

Sorin-Ionuț CALOIAN

**PROGRAMARE PARALELĂ,
CONCURENȚĂ ȘI DISTRIBUITĂ**

**Aplicații Practice și Studii de Caz
în Python/mmpi4py**



EDITURA „ALMA MATER”
BACĂU, 2026

REFERENȚI ȘTIINȚIFICI

Prof. univ. dr. Elena NECHITA
Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău

Conf. univ. dr. Cerasela CRIȘAN
Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
CALOIAN, SORIN-IONUȚ

**Programare paralelă, concurentă și distribuită :
aplicații practice și studii de caz în Python/mpi4py /**

Sorin-Ionuț Caloian. - Bacău : Alma Mater, 2026

Conține bibliografie

ISBN 978-606-527-753-3

004

Copyright © 2026, Editura „Alma Mater” Bacău
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate editurii
Calea Mărășești, nr. 157, 600115, Bacău, România
Tel.: +40-234-542-411 int. 208
Tel./Fax: +40-234-545-753
<https://editura-almamater.ub.ro/>
E-mail: almamater@ub.ro
E-mail: edituraalmamater@gmail.com

Cuprins

Introducere	1
1 Mediul de Lucru mpi4py. Noțiuni Fundamentale și Difuzarea Datelor (Broadcast)	2
1.1 Obiectivele Laboratorului	2
1.2 Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	2
1.2.1 De la Modelul von Neumann la Arhitecturi MIMD	2
1.2.2 Paradigma SPMD (Single Program, Multiple Data)	3
1.2.3 Mecanismul Comunicației Colective: Broadcast (1-la-Toți)	4
1.3 Configurarea Mediului de Dezvoltare	4
1.3.1 Configurarea pe Microsoft Windows	5
1.3.2 Configurarea pe Linux (Ubuntu / Pop!_OS / Debian)	6
1.3.3 Verificarea Configurației din Python	6
1.4 Exemple Practice Rezolvate	6
1.4.1 Exemplul 1: Identificarea Proceselor în Modelul SPMD	6
1.4.2 Lansarea Corectă în Execuție: Terminal vs. IDE	8
1.4.3 Exemplul 2: Difuzarea unei Structuri Complexe de Date (<code>comm.bcast</code>)	9
1.5 Exerciții Practice Propuse	11
2 Comunicații Directe între Procese (1-la-1) și Colectarea Datelor (Gather)	13
2.1 Obiectivele Laboratorului	13

2.2	Fundamente Teoretice	
	și Concepte Cheie	13
2.2.1	Modelul Comunicațiilor Directe (1-la-1)	13
2.2.2	Problema Blocajului Critic (Deadlock)	14
2.2.3	Comunicația Colectivă de Colectare: Gather (Toți- la-1)	15
2.3	Exemple Practice Rezolvate	15
2.3.1	Exemplul 1: Schimb Direct Simetric (Evitarea Deadlock-ului)	15
2.3.2	Exemplul 2: Ramificarea Sarcinilor și Simularea Jocului de Zaruri	17
2.3.3	Exemplul 3: Reducerea Globală a Rezultatelor prin Colectare (<code>comm.gather</code>)	19
2.4	Exerciții Practice Propuse	22

3 Paradigma Coordonator-Executanți

	(Master-Worker) și Prelucrarea Asincronă a Sarcinilor	24
3.1	Obiectivele Laboratorului	24
3.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	25
3.2.1	Arhitectura Master-Worker (Coordonator-Executanți)	25
3.2.2	Procesarea și Transformarea Datelor în Tranzit	26
3.2.3	Strategii de Centralizare a Mesajelor Multiple .	26
3.2.4	Timp Cumulat vs. Timp Real de Ceas (Wall- Clock Time)	27
3.3	Exemple Practice Rezolvate	28
3.3.1	Exemplul 1: Modificarea și Retransmiterea Da- telor între Două Procese	28

3.3.2	Exemplul 2: Sistemul de Dispecerat al Echipelor de Intervenție pe Teren	31
3.4	Exerciții Practice Propuse	35
4	Comunicația în Topologie de Tip Inel (Ring) și Proce- sarea în Pipelining	38
4.1	Obiectivele Laboratorului	38
4.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	38
4.2.1	Topologia de Tip Inel (Ring Topology)	38
4.2.2	Principiul Procesării în Pipeline (Linie de Asam- blare)	39
4.2.3	Secvențializarea și Evitarea Blocajelor în Inel	39
4.3	Exemple Practice Rezolvate	40
4.3.1	Exemplul 1: Construirea unui Număr prin Pro- pagare Circulară	40
4.3.2	Exemplul 2: Generalizarea Inelului pentru P Pro- cese Arbitrare	43
4.4	Exerciții Practice Propuse	45
5	Comunicații Colective: Distribuirea (Scatter) și Colec- tarea (Gather) Datelor	48
5.1	Obiectivele Laboratorului	48
5.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	49
5.2.1	Limitele Comunicațiilor Punct-la-Punct în Grupuri Mari	49
5.2.2	Primitiva Scatter: Distribuirea Partițiilor (1-la-Toți)	49
5.2.3	Primitiva Gather: Centralizarea Rezultatelor Toți- la-1)	50

5.3	Exemple Practice Rezolvate	51
5.3.1	Exemplul 1: Împărțirea și Reasamblarea Datelor prin Scatter / Gather	51
5.3.2	Exemplul 2: Calculul Numeric Distribuit pe Seg- mente de Vector	53
5.4	Exerciții Practice Propuse	56
6	Comunicații Colective de Reducere Globală (Reduce, Allreduce și Scan)	58
6.1	Obiectivele Laboratorului	58
6.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	58
6.2.1	Conceptul de Reducere Distribuită (Reduce) . .	58
6.2.2	Reducerea cu Difuzare Simultană: Allreduce . .	59
6.2.3	Operația de Scanare Prefix (Scan)	59
6.3	Exemple Practice Rezolvate	60
6.3.1	Exemplul 1: Calculul Normei Vectoriale și Produsului Sclar (<code>comm.reduce</code>)	60
6.3.2	Exemplul 2: Sincronizarea Deciziilor Globale prin <code>comm.allreduce</code>	61
6.3.3	Exemplul 3: Operator de Reducere Personalizat (<i>Custom MPI.Op</i>)	63
6.4	Exerciții Practice Propuse	64
7	Comunicații Non-Blocante și Suprapunerea Calculului cu Comunicația	66
7.1	Obiectivele Laboratorului	66
7.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	67
7.2.1	Limitele Comunicației Blocante și Noțiunea de Latență	67

7.2.2	Mecanismul Comunicațiilor Non-Blocante (Asincrone)	68
7.2.3	Categoriile Modurilor de Transmisie MPI	68
7.2.4	Studiu Formal: Suprapunerea Calculului cu Comunicația	69
7.3	Regulile Fundamentale de Integritate a Memoriei . . .	70
7.4	Exemple Practice Rezolvate	71
7.4.1	Exemplul 1: Schimb Simetric de Date Fără Risc de Blocaj Critic	71
7.4.2	Exemplul 2: Ascunderea Latenței de Rețea prin Suprapunere	73
7.5	Exerciții Practice Propuse	76
8	Algoritmi Numerici Distribuți:	
	Metoda Eliminării (a lui Gauss)	79
8.1	Obiectivele Laboratorului	79
8.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	80
8.2.1	Modelul Matematic al Eliminării (a lui Gauss)	80
8.2.2	Strategia de Distribuire a Datelor	80
8.3	Exemple Practice Rezolvate	81
8.4	Exerciții Practice Propuse	85
9	Programare Dinamică Distribuită:	
	Înmulțirea Lanțului de Matrice	86
9.1	Obiectivele Laboratorului	86
9.2	Fundamente și Concepte Cheie	86
9.2.1	Formularea Problemei	86
9.2.2	Paralelizarea pe Diagonale (Front de Undă) . .	87
9.3	Exemple Practice Rezolvate	87

9.4	Exerciții Practice Propuse	89
-----	--------------------------------------	----

10 Optimizare Combinatorie Distribuită:

Căutare Paralelă pentru Problema Comis-Voiajorului

(TSP)		91
-------	--	-----------

10.1	Obiectivele Laboratorului	91
------	-------------------------------------	----

10.2	Fundamente Teoretice și Concepte Cheie	92
------	--	----

10.2.1	Problema Comis-Voiajorului (TSP)	92
--------	--	----

10.2.2	Căutarea Locală și Euristica 2-opt	93
--------	--	----

10.2.3	Paralelizarea prin Multi-Start Local Search . . .	94
--------	---	----

10.3	Exemplu Practic Rezolvat	95
------	------------------------------------	----

10.4	Evaluarea Performanței	101
------	----------------------------------	-----

10.5	Exerciții Practice Propuse	102
------	--------------------------------------	-----

10.6	Întrebări pentru Analiză	105
------	------------------------------------	-----

Bibliografie		107
---------------------	--	------------