Denis Alexander Rodríguez Venegas, Jonathan Ricardo Galvis Gálvez,

David Fernando Guerrero Álvarez

Universidad Nacional Bogotá, Colombia

dearodriguezve@unal.edu.co, jrgalvisg@unal.edu.co, dafguerreroal@unal.edu.co

Computación Paralela y Distribuida  
Práctica 4



Figura 1: Escudo de la Universidad.

Resumen – En este documento se presenta el informe relacionado a las prácticas 1, 2, 3 y 4 en donde se realizó la difuminación o efecto borroso sobre una imagen por medio de una operación de convolución haciendo uso de un kernel gaussiano. Dichas operaciones se realizaron sobre 3 imágenes con tamaños diferentes cambiando el número de hilos, el número de bloques y el número de procesos usados para realizar dichas operaciones. Los resultados obtenidos en términos de tiempo y eficiencia se pueden observar en las gráficas que se presentarán más adelante.

**Índice de Términos – Hilos, Kernel, Paralela, Convolución, Procesos**

# introducción

El efecto borroso sobre una imagen, o también llamado desenfoque, es el resultado de aplicar operaciones matemáticas sobre una imagen, más exactamente sobre sus pixeles, modificando así sus niveles de intensidad.

Para la realización de esta práctica se implementó en C++ el algoritmo de desenfoque gaussiano, alterando los niveles de intensidad de cada píxel haciendo operaciones sobre los valores RGB de cada uno de los pixeles de la imagen en cuestión.

Como segunda medida de desarrollo para la práctica, se implementaron condiciones de paralelización con hilos Posix y también por medio de openMP.

Como tercera medida, se implementó Cuda, variando el número de bloques lanzados para la paralelización.

Por último, para la cuarta práctica se implementó MPI con el fin de variar el número de procesos con el cuál se realizaba la convolución sobre las imágenes.

Una vez ejecutadas todas las pruebas pertinentes por medio de un script de ejecución del programa, se anotaron los resultados con el fin de graficar y poder analizar con mayor precisión, en primera medida, el rendimiento de la máquina virtual de Google sobre la cual se ejecutó el programa con hilos posix, openMP y MPI, y en segundo lugar el rendimiento de la máquina de colab con la implementación Cuda.

# implementación

## Desenfoque Gaussiano

Se hizo uso del efecto de desenfoque gaussiano el cual consiste en convolucionar la imagen original con una función gaussiana, esto es, operar la matriz de píxeles referentes a la imagen con una matriz o kernel gaussiano con el fin de modificar los niveles de intensidad de cada uno de los píxeles de la imagen.

La función gaussiana utilizada para operar con hilos Posix, openMP y MPI se expresa a continuación:

(1)

La función gaussiana usada para operar con Cuda es la siguiente, teniendo en cuenta que en Cuda se trabajó sobre vectores y no sobre matrices.:

(2)

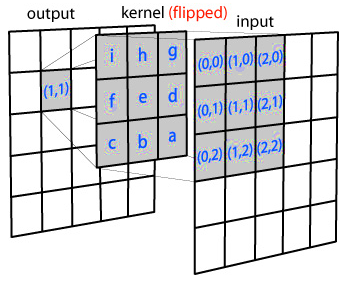
Haciendo uso de dichas funciones, se creó el kernel o matriz gaussiana que operaria sobre la imagen original. Se tuvo en cuenta que la matriz resultante debería ser cuadrada de tamaño impar y, además, ésta debería ser simétrica. Dicha matriz seria sometida a una normalización para obtener así el kernel final.

## Convolución

## Una vez obtenido el kernel, se procede a desenfocar la imagen por medio de la convolución entre la matriz de la imagen original y el kernel obtenido.

Para obtener la matriz de píxeles de intensidad de la imagen se hizo uso de la librería Open CV2 la cual proporciona un método que permite obtener la intensidad del píxel representado por su RGB correspondiente a la imagen.

Seguido a esto, la lógica sobre la cual opera el desenfoque gaussiano nos lleva a multiplicar cada píxel por el kernel gaussiano. Esto se hace colocando el píxel central del kernel en el píxel de la imagen y multiplicando los valores de la imagen original con los píxeles del kernel que se superponen. Los valores resultantes de estas multiplicaciones se sumarán y ese resultado se utiliza para el valor en el píxel de destino.



## 

Figura 2. Convolución para desenfoque gaussiano.[2]

El resultado de estas operaciones se guarda sobre una imagen clonada de la imagen original, lo que significa que por medio de la librería OpenCV2, se modifican los valores originales de los píxeles de la matriz de la imagen clonada.

## Balanceo de Carga para Hilos POSIX, openMP, Cuda y MPI.

La implementación de hilos POSIX tuvo en cuenta la entrada del atributo THREADS para definir la cantidad de hilos que se deben crear para operar la matriz, esto es, dividir la matriz referente a la imagen original, según la cantidad de hilos deseados en cada uno de los casos.

La implementación de openMP se realizó pasando como sección paralela el llamado a la función de convolución con su respectivo número de hilo.

De esta manera, cada uno de los hilos trabajará sobre una sección de la imagen, para ello, a cada hilo se le asigna como trabajo realizar la convolución antes mencionada, no de toda la matriz de la imagen, sino de su sección correspondiente dado el número de dicho hilo.

Para ser precisos, en la distribución de cargas se utilizó el método block – wise, por el cual se dividió cada región de la matriz en secciones por filas, en las cuales el inicio y el final están determinados por la cantidad total de hilos en las que la matriz es distribuida, en caso tal que fuesen más hilos que el tamaño total K de la matriz, los hilos operarían pixeles que también corresponderían a secciones de trabajo de otros hilos, por lo que habría pixeles doblemente operados en la imagen.

Esto se explica en la siguiente imagen:

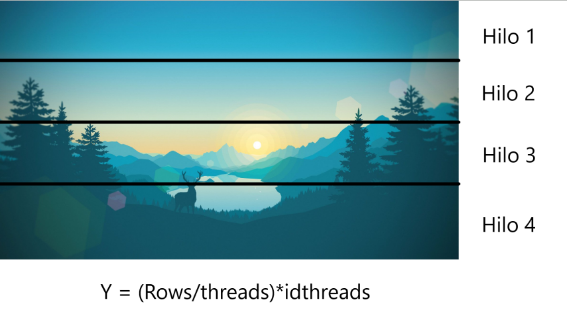


Figura 3: Escudo de la Universidad.

Para la implementación de Cuda, se realizó un balanceo de carga teniendo en cuenta que la imagen esta vez fue representa por tres vectores, los cuales corresponden a los valores RGB de cada píxel de la imagen, así, se tiene un vector para los valores “red” de toda la imagen, un vector para los valores “green” y otro vector para los valores “blue”. Dichos vectores que se encuentran en “host” son copiados a “device” uno por uno, lo que significa que la convolución operará los tres vectores a aparte, de esta manera, al copiar de “device” a “host” se tiene 3 vectores resultantes, cuyos datos serán enviados a la imagen de salida como datos rgb de cada píxel. Teniendo en cuenta esto, el balanceo para implementación Cuda se hizo dividiendo los vectores de la imagen sobre el número de hilos totales que se tienen según el número de bloques que se está pasando como parámetro. De esta manera el balanceo toma un comportamiento igual que el balanceo de hilos Posix u OpenMP pero sobre vectores y no sobre una matriz directamente.

En el caso de la implementación para MPI, el balanceo de carga para el procesamiento sobre la imagen se realizó de la misma manera que en openMP, pero esta vez se tuvo en cuneta el ID de los procesos correspondientes en vez del ID de los hilos, esto, dado que las máquinas sobre las cuales se trabajó este proceso solo contaban con 1 hilo, por lo cual el balanceo estaba dado para las diferentes instancias de las máquinas de Google Cloud.

## Cálculos de tiempos de respuesta

Para realizar la medición del tiempo de respuesta o de proceso de desenfoque gaussiano de cada imagen bajo los respectivos parámetros (número de hilos, tamaño de kernel) se hizo uso de *clock\_gettime.* Para ello, el primer tiempo *ts1* se toma justo al iniciar el programa y el segundo tiempo *ts2* se toma justo después de sobrescribir los datos de la matriz referente a la imagen clonada, dado que en este punto todos los hilos ya han terminado su trabajo.

## Script

El script de ejecución se realizó con el fin de ejecutar el programa para 3 imágenes diferentes. La primera de un tamaño de 720p, la segunda un tamaño de 1080p y la tercera un tamaño de 2160p (4k).

Para cada una de las imágenes, el programa se ejecuta una vez por cada tamaño de kernel de 3 a 15, como ya se mencionó, el tamaño del kernel debe ser impar, por lo tanto, los kernel que se toman son 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15.

Ahora bien, para cada uno de estos tamaños de kernel, el script ejecuta el programa con 1, 2, 4, 8 y 16 hilos para el caso de hilos Posix y openMP, mientras que para Cuda el script envía el número de bloques como parámetro y el programa toma una constante de 1024 hilos por cada bloque lanzado.

Para MPI, el script ejecuta el programa con 1,2,3,4,5,6,7 y 8 procesos para los kernels antes señalados.

Para obtener resultados más precisos, se ejecuta 10 veces el programa con los mismos atributos para obtener un promedio de dichos datos, y así obtener los tiempos más puntuales.

Por lo tanto, lo que se está obteniendo son 350 ejecuciones del programa por cada una de las imágenes, lo que al final resulta en 1050 ejecuciones, éste es el número de datos de tiempos de ejecución que se obtienen al finalizar el script, pero como ya se mencionó, se toman los promedios de los datos para analizar los resultados generales.

Como bien se mencionaba anteriormente, cada ejecución arroja el tiempo que duró programa en realizar el desenfoque de la imagen con sus respectivos parámetros de entrada (hilos y tamaño de kernel).

Estos resultados de tiempos son guardados en un archivo de texto plano (*results.txt*) con el fin de graficar dichos datos en tablas que permitirán ver las comparaciones de rendimiento.

## Hardware utilizado

La ejecución del programa con hilos Posix y Open MP se realizó sobre una máquina virtual de Google Cloud con las siguientes características:

* Núcleos: 16
* RAM: 16GB
* Disco Duro: SSD 50 GB
* Frecuencias: 3.4 GHz
* Procesador: Intel Xeon Skylake

Para la implementación Cuda, se trabajó sobre una máquina colab, en la cual, para el momento de las pruebas contaba con una tarjeta Nvidia "Tesla P100-PCIE-16GB", con las siguientes características:

* (56) Multiprocesos, (64) CUDA Cores/MP: 3584 CUDA Cores
* Total amount of constant memory: 65536 bytes
* Total amount of shared memory per block: 49152 bytes
* Maximum number of threads per block: 1024

Para la implementación de MPI se trabajó sobre 8 máquinas de Google Cloud con las siguientes características:

* Núcleos: 1
* RAM: 0.6 GB
* Disco Duro: 10 GB
* Frecuencias: Núcleo compartido de 0.68 GHz
* Procesador: Intel Xeon Skylake

# resultados

## Tablas de tiempos

A continuación, se presentan las tablas de resultados referentes a los tiempos (medido en segundos) de ejecución para cada una de las imágenes con sus respectivos parámetros.

Se muestran los resultados tanto con la implementación POSIX como con la implementación openMP:

Tabla 1. Tiempos Imagen 720p Posix

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 720p.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 0.79537006 | 0.45516541 | 0.42128839 | 0.41840627 | 0.40446216 |
| **5** | 1.10410454 | 0.69588122 | 0.33153517 | 0.29755243 | 0.2678294 |
| **7** | 1.45481283 | 1.04335162 | 0.81373375 | 0.49718603 | 0.62151386 |
| **9** | 2.10119206 | 0.9725309 | 0.95361775 | 0.81138341 | 0.52253645 |
| **11** | 3.05517546 | 2.04797855 | 1.14906008 | 0.95170157 | 0.8263617 |
| **13** | 4.15623241 | 2.06325777 | 1.02450437 | 1.03920658 | 0.95158395 |
| **15** | 5.80506535 | 3.03041979 | 1.7062175 | 1.07140588 | 1.03718425 |

Tabla 2. Tiempos Imagen 1080p Posix

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 1080p.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.03804573 | 0.82208491 | 0.64612788 | 0.48375794 | 0.46528313 |
| **5** | 1.83916745 | 1.06166083 | 0.94886871 | 0.68138477 | 0.65859676 |
| **7** | 3.18440834 | 1.93437864 | 1.17324843 | 1.05191604 | 0.94488902 |
| **9** | 4.47758144 | 2.45739911 | 1.44038054 | 1.03254209 | 1.11796397 |
| **11** | 7.15791862 | 3.71910127 | 2.11556348 | 1.05240735 | 1.10792527 |
| **13** | 9.04923476 | 4.80925139 | 2.49216083 | 1.62567253 | 1.23269415 |
| **15** | 12.0442097 | 6.02070805 | 3.23792851 | 2.10415614 | 1.84509579 |

Tabla 3. Tiempos Imagen 4k Posix

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 4k.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 2.50146483 | 1.80235889 | 1.09797257 | 1.1176532 | 1.12862533 |
| **5** | 6.1159927 | 3.04468219 | 2.17239489 | 1.01863669 | 1.06271843 |
| **7** | 10.8127816 | 5.69743369 | 3.12111707 | 2.11669174 | 2.05281155 |
| **9** | 17.1787313 | 8.95230673 | 4.94818852 | 2.94692163 | 2.30178812 |
| **11** | 26.9534667 | 13.7452855 | 7.10982709 | 4.03641682 | 3.64342188 |
| **13** | 34.055723 | 17.2892263 | 9.11262191 | 5.04039514 | 4.31980367 |
| **15** | 48.1363742 | 24.2248161 | 12.6345973 | 6.66510323 | 5.96851282 |

Tabla 4. Tiempos Imagen 720p openMP

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 720p.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 0.65915861 | 0.45497021 | 0.25594464 | 0.21542460 | 0.23956141 |
| **5** | 1.10136157 | 0.69436252 | 0.47998872 | 0.43415452 | 0.27450381 |
| **7** | 1.46467037 | 1.03698330 | 0.68962945 | 0.32948757 | 0.32295472 |
| **9** | 2.11418975 | 1.04443335 | 1.04678233 | 0.53384621 | 0.66240840 |
| **11** | 3.06667853 | 1.95395269 | 1.15191697 | 0.83863970 | 0.71483472 |
| **13** | 4.11334196 | 2.08277432 | 1.27347152 | 0.95832518 | 0.95058154 |
| **15** | 5.77580079 | 3.16180134 | 1.69769632 | 1.13926125 | 1.09995665 |

Tabla 5. Tiempos Imagen 1080p OpenMP

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 1080p.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.114388527 | 0.583288546 | 0.649007972 | 0.502531402 | 0.620812736 |
| **5** | 1.945834192 | 1.153537284 | 1.052869376 | 0.534035949 | 0.527036038 |
| **7** | 3.111147878 | 1.825312135 | 1.077860048 | 0.744153919 | 0.837459994 |
| **9** | 4.785945474 | 2.2929754 | 1.279392859 | 1.178149922 | 1.042692535 |
| **11** | 6.963655063 | 3.825447193 | 2.172305936 | 1.064861523 | 1.094472743 |
| **13** | 8.888617281 | 4.679508786 | 2.503987112 | 1.340849571 | 1.239790212 |
| **15** | 12.13281448 | 6.00914084 | 3.319900696 | 2.039118182 | 2.05195707 |

Tabla 6. Tiempos Imagen 4k OpenMP

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 4k.jpg** | | | | | |
| **kernel** | **1 hilos** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 2.502905337 | 1.424510924 | 1.137538132 | 1.041131904 | 1.045288518 |
| **5** | 6.07721304 | 3.064728337 | 1.961870174 | 1.044392225 | 1.10212772 |
| **7** | 10.82908487 | 5.807886986 | 3.179885014 | 2.042599593 | 1.854616153 |
| **9** | 17.05162057 | 9.23156129 | 4.949137749 | 2.826407796 | 2.47478627 |
| **11** | 27.61955051 | 14.12087804 | 7.09366319 | 4.100890501 | 3.825450439 |
| **13** | 34.23412147 | 17.64040075 | 9.111558628 | 5.118061511 | 4.458873638 |
| **15** | 48.94172166 | 24.21718202 | 12.57877046 | 6.517481347 | 6.12636181 |

Se muestran los resultados para implementación CUDA:

Tabla 7. Tiempos Imagen 720p CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 720p.jpg** | | | | | | | |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **28** | 0.47411 | 0.47072 | 0.47304 | 0.62204 | 0.47829 | 0.48192 | 0.63102 |
| **56** | 0.47312 | 0.32418 | 0.47330 | 0.47443 | 0.47436 | 0.48032 | 0.47537 |
| **112** | 0.47279 | 0.32318 | 0.32219 | 0.47226 | 0.47036 | 0.47464 | 0.47423 |
| **224** | 0.47118 | 0.32131 | 0.31219 | 0.35226 | 0.25647 | 0.47306 | 0.47438 |
| **448** | 0.47129 | 0.31131 | 0.17467 | 0.17282 | 0.17428 | 0.47350 | 0.47423 |

Tabla 8. Tiempos Imagen 1080p CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 1080p.jpg** | | | | | | | |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **28** | 0.79531 | 0.66323 | 0.66746 | 0.67303 | 0.80589 | 0.81197 | 0.69295 |
| **56** | 0.68032 | 0.66193 | 0.66400 | 0.66671 | 0.67257 | 0.67689 | 0.68570 |
| **112** | 0.65022 | 0.66241 | 0.66122 | 0.66258 | 0.66601 | 0.66478 | 0.67005 |
| **224** | 0.66267 | 0.66239 | 0.66022 | 0.66022 | 0.65951 | 0.66585 | 0.66555 |
| **448** | 0.66140 | 0.66061 | 0.65950 | 0.65857 | 0.65964 | 0.65609 | 0.52248 |

Tabla 9. Tiempos Imagen 4K CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 4k.jpg** | | | | | | | |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **28** | 1.12216 | 1.11250 | 1.13193 | 1.26456 | 1.16946 | 1.43452 | 1.55328 |
| **56** | 1.11914 | 1.10525 | 1.09747 | 1.13007 | 1.13587 | 1.10558 | 1.10216 |
| **112** | 1.11491 | 1.10827 | 1.03445 | 1.15368 | 1.12978 | 1.14185 | 1.09440 |
| **224** | 1.11506 | 1.11411 | 1.03811 | 1.09613 | 1.08315 | 1.16042 | 1.12890 |
| **448** | 1.03354 | 1.11871 | 1.03065 | 1.03312 | 1.03504 | 1.16331 | 0.96713 |

Se muestran resultados para implementación MPI:

Tabla 10. Tiempos Imagen 720p MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 720p.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **1** | 2.9410 | 5.8664 | 7.6692 | 13.8491 | 21.0686 | 19.7446 | 23.8501 |
| **2** | 1.7621 | 2.4637 | 3.7409 | 8.6227 | 16.3799 | 12.2576 | 22.7835 |
| **3** | 1.1859 | 2.7271 | 3.6988 | 7.5444 | 6.7787 | 11.0843 | 11.5289 |
| **4** | 1.0267 | 1.0389 | 3.0519 | 4.8153 | 8.7736 | 8.9053 | 10.5776 |
| **5** | 1.0032 | 1.8371 | 2.9574 | 3.2894 | 6.2006 | 7.9746 | 9.9311 |
| **6** | 1.0021 | 1.2644 | 2.6214 | 3.0274 | 4.9152 | 6.5056 | 8.3861 |
| **7** | 1.0029 | 1.0981 | 2.3133 | 1.9418 | 4.1973 | 4.1303 | 8.3310 |
| **8** | 1.0028 | 1.0889 | 1.0878 | 1.4070 | 2.3315 | 3.2350 | 6.3241 |

Tabla 11. Tiempos Imagen 1080p MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 1080p.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **1** | 4.5226 | 8.9414 | 17.7757 | 27.1369 | 41.7870 | 43.4836 | 59.6882 |
| **2** | 3.5260 | 8.3921 | 16.4723 | 23.6811 | 31.9316 | 44.0629 | 42.3694 |
| **3** | 2.7314 | 6.8321 | 12.0084 | 13.2654 | 17.5610 | 26.8675 | 31.2863 |
| **4** | 1.3014 | 4.6396 | 7.9826 | 13.3594 | 17.0195 | 15.8351 | 21.2902 |
| **5** | 1.3029 | 2.1908 | 5.5406 | 4.0313 | 16.3521 | 10.2824 | 21.1320 |
| **6** | 1.3156 | 2.4448 | 3.9734 | 3.6930 | 11.0213 | 10.9623 | 17.8883 |
| **7** | 1.2169 | 2.2150 | 3.5892 | 3.2493 | 7.0248 | 10.2653 | 17.8192 |
| **8** | 1.0631 | 2.1312 | 3.3850 | 3.2010 | 4.4748 | 9.2066 | 13.5853 |

Tabla 12. Tiempos Imagen 4k MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 4k.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **1** | 3.5039 | 6.6764 | 40.4817 | 81.1815 | 127.1661 | 128.4156 | 128.7267 |
| **2** | 3.4512 | 5.4099 | 29.3839 | 44.7986 | 71.1509 | 112.5457 | 126.5088 |
| **3** | 3.1578 | 5.3254 | 25.4743 | 40.4628 | 47.1264 | 108.1255 | 82.9154 |
| **4** | 3.1160 | 4.0591 | 22.9555 | 34.2323 | 37.4765 | 82.4294 | 74.9775 |
| **5** | 3.0682 | 3.0285 | 21.5225 | 33.1640 | 35.5460 | 66.5936 | 69.6925 |
| **6** | 2.6767 | 2.9474 | 17.1234 | 24.8074 | 22.2025 | 42.4274 | 67.2466 |
| **7** | 1.2758 | 2.2635 | 14.4935 | 20.1564 | 21.2498 | 41.4174 | 34.1841 |
| **8** | 1.1850 | 2.2056 | 10.7452 | 18.7580 | 19.4705 | 32.1169 | 32.0740 |

## Gráficas Tiempo

A continuación, se presentan las gráficas de tiempo vs número de hilos, para las implementaciones de hilos Posix y openMP, para cada una de las imágenes con cada uno de los kernel de operación, tomando los datos de las tablas anteriormente presentadas.

En estas gráficas se podrá comparar el rendimiento con los diferentes números de hilos para las ejecuciones con cada uno de los parámetros que se mencionaron con anterioridad.

Figura 4. Imagen 720p. t vs hilos - Posix

Figura 5. Imagen 1080p. t vs hilos – Posix

Figura 6. Imagen 4k. t vs hilos – Posix

Figura 7. Imagen 720p. t vs hilos - openMP

Figura 8. Imagen 1080p. t vs hilos – openMP

Figura 9. Imagen 4k. t vs hilos – openMP

A continuación, se presentan las gráficas de tiempo vs número de bloques por 1024 hilos cada uno, para la implementación Cuda, para cada una de las imágenes con cada uno de los kernel de operación, tomando los datos de las tablas correspondientes.

En estas gráficas se podrá comparar el rendimiento con los diferentes números bloques para las ejecuciones con cada uno de los parámetros que se mencionaron con anterioridad.

Figura 10. Imagen 720. t vs HilosPorBloque - CUDA

Figura 11. Imagen 1080. t vs HilosPorBloque - CUDA

Figura 12. Imagen 4k. t vs HilosPorBloque – CUDA

A continuación, se presentan las gráficas de tiempo vs número de procesos para la implementación MPI, para cada una de las imágenes con cada uno de los kernel de operación, tomando los datos de las tablas correspondientes.

En estas gráficas se podrá comparar el rendimiento con los diferentes números de procesos, lo que significa, la convolución de la imagen para las ejecuciones con cada uno de los parámetros que se mencionaron con anterioridad.

Figura 13. Imagen 720. t vs procesos – MPI

Figura 14. Imagen 1080. t vs procesos – MPI

Figura 15. Imagen 4k. t vs procesos – MPI

# análisis

## SpeedUp

El SpeedUp representa la ganancia que se obtiene en la versión paralela del programa respecto a la versión secuencial del mismo. Por lo tanto, se presentarán las tablas respectivas al speedup de cada una de las imágenes para cada una de sus ejecuciones con los diferentes parámetros, esto es, el speedup referente a la ejecución secuencial (1 hilo) con cada ejecución para cada número de hilos y estos a su vez con cada tamaño de kernel.

La ecuación de speedup está definida por:

A continuación, se presentan las tablas referentes a hilos Posix y openMP:

Tabla 13. SpeedUp Imagen 720p Posix

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.74743081 | 1.8879468 | 1.90095158 | 1.96648821 |
| **5** | 1.58662788 | 3.33027875 | 3.71062178 | 4.12241732 |
| **7** | 1.39436485 | 1.78782412 | 2.92609352 | 2.34075687 |
| **9** | 2.16054015 | 2.20339026 | 2.5896414 | 4.02113969 |
| **11** | 1.49180052 | 2.65884745 | 3.21022426 | 3.69714068 |
| **13** | 2.01440289 | 4.05682251 | 3.9994285 | 4.36769915 |
| **15** | 1.91559776 | 3.40230091 | 5.41817575 | 5.59694705 |

Tabla 14. SpeedUp Imagen 1080p Posix

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.26269892 | 1.60656391 | 2.14579574 | 2.23099801 |
| **5** | 1.73234936 | 1.93827389 | 2.69916136 | 2.79255467 |
| **7** | 1.64621769 | 2.71418078 | 3.02724573 | 3.37014005 |
| **9** | 2.45739911 | 1.44038054 | 1.03254209 | 1.11796397 |
| **11** | 1.92463665 | 3.38345727 | 6.80147156 | 6.46065113 |
| **13** | 1.88163064 | 3.63107977 | 5.56645611 | 7.3410219 |
| **15** | 2.00046399 | 3.71972687 | 5.72400947 | 6.52768801 |

Tabla 15. SpeedUp Imagen 4k Posix

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.38788387 | 2.27825804 | 2.23814044 | 2.21638198 |
| **5** | 2.00874585 | 2.81532273 | 6.00409624 | 5.75504531 |
| **7** | 1.89783369 | 3.46439474 | 5.10834022 | 5.26730356 |
| **9** | 1.91891675 | 3.47172126 | 5.82938181 | 7.46321138 |
| **11** | 1.96092447 | 3.79101578 | 6.67757267 | 7.39784399 |
| **13** | 1.96976558 | 3.73720355 | 6.75655816 | 7.88362749 |
| **15** | 1.98706871 | 3.8098859 | 7.22214984 | 8.06505333 |

Tabla 16. SpeedUp Imagen 720p openMP

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.448795 | 2.575395 | 3.059811 | 2.751522 |
| **5** | 1.586148 | 2.294557 | 2.536796 | 4.012191 |
| **7** | 1.412434 | 2.123851 | 4.445298 | 4.535219 |
| **9** | 2.024246 | 2.019703 | 3.960297 | 3.191671 |
| **11** | 1.569474 | 2.662239 | 3.656729 | 4.290053 |
| **13** | 1.974934 | 3.230023 | 4.292219 | 4.327185 |
| **15** | 1.826744 | 3.402140 | 5.069777 | 5.250935 |

Tabla 17. SpeedUp Imagen 1080p openMP

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.910527 | 1.717064 | 2.217550 | 1.795048 |
| **5** | 1.686841 | 1.848125 | 3.643639 | 3.692033 |
| **7** | 1.704447 | 2.886412 | 4.180785 | 3.714981 |
| **9** | 2.087221 | 3.740794 | 4.062255 | 4.589987 |
| **11** | 1.820351 | 3.205651 | 6.539494 | 6.362566 |
| **13** | 1.899477 | 3.549786 | 6.629094 | 7.169453 |
| **15** | 2.019060 | 3.654572 | 5.950030 | 5.912801 |

Tabla 18. SpeedUp Imagen 4k openMP

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **kernel** | **2 hilos** | **4 hilos** | **8 hilos** | **16 hilos** |
| **3** | 1.757028 | 2.200283 | 2.404023 | 2.394464 |
| **5** | 1.982953 | 3.097663 | 5.818899 | 5.514073 |
| **7** | 1.864548 | 3.405496 | 5.301619 | 5.838990 |
| **9** | 1.847100 | 3.445372 | 6.032965 | 6.890139 |
| **11** | 1.955937 | 3.893553 | 6.735013 | 7.219947 |
| **13** | 1.940666 | 3.757219 | 6.688884 | 7.677751 |
| **15** | 2.020950 | 3.890819 | 7.509300 | 7.988709 |

A continuación, se presentan las tablas referentes a Cuda, teniendo en cuenta que el SpeedUp en esta ocasión se tomó como el tiempo de ejecución de la menor cantidad de bloques (24) sobre cada una de las demás cantidades de bloques establecidas.

Tabla 19. SpeedUp Imagen 720 CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **56** | 1.00211 | 1.45204 | 0.99944 | 1.31113 | 1.00829 | 1.00332 | 1.32743 |
| **112** | 1.00279 | 1.45654 | 1.46818 | 1.31716 | 1.01686 | 1.01533 | 1.33060 |
| **224** | 1.00622 | 1.46499 | 1.51521 | 1.76585 | 1.86493 | 1.01873 | 1.33018 |
| **448** | 1.00599 | 1.51205 | 2.70822 | 3.59930 | 2.74441 | 1.01779 | 1.33061 |

Tabla 20. SpeedUp Imagen 1080 CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **56** | 1.16902 | 1.00196 | 1.00521 | 1.00947 | 1.19823 | 1.19956 | 1.01058 |
| **112** | 1.22315 | 1.00124 | 1.00944 | 1.01577 | 1.21003 | 1.22141 | 1.03419 |
| **224** | 1.20016 | 1.00126 | 1.01097 | 1.01941 | 1.22196 | 1.21945 | 1.04118 |
| **448** | 1.20246 | 1.00397 | 1.01207 | 1.02196 | 1.22172 | 1.23759 | 1.18613 |

Tabla 21. SpeedUp Imagen 4k CUDA

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **bloques** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **56** | 1.00270 | 1.00655 | 1.03140 | 1.11900 | 1.02957 | 1.29752 | 1.40930 |
| **112** | 1.00650 | 1.00381 | 1.09424 | 1.09611 | 1.03512 | 1.25631 | 1.41930 |
| **224** | 1.00637 | 0.99855 | 1.09037 | 1.15365 | 1.07969 | 1.23621 | 1.37592 |
| **448** | 1.08575 | 0.99445 | 1.09827 | 1.22402 | 1.12986 | 1.23314 | 1.60607 |

A continuación, se presentan las tablas correspondientes a MPI, teniendo en cuenta la siguiente ecuación para el SpeedUp:

Tabla 22. SpeedUp Imagen 720p MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 720p.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **2** | 1.6690 | 2.3811 | 2.0501 | 1.6061 | 1.2862 | 1.6108 | 1.0468 |
| **3** | 2.4800 | 2.1511 | 2.0734 | 1.8357 | 3.1081 | 1.7813 | 2.0687 |
| **4** | 2.8645 | 5.6467 | 2.5129 | 2.8761 | 2.4014 | 2.2172 | 2.2548 |
| **5** | 2.9316 | 3.1933 | 2.5932 | 4.2102 | 3.3978 | 2.4759 | 2.4016 |
| **6** | 2.9348 | 4.6397 | 2.9256 | 4.5746 | 4.2864 | 3.0350 | 2.8440 |
| **7** | 2.9325 | 5.3423 | 3.3153 | 7.1321 | 5.0196 | 4.7804 | 2.8628 |
| **8** | 2.9328 | 5.3875 | 7.0502 | 9.8430 | 9.0365 | 6.1034 | 3.7713 |

Tabla 23. SpeedUp Imagen 1080p MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 1080p.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **2** | 1.2826 | 1.0655 | 1.0791 | 1.1459 | 1.3086 | 0.9869 | 1.4088 |
| **3** | 1.6558 | 1.3087 | 1.4803 | 2.0457 | 2.3795 | 1.6184 | 1.9078 |
| **4** | 3.4752 | 1.9272 | 2.2268 | 2.0313 | 2.4552 | 2.7460 | 2.8036 |
| **5** | 3.4712 | 4.0813 | 3.2083 | 6.7316 | 2.5555 | 4.2289 | 2.8245 |
| **6** | 3.4377 | 3.6573 | 4.4737 | 7.3482 | 3.7915 | 3.9666 | 3.3367 |
| **7** | 3.7165 | 4.0367 | 4.9526 | 8.3516 | 5.9485 | 4.2360 | 3.3497 |
| **8** | 4.2542 | 4.1955 | 5.2513 | 8.4776 | 9.3383 | 4.7231 | 4.3936 |

Tabla 24. SpeedUp Imagen 4k MPI

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Imagen 4k.jpg** | | | | | | | |
| **procesos** | **3 kernel** | **5 kernel** | **7 kernel** | **9 kernel** | **11 kernel** | **13 kernel** | **15 kernel** |
| **2** | 1.0153 | 1.2341 | 1.3777 | 1.8121 | 1.7873 | 1.1410 | 1.0175 |
| **3** | 1.1096 | 1.2537 | 1.5891 | 2.0063 | 2.6984 | 1.1877 | 1.5525 |
| **4** | 1.1245 | 1.6448 | 1.7635 | 2.3715 | 3.3932 | 1.5579 | 1.7169 |
| **5** | 1.1420 | 2.2045 | 1.8809 | 2.4479 | 3.5775 | 1.9283 | 1.8471 |
| **6** | 1.3090 | 2.2652 | 2.3641 | 3.2725 | 5.7276 | 3.0267 | 1.9142 |
| **7** | 2.7464 | 2.9496 | 2.7931 | 4.0276 | 5.9843 | 3.1005 | 3.7657 |
| **8** | 2.9569 | 3.0270 | 3.7674 | 4.3278 | 6.5312 | 3.9984 | 4.0134 |

Dados los datos resultantes en cada una de las tablas presentadas, donde se observa la ganancia de paralelización al trabajar con mayor número de hilos, bloques y procesos, frente a los tiempos secuenciales dados por ejecuciones con 1 hilo, 24 bloques o 1 proceso respectivamente, para cada una de las imágenes operada con cada uno de los kernel, se pueden obtener las gráficas de rendimiento para los datos mencionados.

## Gráficas SpeedUp

A continuación, se presentan las gráficas de speedup para implementación Posix:

Figura 16. Imagen 720p. g vs hilos – Posix

Figura 17. Imagen 1080p. g vs hilos - Posix

Figura 18. Imagen 4k. g vs hilos – Posix

A continuación, se presentan las gráficas de speedup para implementación openMP:

Figura19. Imagen 720p. g vs hilos - openMP

Figura20. Imagen1080p. g vs hilos - openMP

Figura 21. Imagen4k. g vs hilos - openMP

A continuación, se presentan las gráficas de speedup para implementación CUDA:

Figura 2. Imagen 720. g vs HilosPorBloque – CUDA

Figura 23. Imagen 1080. g vs HilosPorBloque – CUDA

Figura 24. Imagen 4k. g vs HilosPorBloque – CUDA

A continuación, se presentan las gráficas de speedup para implementación MPI:

Figura 25. Imagen 720p. g vs Procesos – MPI

Figura 26. Imagen 1080p. g vs Procesos – MPI

Figura 27. Imagen 4k. g vs Procesos – MPI

# conclusiones

Implementaciones POSIX y OpenMP:

* Dados los resultados presentados anteriormente, se puede afirmar que para el problema de desenfoque de imagen es pertinente realizar paralelización como lo muestran las gráficas de tiempo de ejecución y speedup, en donde a mayor cantidad de hilos se aprecia un mejor rendimiento.
* Se puede apreciar que la máquina virtual al ser dedicada mejora los tiempos de ejecución de los procesos.
* Las gráficas de speedup nos permiten afirmar que la escogencia del número de hilos para el procesamiento de la imagen también depende del tamaño del kernel.
* Para la imagen 720p, los parámetros óptimos son un tamaño de kernel de 15 y 8 hilos.
* Para la imagen 1080p, los parámetros óptimos son un tamaño de kernel de 13 con 16 hilos
* Para la imagen 4k, el comportamiento permite deducir que el procesamiento de la imagen funciona de manera correcta y similar desde el tamaño de kernel 9 (9,11,13,15) con 16 hilos.
* Se puede estudiar la posibilidad de procesar la imagen viéndola de manera unidimensional con el fin de reducir la complejidad a la hora de hacer la convolución y de esta manera reducir el tiempo de ejecución.

Implementación CUDA:

* Fue necesario cambiar el tiempo secuencial para el cálculo del speedUp debido al cambio de hardware en el que se llevó a cabo la ejecución.
* Se puede ver un comportamiento extraño en la gráfica de 1080p, esto se le atribuye al hecho de que esta máquina no era dedicada a diferencia de la utilizada para Posix y openMP.
* Se hace evidente la necesidad de la gestión de la memoria compartida con el fin de hacer óptimos los procesos paralelos.
* Para la imagen 720p, los parámetros óptimos son un tamaño de kernel de 9 y 448 bloques.
* Para la imagen 1080p, los parámetros óptimos son un tamaño de kernel de 13 con 448 bloques.
* Para la imagen 4k, los parámetros óptimos son un tamaño de kernel de 15 con 448 bloques.
* Fue necesario para esta implementación ver la imagen y la matriz gaussiana como vectores unidimensionales.

Implementación MPI:

* Se puede observar la disminución del tiempo de ejecución con el aumento del número de procesos, sin embargo, se evidencia el costo de comunicación entre máquinas para la realización del proceso. Esto se observa en el aumento de tiempos a nivel general en comparación con los resultados de las implementaciones antes mencionadas; sumado el costo de comunicación entre máquinas, al hardware utilizado, en donde el nivel de memoria y velocidad del procesador limita de manera importante el procesamiento, se ve el aumento en tiempos de manera importante para ejecuciones con menos carga de operaciones.
* Se puede apreciar una ganancia significativa al aumentar los procesos, llegando a obtener unos parámetros óptimos presentados a continuación:
  + Imagen 720p: Kernel de 9 con 8 procesos.
  + Imagen 1080p: Kernel de 11 con 8 procesos.
  + Imagen 4k: Kernel de 11 con 8 procesos.

Referencias

1. tutorialspoint. Pone CV tutorial. Recuperado en marzo de 2019 en:

https://www.tutorialspoint.com/opencv/index.htm

1. Computer Graphics Beta. Recuperado en marzo de 2019 en:

https://computergraphics.stackexchange.com/questions/39/how-is-gaussian-blur-implemented?fbclid=IwAR2qK5NJ4zVZ5lTyvutp2g6-hVM\_Br4TCPBfjSfX\_WmKj9MBsrA2seofm-M

1. Codebin. How to Install OpenCV in Ubuntu 16.04 LTS for C / C++. Recuperado en marzo de 2019 en:

http://www.codebind.com/cpp-tutorial/install-opencv-ubuntu-cpp/

1. Parallel Computing. Pedraza Cesar. Recuperado en marzo de 2019 en:

https://github.com/capedrazab/pc-20201/wiki