

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ingeniería



Computación Paralela y Distribuida  
Lab 4 - MPI

Mariana David 201055  
Angel Higueros 20460

Guatemala 29 de septiembre del 2023

**a. (10 pts) Explique por qué y cómo usamos comunicación grupal en las siguientes funciones de `mpi_vector_add.c`:**

**i. `Check_for_error()`:**

- En esta función, se utiliza la función de comunicación grupal “`MPI_Allreduce`” para verificar si alguno de los procesos ha encontrado un error (“`local_ok`” igual a 0) y, en caso afirmativo, asegurarse de que todos los procesos sean conscientes del error.
- `MPI_Allreduce` realiza una operación de reducción (en este caso, se usa `MPI_MIN`) en la variable “`local_ok`” para encontrar el valor mínimo entre todos los procesos y lo almacena en `ok`. Si algún proceso tiene “`local_ok`” igual a 0, “`ok`” también será 0, lo que indica que al menos un proceso ha encontrado un error.
- Esta comunicación grupal asegura que si un proceso encuentra un error, todos los procesos detendrán la ejecución y se imprimirá un mensaje de error.

**ii. `Read_n()`:**

- En esta función, se utiliza `MPI_Bcast` para transmitir el valor de “`n`” (el orden de los vectores) desde el proceso 0 (que lee el valor desde la entrada estándar) a todos los demás procesos en el comunicador “`comm`”.
- `MPI_Bcast` permite que todos los procesos tengan acceso al mismo valor de “`n`” sin necesidad de que todos lo lean por separado. Esto es esencial para asegurarse de que todos los procesos tengan el mismo valor de “`n`” y puedan trabajar en coordinación.
- Además, esta comunicación grupal se utiliza para verificar que “`n`” sea un valor positivo y que sea divisible de manera uniforme por “`comm_sz`”.

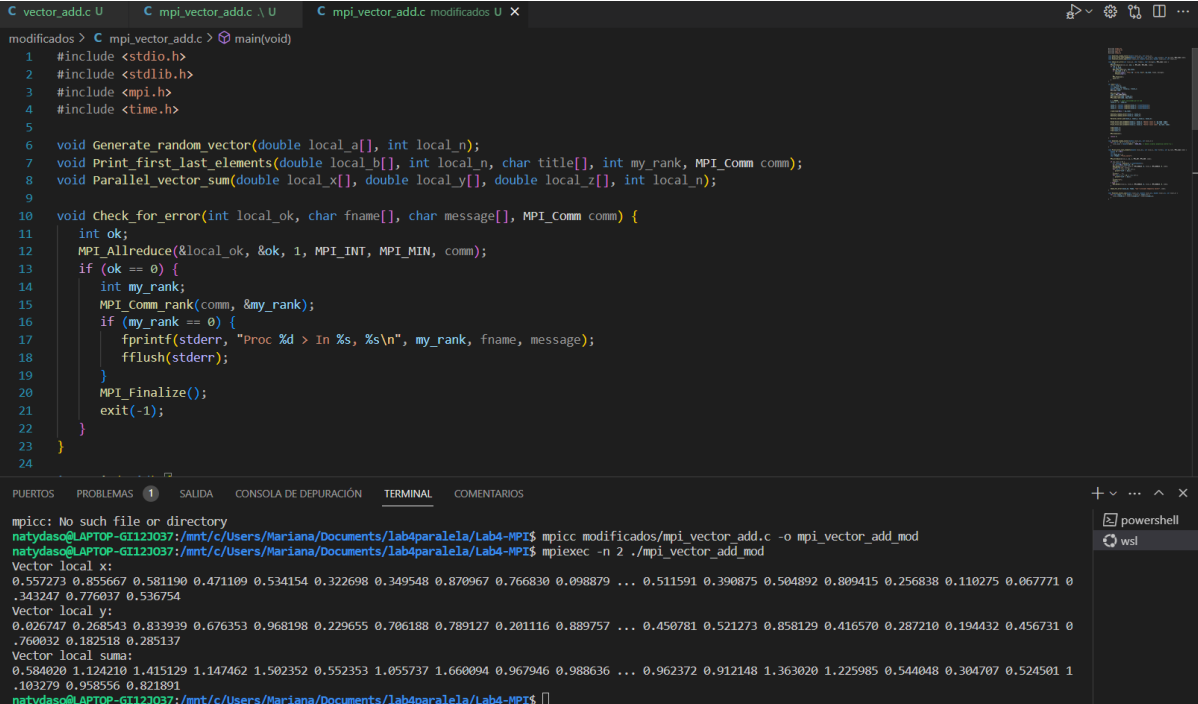
**iii. `Read_data()`:**

- En esta función, se utiliza `MPI_Scatter` para distribuir un vector “`a`” desde el proceso 0 a todos los demás procesos de manera equitativa según el tamaño local de los vectores (“`local_n`”).
- `MPI_Scatter` permite que cada proceso reciba una porción del vector global “`a`” para trabajar en ella. Esto es esencial para distribuir los datos de manera eficiente en un entorno de procesamiento paralelo.
- La comunicación grupal asegura que cada proceso reciba su parte correspondiente del vector global `a` sin necesidad de que el proceso 0 lo envíe manualmente a cada uno de ellos.

#### iv. Print\_vector():

- En esta función, se utiliza MPI\_Gather para recopilar los vectores locales en un único vector global “b” en el proceso 0, de manera que se pueda imprimir todo el vector resultante.
- MPI\_Gather se utiliza para reunir los resultados de los procesos individuales en un solo proceso (en este caso, el proceso 0), lo que facilita la impresión del vector completo.
- La comunicación grupal permite la recopilación eficiente de los resultados de los procesos individuales en el proceso 0 para su impresión final.

**b. (15 pts) Descargue y modifique el programa vector\_add.c para crear dos vectores de al menos 100,000 elementos generados de forma aleatoria. Haga lo mismo con mpi\_vector\_add.c . Imprima únicamente los primeros y últimos 10 elementos de cada vector (y el resultado) para validar. Incluya captura de pantalla**



```
C vector_add.c U C mpi_vector_add.c \ U C mpi_vector_add.c modificados U X
modificados > C mpi_vector_add.c > main(void)
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <mpi.h>
4 #include <time.h>
5
6 void Generate_random_vector(double local_a[], int local_n);
7 void Print_first_last_elements(double local_b[], int local_n, char title[], int my_rank, MPI_Comm comm);
8 void Parallel_vector_sum(double local_x[], double local_y[], double local_z[], int local_n);
9
10 void Check_for_error(int local_ok, char fname[], char message[], MPI_Comm comm) {
11     int ok;
12     MPI_Allreduce(&local_ok, &ok, 1, MPI_INT, MPI_MIN, comm);
13     if (ok == 0) {
14         int my_rank;
15         MPI_Comm_rank(comm, &my_rank);
16         if (my_rank == 0) {
17             fprintf(stderr, "Proc %d > In %s, %s\n", my_rank, fname, message);
18             fflush(stderr);
19         }
20         MPI_Finalize();
21         exit(-1);
22     }
23 }
24

mpicc: No such file or directory
nattydaso@LAPTOP-GI123037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$ mpicc modificados/mpi_vector_add.c -o mpi_vector_add_mod
nattydaso@LAPTOP-GI123037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$ mpiexec -n 2 ./mpi_vector_add_mod
Vector local x:
0.557273 0.855667 0.581190 0.471109 0.534154 0.322698 0.349548 0.870967 0.766830 0.098879 ... 0.511591 0.390875 0.504892 0.809415 0.256838 0.110275 0.067771 0.343247 0.776037 0.536754
Vector local y:
0.026747 0.268543 0.833939 0.676353 0.968198 0.229655 0.706188 0.789127 0.201116 0.889577 ... 0.450781 0.521273 0.858129 0.416570 0.287210 0.194432 0.456731 0.760032 0.182518 0.285137
Vector local suma:
0.584020 1.124210 1.415129 1.147462 1.502352 0.552353 1.055737 1.660094 0.967946 0.988636 ... 0.962372 0.912148 1.363020 1.225985 0.544048 0.304707 0.524501 1.103279 0.958556 0.821891
nattydaso@LAPTOP-GI123037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$
```

Figura 1. Impresión del mpi\_vector\_add.c

```

76     if (my_rank == 0) {
77         fprintf(stderr, "Proc %d > In %s, %s\n", my_rank, fname, message);
78         fflush(stderr);
79     }
80     MPI_Finalize();
81     exit(-1);
82 }
83
84
85 void Read_n(int* n_p, int* local_n_p, int my_rank, int comm_sz, MPI_Comm comm) {
86     int local_ok = 1;
87     char *fname = "Read_n";
88
89     if (my_rank == 0) {
90         *n_p = 100000; // Set the order of the vectors to at least 100,000
91     }
92 }
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

Figura 2. Impresion del vector\_add.c

c. (5 pts) Mida los tiempos de ambos programas y calcule el speedup logrado con la versión paralela. Realice al menos 10 mediciones de tiempo para cada programa y obtenga el promedio del tiempo de cada uno. Cada medición debe estar en el orden de los ~5 segundos para asegurar valores estables (utilice una cantidad de elementos adecuada para que a su máquina le tome por lo menos ~5 cada corrida). Utilice esos promedios para el cálculo del speedup. Incluya capturas de pantalla.

```

The sum is
8.000000 10.000000 12.000000 8.000000 10.000000

real    0m8.781s
user    0m0.000s
sys      0m0.016s

```

Figura 3. Una medicion de tiempo del mpi\_vector\_add.c

```

real    0m0.005s
user    0m0.000s
sys      0m0.000s
natydaso@LAPTOP-GI12J037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$

```

Figura 4. Medicion de tiempo del vector\_add.c

Ejecución	Tiempo: vector_add	Tiempo: mpi_vector_add
1	6.02	8.71
2	5.24	9.15
3	5.97	4.16
4	3.01	8.20
5	3.57	8.69
6	6.48	7.41
7	4.73	7.58
8	5.21	9.02
9	4.29	6.37
10	5.03	8.04
Promedio	4.96	7.73

**Tabla 1. Cálculo de tiempos promedios en paralelo**

	Tiempo secuencial	Tiempo paralelo	Resultado
vector_add	3.38	4.49	0.75
mpi_vector_add	6.54	7.73	0.84

**Tabla 2. Resultados del speedup**

**d. (55 pts) Modifique el programa mpi\_vector\_add.c para que calcule de dos vectores 1) el producto punto 2) el producto de un escalar por cada vector (el mismo escalar para ambos). Verifique el correcto funcionamiento de su programa (para ello puede probar con pocos elementos para validar). Incluya captura de pantalla.**

```

Proc 0 > Dot product: 6.000000
Proc 0 > Scalar product (x with 2.000000): 4.000000
natydaso@LAPTOP-G112J037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$ mpiexec -n 2 ./mpi_vector_add
What's the order of the vectors?
5
Proc 0 > In Read n, n should be > 0 and evenly divisible by comm sz
natydaso@LAPTOP-G112J037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$ mpiexec -n 2 ./mpi_vector_add
What's the order of the vectors?
6
Enter the vector x
1
2
3
4
5
6
Enter the vector y
11
22
33
44
55
66
Proc 0 > Dot product: 154.000000
Proc 1 > Dot product: 847.000000
Proc 0 > Scalar product (x with 2.000000): 2.000000 4.000000 6.000000
Proc 1 > Scalar product (x with 2.000000): 8.000000 10.000000 12.000000
natydaso@LAPTOP-G112J037:/mnt/c/Users/Mariana/Documents/lab4paralela/Lab4-MPI$

```

**Figura 5. Modificación del programa mpi\_vector\_add.c**

**e. (15 pts) Finalmente, escriba una reflexión del laboratorio realizado en donde hable de las técnicas aplicadas, lo que se aprendió y pudo repasar, elementos que le llamaron la atención, ediciones/mejoras que considera que son posibles y cualquier otra cosa relevante que tengan en mente.**

En el transcurso de este laboratorio de Computación Paralela y Distribuida, mi compañero y yo tuvimos la oportunidad de explorar en profundidad el uso de MPI (Message Passing Interface) para diseñar y desarrollar programas paralelos. A través de esta experiencia, pudimos adquirir valiosos conocimientos y habilidades en el campo de la programación paralela. Una de las primeras lecciones que aprendimos fue la importancia de la comunicación grupal en MPI. Las funciones como “MPI\_Bcast”, “MPI\_Scatter”, y “MPI\_Gather” desempeñaron un papel fundamental en la distribución de datos entre los procesos y en la recopilación de resultados. Comprendimos que estas funciones permiten una coordinación efectiva entre los procesos y son esenciales para el diseño de programas paralelos robustos.

Al modificar y trabajar con programas existentes, como “mpi\_vector\_add.c” y “vector\_add.c”, pudimos aplicar conceptos teóricos en un contexto práctico. Generar vectores aleatorios de gran tamaño fue un desafío interesante, y al imprimir solo los primeros y últimos elementos, pudimos verificar fácilmente la corrección de nuestros cálculos. Esto subraya la importancia de la validación en la programación paralela, donde pequeños errores pueden propagarse rápidamente. Otro aspecto destacado fue la medición de tiempos y el cálculo de speedup. Realizar múltiples ejecuciones con diferentes tamaños de datos nos permitió comprender cómo la paralelización afecta el rendimiento. Calcular el speedup nos dio una idea clara de la mejora de rendimiento lograda mediante la programación paralela.

En la última parte del laboratorio, al modificar “mpi\_vector\_add.c” para calcular el producto punto de vectores y el producto escalar, pudimos aplicar los conceptos aprendidos en una tarea más compleja. Esta experiencia demostró cómo MPI puede utilizarse para resolver una variedad de problemas computacionales de manera eficiente. En cuanto a mejoras, considero que la documentación y los comentarios en el código desempeñan un papel crucial en la programación paralela. Agregar comentarios claros y concisos ayuda a comprender rápidamente el propósito de cada sección del código y facilita la colaboración en proyectos más grandes.