

T1. Introducción a la Computación Paralela

J. M. Alonso, P. Alonso, F. Alvarruiz, I. Blanquer,
D. Guerrero, J. Ibáñez, E. Ramos, J. E. Román

Departament de Sistemes Informàtics i Computació
Universitat Politècnica de València

Curso 2021/22



1

Contenido

1 Introducción

- Aplicaciones de la Computación Paralela
- Supercomputación

2 Modelos de Computadores Paralelos

- Arquitecturas de Computadores Paralelos
- Metodologías de Programación Paralela

2

Apartado 1

Introducción

- Aplicaciones de la Computación Paralela
- Supercomputación

3

Computación Paralela

¿Qué es la computación paralela?

Es aquella que se realiza en un **computador paralelo**

- Permite ejecutar varias instrucciones de forma simultánea para la resolución de un único problema

En contraposición al **computador secuencial**

- Arquitectura convencional (von Neumann)
- Las instrucciones se ejecutan una detrás de otra

La computación paralela requiere

- Rediseñar los algoritmos
 - Replantear las estructuras de datos
- **programación paralela**

4

Motivación

¿Por qué computación paralela?

Tendencia a incluir cada vez más **paralelismo** en el hardware

- Frecuencia de reloj limitada por velocidad de la luz
- Mayor escala de integración inviable por problemas de disipación de calor

Ejemplo: videoconsolas con más de 2000 núcleos

→ ¡faltan programadores que sepan aprovechar ese hardware!

A veces, la computación secuencial no cubre las necesidades

- Problemas de gran dimensión
- Restricciones de tiempo real

Ejemplo: muchos algoritmos matriciales tienen coste $O(n^3)$ y a menudo se requieren tamaños $n = 10^6$ o mayores

5

Simulación Numérica

Simulación: emular un sistema físico por computador

En ingeniería:

- Prototipado virtual
- Reducción de costes y ciclo del producto



En ciencia:

- Fundamental para el avance científico
- Sistemas complejos: geometría compleja, modelos multi-física, no linealidad

Casi siempre, la simulación exige gran capacidad de cómputo

6

Simulación: Ejemplo

La simulación del comportamiento fisiológico de órganos, tejidos y células (**VPH**: *Virtual Physiological Human*)

- Visión a largo plazo: simular el completo comportamiento fisiológico del cuerpo humano

Ejemplo: Alya-Red

- Es un simulador computacional de un corazón completo que modela el comportamiento eléctrico, visco-elástico, de dinámica de fluidos y físico-químico
- Premio al vídeo científico divulgativo NSF 2012:
www.youtube.com/watch?v=gaG21uZrZ3E



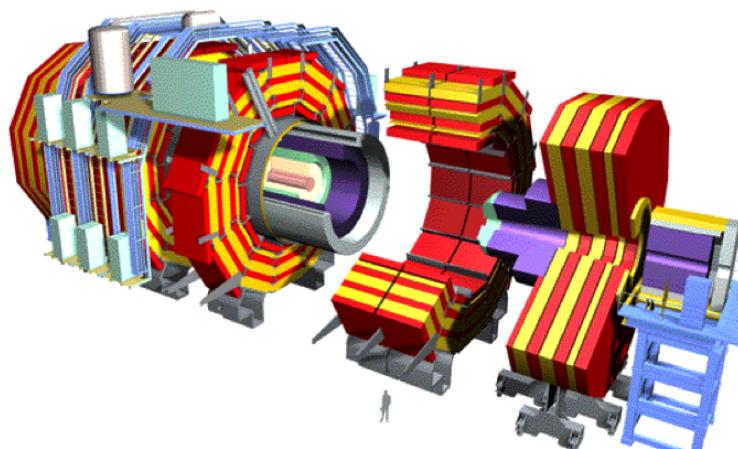
7

Procesamiento de Datos

Los **grandes desafíos científicos** implican la captación, almacenamiento y proceso de grandes cantidades de datos

- Disciplinas como la física de altas energías, la astrofísica o la biotecnología
- Datos como los procedentes de radiotelescopios, aceleradores de partículas o el genoma humano

Ejemplo: acelerador LHC en el CERN



8

La Supercomputación

La **computación paralela**, **computación de altas prestaciones** o **supercomputación**, consiste en la ejecución concurrente de diferentes tareas mediante diferentes unidades de proceso

La concurrencia ocurre a varias escalas:

- En el propio procesador
- En un solo computador
- En Internet

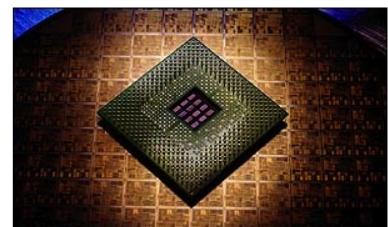


9

La Supercomputación

En el **propio procesador**

- Inclusión en el propio procesador de varias unidades de cálculo
- Ejecución simultánea de varias operaciones básicas



En un **solo computador**

- Integración de diferentes procesadores en un único sistema
- Dependiendo del grado de cohesión:
 - Memoria compartida
 - Memoria distribuida



10

Computadores Paralelos

Memoria compartida

- Todos los procesadores pueden acceder a toda la memoria
- Latencias distintas al acceder a los diferentes bancos de memoria (por proximidad)
- Escalabilidad hasta cientos de procesadores
- Alto coste; alto rendimiento en paralelismo de grano fino

Memoria distribuida

- Cada procesador solo tiene acceso a parte de la memoria
- Intercambian información explícitamente con mensajes
- Escalabilidad mayor (miles de procesadores)
- Coste más reducido; peor rendimiento en grano fino

11

TOP500

En la lista TOP500 aparecen los 500 computadores más potentes del mundo
<http://www.top500.org>



- Se actualiza 2 veces al año
- Los computadores se clasifican según su potencia sostenida medida en operaciones en coma flotante por segundo (Flop/s)

#	Centro	Equipo	Fab.	Cores	RMax
1	RIKEN (Japón)	Fugaku - A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D	Fujitsu	7.630.848	442010
2	ORNL (EEUU)	Summit - Power AC922, Power9 22C 3.07 GHz + Volta GV100, Infiniband	IBM	2.414.592	148600
3	LLNL (EEUU)	Sierra - Power 5922LC, Power9 22C 3.1 GHz + Volta GV100, Infiniband	IBM	1.572.480	94640
4	NSC (China)	Sunway TaihuLight - Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway	NRCPC	10.649.600	93014
5	NVIDIA (EEUU)	Selene - NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, Mellanox HDR Infiniband	NVIDIA	555.520	63460

RMax en TFlop/s

12

Red Española de Supercomputación (RES)

En la actualidad se compone de los siguientes centros:

- Barcelona Supercomputing Centre (BSC)
- U. Politécnica de Madrid (CeSViMa)
- Universidad de Cantabria (IFCA)
- I. Astrofísica de Canarias
- Universidad de Málaga
- Universitat de València
- Universidad de Zaragoza (BIFI)
- U. Las Palmas de Gran Canaria

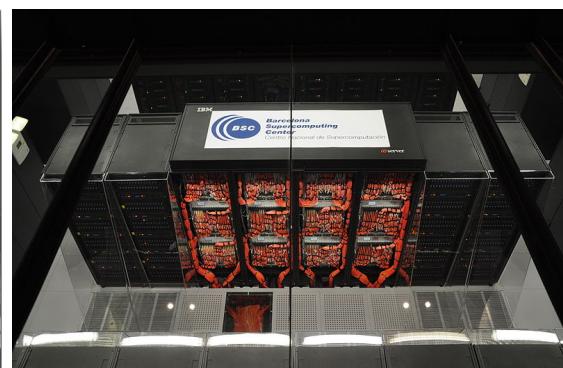
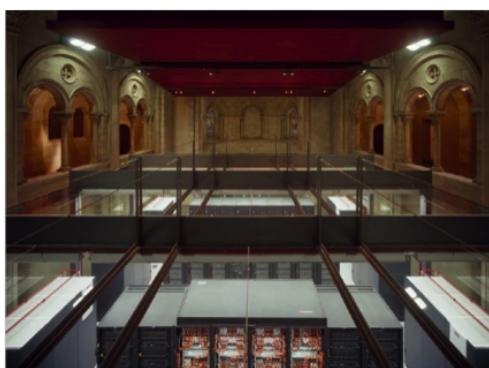


13

Red Española de Supercomputación (RES)

MareNostrum 4 tiene actualmente:

- 165888 núcleos (procesadores Intel Xeon Platinum 8160 24C a 2.1 GHz)
- Potencia sostenida: 11.1 PFlop/s
- 3456 nodos unidos con red Intel Omni-Path
- 394 TB memoria principal, 25 PB disco



14

Infraestructuras de Red

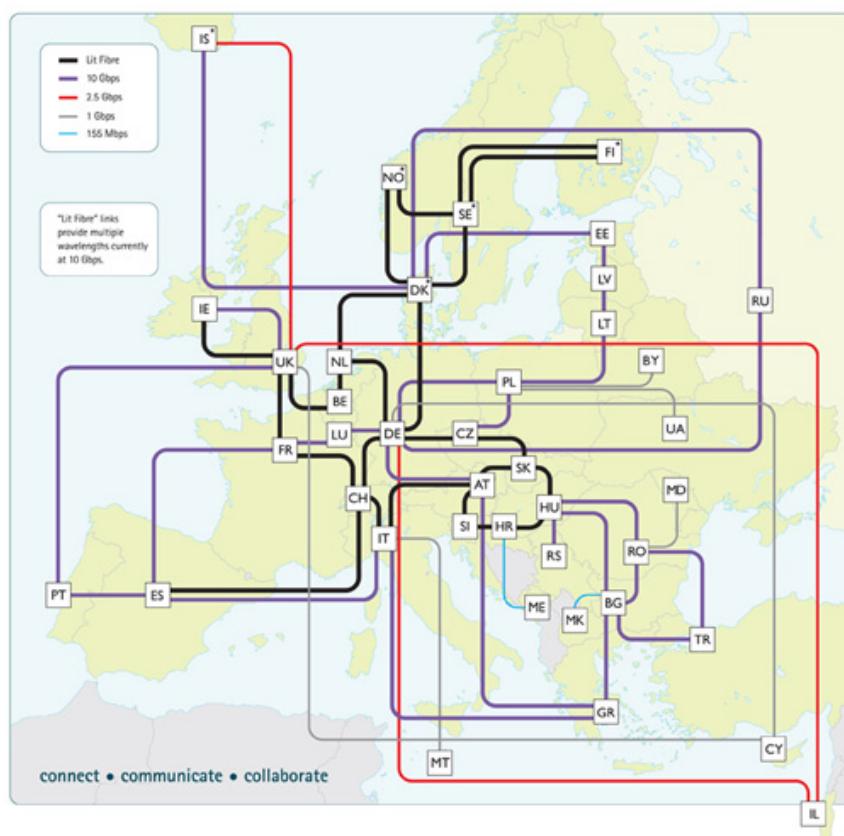
RedIRIS: conecta instituciones universitarias y de investigación



15

Infraestructuras de Red

GÉANT: conecta las diferentes redes europeas



16

Otros Centros

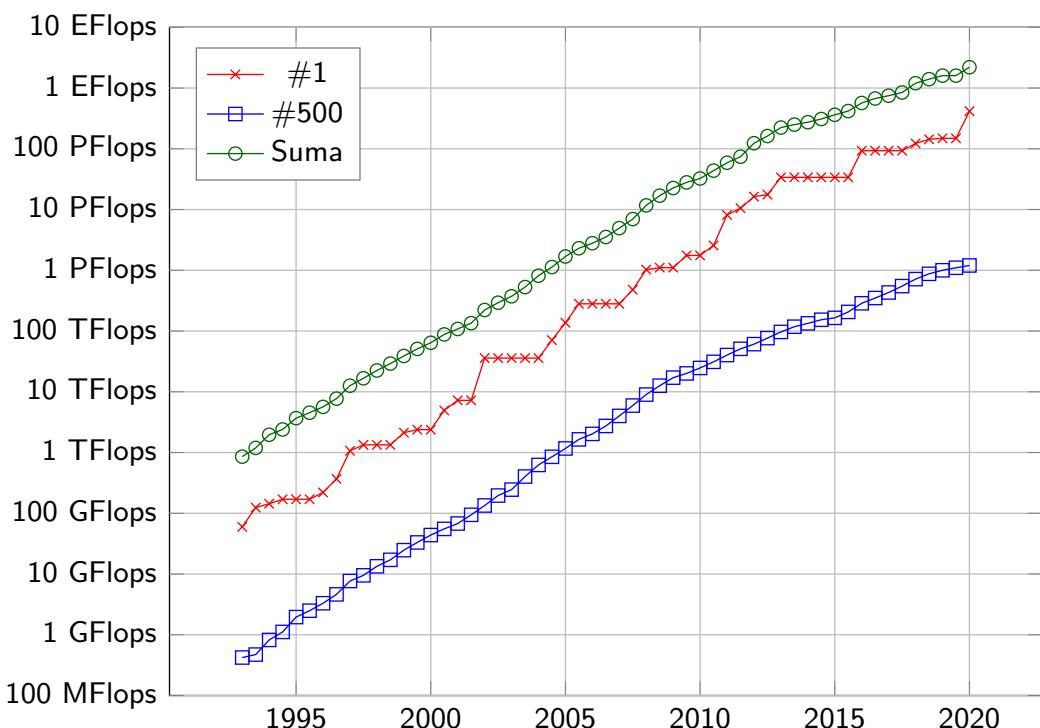
Centros Autonómicos de Supercomputación:

- **CESGA**: Centro de Supercomputación de Galicia
 - FinisTerra II, 320 nodos, 7712 núcleos Haswell, 213 TFlop/s
- **SCAYLE**: Supercomputación Castilla y León
 - Varias máquinas
- **CénitS**: Centro Extremeño de iNvestigación, Innovación Tecnológica y Supercomputación
 - Lusitania II, 2x40 Intel Xeon E5-2660v3 10C, 2x168 Intel E5-2670 8C
- **CSUC**: Consorci de Serveis Universitaris de Catalunya

UPV: (Rigel) 155 nodos, cada uno con 2 procesadores Intel Xeon; red 10 GbE; potencia 50 TFlop/s

17

Top500: Evolución de las Prestaciones



Fuente: <http://www.top500.org>

18

Apartado 2

Modelos de Computadores Paralelos

- Arquitecturas de Computadores Paralelos
- Metodologías de Programación Paralela

19

Taxonomía de Flynn

SISD	SIMD
Single Instruction, Single Data	Single Instruction, Multiple Data
MISD	MIMD
Multiple Instruction, Single Data	Multiple Instruction, Multiple Data

SISD Computador secuencial

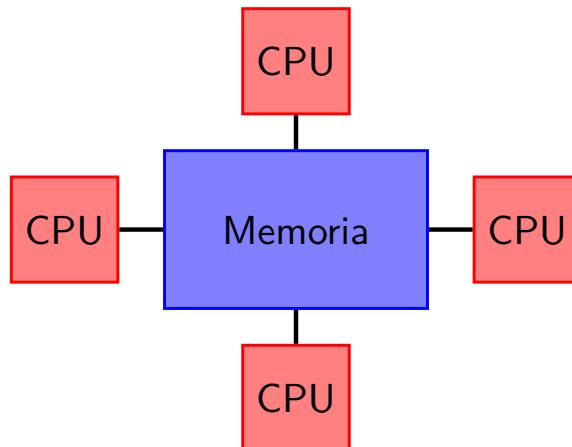
SIMD Computadores vectoriales (NEC, Fujitsu, Cray), procesadores con extensiones vectoriales (SSE3, Altivec, AVX-512)

MIMD Multiprocesadores, clusters, multi-core

20

Arquitecturas de Memoria Compartida

Espacio de direcciones único para todos los procesadores



Tipos:

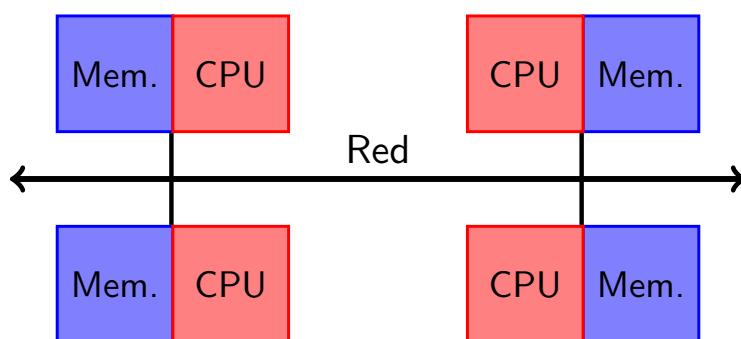
- UMA: Uniform Memory Access
- NUMA: Non-Uniform Memory Access
- cc-NUMA: Cache Coherent NUMA

Ventajas: fácil programación; Desventajas: escalabilidad, precio

21

Arquitecturas de Memoria Distribuida

Se requiere una red de comunicación para que los procesadores puedan acceder a la memoria no local



Características

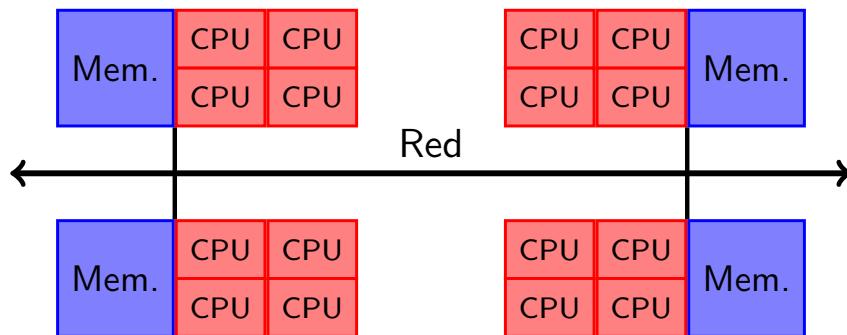
- No existe el concepto de memoria global
- Procesadores independientes (no hay coherencia)
- El programador explicita el intercambio de datos

Ventajas: escalabilidad, precio; Desventajas: programación

22

Arq. Híbridas: *Distributed-Shared Memory*

Combinación de los dos modelos



Características

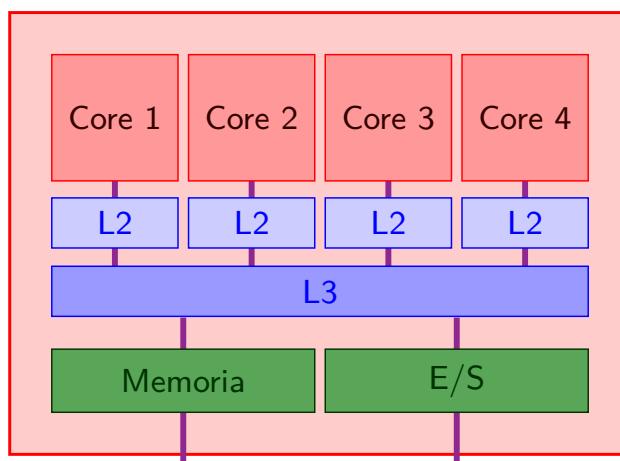
- Cada nodo es un multiprocesador (p.e. cc-NUMA)
- Comunicación para mover datos de un nodo a otro

Actualmente, los supercomputadores suelen seguir este modelo (aunque cada vez más con multi-cores y GPUs)

23

Procesadores Multi-Core

Múltiples núcleos: tendencia actual en diseño de procesadores



Características

- Multiprocesador (no) simétrico en un solo chip
- Varios niveles de cache en el propio chip

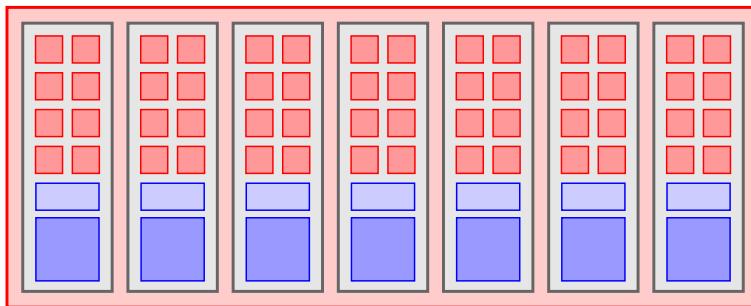
Ventajas: precio; Desventajas: baja eficiencia (ancho de banda)

24

Procesadores Many-Core

Masivamente paralelos, con gran número de núcleos sencillos

- Procesadores gráficos (GPU)



Características

- Muchos núcleos (del orden de miles)
- Hilos ligeros, cambio de contexto muy rápido

Ventajas: precio, potencia; Desventajas: programación difícil

25

Clusters

Un *cluster* es simplemente un conjunto de PCs o estaciones de trabajo conectados en red para computación paralela

- El primero con PCs y Linux data de 1994 ([Beowulf](#))

Actualmente, un cluster comercial se compone de

- Armario bastidor
- Un conjunto de **nodos**
 - Típicamente, dos procesadores multi-core, 1 disco
 - Opcionalmente, 1 GPU de gama alta
 - Formato compacto: 1U, 2U, *blades*
- Infraestructura de **red**
 - Típicamente, dos redes: ethernet y red de baja latencia
 - Redes de **baja latencia**: Infiniband, Myrinet, Quadrics, ...
 - Componentes: adaptador, conmutadores (*switches*), cables
- Nodo *front-end*



26

Metodologías de Programación Paralela

Se pueden emplear diferentes metodologías:

- Paralelización automática (compilador paralelizante)
- Paralelización semi-automática (directivas de compilador)
- Lenguajes de programación nuevos
- Extensión de un lenguaje estándar
- Librerías de subrutinas o funciones (API)

Ejemplos

- OpenMP está basado en directivas
- CUDA C es una extensión del lenguaje C
- MPI está basado en librerías de funciones