UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Computación
Organización del Computador

TRABAJO PRÁCTICO NÚMERO 2

Nombre de Grupo: Napolitana con Jamón y Morrones

Alumnos:

Izcovich, Sabrina | sizcovich@gmail.com | LU 550/11

López Veluscek, Matías | milopezv@gmail.com | 926/10

Índice

1. Introducción

El objetivo de este trabajo práctico fue experimentar utilizando el modelo de programación SIMD. Para ello, fue requerido implementar seis filtros para procesamiento de imágenes (Recortar, Halftone, Umbralizar, Colorizar, Efecto Plasma y Rotar) tanto en C como en $Assembler$.
Por otro lado, debimos analizar la performance de un procesador al hacer uso de las operaciones SIMD. Para ello, realizamos comparaciones de velocidad entre los dos tipos de implementaciones realizados utilizando la herramienta Time Stamp Counter (TSC) del procesador.

2. Desarrollo

Nuestro trabajo consistió en implementar los filtros mencionados anteriormente. Para el desarrollo del mismo, diversas herramientas fueron necesarias. En esta sección, se explicita la utilización de las mismas aclarando en qué nos ayudaron a lograr una correcta ejecución de nuestra implementación.

2.1. Implementación en C

En el caso de C, las implementaciones se realizaron siguiendo algoritmos sencillos. Para recorrer las matrices de píxeles utilizamos for pues nos pareció lo más conveniente considerando que nuestros valores estaban pre-establecidos y que al colocar un for dentro de otro (uno para las filas y otro para las columnas) era más simple recorrer todas las posiciones de una matriz.
Al probar iterar primero las columnas y luego las filas, rotar.c giraba la imagen hacia el otro lado; luego, nos decidimos por iterar primero las filas y luego las columnas.
Por otro lado utilizamos, como tipos de datos, enteros y doubles. Esto se debió a que era lo más conveniente para las operaciones que debía realizar nuestro programa ya que el nivel de precisón alcanzado era mayor y esa cualidad es muy importante para no perder información en cada píxel. Un incoveniente que tuvimos y que nos resultó llamativo fue al implementar rotar.c ya que al definir $\sqrt{2}/2$ como double la imagen obtenida presentaba diferencias con la imagen que debíamos encontrar. Para resolverlo, definimos $\sqrt{2}/2$ como float y dicho problema se solucionó.

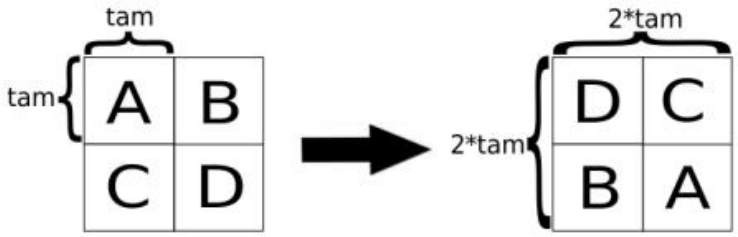
Luego, con el fin de disminuir el tiempo de ejecución de los C, comprimimos partes del código reduciendo, a su vez, la cantidad de líneas. También, alteramos pequeños detalles que sumados marcarían diferencia. Por ejemplo, cambiamos j++ por ++j.

2.2. Implementación en Assembler

En el caso de *Assembler*, utilizamos la extensión SSE para procesar varios bits a la vez. Esta herramienta nos permitió acelerar la ejecución de nuestro programa dado que en cada ciclo (en la mayoría de los casos) fueron tratados 16 bits a la vez.
Nuestros filtros fueron realizados de la siguiente manera:

- **Recortar:** En este filtro, la idea consistió en recortar las esquinas de la imagen original obteniendo cuatro bloques de tamaño *tam* para luego unirlas y ubicarlas en las posiciones opuestas.
  Para realizar dicho filtro, procesamos los 4 cuadrantes de la imagen por separado para no confundir las posiciones de origen y destino de los píxeles por lo que la implementación de cada cuadrante resultó ser la misma a diferencia de los offset utilizados.
  Dicha implementación consistió, a grandes rasgos, en levantar de a 16 bits desde la posición de origen y pegarlos en la posición de destino. Una vez alcanzado el valor de *tam*, la siguiente fila era procesada.
  Para realizar dicha función no resultó necesario desempaquetar y empaquetar los píxeles pues no debían ser utilizados para realizar cuentas. Por lo tanto, a medida que se los levantaba, se los copiaba tal cual a la imagen destino.

  La función consistió en una seguidilla de los siguientes pasos:
  En primer lugar, se procesa el cuadrante B. Para ello, se le resta el *tam* al ancho de la imagen para obtener el offset. Luego, se calcula el offset vertical de destino multiplicando el dst_row_size por tam para continuar ingresando a un ciclo que consiste en mover la porción de memoria del fuente al destino hasta copiar la fila entera del cuadrante. Una vez alcanzado un desplazamiento mayor que el tamaño de la fila, se retrocede la distancia excedida para terminar por procesar el mismo ciclo con los bits que quedaron fuera del pedazo de memoria y debían ser copiados. Dicho procedimiento fue realizado para todas las filas del cuadrante. Para controlar dichos movimientos, fue necesario un contador que nos advirtiera si nos encontrábamos o no en la útlima fila que sería el *tam*.
  La misma manipulación fue realizada para el resto de los cuadrantes de manera tal que la imagen quedara de la siguiente forma:



Luego, comparamos la cantidad de ciclos producidos por *C* y por *Assembler*.

- Comparación de Tiempo

Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones, el tiempo obtenido fue el siguiente:

Implementación C
———————-

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 857860615438390
Fin : 857860685974035
iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 70535645
de ciclos insumidos por llamada : 705356.500

Implementación ASM
———————

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 857860758957933
Fin : 857860759960311
iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 1002378
de ciclos insumidos por llamada : 10023.780

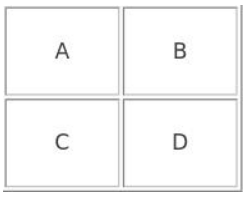
Resultados
———-

Ciclos C: 705356.5
Ciclos ASM: 10023.78

Ciclos ASM respecto de C: 1.42109415593 %
Tiempo C: 70535645
Tiempo ASM: 1002378
Tiempo ASM respecto de C: 1.42109425667 %

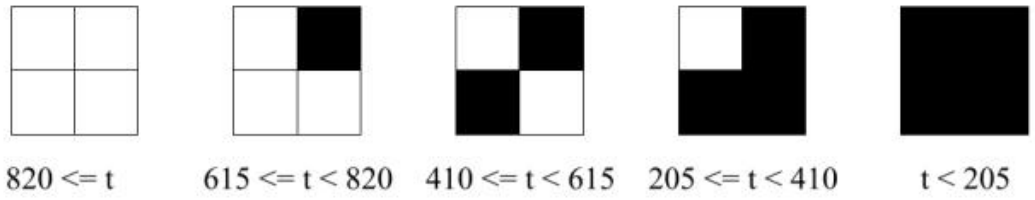
- **Halftone:** La idea principal de este filtro consistió en partir la imagen original en bloques de 2x2 píxeles generando en la imagen destino bloques del mismo tamaño. A cada nuevo bloque de la imagen original se le debió asignar el color blanco o negro dependiendo del valor de $t = \sum_{i=0}^{3} (p_i$ con p_i píxeles del bloque de la imagen original de acuerdo a ciertas condiciones requeridas.
  Para la realización de Halftone, debimos guardar en memoria valores que serían necesarios durante la implementación en *Assembler*. Éstos resultaron ser los valores con los que se compararía la sumatoria de los 4 bits como también un inversor (formado por 1's) y distinguidores entre la primer fila y la segunda (formados por 00ff y ff00 consecutivamente).
  Por otro lado, fue necesario que tanto el ancho como el alto de la imagen fueran pares para poder iterar de a dos filas y columnas a la vez. Para ello, dividimos n y m por 2 y comparamos el resto con 0. En caso de serlo, m y n se mantenían. Caso contrario, se le restaba 1 a la variable impar.
  Luego, proseguimos recorriendo las matrices de fuente y destino. Para ello, decidimos desplazarnos a través de los punteros, por lo tanto, mientras estuviéramos en la misma fila, nos encargamos de sumarle 16 a rdi y a rsi en cada iteración. Al final de cada ciclo, el valor alcanzado por rsi y rdi era comparado con el ancho-16 para luego decidir si el ciclo debía continuar normalmente o si se había llegado al final de la fila. Una vez que el valor de rdi y rsi llegaban o superaban el ancho-16, se pasaba al final de la fila, donde rdi y rsi se seteaban en el ancho-16 para terminar procesando los últimos 16 bits.
  Para procesar los bits, desempaquetamos de a dos filas a word *****. Luego, sumamos los píxeles dos a dos en cada fila. Finalmente, realizamos la suma de las posiciones de las filas correspondientes con las columnas correspondientes de la siguiente manera:

  Considerando la siguiente imagen,



los pasos realizados fueron:
- A+B
- C+D
- (A+B) + (C+D)

Luego, se prosiguió realizando la comparación pcmpgtw entre la suma y los valores seteados para la comparación. Dado que el resultado deseado era el inverso ($\leq$ en vez de $>$), se aplicó un xor con el inversor explicitado anteriormente a cada resultado obtenido por la comparación. Por último, se realizó un and entre lo obtenido de invertir la comparación y los filtrados de primera y segunda fila. Esta suma de operaciones debieron realizarse la cantidad de veces necesaria para cubrir todos los valores con los que comparar la suma de píxeles. Luego, 4 veces. Por último, las máscaras fueron unidas con un 'or' en el que se juntaron la primera con su respectiva segunda fila de cada columna. Los píxeles resultantes fueron, entonces, ubicados en la matriz destino.
Los píxeles resultantes debían cumplir con la siguiente condición:



Por último, utilizamos un registro que era seteado en 1 una vez que se llegaba a la última columna para dar lugar al pasaje de fila y, recorrer de esta manera, la matriz entera.

- Comparación de Tiempo

Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones, el tiempo obtenido fue el siguiente:

- **Umbralizar:** En Umbralizar, la imagen destino debía cumplir los siguientes requisitos:
  - Cada píxel menor a min debía valer 0.
  - Cada píxel mayor a max debía valer 255.
  - Caso contrario, el píxel debía valer $\lfloor p/Q \rfloor .Q$

  con min, max y Q enteros de 1 byte.
  Para lograr esto, pasamos dichos valores enteros a floats para realizar los cálculos necesarios habiendo desempaquetado y convertido los píxeles al mismo tipo de

dato.
Nuestro ciclo consistió en procesar de a 16 bits comparando los píxeles con max y min con la operación pcmpgtw. Las máscaras resultantes fueron luego invertidas con 0xff00's dado que el resultado deseado era la comparación inversa a la facilitada por Intel. Luego, se debieron procesar los píxeles que no fueron menores a min ni mayores a max. Para ello, se los dividió por Q, se los redondeó a parte entera con la función roundps y luego se los multiplicó nuevamente por Q. Por último, los convertimos a doubleword para luego empaquetar y terminar por juntar las máscaras con and y or y procesar los píxeles.
Para recorrer la matriz, ciclamos de la misma manera que para halftone, la única diferencia fue que para procesar la última columna preferimos crear un ciclo nuevo para evitar posibles complicaciones.

- Comparación de Tiempo

Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones y 64 128 16 como parámetros, el tiempo obtenido fue el siguiente:

Implementación C
———————-

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 857572172822622
Fin : 857572676855448
iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 504032826
de ciclos insumidos por llamada : 5040328.500

Implementación ASM
———————

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 857572838473791
Fin : 857572938386751
iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 99912960
de ciclos insumidos por llamada : 999129.625

Resultados
———-

Ciclos C: 5040328.5
Ciclos ASM: 999129.625
Ciclos ASM respecto de C: 19.8227084802 %
Tiempo C: 504032826
Tiempo ASM: 99912960
Tiempo ASM respecto de C: 19.8227089281 %

- **Colorizar:** Para colorizar, la imagen fuente debía ser procesada de acuerdo a las siguientes definiciones:

$$max_*(i,j) = max(\ \begin{array}{ccccc} I_{src\_*}(i-1,j-1) & , & I_{src\_*}(i-1,j) & , & I_{src\_*}(i-1,j+1), \\ I_{src\_*}(i,j-1) & , & I_{src\_*}(i,j) & , & I_{src\_*}(i,j+1), \\ I_{src\_*}(i+1,j-1) & , & I_{src\_*}(i+1,j) & , & I_{src\_*}(i+1,j+1)) \end{array}$$

donde $* \in \{R, G, B\}$. Luego

$$\phi_R(i,j) = \begin{cases} (1+\alpha) & \text{si } max_R(i,j) \geq max_G(i,j) \text{ y } max_R(i,j) \geq max_B(i,j) \\ (1-\alpha) & \text{si no} \end{cases}$$

$$\phi_G(i,j) = \begin{cases} (1+\alpha) & \text{si } max_R(i,j) < max_G(i,j) \text{ y } max_G(i,j) \geq max_B(i,j) \\ (1-\alpha) & \text{si no} \end{cases}$$

$$\phi_B(i,j) = \begin{cases} (1+\alpha) & \text{si } max_R(i,j) < max_B(i,j) \text{ y } max_G(i,j) < max_B(i,j) \\ (1-\alpha) & \text{si no} \end{cases}$$

donde $0 \leq \alpha \leq 1$.

$$\begin{array}{rl} I_{dst_R}(i,j) = & min(255, \phi_R * I_{src_R}(i,j)) \\ I_{dst_G}(i,j) = & min(255, \phi_G * I_{src_G}(i,j)) \\ I_{dst_B}(i,j) = & min(255, \phi_B * I_{src_B}(i,j)) \end{array}$$

  - Comparación de Tiempo

Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones y 64 128 16 como parámetros, el tiempo obtenido fue el siguiente:

- **Waves:** La idea de Waves consistió en combinar la imagen fuente con una imagen de ondas dando tonos más oscuros y más claros en forma de onda. Éstas se generan de manera repetida a lo largo de los ejes x e y. Cada píxel (i, j) de la imagen destino se obtuvo a través del siguiente cálculo:

$$prof_{i,j} = \frac{(x_{scale} \cdot sin\_taylor(\frac{i}{8,0}) + y_{scale} \cdot sin\_taylor(\frac{j}{8,0}))}{2}$$
$$I_{dest}(i,j) = prof_{i,j} \cdot g_{scale} + I_{src}(i,j)$$

donde, además, $I_{dest}(i,j)$ debe guardarse como 0 o 255, si este sobrepasa el intervalo $[0, 255]$.

La función waves requiere la utilización de $sin\_taylor(x)$ que cumple con el siguiente pseudocódigo:

Algorithm 1 $sin\_taylor(x)$

$pi \leftarrow 3{,}14159265359$

$k \leftarrow \lfloor \frac{x}{2 \cdot pi} \rfloor$

$r \leftarrow x - k \cdot 2 \cdot pi$

$x \leftarrow r - pi$

$y \leftarrow x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - \frac{x^7}{5040}$

devolver y

- Comparación de Tiempo

Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones y 2.0 4.0 16.0 como parámetros, el tiempo obtenido fue el siguiente:

Implementación C
———————-

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 858182624211702
Fin : 858224537429979
iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 41913218277
de ciclos insumidos por llamada : 419132160.000

Implementación ASM
———————

Tiempo de ejecución:
Comienzo : 858224711685883
Fin : 858225286387416

iteraciones : 100
de ciclos insumidos totales : 574701533
de ciclos insumidos por llamada : 5747015.000

Resultados
———-
Ciclos C: 419132160.0
Ciclos ASM: 5747015.0
Ciclos ASM respecto de C: 1.37117013402 %
Tiempo C: 41913218277
Tiempo ASM: 574701533
Tiempo ASM respecto de C: 1.37117013826 %

- **Rotar:**

  - Comparación de Tiempo

  Al probar lena.bmp de 512x512, con una cantidad de 100 iteraciones, el tiempo obtenido fue el siguiente:
  Implementación C
  ——————-

  Tiempo de ejecución:
  Comienzo : 858387565588994
  Fin : 858388404276534
  # iteraciones : 100
  # de ciclos insumidos totales : 838687540
  # de ciclos insumidos por llamada : 8386875.500

  Implementación ASM
  ——————

  Tiempo de ejecución:
  Comienzo : 858388558871397
  Fin : 858388874991387
  # iteraciones : 100
  # de ciclos insumidos totales : 316119990
  # de ciclos insumidos por llamada : 3161200.000

  Resultados

———-

Ciclos C: 8386875.5
Ciclos ASM: 3161200.0
Ciclos ASM respecto de C: 37.6922251916 %
Tiempo C: 838687540
Tiempo ASM: 316119990
Tiempo ASM respecto de C: 37.6922244487 %

hay que poner el pseudocodigo detallado que utilizamos explicando por que recorrimos de la manera que recorrimos la matriz y por que nos parecio lo mas efectivo y eficiente para programar, detallando para que sirve cada cosa. Tambien tenemos que decir que cosas hicimos para facilitar la implementacion en asm, o sea si lo hicimos pensando en como ibamos a resolverlo en asm o si directamente lo hicimos de una manera que fuera rapida. algo que se me ocurre es que preferimos, por ejemplo, usar muchas variables para definir pequeñas operaciones que usaba una sola ecuacion en vez de que fuera todo resuelto de una para poder darles tipos a esas operaciones y que el resultado fuera mas preciso y acertado a lo pedido.

que transformaciones podriamos hacer para que sea mejor lo que hacemos, mejor tiempo, que fue lo que probamos, etc. Por ejemplo si paso de float a double. En umbralizar pasamos Q de float a double. Pusimos Q, max y min en double porque para hacer las cuentas con doubles era lo mas conveniente.

3. Resultados

A partir de los resultados otorgados por un script realizado para calcular el tiempo de ejecución de cada función en *C* y *Assembler*, decidimos utilizar objdump para lograr dar una explicación a lo obtenido:
En primera instancia, hallamos que la cantidad de ciclos realizados por *Assembler* es muy menor a la realizada por *C*. Esto se debe a que el *Assembler* de *C* realiza múltiples llamados a memoria en cada ciclo. Por ejemplo, la mayoría de los datos que utiliza son almacenados en la pila por lo que en cada iteración realiza operaciones utilizando, por ejemplo, [rbp-0x28]. Esta es la causa principal del retraso temporal generado por el *C* respecto del *Assembler*.
Por otro lado, nos resultó sorprendente la extensión de los códigos en *Assembler* generados por los *C* en comparación con los nuestros. Para hallarle una explicación a dicha consecuencia, pensamos que el causante de esto fue que, al estar todo almacenado en

la pila, los desplazamientos requieren de numerosas instrucciones. Contrariamente, al moverse con un puntero, lo único necesario para el desplazamiento no es más que un sumador.
Por otra parte, hallamos que los códigos en *Assembler* generados por los *C* realizan operaciones innecesarias, como por ejemplo multiplicar por 1, dado que se producen de manera automática.
Por último, encontramos que el ensamblado del *C* no realiza empaquetamientos por lo que la cantidad de operaciones a realizar está multiplicada por 16.

tenemos que hacer un grafico, creo que podriamos hacer uno que para cada funcion que hicimos ponga el tiempo que tardo en asm y en .c y que una por un lado todos los .c y por el otro todos los .asm cuestion de ver precisamente cual es la relacion entre la velocidad de un asm y de un .c. tambien tenemos que hacer uno que muestre graficamente el contenido de los xmm a medida que avanza la ejecucion del programa aca hay que poner tablas y graficos con los resultados. analizar y comparar las implementaciones. podriamos ejecutar el timing en distintas computadoras y ver que cambia respecto del procesador usado.

4. Conclusión

Podemos concluir que las causas principales de que el código en *C* sea mucho más lento que el código *Assembler* dado que su ensamblado no utiliza empaquetamiento y almacena todos los datos en la pila que son llamados en cada iteración. Esto significa que *C* usa la FPU que es poco performante causando un aumento del tiempo de ejecución.
A partir de aquí, podemos concluir que realizar operaciones empaquetando y desempaquetando los datos acelera enormemente la ejecución de una función como también evitar los llamados a memoria dentro de los ciclos.