# UNIVERSIDAD DE COLIMA

Facultad de Telemática

Ingeniería en Software

# Práctica #10
# “Multiplicación de Matrices con MPI”


Ramírez García Gilberto Felipe

Valencia Sandoval Alfonso

Velasco Munguía Roberto Antonio

5 - “K”

Prof. Ramirez Alcaraz Juan Manuel


18 de Noviembre del 2019

# Índice

# Introducción

- (Actividad en equipo de tres personas)
- Hacer un programa paralelo con MPI en C que calcule la multiplicación de 2 matrices, una de orden MxN y otra de NxP.
- Los valores se pueden generar aleatoriamente o introducirlos por teclado.
- El proceso maestro debe distribuir los datos por bloques a cada proceso.
- Para mantener simple el algoritmo, genere el mismo número de procesos que renglones tenga la primer matriz.
- Para cada ejercicio probar la ejecución con al menos 2 diferentes número de procesadores.
- Agregar capturas de pantalla del proceso.
- Recuerden registrar los problemas que encontraron.
- El reporte debe estar en el formato de práctica acordado para la clase.

# Desarrollo

## Conexión con el cluster

El primer paso para realizar esta práctica será establecer conexión al cluster, tal como lo hemos visto en prácticas anteriores.

```
gilberto@gilberto-Satellite-U940:~$ ssh curso11@148.228.4.17
curso11@148.228.4.17's password:
Last login: Thu Nov  7 22:45:30 2019 from 187.204.176.177
[curso11@rogueone ~]$
```

Para mantener orden en la práctica, creamos un directorio de trabajo para almacenar todos nuestros archivos y códigos de programación de este programa.

```
communication  hello-world  ramirez  sumaVector
[curso11@rogueone ~]$
```

## Codificación del programa

Escribimos nuestro programa en un archivo de texto con extensión "*.c*". En nuestro caso utilizamos un editor de código local para poder hacer uso de herramientas de corrección y resaltado de código, por lo que posteriormente subiremos el archivo al cluster utilizando *scp*.

### Incluimos las bibliotecas de nuestro programa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
#include <mpi.h>
```

## Función para generar matrices

```
void Generate_Matrix(int columns, int rows, int
outM[rows][columns]) {
  for (int i = 0; i < rows; i++) {
    for (int j = 0; j < columns; j++)
    {
      outM[i][j] = (rand() % 15) + 1;
    }
  }

  return;
}
```

La función genera una matriz. Recibe como argumentos el número de columnas, el número de filas, y una matriz del tamaño de rows x columns.

Dentro de la función tenemos dos ciclos anidado que al iterarse van generando los números aleatorios con la función `rand()` en la matriz outM[i][j].

Al llamar esta función en el método main creamos una variable la cual se pasa como parámetro al argumento outM, por lo que la variable en el método main y la que recibe Generate_Matrix apuntan al mismo espacio de memoria, por lo que podemos decir que outM es una variable de salida de la función.

## Función para imprimir

```
void Print_Matrix(int rows, int columns, int
matrix[rows][columns]) {
  for (int i = 0; i < rows; i++) {
    for (int j = 0; j < columns; j++) {
      printf("%d ", matrix[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
  printf("\n");
}
```

Esta función tiene como tarea imprimir las matrices que utilizaremos en el trabajo. Recibe como argumentos el número de filas, el número de columnas, y la matriz que debe corresponder a los tamaños dados en los dos argumentos anteriores.

Dentro de la función dos ciclos anidado se encarga de imprimir la matriz que recibe la función.

## Función para multiplicar las matrices

```
void Multiply_Matrices(int m, int n, int p, int mA[m][n], int
mB[n][p], int outM[m][p]) {
  for (int i = 0; i < m; i++) {
    for (int j = 0; j < p; j++) {
      outM[i][j] = 0;
      for (int k = 0; k < n; k++) {
        outM[i][j] += mA[i][k] * mB[k][j];
      }
    }
  }
  return;
}
```

Esta función tiene como tarea realizar la multiplicación de matrices. Recibe como argumentos m = el número de filas de la matriz A; n = el número de columnas de la matriz A y, a su vez, número de filas de la matriz B; p = el número de columnas de la matriz B; mA = a la matriz de número aleatorios m x n; mB = la matriz de números aleatorios n x p; y outM = la matriz en la que se almacenará el resultante de la multiplicación de la mA x mB.

Tres ciclos anidados realizan la tarea de la multiplicación. El ciclo más interno realiza el cálculo de sumar la multiplicación punto por punto de las filas de la matriz A por las columnas de la matriz B (también conocido com producto punto). El ciclo intermedio recorre las columnas de la matriz B. Mientras que el ciclo exterior, recorre las filas de la matriz A,

Al llamar esta función en el método main creamos una variable la cual se pasa como parámetro al argumento outM, por lo que la variable en el método main y la que recibe Multiply_Matrix apuntan al mismo espacio de memoria, por lo que podemos decir que outM es una variable de salida de la función.

## Función main() utilizando librería MPI

```
int main(int argc, char* argv[]) {

  int proc_id, total_procs;
```

```
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &total_procs);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &proc_id);
```

En esta sección tenemos la inicialización de:

- Variables globales del programa: el id de proceso, y el total de procesos.
- La función de inicio de MPI: MPI_Init().
- Pasamos a la variable global de comunicación `MPI_COMM_WORLD`, el total de procesos, y el id de cada proceso que participa en esta tarea con las funciones `MPI_Comm_size, y MPI_Comm_rank.`

## Condición para iniciar el programa

```
if (argc > 1) {

    int m, n, p;

    m = atoi(argv[1]);
    n = atoi(argv[2]);
    p = atoi(argv[3]);
…
  } else if (proc_id == 0) {
    printf("Program usage: matrix-multiply <m> <n> <p>\n");
  }
```

Si el programa recibe como argumentos > 1, el programa continúa. De lo contrario, se sale de ejecución y lanza un mensaje para el usuario con instrucciones de cómo mandar a ejecutar el programa pasando los parámetros m, n y p.

Dentro del if están declaradas las variables m, n, y p.

La función atoi() convierte el argumento string que recibe el programa a un dato de tipo integer.

## Validación del número de procesadores necesarios para ejecutar el programa

```
if (m >= total_procs && m % total_procs == 0) {
      int block_size = m / total_procs;
      int mA[m][n], mB[n][p], mC[m][p], pA[block_size][n],
pC[block_size][p];
...
```

```
    } else if (proc_id == 0) {
      printf("Can't execute program: More processes than columns
of A or there is no precise block size!\n");
    }
```

En esta sección se validan las condiciones para realizar la multiplicación de matrices en paralelo. Son dos condiciones. El número de procesos debe ser igual o mayor al número de filas de la matriz A y, al mismo tiempo, el número total de procesos debe ser múltiplo del número de filas de dicha matriz.

Si se cumple la condición, se declaran las variables:

- block_size: que es el número de filas de la matriz A entre el total de procesos.
- mA: para la matriz A de m x n.
- mb: para la matriz B de n x p.
- mC: para la matriz resultante de multiplicar A x B.
- pA[block_size][n]: para el vector resultado de la división de la matriz A, al dividir los datos de esta entre el total de procesos.
- pC[block_size][p]: para el vector captura la suma de la fila de las multiplicaciones de los elementos de A por los correspondientes elementos de la columna de B.

De lo contrario, el programa termina arrojando el error: `"Can't execute program: More processes than columns of A or there is no precise block size!\n"`

## Proceso Maestro

```
    if (proc_id == 0) {
       // Initialize the matrixes
       Generate_Matrix(n, m, mA);
       Generate_Matrix(p, n, mB);
     }
```

Condición para validar el trabajo que solo hace el proceso maestro. En este caso, nosotros decidimos que el proceso maestro es el proceso con el id 0. Este proceso, genera las matrices de números aleatorios A y B.

Función Scatter de MPI

```
MPI_Scatter(&mA, n * block_size, MPI_INT, &pA, n * block_size,
MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
```

La función Scatter divide el trabajo entre los procesos participantes. Divide el número de filas de la matriz A entre el total de procesos, y esto por el número de columnas de A. Estos son los argumentos de:

- Envío: la dirección del buffer del proceso que envía los datos, el número de elementos que envía, y el tipo de datos de estos.
- Recepción: la dirección del buffer del proceso que recibe los datos, el número de elementos que recibe, y el tipo de datos de estos.
- Comunicador: el proceso que reparte el trabajo, en este caso, el maestro, y el comunicador global de mpi.

## Función BroadCast de mpi

```
MPI_Bcast(&mB, p * n, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
```

La función broadCast comunica datos a todos los procesos de involucrados en la tarea. Estos son sus argumentos: dirección del buffer de envío; número de elementos a enviar, en este caso, n * p; el tipo de datos enviados; el proceso que envía, en este caso, el maestro; y el comunicador globlal de mpi.

## Llamada a la función multiplicación de matrices

```
// Performing multiplications
Multiply_Matrices(block_size, n, p, pA, mB, pC);
```

Esta es la llamada a la función de multiplicación de matrices, ya explicada arriba. Envía los argumentos de tamaño de bloque, número de columnas de A = número de filas de B, el número de columnas de B, el vector parcial de A, toda la matriz B, y el vector parcial de las sumas de las multiplicaciones de las filas de A x las columnas de B.

## Función Gather de mpi

// Collecting results

```
MPI_Gather(&pC, block_size * p, MPI_INT, &mC, block_size * p,
MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
```

La función Gather de mpi recolecta los datos de los procesos esclavos y los regresa al proceso maestro. Recibe como argumentos de:

- Envío: dirección del buffer que envía datos, el número de elementos enviados por proceso, y el tipo de dato de dichos elementos.
- Recepción: dirección del buffer que recibe datos, el número de elementos recibidos, y el tipo de dato de los mismos.

- Comunicación: id del proceso destino, en este caso, el maestro; y el comunicador usado.

### Imprimir resultados

```
// Printing results
      if (proc_id == 0) {
        printf("Printing A\n");
        Print_Matrix(m, n, mA);

        printf("Printing B\n");
        Print_Matrix(n, p, mB);

        printf("Printing C\n");
        Print_Matrix(m, p, mC);
```

Ya solo queda imprimir los resultados. Quien imprime es el proceso maestro. Imprimimos las tres matrices: A, B y C que es la matriz resultante de A x B.

Función Finalize de mpi:

```
MPI_Finalize();
 return 0;
```

La función Finaliza cierra la comunicación del programa paralelo.

## Desplegando nuestro trabajo en el cluster

Cargamos la librería de MPI y compilamos el programa matrix-multiply.c

```
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ module load Compilers/Parallel-Studio-XE-2018
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ mpiicc matrix-multiply.c
```

Adaptamos el scritp mpi-run.sh para este ejercicio:

```
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ cat mpi-run.sh
#!/bin/bash

#PBS -l nodes=2:ppn=2,walltime=00:00:10
#PBS -N mpi_poncho_matrixmult
#PBS -q staff
#PBS -d /mnt/zfs-pool/home/curso13/Poncho/matrix-multiply/
#PBS -o matrix-mult.log
#PBS -j oe
#PBS -V
#PBS -S /bin/bash

source $MODULESHOME/init/bash
module purge
module load Compilers/Parallel-Studio-XE-2018

NPROCS=`wc -l < $PBS_NODEFILE`
cat ${PBS_NODEFILE} | sort -u > $PBS_O_WORKDIR/machines.LINUX

mpirun -np $NPROCS -machinefile machines.LINUX ./matrix-multiply 8 8 8 > matrix-
mult.out
[curso13@rogueone matrix-multiply]$
```

## Ejecución del programa

Enviamos el script a la cola de ejecución, para seguir las políticas del clúster.

```
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ qsub mpi-run.sh
7459.rogueone
```

Captura con 2 nodos, 2 procesadores por nodo = 4 procesadores

m = 8, n = 8, p = 8

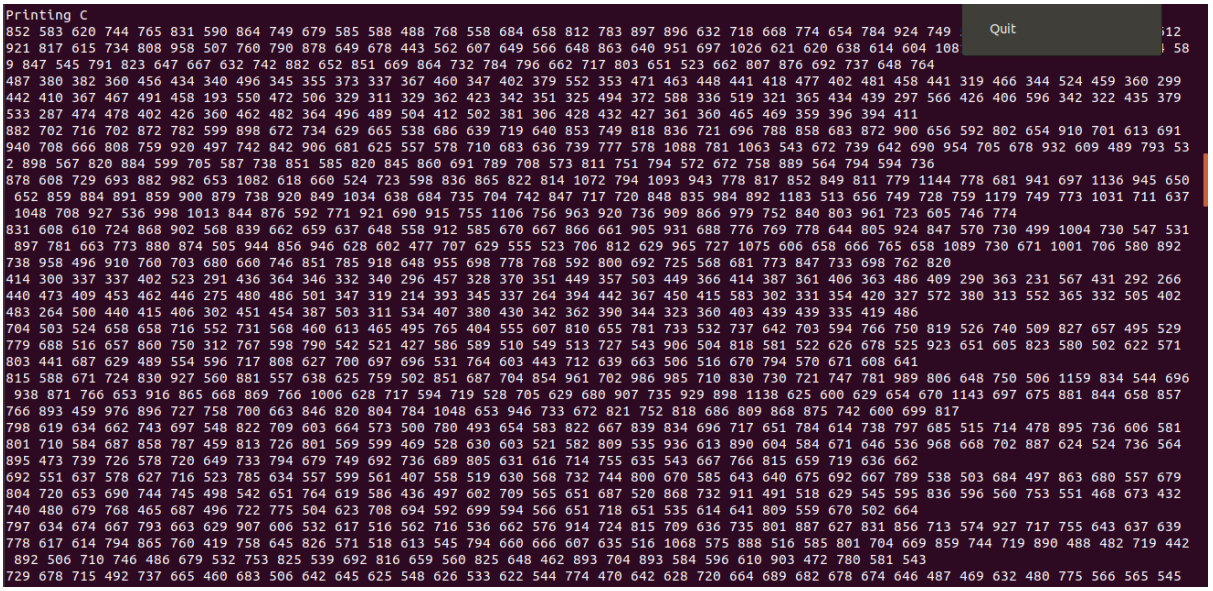
```
7459.rogueone
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ cat matrix-mult.out
Printing A
14 2 13 11 9 11 2 13
10 2 3 8 6 5 9 2
1 7 8 2 12 9 13 10
3 6 3 14 8 11 15 13
13 4 15 13 14 2 2 8
10 4 7 15 15 8 9 15
6 1 9 2 2 6 12 4
3 6 2 2 1 1 15 13

Printing B
12 6 2 10 14 3 10 1
13 1 15 13 15 15 4 6
8 4 7 9 9 10 4 12
15 5 13 1 12 4 5 8
2 7 10 15 1 11 15 14
3 7 3 3 13 13 8 12
2 6 12 2 1 15 5 15
11 10 7 8 13 12 7 6

Printing C
661 475 530 570 798 674 579 636
357 265 372 300 399 412 349 413
384 380 562 488 487 760 467 686
570 459 683 436 662 797 510 734
649 411 586 614 679 607 563 619
690 532 711 617 766 804 658 769
277 251 326 260 348 459 276 440
338 276 420 280 372 532 261 408

[curso13@rogueone matrix-multiply]$
```

Captura con 10 nodos, 2 procesadores por nodo = 20 procesadores

m = 100, n = 10, p = 100

```
[curso13@rogueone matrix-multiply]$ cat matrix-mult.out
Printing A
14 2 13 11 9 11 2 13 10 2
3 8 6 5 9 2 1 7 8 2
12 9 13 10 3 6 3 14 8 11
15 13 13 4 15 13 14 2 2 8
10 4 7 15 15 8 9 15 6 1
9 2 2 6 12 4 3 6 2 2
1 1 15 13 12 6 2 10 14 3
10 1 13 1 15 13 15 15 4 6
8 4 7 9 9 10 4 12 15 5
13 1 12 4 5 8 2 7 10 15
1 11 15 14 3 7 3 3 13 13
8 12 2 6 12 2 1 15 5 15
11 10 7 8 13 12 7 6 10 8
13 2 3 4 7 6 2 9 15 15
14 7 3 15 4 15 1 4 14 6
11 10 7 9 9 11 12 7 2 6
15 14 15 9 2 6 14 11 15 5
10 5 3 12 4 7 3 11 10 2
8 12 3 14 6 3 10 2 9 11
15 8 1 14 9 9 4 7 4 10
12 5 14 14 9 9 12 11 5 14
4 4 10 13 3 7 15 4 1 9
6 15 8 6 5 1 6 15 15 2
10 3 13 15 8 13 1 5 9 12
8 4 15 4 2 9 11 8 12 11
1 2 2 1 14 6 1 12 5 7
13 6 9 2 13 9 15 13 13 15
1 7 3 15 10 11 9 12 4 12
7 11 14 15 11 4 5 12 15 2
10 4 14 4 6 11 12 12 15 1
11 15 7 13 7 8 1 7 5 4
8 3 14 8 10 10 12 6 13 3
7 7 14 13 2 11 15 5 7 15
5 2 6 3 6 4 3 6 10 14
```

```
Printing B
9 5 5 5 7 15 6 13 15 12 3 8 2 2 13 11 3 3 15 13 10 9 1 7 7 10 6 14 2 3 3 3 15 14 7 6 13 12 11 12 1 13 11 2 15 8 12 9                    15
 1 10 2 3 9 15 2 6 12 5 1 15 5 6 10 7 12 9 10 5 11 13 2 14 1 15 15 2 14 15 1 14 1 3 9 9 9 10 6 6 14
14 12 11 4 14 2 7 14 3 11 1 7 12 6 14 11 6 15 1 5 8 15 5 10 15 5 10 9 2 7 14 15 4 9 10 2 2 1 7 12 3 8 3 15 13 9 2 3                    1 9
 13 7 4 7 9 12 15 1 4 11 4 11 6 10 15 14 11 3 5 5 1 12 13 11 11 12 9 5 11 9 14 9 8 9 7 1 6 6 1
9 2 4 11 7 13 10 12 1 4 1 5 5 4 10 7 15 13 15 11 9 1 9 9 8 10 15 15 15 12 15 15 13 11 2 11 15 11 7 7 7 15 4 3 3 13 9 9 10 8 5 10 15 5 10 14 14 9
 13 5 6 5 4 10 15 5 6 6 8 4 5 6 3 8 8 13 5 1 6 6 15 2 8 15 14 2 13 12 3 11 9 15 7 4 9 13 1 6 3 8
10 7 5 12 14 12 9 10 12 7 8 3 8 15 2 6 1 7 10 10 9 3 9 15 13 3 12 13 15 6 12 9 5 1 6 3 12 6 5 15 12 12 3 12 11 11 9 3 2 10 13 2 4 13 1 2 15 4 14
 7 10 11 15 14 11 12 8 15 3 4 14 6 15 8 9 2 4 3 5 12 12 9 14 1 6 6 2 13 2 15 4 11 2 3 1 13 7 15 12 9
4 2 6 3 2 15 5 5 2 1 8 5 9 13 5 6 11 13 3 12 5 6 14 6 1 14 3 7 13 6 7 1 15 12 4 1 3 15 12 11 15 4 1 15 9 12 5 4 2 15 7 6 5 5 11 12 3 6 10 7 3 8
15 2 12 10 2 14 9 13 10 15 9 2 14 9 13 10 4 14 9 10 11 6 14 7 9 8 4 4 6 6 11 5 8 7 14 1 13 14
14 7 13 14 8 3 7 12 13 10 3 6 4 13 3 9 11 12 8 14 15 5 12 2 10 4 1 15 4 13 14 9 11 11 7 10 6 13 6 3 14 15 15 9 5 10 2 15 6 1 6 12 6 2 13 7 5 5 1
3 15 2 11 1 4 14 7 13 4 12 11 13 2 10 4 11 14 13 12 6 3 5 11 6 2 4 11 15 15 15 12 14 9 8 14 12 13 13 10 8 1
5 5 2 6 15 12 5 13 1 2 7 12 4 13 13 7 8 12 6 14 15 11 7 14 10 4 11 14 13 3 6 2 14 7 7 6 11 3 10 3 11 1 14 14 5 11 5 4 14 10 3 5 6 9 4 7 12 14 12
 1 9 2 9 14 15 8 11 10 10 5 12 13 13 2 11 2 4 8 13 2 9 15 7 6 15 2 12 4 7 15 4 15 8 13 6 8 5 1 9 6
13 13 10 10 14 6 3 3 5 15 11 13 6 9 4 6 10 7 1 2 14 11 8 6 8 5 13 4 6 7 2 3 11 3 4 9 15 6 3 4 6 14 2 11 14 12 8 9 3 8 2 1 4 9 14 3 14 11 14 11 9
 7 5 4 9 8 5 9 13 7 4 10 12 5 13 11 8 5 11 3 5 12 10 15 12 8 9 2 4 7 4 4 5 8 15 6 7 11 6 12
9 9 6 6 3 8 13 15 3 15 4 6 10 3 9 2 11 11 12 10 14 8 6 14 7 11 5 9 1 8 2 10 14 14 7 8 6 4 7 15 4 2 12 5 4 6 6 7 1 10 8 6 2 13 4 15 1 1 8 8 8 9
 2 13 8 15 13 5 4 4 5 14 6 1 3 1 13 15 14 13 9 6 11 2 11 14 1 11 6 15 3 6 9 12 10 8 11 7 4
6 11 15 4 8 8 6 8 5 6 14 10 6 4 5 8 6 10 8 8 1 8 11 13 8 14 7 7 1 6 10 7 8 2 10 15 9 8 14 13 13 4 7 3 8 11 10 5 6 10 13 13 9 15 2 1 13 15 14 5 5
 15 11 12 1 13 3 9 5 9 7 2 12 5 11 11 1 13 1 13 7 5 2 15 4 3 7 1 2 12 5 14 11 8 2 12 5 12 5 9
```




# Conclusión

Observaciones

Tuvimos dificultad al tratar con funciones que regresan una matriz 2D. Pensamos que deberíamos trabajar con punteros. Sin embargo, al final el programa se ejecutó sin necesidad de ellos.

En conclusión, esta práctica nos sirvió para entender mejor los algoritmos en programación paralela, y repasar las funciones más importantes de la biblioteca MPI como son bCast, Scatter y Gather.

# Referencias

CppNuts, How To Return 2D Array From Function In C & C++. (11-Ene-2018). Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=g1Bu4FiJVyQ

StackOverflow. (10-Ene-2017). Matrix multiplication using Mpi_Scatter and Mpi_Gather. Recuperado de https://stackoverflow.com/questions/41575243/matrix-multiplication-using-mpi-scatter-and-mpi-gather