en periodos largos de tiempo.
 - La evolución de las galaxias.
 - La estructura atómica de los materiales.
 - La eficiencia de la combustión en motores.
 - El flujo del aire sobre la superficie de vehículos.
 - Resultados de impactos.
 - El comportamiento de dispositivos electrónicos microscópicos.

5

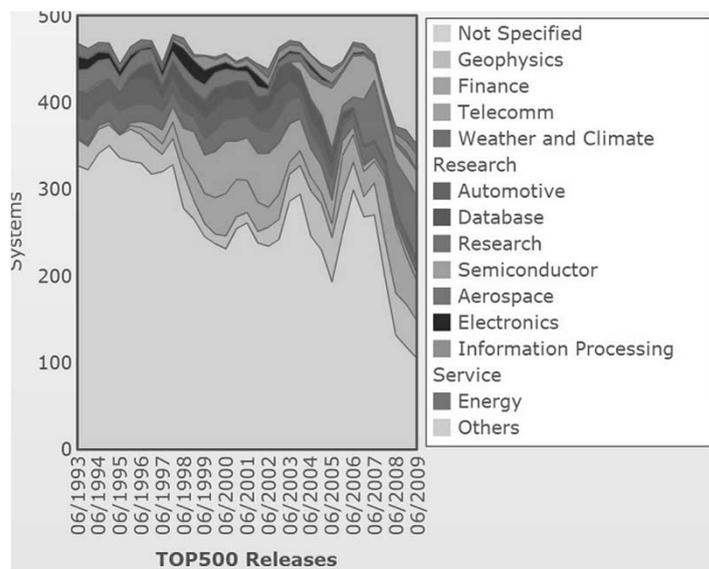
Aplicaciones con altas demandas de procesamiento.

En Ingeniería:

- Industrias del petróleo (modelado de reservas)
- Automoción (simulaciones de impactos, fricción, eficiencia en la combustión),
- Aeronáutica (análisis aerodinámico, eficiencia de los motores, estructura mecánica, compatibilidad electromagnética),
- Farmacéutica (modelado molecular)
- Electrónica (CAD).

6

Areas de aplicación frente a nº de sistemas



7

Dos posibilidades para incrementar la velocidad

- Aumentar la velocidad de un procesador
- Dedicar muchos procesadores a una tarea

9

Ventajas de un sistema paralelo

- En cuanto al precio:

Coste de incrementar la velocidad de un procesador x 10 >> Utilizar 10 procesadores

- En cuanto al tiempo de desarrollo:

Para conseguir un procesador 10 veces más rápido que el actual más rápido es necesario esperar unos 5 años.

10

Incremento de la velocidad de los microprocesadores

- La velocidad de los microprocesadores ha crecido de forma exponencial.

11

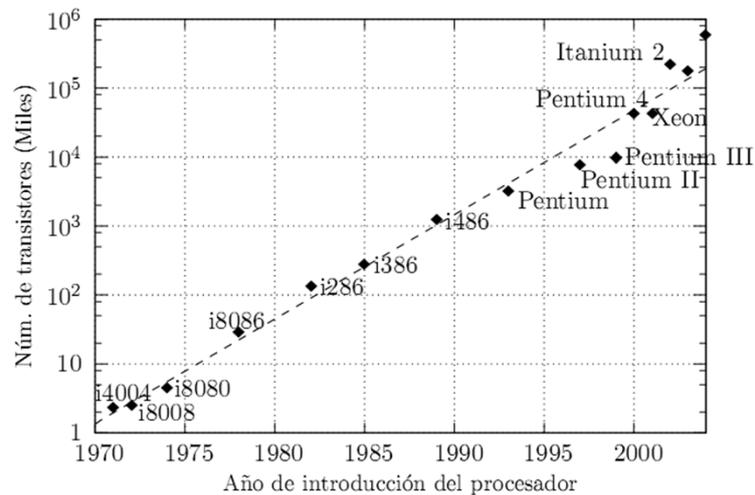
Ley de Moore

- Predicción de Gordon Moore en 1965 (revisada en 1975).
- El número de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada 2 años.
- Evidencia empírica
- Se incrementa la densidad de integración y la superficie del chip.

12

Ley de Moore

- N° de componentes se duplica (aprox.) cada dos años.

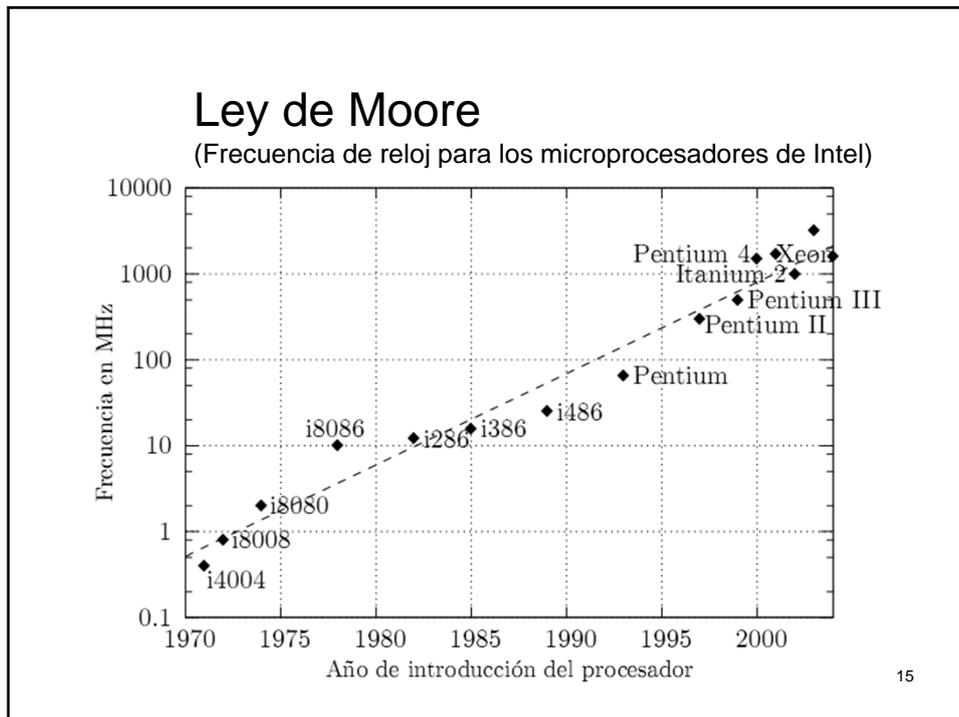


13

Consecuencias de la ley de Moore

- El coste se reduce exponencialmente (aprox. a la mitad cada dos años).
 - Se reduce el coste de procesamiento y de almacenamiento.
 - Se produce la revolución de la informática.
- Incremento exponencial en la velocidad de procesamiento:
 - Incremento de la velocidad de reloj
 - Incremento del número de bits
 - Incremento del número de elementos de procesamiento.

14



Ley de Moore

(Datos para los microprocesadores de Intel)

Microprocesador	Año de introducción	Transistores (Miles)	Frecuencia de reloj (MHz)
□ "4004"	1971	2.300	0.4
□ "8008"	1972	2.500	0.8
□ "8080"	1974	4.500	2
□ "8086"	1978	29.000	10
□ "Intel286"	1982	134.000	12
□ "Intel386"	1985	275.000	16
□ "Intel486"	1989	1200.000	25
□ "Pentium"	1993	3100.000	66
□ "Pentium II"	1997	7500.000	300
□ "Pentium III"	1999	9500.000	500
□ "Pentium 4"	2000	42000.000	1500
□ "Xeon"	2001	42000.000	1700
□ "Itanium"	2001	25000.000	800
□ "Itanium 2"	2002	220000.000	1000
□ "Pentium 4 Extreme Edition"	2003	178000.000	3200
□ "Itanium 2 (9MB cache)"	2004	592000.000	1600

Fuente: www.intel.com

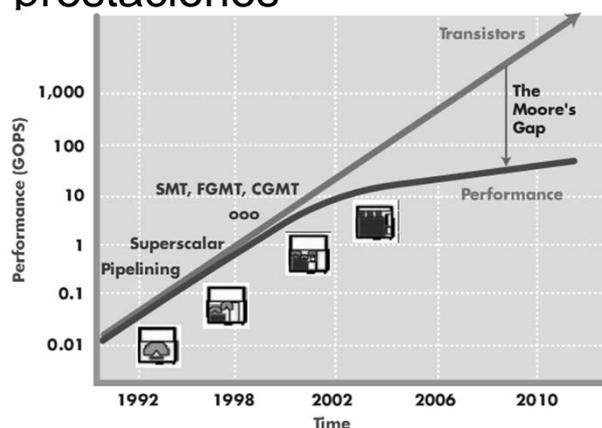
16

Límites de la Ley de Moore

- Posible límite financiero: el coste de una nueva planta de fabricación de chips se duplica en cada generación.
- Las prestaciones de los procesadores se alejan del crecimiento exponencial desde el año 2002.

17

Número de componentes frente a prestaciones



La ley de Moore crece suave hasta el 2002, año en el que la distancia entre el crecimiento de las prestaciones y el crecimiento en el número de transistores comienza a aumentar.

18

Incremento exponencial de la velocidad de procesamiento de los ordenadores

- Mediante el uso de sistemas de procesamiento en paralelo

19



Clasificación de los ordenadores

Punto de vista del procesamiento en paralelo

22

Clasificación de Flynn

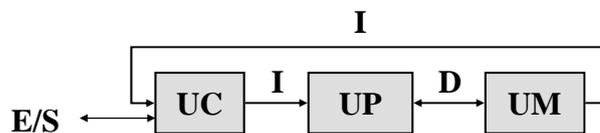
- Basado en el concepto de corrientes de instrucciones y de datos
 - SISD (*Single Instruction stream over a Single Data stream*): Única corriente de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
 - SIMD (*Single Instruction stream over Multiple Data streams*): Única corriente de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
 - MISD (*Multiple Instruction streams over a Single Data stream*): Múltiples corrientes de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
 - MIMD (*Multiple Instruction streams over Multiple Data stream*): Múltiples corrientes de Instrucciones sobre Múltiples corriente de Datos.
- Número de máquinas paralelas existentes
 - MIMD > SIMD > MISD

23

SISD (Single Instruction Stream Over A Single Data Stream)

- Única corriente de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
- Son las máquinas secuenciales convencionales.

I : Corriente de Instrucciones UC : Unidad de Control
D: Corriente de Datos UC : Unidad de Procesamiento
UM: Unidad de Memoria E/S: Entrada y Salida

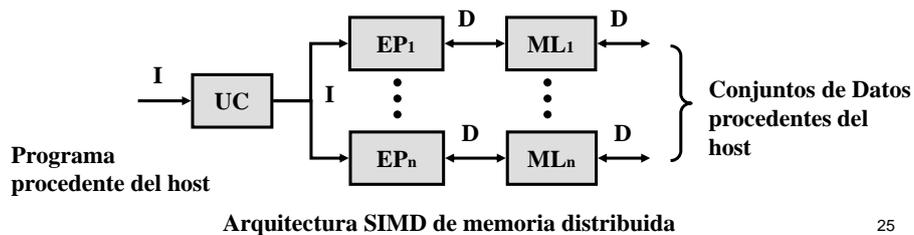


24

SIMD (Single Instruction Stream Over Multiple Data Streams)

- Única corriente de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
 - Procesadores Matriciales (arrays) (SIMD)
 - Procesadores vectoriales
 - Arquitecturas de aplicación específica

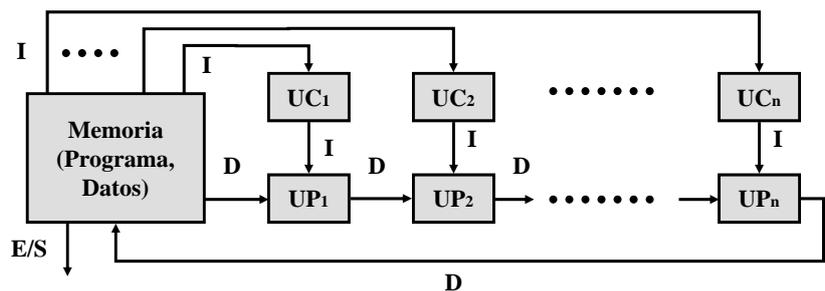
EP : Elemento Procesador ML : Memoria Local



25

MISD (Multiple Instruction Streams Over A Single Data Streams)

- Múltiples corrientes de Instrucciones sobre una única corriente de Datos
 - Array sistólico : arrays de procesadores (MISD)
 - Arquitecturas de aplicación específica

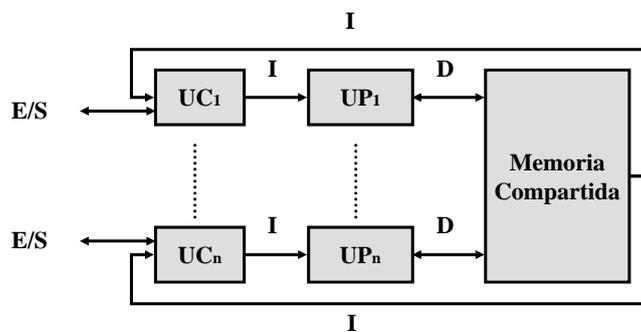


Arquitectura MISD (array sistólico)

26

MIMD (Multiple Instruction Streams Over Multiple Data Stream)

- MIMD
 - Ordenadores paralelos de propósito general



Arquitectura MIMD de memoria compartida

27

Evolución de los sistemas de procesamiento en paralelo

- Reflejado en la historia de los sistemas de altas prestaciones.
- Asociación con distintos grados de paralelismo.
- Desde sistemas con pocos procesadores de tipo SIMD hasta sistemas con un número elevado de procesadores y de tipo MIMD.

29

Evolución de los sistemas de procesamiento en paralelo.

- **Tiempos preliminares:** Desde 1972 hasta 1982.
- **Primer periodo:** Primera mitad de los años 80.
- **Segundo periodo:** Segunda mitad de los años 80.
- **Tercer periodo:** Primera mitad de los años 90.
- **Cuarto periodo:** Segunda mitad de los años 90.

30

Evolución . . .

Tiempos preliminares:

- Desde 1972 hasta 1982.
- Primeros ordenadores vectoriales
- Cray-1
 - Construido por Cray Research Inc. en 1976.
 - 160 MFlops (64 bits) y 8 Mbytes de memoria principal.
 - Costó 8 Millones de dólares.
 - 1 procesador con varias unidades funcionales vectoriales y escalares.
 - 8 Registros vectoriales de 64 × 64 bits.

31

Evolución ...

Primer periodo

- Primera mitad de los años 80.
- Ordenadores vectoriales de grandes prestaciones. Dos tipos:
- Arquitectura paralela:
 - Varios procesadores.
 - Memoria compartida.
 - Cray X-MP (Hasta: 4 proc.vec., 128 MB)
- Con muchas unidades aritméticas:
 - Fujitsu VP200.

32

Evolución ... Segundo periodo

- Segunda mitad de los años 80.
- Dos líneas:
- Evolución de los ordenadores vectoriales:
 - Cray Y-MP, Fujitsu VP2600
- Máquinas masivamente paralelas (MPP):
 - Son de tipo SIMD
 - CM-2

33

Evolución ... Tercer periodo

- Primera mitad de los años 90.
- Sistemas vectoriales multiprocesadores (*multivector processor*):
 - Memoria compartida: Cray J90
 - Memoria distribuida: VPP500
- Sistemas MPP:
 - SIMD: MP-2
 - MIMD: Multicomputadores, Intel Paragon, CM-5

34

Evolución ... Cuarto periodo

- Segunda mitad de los años 90.
- Sistemas no escalables:
 - Multiprocesadores vectoriales de memoria compartida: Cray T90
 - Multiprocesadores vectoriales de memoria distribuida: Fujitsu VPP700
- Sistemas escalables:
 - Multiprocesadores: Cray T3D y Cray T3E
 - Multicomputadores MPP: IBM SP2.

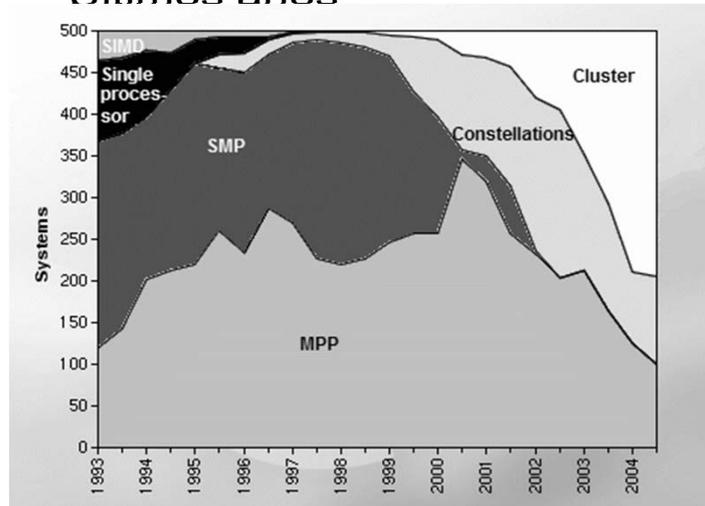
35

Evolución ... Últimos años

- Información de la lista Top500
- Evolución hacia sistemas escalables
- Tres tipos de sistemas todos de tipo MIMD:
 - Cluster:
 - Multicomputador. Pocos Proc/nodo. MareNostrum
 - Constelaciones:
 - Multicomputador. N° Proc./nodo > N° nodos
 - MPP:
 - Sistemas masivamente paralelos.
 - Multicomputadores y Multiprocesadores de tipo NUMA con hardware para la coherencia de cachés.

36

Evolución ... Últimos años



Nº de Sistemas por arquitecturas en la lista Top 500 de 2004.

37

Contenido Tema 1

- Aplicaciones
- Incremento de las prestaciones
- Clasificación de los ordenadores en función del paralelismo
- Evolución de los ordenadores de altas prestaciones
- Multiprocesadores y multicomputadores

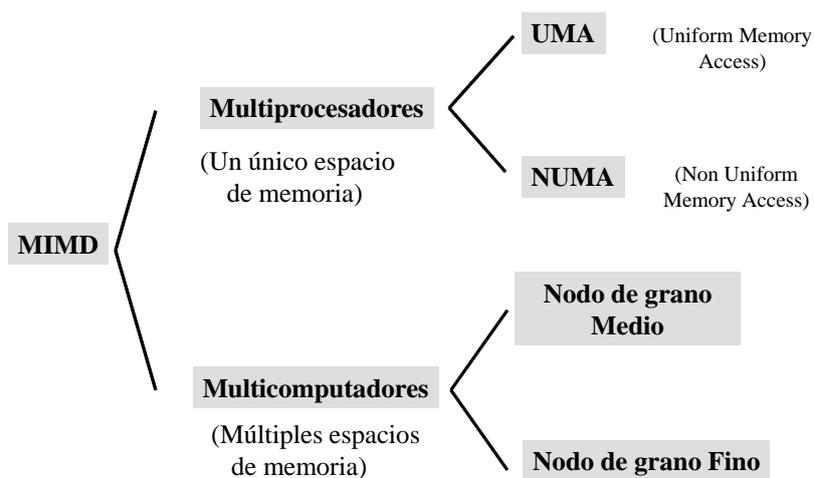
38

Características sistemas MIMD

- Múltiples corrientes de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
- Múltiples tareas simultáneamente.
- Sincronización y comunicación entre las tareas en función del hardware y el software.
- Dos tipos:
 - Multiprocesadores: Un único espacio de memoria
 - Multicomputadores: Múltiples espacios de memoria

39

Clasificación de los MIMD



40

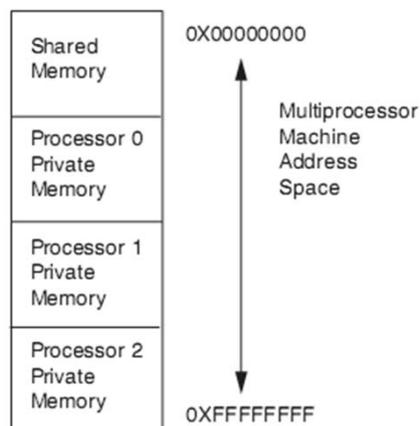
Multiprocesadores Características

- Un único espacio de memoria.
- Comunicación y sincronización mediante variables globales en memoria compartida.
- Tipos:
 - UMA (*Uniform Memory Access*) Acceso Uniforme a Memoria
 - NUMA (*Non-Uniform Memory Access*) Acceso No Uniforme a Memoria.
 - COMA (*Cache Only Memory Access*) Acceso a Memoria de Sólo Caché.
 - CC-NUMA (*Cache Coherent Non-Uniform Memory Access*) Acceso No Uniforme a Memoria con Coherencia de Cachés.

41

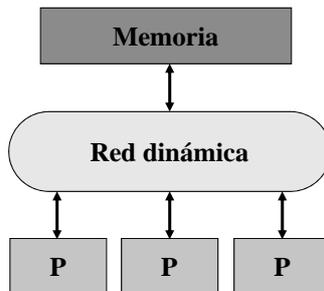
Mapa de memoria multiprocesador

- Todos los procesadores acceden a la memoria compartida pero puede haber memoria local privada.



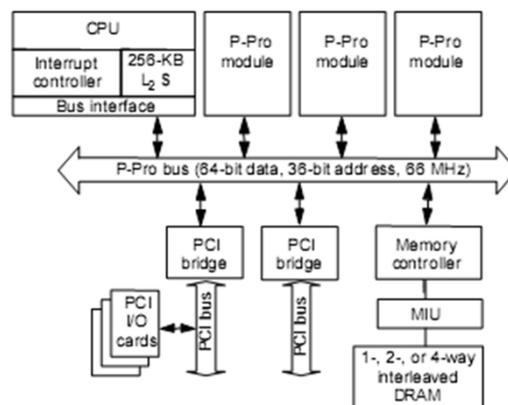
42

Multiprocesadores UMA (Uniform Memory Access)



43

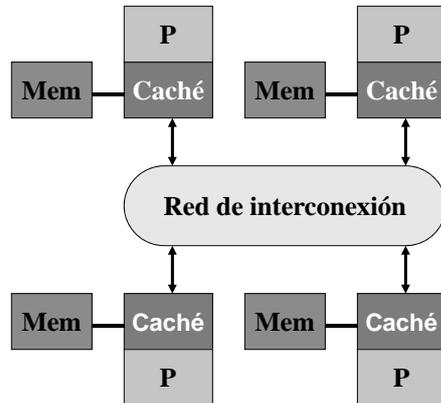
Intel Pentium Pro Quad



44

Multiprocesadores NUMA

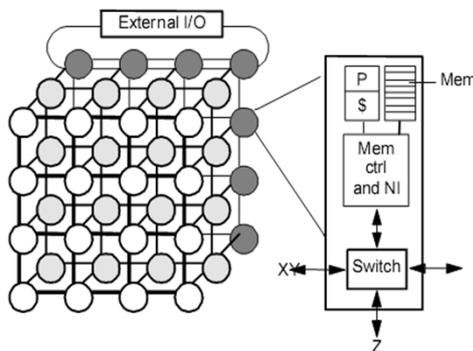
(Non-Uniform Memory Access)



Este multiprocesador incluye hardware apropiado para acceso a memoria remota en un único espacio de memoria.

45

Cray T3E



46

Multiprocesadores: Ventajas:

- Programación muy similar a la programación multihilo en un uniprocador.
- Para programas que utilizan mucho la memoria compartida el uso adecuado de los datos globales en la caché local puede acelerar mucho la ejecución.
- Los procesadores comerciales actuales suelen disponer de extensiones hardware que soportan la coherencia de memoria caché, abaratando la construcción de multiprocesadores de pocos procesadores.

47

Multiprocesadores: Desventajas:

- Coste del hardware, especialmente del sistema de coherencia de memoria caché.
- Dificultad en la escalabilidad especialmente por la coherencia de la memoria caché.

48

Multicomputadores Características

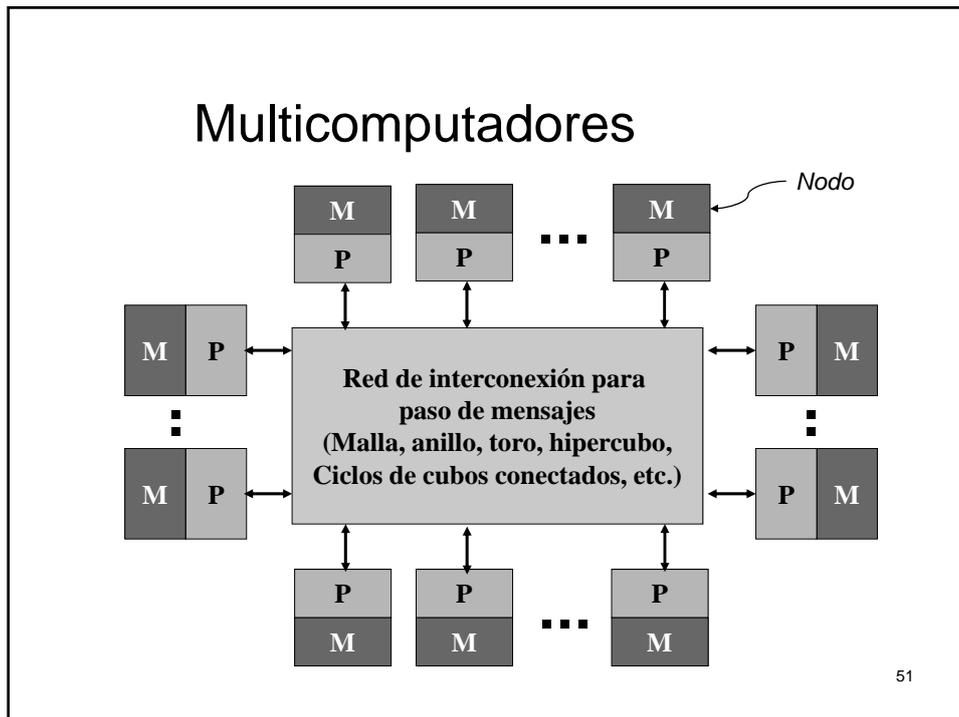
- Múltiples espacios de memoria.
- Sistemas con memoria distribuida
- Comunicación y sincronización mediante paso de mensajes.
- Clasificación en función del tamaño de grano:
 - Multicomputadores de grano grueso.
 - Multicomputadores de grano medio.
 - Multicomputadores de grano fino.

49

Multicomputadores Características 2

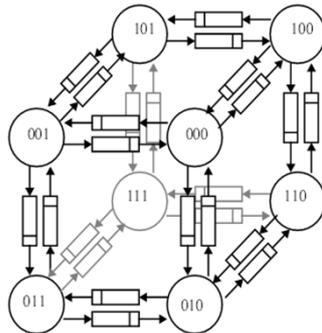
- Sistemas MIMD formados por nodos.
- Nodo: Ordenador individual uniprocador de tipo SISD o SIMD o multiprocador cuya memoria compartida es la local del nodo.

50



- ### Generaciones de Multicomputadores
- 1ª Generación (1983-87): Tecnología de procesadores en tarjeta. Paso de mensajes controlado por software. Redes en hipercubo. Multicomputadores de grano grueso: Caltech Cosmic, Intel iPSC/1, NCUBE.
 - 2ª Generación (1988-1992): Arquitecturas de red en malla, encaminadores de mensajes hardware. Entorno de programación para procesamiento distribuido de grano medio. Ejemplos: Intel Paragon, Parsys SuperNode 1000.
 - 3ª Generación (1993-1997): Incluyen el procesador y el control de la comunicación dentro del mismo chip VLSI permitiendo ejecuciones de grano fino. Ejemplos: MIT J-Machine, Caltech Mosaic.
- 52

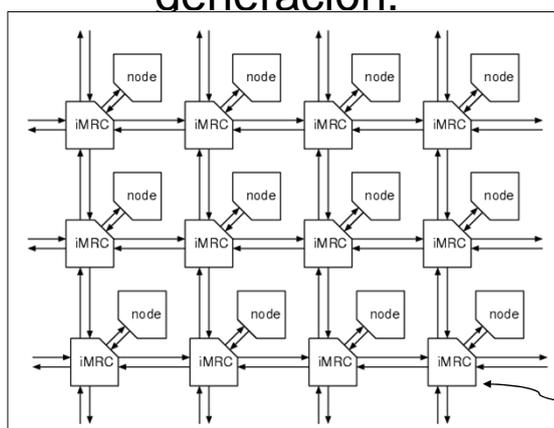
Multicomputadores de 1ª generación. Estructura de paso de mensajes:



Cada nodo está conectado a sus vecinos en cada dimensión mediante "FIFOs".
Para enviar un mensaje a un nodo no vecino los nodos intermedios deben reenviarlo.

53

Multicomputadores de 2ª generación.



La comunicación la controlan los encaminadores sin que los mensajes deban entrar en los nodos intermedios.

Paragon Mesh Routing Chips

Red de interconexiones del Intel Paragon.

54