

Proyecto Individual

Diseño e Implementación de una aplicación para Nitidez en Imágenes

Fecha de asignación: 6 de marzo, 2019
Grupos: 1 persona

Fecha de entrega: 29 de mayo, 2019
Profesor: Luis Chavarría Zamora

Mediante el desarrollo de este proyecto, el estudiante aplicará los conceptos de arquitectura de computadores en el diseño e implementación de una aplicación capaz de realizar *image sharpening* y *oversharpening* empleando un ISA específico. Atributos relacionados: Análisis de Problemas (AP), el cual se encuentra en Avanzado (A).

1. Descripción General

El procesamiento y análisis digital de imágenes consiste en el uso de sistemas computarizados para la manipulación de imágenes digitales, ya sea para mejorar su calidad (procesamiento) o para la extracción de información (análisis).

Una de las técnicas más comunes en el procesamiento de imágenes es el filtrado, el cual puede ser logrado como

$$I' = I * H, \quad (1)$$

donde I es la imagen, H es la máscara o *kernel* e I' es la imagen filtrada. Este se puede expresar de forma más detallada como

$$I'(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b H(s, t) I(x - i, y - j), \quad (2)$$

donde el tamaño del kernel es de $-a \leq i \leq a$ y $-b \leq j \leq b$.

En Figura 1 se muestra un ejemplo de convolución 2D. Desde la Figura 2 hasta la Figura 4 se muestra el proceso detallado de convolución de la Figura 1.

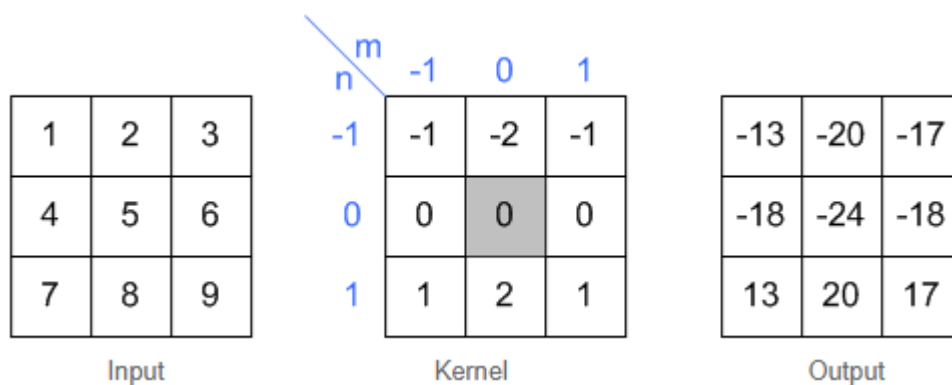


Figura 1: Ejemplo de convolución 2D

1	2	1	
0	0	0	
-1	-2	-1	
	7	8	9

$$\begin{aligned}
 y[0,0] &= \sum_j \sum_i x[i,j] \cdot h[0-i, 0-j] \\
 &= x[-1,-1] \cdot h[1,1] + x[0,-1] \cdot h[0,1] + x[1,-1] \cdot h[-1,1] \\
 &\quad + x[-1,0] \cdot h[1,0] + x[0,0] \cdot h[0,0] + x[1,0] \cdot h[-1,0] \\
 &\quad + x[-1,1] \cdot h[1,-1] + x[0,1] \cdot h[0,-1] + x[1,1] \cdot h[-1,-1] \\
 &= 0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \\
 &\quad + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \\
 &\quad + 0 \cdot (-1) + 4 \cdot (-2) + 5 \cdot (-1) \\
 &= -13
 \end{aligned}$$

1	2	1	
0	0	0	
-1	-2	-1	
	7	8	9

$$\begin{aligned}
 y[1,0] &= \sum_j \sum_i x[i,j] \cdot h[1-i, 0-j] \\
 &= x[0,-1] \cdot h[1,1] + x[1,-1] \cdot h[0,1] + x[2,-1] \cdot h[-1,1] \\
 &\quad + x[0,0] \cdot h[1,0] + x[1,0] \cdot h[0,0] + x[2,0] \cdot h[-1,0] \\
 &\quad + x[0,1] \cdot h[1,-1] + x[1,1] \cdot h[0,-1] + x[2,1] \cdot h[-1,-1] \\
 &= 0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \\
 &\quad + 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 \\
 &\quad + 4 \cdot (-1) + 5 \cdot (-2) + 6 \cdot (-1) \\
 &= -20
 \end{aligned}$$

	1	2	1
1	0	0	0
4	-1	-2	-1
7			

$$\begin{aligned}
 y[2,0] &= \sum_j \sum_i x[i,j] \cdot h[2-i, 0-j] \\
 &= x[1,-1] \cdot h[1,1] + x[2,-1] \cdot h[0,1] + x[3,-1] \cdot h[-1,1] \\
 &\quad + x[1,0] \cdot h[1,0] + x[2,0] \cdot h[0,0] + x[3,0] \cdot h[-1,0] \\
 &\quad + x[1,1] \cdot h[1,-1] + x[2,1] \cdot h[0,-1] + x[3,1] \cdot h[-1,-1] \\
 &= 0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \\
 &\quad + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 0 \cdot 0 \\
 &\quad + 5 \cdot (-1) + 6 \cdot (-2) + 0 \cdot (-1) \\
 &= -17
 \end{aligned}$$

Figura 2: Convolución de la primera fila de la matriz en la Figura 1

1	2	1	
0	0	0	
-1	-2	-1	

$$\begin{aligned}
 y[0, 1] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[0 - i, 1 - j] \\
 &= x[-1, 0] \cdot h[1, 1] + x[0, 0] \cdot h[0, 1] + x[1, 0] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[-1, 1] \cdot h[1, 0] + x[0, 1] \cdot h[0, 0] + x[1, 1] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[-1, 2] \cdot h[1, -1] + x[0, 2] \cdot h[0, -1] + x[1, 2] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 0 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \\
 &\quad + 0 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 5 \cdot 0 \\
 &\quad + 0 \cdot (-1) + 7 \cdot (-2) + 8 \cdot (-1) \\
 &= -18
 \end{aligned}$$

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

$$\begin{aligned}
 y[1, 1] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[1 - i, 1 - j] \\
 &= x[0, 0] \cdot h[1, 1] + x[1, 0] \cdot h[0, 1] + x[2, 0] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[0, 1] \cdot h[1, 0] + x[1, 1] \cdot h[0, 0] + x[2, 1] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[0, 2] \cdot h[1, -1] + x[1, 2] \cdot h[0, -1] + x[2, 2] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1 \\
 &\quad + 4 \cdot 0 + 5 \cdot 0 + 6 \cdot 0 \\
 &\quad + 7 \cdot (-1) + 8 \cdot (-2) + 9 \cdot (-1) \\
 &= -24
 \end{aligned}$$

1	2	3
4	5	6
7	8	9

$$\begin{aligned}
 y[2, 1] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[2 - i, 1 - j] \\
 &= x[1, 0] \cdot h[1, 1] + x[2, 0] \cdot h[0, 1] + x[3, 0] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[1, 1] \cdot h[1, 0] + x[2, 1] \cdot h[0, 0] + x[3, 1] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[1, 2] \cdot h[1, -1] + x[2, 2] \cdot h[0, -1] + x[3, 2] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \\
 &\quad + 5 \cdot 0 + 6 \cdot 0 + 0 \cdot 0 \\
 &\quad + 8 \cdot (-1) + 9 \cdot (-2) + 0 \cdot (-1) \\
 &= -18
 \end{aligned}$$

Figura 3: Convolución de la segunda fila de la matriz en la Figura 1

		1	2	3
1	2	4	5	6
0	0	7	8	9
-1	-2	-1		

$$\begin{aligned}
 y[0, 2] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[0 - i, 2 - j] \\
 &= x[-1, 1] \cdot h[1, 1] + x[0, 1] \cdot h[0, 1] + x[1, 1] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[-1, 2] \cdot h[1, 0] + x[0, 2] \cdot h[0, 0] + x[1, 2] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[-1, 3] \cdot h[1, -1] + x[0, 3] \cdot h[0, -1] + x[1, 3] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 0 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 1 \\
 &\quad + 0 \cdot 0 + 7 \cdot 0 + 8 \cdot 0 \\
 &\quad + 0 \cdot (-1) + 0 \cdot (-2) + 0 \cdot (-1)
 \end{aligned}$$

	1	2	3
1	4	5	6
0	7	8	9
-1	-2	-1	

$$\begin{aligned}
 y[1, 2] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[1 - i, 2 - j] \\
 &= x[0, 1] \cdot h[1, 1] + x[1, 1] \cdot h[0, 1] + x[2, 1] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[0, 2] \cdot h[1, 0] + x[1, 2] \cdot h[0, 0] + x[2, 2] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[0, 3] \cdot h[1, -1] + x[1, 3] \cdot h[0, -1] + x[2, 3] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 4 \cdot 1 + 5 \cdot 2 + 6 \cdot 1 \\
 &\quad + 7 \cdot 0 + 8 \cdot 0 + 9 \cdot 0 \\
 &\quad + 0 \cdot (-1) + 0 \cdot (-2) + 0 \cdot (-1)
 \end{aligned}$$

1	2	3	
4	5	6	1
7	8	9	0
	-1	-2	-1

$$\begin{aligned}
 y[2, 2] &= \sum_j \sum_i x[i, j] \cdot h[2 - i, 2 - j] \\
 &= x[1, 1] \cdot h[1, 1] + x[2, 1] \cdot h[0, 1] + x[3, 1] \cdot h[-1, 1] \\
 &\quad + x[1, 2] \cdot h[1, 0] + x[2, 2] \cdot h[0, 0] + x[3, 2] \cdot h[-1, 0] \\
 &\quad + x[1, 3] \cdot h[1, -1] + x[2, 3] \cdot h[0, -1] + x[3, 3] \cdot h[-1, -1] \\
 &= 5 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \\
 &\quad + 8 \cdot 0 + 9 \cdot 0 + 0 \cdot 0 \\
 &\quad + 0 \cdot (-1) + 0 \cdot (-2) + 0 \cdot (-1) \\
 &= 17
 \end{aligned}$$

Figura 4: Convolución de la tercera fila de la matriz en la Figura 1

El resultado del proceso de Nitidez de Imagen o *Image Sharpening* se muestra en la Figura 5. El resultado varía según el kernel que se esté implementando en la convolución.

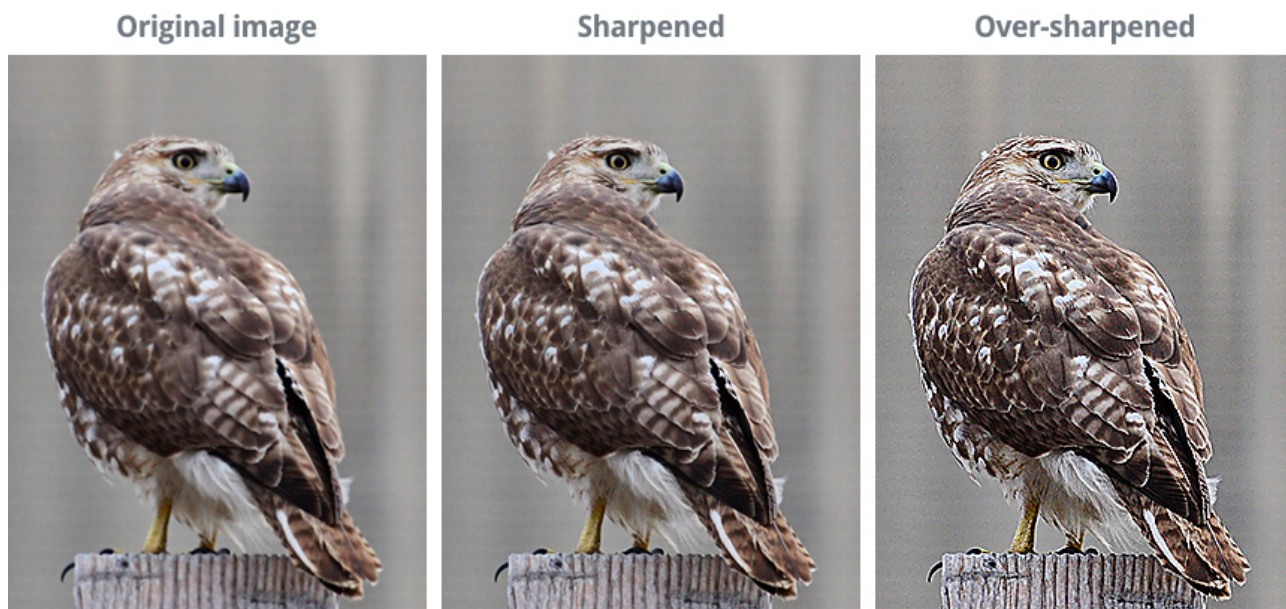


Figura 5: Resultados del proceso de *Image Sharpening*

Una manera de optimizar el proceso de convolución es mediante la propiedad kernel separable. Donde el kernel puede ser separado como se muestra debajo de este párrafo. De esta manera, un kernel de 3x3 en lugar de hacer 9 multiplicaciones solo haría 6. El proceso detallado se muestra en el [enlace](#).

$$\begin{pmatrix} 3 & 6 & 9 \\ 4 & 8 & 12 \\ 5 & 10 & 15 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Se le solicita desarrollar en **completamente en ensamblador** (asm) un programa que pueda procesar el sharpening y oversharpenering de una imagen mediante el filtrado de imágenes mediante convolución con máscaras de 3x3, bajo los siguientes requisitos generales de funcionalidad:

1. La imágenes deben ser visualizadas en algún software de alto nivel (e.g., Python, Matlab, Octave, etc), el procesamiento de la imagen es **completamente en ensamblador (asm)**.
2. Se va a trabajar con una imagen de entrada y dos de salida que serán producto del procesamiento.
3. La imagen de entrada es libre.
4. Se recomienda que el tamaño de la imagen de prueba no sea muy grande, pero no más pequeña de 640x480. Sin embargo, el sistema debe recibir una imagen de cualquier tamaño, la evaluación se hará con una imagen de tamaño desconocido.

5. El simulador del ISA (e.g., ARM, x86, RISC-V, otros) y otras herramientas de desarrollo podrán ser elegida abiertamente por cada estudiante.
6. Los dos kernels implementados deben realizar las siguientes operaciones: *sharpening* y *oversharpening*.
7. El formato de las imágenes será en escala de grises con píxeles con valores entre $[0, 255]$.
8. El programa automáticamente debe generar dos archivos de salida.
9. El tamaño de la imagen debe ser determinado por el usuario mediante entrada de teclado tanto en el programa en ensamblador como en el programa en alto nivel.

2. Evaluación y entregables

La evaluación del proyecto se da bajos los siguientes rubros:

- Presentación proyecto 100 % funcional (65 %): Para la presentación funcional, cada estudiante deberá grabar y entregar un vídeo realizando las diferentes pruebas sobre el programa (grabación de la pantalla) y explicando el funcionamiento del código y limitantes. El profesor evaluará las pruebas según rúbrica correspondiente. En caso de que haya duda de cualquiera de las partes, el estudiante o el profesor podrá solicitar una cita para la defensa del proyecto de forma presencial. Se deberá subir un archivo con el video o un link al video correspondiente en la sección de evaluaciones del TecDigital. Por motivos de acreditación del programa, se recomienda vehementemente que si proveen un enlace este esté disponible por cualquier persona que tenga acceso a él, hasta un año después de entregada esta evaluación. **Tome en cuenta que este vídeo será la guía que usará el profesor para probar una imagen cualquiera.** El vídeo no puede durar más de 7 minutos.
- Artículo científico tipo *paper* (17.5 %): El paper a realizar deberá tener una extensión no mayor a 4 páginas completas (incluyendo bibliografías), deberá ser realizado con L^AT_EX, siguiendo un formato establecido (IEEE Transactions o ACM, por ejemplo). Se les provee un ejemplo de paper en el [enlace](#). En general el *paper* deberá contar con las siguientes secciones:
 - *Abstract* e introducción.
 - Algoritmo desarrollado.
 - Resultados.
 - Conclusiones.
 - Referencias: Para facilitar el trabajo del informe se recomienda usar etiquetas para referenciar automáticamente las referencias y la numeración de las figuras.

- Documentación de diseño (17.5 %): Este documento se encuentra directamente ligado con el atributo AP. La documentación del diseño deberá contener las siguientes secciones:
 - Listado de requerimientos del sistema: Cada estudiante deberá determinar los requerimientos de ingeniería del problema planteado, considerando partes involucradas, estado del arte, estándares, normas, entre otros.
 - Elaboración de opciones de solución al problema: Para el problema planteado deberán documentarse al menos dos opciones de solución. Cada solución deberá ser acompañada de algún tipo de diagrama.
 - Comparación de opciones de solución: Se deberán comparar explícitamente las opciones de solución, de acuerdo con los requerimientos y otros aspectos aplicables de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares.
 - Selección de la propuesta final: Se deberá evaluar de forma objetiva, válida y precisa las soluciones planteadas al problema y escoger una solución final.
 - Archivo tipo README donde especifiquen las herramientas que usaron.
- Los documentos serán sometidos a control de plagios para eliminar cualquier intento de plagio con trabajos de semestres anteriores, actual o copias textuales. Se prohíbe el uso de referencias hacia sitios no confiables.

Tabla 1: Rúbrica de evaluación para la presentación del proyecto funcional

Rubro \Cumplimiento	Excelente (100 %)	Satisfactorio (66 %)	Regular (33 %)	Deficiente (0 %)
Guardado en memoria (10 pts)	Las imágenes de entrada y salida se guardan en la memoria de la FPGA.	Solo la imagen de entrada o la de salida se guardan en memoria de la FPGA.		El módulo no fue implementado.
Visualización de la imagen (10 pts)	La imagen 640×480 que se observa en el monitor es igual a la original.	La imagen 640×480 muestra una distorsión parcial no mayor a 50 % con respecto a la original.	La imagen no es de 640×480 .	La imagen no se visualiza.
Compilador y modelado a alto nivel (10 pts)	El compilador y el programa a alto nivel 100 % funcional.	El compilador o el programa a alto nivel funcionan parcialmente.	Solo se presenta o el compilador o el programa a alto nivel.	No se presentan.
Interacción con el usuario (5 pts)	Se cambia de imagen según la interacción intuitiva con el usuario.	La imagen cambia pero la interacción con el usuario no es intuitiva.		No es presentado.
Arquitectura (25 pts)	Las características del set del enunciado son defendidos a cabalidad.	El set de instrucciones es defendido mejorablemente.	El set de instrucciones es defendido deficientemente.	El set de instrucciones no fue implementado
Funcionalidad completa del proyecto (50 pts)	El sistema en conjunto funciona correctamente.	El sistema funciona con calidad mejorable.	El sistema funciona con calidad deficiente.	El sistema no funciona en conjunto.