

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

Unitat responsable: 270 - FIB - Facultat d'Informàtica de Barcelona  
Unitat que imparteix: 701 - AC - Departament d'Arquitectura de Computadors  
Curs: 2019  
Titulació: GRAU EN ENGINYERIA INFORMÀTICA (Pla 2010). (Unitat docent Obligatòria)  
GRAU EN ENGINYERIA FÍSICA (Pla 2011). (Unitat docent Optativa)  
Crèdits ECTS: 6 Idiomes docència: Català, Castellà, Anglès

### Professorat

Responsable: - Eduard Ayguadé Parra (eduard@ac.upc.edu)  
Altres: - Daniel Jimenez Gonzalez (djimenez@ac.upc.edu)  
- Gladys Miriam Utrera Iglesias (gutrer@ac.upc.edu)  
- Jordi Tubella Murgadas (jordit@ac.upc.edu)  
- Josep Ramon Herrero Zaragoza (josepr@ac.upc.edu)  
- Julian David Morillo Pozo (jmorillo@ac.upc.edu)  
- Lluc Álvarez Martí (lluca@ac.upc.edu)  
- Rosa Maria Badia Sala (rosab@ac.upc.edu)

### Capacitats prèvies

Les capacitats prèvies són les definides pels pre-requisits de l'assignatura.

### Requisits

- Pre-requisit AC

### Competències de la titulació a les quals contribueix l'assignatura

Específiques:

- CT1.1B. Demostrar coneixement i comprensió dels conceptes fonamentals de la programació i de l'estructura bàsica d'un computador. CEFB5. Coneixement de l'estructura, funcionament i interconnexió dels sistemes informàtics, i dels fonaments de la seva programació.
- CT5.1. Triar, combinar i explotar diferents paradigmes de programació, en el moment de construir software, tenint en compte criteris com la facilitat de desenvolupament, l'eficiència, la portabilitat i la mantenibilitat.
- CT5.3. Dissenyar, escriure, provar, depurar, documentar i mantenir codi en un llenguatge d'alt nivell per a resoldre problemes de programació aplicant esquemes algorísmics i utilitzant estructures de dades.
- CT5.6. Demostrar coneixement i capacitat d'aplicació dels principis fonamentals i de les tècniques bàsiques de la programació paral·lela, concurrent, distribuïda i en temps real.
- CT6.2. Demostrar coneixement, comprensió i capacitat d'avaluar l'estructura i l'arquitectura dels computadores, i els components bàsics que els componen.
- CT7.2. Avaluar sistemes hardware/software en funció d'un criteri de qualitat determinat.

CT8.1. Identificar tecnologies actuals i emergents i avaluar si són aplicables, i en quina mesura, per a satisfer les necessitats dels usuaris.

Genèriques:

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinari i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Metodologies docents

Les classes de teoria introdueixen tots els coneixements, les tècniques, els conceptes necessaris que es posen en pràctica en les hores dedicades a problemes i de laboratori, així com amb treball personal utilitzant una col·lecció de problemes.

Les dues hores de classes de teoria/problemes es fan setmanalment. Les dues hores de classes de laboratori també es fan setmanalment.

El curs utilitza el llenguatge de programació C i principalment el model de programació paral·lela OpenMP.

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

- 1.L'alumne ha de ser capaç de formular models senzills de rendiment donada una estratègia de paral·lelització per una aplicació, que permetin estimar la influència dels principals aspectes arquitectònics: numero d'elements de proces, cost d'accés a les dades, cost de la interacció entre elements de procés, entre d'altres.
- 2.L'alumne ha de ser capaç de mesurar, emprant eines de instrumentació, visualització i anàlisi, el rendiment assolit amb l'execució paral·lela d'una aplicació i detectar els factors que limiten aquest rendiment: granularitat de tasques, distribució equitativa de càrrega de treball, interacció entre tasques, entre d'altres.
- 3.L'alumne ha de ser capaç de compilar i executar un programa paral·lel, utilitzant les eines bàsiques a nivell de línia de comandes per mesurar el temps d'execució.
- 4.L'alumne ha de ser capaç d'aplicar optimitzacions senzilles en fragments de codi paral·lel per tal de millorar el seu rendiment en arquitectures paral·leles, atacant els factors que limiten el seu rendiment
- 5.L'alumne ha de ser capaç d'escollir l'estratègia de descomposició mes apropiada per expressar el paral·lelisme en una aplicació (tasques, dades).
- 6.L'alumne ha de ser capaç d'aplicar les tècniques bàsiques que permeten sincronitzar l'execució paral·lela, evitant les condicions de carrera i abraçada mortal, i afavorint el solapament entre càlcul i interacció, entre d'altres.
- 7.L'alumne ha de ser capaç d'implementar en OpenMP la versió paral·lela d'una aplicació seqüencial
- 8.L'alumne ha de ser capaç d'identificar els diferents tipus de paral·lelisme que es poden explotar en una arquitectura de computador (ILP, DLP i TLP dins d'un processador, multiprocessador i multicomputador) i descriure els seus principis bàsics de funcionament.
- 9.L'alumne ha de ser capaç d'entendre els mecanismes bàsics que permeten la compartició coherent de dades en una arquitectura paral·lela de memòria compartida, amb accés uniforme i no uniforme a memòria.
- 10.L'alumne ha de ser capaç de seguir l'assignatura emprant els materials proporcionats en anglès (transparències, enunciats de pràctiques, problemes, ...) així com realitzar els actes d'avaluació (controls i exàmen final) amb l'enunciat escrit en anglès.
- 11.En cas d'optar per la competència transversal Tercera Llengua, l'alumne haurà de ser capaç d'elaborar els entregables de les pràctiques de laboratori (parcial o totalment) en anglès.

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

Dedicació total: 150h	Hores grup gran:	30h	20.00%
	Hores grup mitjà:	0h	0.00%
	Hores grup petit:	30h	20.00%
	Hores activitats dirigides:	6h	4.00%
	Hores aprenentatge autònom:	84h	56.00%

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Continguts

#### Introducció i motivació

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Necessitat del paral·lelisme, paral·lelisme vs. concurrència, possibles problemes en l'ús concurrència: deadlock, livelock, starvation, fairness, data races

#### Anàlisi d'aplicacions paral·leles

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Mètriques bàsiques: paral·lelisme, temps d'execució, speedup i escalabilitat. Anàlisi de l'impacte dels overheads associats a la creació de tasques i la seva sincronització i la compartició de dades. Eines per la predicció i l'anàlisi de paral·lelisme i visualització de comportament: Paraver i Treador

#### Principis de programació paral·lela: descomposició en tasques

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Task decomposition vs. data decomposition. Descomposició en tasques, granularitat i anàlisi de dependències. Identificació de patrons de paral·lelisme: iterative vs. divide and conquer task decompositions. Mecanismes per implementar la descomposició en tasques: creació de regions paral·leles i tasques; mecanismes per garantir task ordering i data sharing.

#### Introducció a les arquitectures paral·leles

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Paral·lelisme dins d'un processador (ILP, DLP i TLP) i entre els processadors que formen els multiprocessadors de memòria compartida SMP i ccNUMA (coherència de cache, consistència de memòria, sincronització).

#### Principis de programació paral·lela: descomposició de dades

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Descomposició de dades (descomposició geomètrica vs. estructures recursives) per arquitectures amb memòria compartida. Localitat en l'accés a les dades en arquitectures paral·leles de memòria compartida. Generació de codi en funció de la descomposició de dades. Breu introducció a les arquitectures de memòria distribuïda i la seva programació (cas concret: MPI).

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Programació amb memòria compartida: OpenMP

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

Regions paral·leles, threads i tasques. Task/thread barriers. Exclusió mútua i locks. Distribuidors de feina: bucles.

### Revisió de problemes de controls

Competències de la titulació a les que contribueix el contingut:

Descripció:

En aquestes sessions es resoldran dubtes que els estudiants puguin tenir en els problemes dels controls

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Planificació d'activitats

<p>Assimilació del conceptes fonamentals i eines per modelar i analitzar el comportament d'aplicacions paral·leles</p>	<p>Dedicació: 20h Grup gran/Teoria: 6h Grup mitjà/Pràctiques: 0h Grup petit/Laboratori: 8h Activitats dirigides: 0h Aprentatge autònom: 6h</p>
<p>Descripció: Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del temes 1 i 2 i realitzar els exercicis proposats. Resolució dels exercicis proposats en les sessions de laboratori i extracció de conclusions.</p> <p>Objectius específics: 1, 2, 3, 10</p>	
<p>Ús d'OpenMP per l'expressió de paral·lelisme en memòria compartida</p>	<p>Dedicació: 44h Grup gran/Teoria: 0h Grup mitjà/Pràctiques: 0h Grup petit/Laboratori: 22h Activitats dirigides: 0h Aprentatge autònom: 22h</p>
<p>Descripció: Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 6 i preparar la realització dels exercicis proposats per les sessions de laboratori. Resolució del exercicis proposats en les sessions de laboratori i extracció de conclusions.</p> <p>Objectius específics: 4, 7, 10, 11</p>	
<p>Assimilació dels principis de descomposició en tasques</p>	<p>Dedicació: 18h Grup gran/Teoria: 8h Grup mitjà/Pràctiques: 0h Grup petit/Laboratori: 0h Activitats dirigides: 0h Aprentatge autònom: 10h</p>
<p>Descripció: Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 4 i realitzar els exercicis proposats. Aplicar els nous coneixements per la resolució dels exercicis de laboratori del tema 6.</p> <p>Objectius específics: 5, 6, 10</p>	
<p>Control temes 1, 2 i 3</p>	<p>Dedicació: 10h Activitats dirigides: 2h Aprentatge autònom: 8h</p>

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

Objectius específics:  
1, 5, 6, 7, 9, 10

Assimilació dels aspectes fonamentals en les arquitectures paral·leles

Dedicació: 12h  
Grup gran/Teoria: 6h  
Grup mitjà/Pràctiques: 0h  
Grup petit/Laboratori: 0h  
Activitats dirigides: 0h  
Aprentatge autònom: 6h

Descripció:

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 5 i realitzar els exercicis proposats.

Objectius específics:  
8, 10

Assimilació dels principis de descomposició de dades

Dedicació: 14h  
Grup gran/Teoria: 6h  
Grup mitjà/Pràctiques: 0h  
Grup petit/Laboratori: 0h  
Activitats dirigides: 0h  
Aprentatge autònom: 8h

Descripció:

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 5 i realitzar els exercicis proposats. Fer ús de OpenMP per l'expressió de descomposicions de dades per arquitectures amb memòria compartida.

Objectius específics:  
5, 6, 10

Control temes 4 i 5

Dedicació: 10h  
Activitats dirigides: 2h  
Aprentatge autònom: 8h

Objectius específics:  
4, 5, 6, 7, 8, 10

Revisió de problemes dels controls

Dedicació: 7h  
Grup gran/Teoria: 0h  
Grup mitjà/Pràctiques: 0h  
Grup petit/Laboratori: 0h  
Activitats dirigides: 3h  
Aprentatge autònom: 4h

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de problemes.

**Objectius específics:**

9, 10

**Examen final**

Dedicació: 15h

Activitats dirigides: 3h

Aprenentatge autònom: 12h

**Objectius específics:**

4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Sistema de qualificació

La nota de l'assignatura es calcula a partir de 2 notes:

- Nota de continguts teòrics (pes 70%).
- Nota de laboratori (pes 30%).

La nota de laboratori (Lab) s'obté bàsicament a partir de les notes dels entregables, modulada pel rendement durant les sessions de laboratori i el resultat d'una possible entrevista a final de curs per part del professor de laboratori.

Durant el curs es fan 2 controls C1 i C2. La nota d'avaluació contínua (AC) es calcula com la mitjana de les notes obtingudes en els 2 controls:

$$AC = 0.5 * C1 + 0.5 * C2$$

Si  $AC \geq 5$ , llavors la nota final (NF) de l'alumne serà:

$$NF = 0.3 * Lab + 0.7 * AC$$

L'alumne haurà de fer l'examen final (EF) en cas de que  $AC < 5$ . En aquest cas, la nova nota final es calcularà:

$$NF = 0.3 * Lab + 0.7 * \max(EF, 0.25 * AC + 0.75 * EF)$$

Si algun alumne que hagi aprovat l'avaluació contínua ( $AC \geq 5$ ) vol fer l'examen final amb l'objectiu de pujar nota, te que avisar al coordinador de l'assignatura per e-mail com a mínim amb una setmana d'antelació a la data de l'examen. En aquest cas, la nova nota final es calcularà tal como s'indica a continuació:

$$NF = 0.3 * Lab + 0.7 * \max(EF, AC)$$

La competència transversal de tercera llengua s'avaluarà a partir del lliurament dels informes de les pràctiques. Aquests informes s'haurà d'escriure en anglès i requeriran la lectura prèvia del enunciat de la pràctica (també en anglès) i la consulta del manual d'OpenMP. S'avaluarà tant l'estructura del document escrit com la capacitat de transmetre els resultats i les conclusions de la pràctica, seguint les rúbriques publicades amb antelació. La competència s'avaluarà amb valors A, B, C, D, NO on:

- A indica que la competència s'ha superat amb un nivell d'excel·lència
- B indica que la competència s'ha superat amb el nivell desitjat
- C indica que la competència s'ha superat amb un nivell suficient
- D indica que la competència no s'ha superat
- NA indica que la competència no s'ha avaluat



## 270020 - PAR - Paral·lelisme

### Bibliografia

#### Bàsica:

Grams, A.; Karypis, G.; Kumar, V.; Gupta, A. Introduction to parallel computing. 2nd ed. Pearson Education, 2003. ISBN 0201648652.

OpenMP application programming interface: version 5.0 [en línia]. OpenMP, 2018 Disponible a: <http://www.openmp.org/mp-documents/OpenMP4.0.0.pdf>.

#### Complementària:

Hennessy, J.L.; Patterson, D.A. Computer architecture: a quantitative approach. 6th ed. Elsevier, Morgan Kaufmann, 2019. ISBN 9780128119051.

Culler, D.E.; Singh, J.P.; Gupta, A. Parallel computer architecture: a hardware/software approach. Morgan Kaufmann Publishers, 1999. ISBN 9781558603431.