



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VĂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA
POLITEHNICĂ DIN
BUCUREȘTI

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013
Investește în oameni!



UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI



Felicia IONESCU

ELEMENTE DE CALCUL PARALEL

MASTER ITEMS

Tehnici de Analiză, Modelare și Simulare
pentru Imagistică, Bioinformatică și Sisteme Complexe

CUPRINS

1	ARHITECTURI PENTRU CALCULUL PARALEL	1
1.1	Introducere	1
1.2	Clasificarea calculatoarelor după mecanismul de control	8
1.3	Clasificarea calculatoarelor paralele după organizarea memoriei	12
1.3.1	Arhitecturi cu memorie partajată	12
1.3.2	Arhitecturi cu transfer de mesaje	14
1.4	Clasificarea calculatoarelor MIMD	15
1.5	Granularitatea calculatoarelor paralele	15
1.6	Sisteme paralele și distribuite	16
1.6.1	Clustere de calculatoare	17
1.6.2	Sisteme Grid	21
1.6.3	Sisteme Cloud Computing	21
1.7	Scurt istoric al dezvoltării sistemelor paralele și distribuite	22
1.7.1	Prototipuri de calculatoare paralele destinate cercetării	22
1.7.2	Primele generații de calculatoare paralele	23
1.7.3	Generația actuală de sisteme paralele și distribuite	23
1.8	Rețele de interconectare din calculatoarele paralele	26
1.8.1	Rețele de interconectare dinamice	27
1.8.2	Rețele de interconectare statice	34
1.9	Rețele de interconectare din clusterelor de calculatoare	43
1.9.1	Rețeaua Gigabit Ethernet	43
1.9.2	Rețeaua Infiniband	44
1.9.3	Rețeaua Myrinet	45

2	PROIECTAREA ȘI ANALIZA ALGORITMILOR PARALELI	47
2.1	Dependențe între task-uri	47
2.1.1	Categoriile de dependențe între task-uri	48
2.1.2	Condițiile de paralelism între task-uri	50
2.1.3	Graful de dependență al task-urilor	51
2.1.4	Descrierea algoritmilor paraleli	52
2.1.5	Etapele de dezvoltare a algoritmilor paraleli	54
2.2	Proiectarea algoritmilor paraleli	55
2.2.1	Partiționarea algoritmilor	56
2.2.2	Comunicațiile între task-uri	61
2.2.3	Gruparea task-urilor	62
2.2.4	Maparea (planificarea) task-urilor	66
2.2.5	Sincronizarea între task-uri	68
2.3	Analiza algoritmilor paraleli	69
2.3.1	Estimarea timpului de execuție a algoritmilor	69
2.3.2	Indicatorii de performanță ai algoritmilor paraleli	70
2.3.3	Scalabilitatea sistemelor paralele	74
2.4	Modelul PRAM	77
2.4.1	Comunicația și sincronizarea între procesoare în PRAM	77
2.4.2	Algoritmi PRAM	79
3	PROGRAMAREA ALGORITMILOR PARALELI	91
3.1	Programarea paralelă prin variabile partajate	91
3.1.1	Excluderea mutuală	92
3.1.2	Mutex-uri	97
3.1.3	Semafoare	103
3.1.4	Monitoare	108
3.1.5	Biblioteca de thread-uri POSIX (PTHREADS)	109
3.1.6	Biblioteca OpenMP	116
3.1.7	Concluzii – programarea paralelă prin variabile partajate	123
3.2	Programarea paralelă prin transfer de mesaje	123
3.2.1	Comunicațiile în sistemele cu transfer de mesaje	124
3.2.2	Sincronizarea în sistemele cu transfer de mesaje	127
3.2.3	Biblioteca MPI (Message Passing Interface)	129
3.2.4	Concluzii – programarea paralelă prin transfer de mesaje	141

4	TEHNICI DE PARALELIZARE A ALGORITMILOR	143
4.1	Paralelizarea explicită a algoritmilor	144
4.1.1	Paralelizarea buclelor cu un singur nivel	144
4.1.2	Paralelizarea buclelor imbricate pe mai multe niveluri	144
4.1.3	Paralelizarea buclelor succesive	147
4.1.4	Paralelizarea buclelor combinate	151
4.2	Algoritmi de reducere paralelă	151
4.2.1	Paralelizarea variantei (I) a algoritmului de reducere	152
4.2.2	Paralelizarea variantei (II) a algoritmului de reducere	154
4.2.3	Comparație între implementările algoritmului de reducere	158
4.3	Transformata Fourier Rapidă (Fast Fourier Transform - FFT)	159
4.3.1	Algoritmul secvențial FFT	160
4.3.2	Paralelizarea algoritmului FFT	161
4.4	Rezolvarea sistemelor de ecuații lineare	168
4.4.1	Algoritmi de rezolvare a sistemelor de ecuații lineare: Eliminarea Gaussiană (GE) și Gauss-Jordan (GJ)	168
4.4.2	Paralelizarea algoritmilor GE și GJ	179
4.4.3	Algoritmii paraleli GE și GJ în sisteme cu memorie partajată	181
4.4.4	Algoritmii paraleli GE și GJ în sisteme cu transfer de mesaje	189
4.4.5	Măsurători experimentale ale performanțelor algoritmilor GE și GJ	193
4.5	Paralelizarea automată a algoritmilor	195
4.5.1	Teste de dependență între iterațiile buclelor	195
4.5.2	Analiza dependențelor în bucle cu un singur nivel	201
4.5.3	Compilatoare cu paralelizare automată	205
4.6	Concluzii – paralelizarea algoritmilor	206
	ANEXA 1 – LIMITELE ASIMPTOTICE ALE FUNCȚIILOR	207
	ANEXA 2 – PROCESE ȘI THREAD-URI	213
	BIBLIOGRAFIE	229