MYE046 – Υπολογιστική Όραση: Άνοιξη 2023

2η Σειρά Ασκήσεων: 25% του συνολικού βαθμού

Διδάσκων: Άγγελος Γιώτης

- ΠΑΡΑΔΟΣΗ: **Σάββατο, 13 Μαΐου, 2023 23:59**

Γενικές Οδηγίες

Απαντήστε στα παρακάτω ζητήματα χρησιμοποιώντας Python στο συνημμένο σημειωματάριο Jupyter και ακολουθήστε τις παρακάτω οδηγίες:

- Οι ασκήσεις είναι **ατομικές** - δεν επιτρέπεται η μεταξύ σας συνεργασία για την υλοποίηση/παράδοσή τους.
- Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιήσετε κώδικα που τυχόν θα βρείτε στο web (είτε αυτούσιο, είτε παραγόμενο από AI). Η χρήση κώδικα τρίτων θα έχει σαν αποτέλεσμα τον αυτόματο μηδενισμό σας.
- Όλες οι λύσεις πρέπει να είναι γραμμένες σε αυτό το σημειωματάριο `Jupyter notebook` .
- Ο κώδικάς σας πρέπει να σχολιαστεί εκτενώς.
- Αφού ολοκληρώσετε (υλοποιήσετε και εκτελέσετε) τις απαντήσεις σας στο σημειωματάριο (notebook), εξαγάγετε το notebook ως PDF και υποβάλετε, τόσο το σημειωματάριο όσο και το PDF (δηλαδή τα αρχεία `.ipynb` και `.pdf`) στο `turnin` του μαθήματος, μαζί με ένα συνοδευτικό αρχείο `onoma.txt` που θα περιέχει το ον/μο σας και τον Α.Μ. σας.
- Οι απαντήσεις θα παραδοθούν με την εντολή: **turnin assignment_2@mye046 onoma.txt assignment2.ipynb assignment2.pdf**
- Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε βασικά πακέτα γραμμικής άλγεβρας (π.χ. `NumPy` , `SciPy` κ.λπ.), αλλά δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείτε τα πακέτα/βιβλιοθήκες που επιλύουν άμεσα τα προβλήματα. Μη διστάσετε να ρωτήσετε τον διδάσκοντα εάν δεν είστε σίγουροι για τα πακέτα που θα χρησιμοποιήσετε.
- Συνιστάται ιδιαίτερα να αρχίσετε να εργάζεστε στις ασκήσεις σας το συντομότερο δυνατό!

Late Policy: Εργασίες που υποβάλλονται καθυστερημένα θα λαμβάνουν μείωση βαθμού 10% για κάθε 24 ώρες καθυστέρησης. Οι εργασίες δεν θα γίνονται δεκτές 72 ώρες (3 ημέρες) μετά την προθεσμία παράδοσης. Για παράδειγμα, παράδοση της εργασίας 2 ημέρες μετά την προθεσμία βαθμολογείται με άριστα το 20 (από 25).

Άσκηση 1: Φιλτράρισμα Εικόνας (image filtering) [10 μονάδες]

Ζήτημα 1.1 Υλοποίηση συνέλιξης[6 μονάδες]

Σε αυτό το πρόβλημα, θα υλοποιήσετε τη λειτουργία φιλτραρίσματος συνέλιξης χρησιμοποιώντας συναρτήσεις της βιβλιοθήκης NumPy, αλλά χωρίς να χρησιμοποιήσετε συναρτήσεις που λύνουν απευθείας το πρόβλημα, όπως η συνάρτηση συνέλιξης "numpy.convolve".

Όπως έχουμε δει και στο μάθημα, η συνέλιξη μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κυλιόμενο παράθυρο που υπολογίζει ένα άθροισμα των τιμών των pixel που σταθμίζονται από τον αναποδογυρισμένο πυρήνα (a sum of pixel values weighted by the flipped kenrel).

Η έκδοσή σας θα πρέπει: i) να συμπληρώσει μια εικόνα με μηδενικά στα άκρα της εικόνας - zero-padding (επάνω-κάτω, δεξιά-αριστερά), ii) να αναστρέψει (flip) τον πυρήνα της συνέλιξης οριζόντια και κάθετα, και iii) να υπολογίσει ένα σταθμισμένο άθροισμα της γειτονιάς σε κάθε pixel.

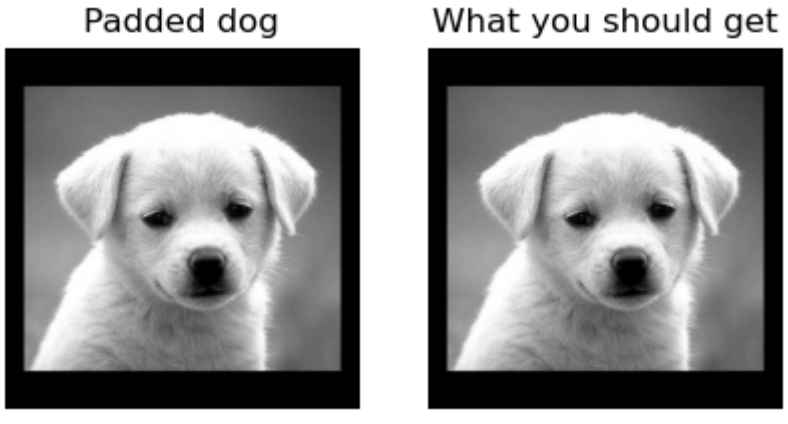
Ζήτημα 1.1.1 [1 μονάδα]

Πρώτα θα χρειαστεί να υλοποιήσετε τη συνάρτηση **zero_pad**.

In [185]:
```
import numpy as np
from time import time
from skimage import io
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
```

In [186]:

```python
def zero_pad(image, pad_top, pad_down, pad_left, pad_right):
    """ Zero-pad an image.

    Ex: a 1x1 image [[1]] with pad_top = 1, pad_down = 1, pad_left = 2, pad_right = 2 becomes:

        [[0, 0, 0, 0, 0],
         [0, 0, 1, 0, 0],
         [0, 0, 0, 0, 0]]         of shape (3, 5)

    Args:
        image: numpy array of shape (H, W)
        pad_left: width of the zero padding to the left of the first column
        pad_right: width of the zero padding to the right of the last column
        pad_top: height of the zero padding above the first row
        pad_down: height of the zero padding below the last row

    Returns:
        out: numpy array of shape (H + pad_top + pad_down, W + pad_left + pad_right)
    """
    h, w = image.shape #get height and width

    #create out array with zeros and dimensions of (height plus padding, width plus padding)
    out = np.zeros((h + pad_top + pad_down, w + pad_left + pad_right))

    #put the input image to the centre of the output array by assigning the values of the input image
    #to the padding values
    out[pad_top:h+pad_top, pad_left:w+pad_left] = image

    return out


# Open image as grayscale
img = io.imread('images/dog.jpg', as_gray=True)

# Show image
plt.imshow(img,cmap='gray')
plt.axis('off')
plt.show()

pad_width = 20 # width of the padding on the left and right
pad_height = 40 # height of the padding on the top and bottom

padded_img = zero_pad(img, pad_height, pad_height, pad_width, pad_width)

# Plot your padded dog
plt.subplot(1,2,1)
plt.imshow(padded_img,cmap='gray')
plt.title('Padded dog')
plt.axis('off')

# Plot what you should get
solution_img = io.imread('images/padded_dog.jpg', as_gray=True)
plt.subplot(1,2,2)
plt.imshow(solution_img,cmap='gray')
plt.title('What you should get')
plt.axis('off')

plt.show()
```



Ζήτημα 1.1.2 [3 μονάδες]

Τώρα υλοποιήστε τη συνάρτηση **`conv`** , **χρησιμοποιώντας το πολύ 2 βρόχους επανάληψης**. Αυτή η συνάρτηση θα πρέπει να δέχεται μια εικόνα f και έναν πυρήνα/φίλτρο h ως εισόδους και να εξάγει το αποτέλεσμα της συνέλιξης (προκύπτουσα εικόνα) $(f * h)$ που έχει το **ίδιο** σχήμα (διαστάσεις) με την εικόνα εισόδου (χρησιμοποιήστε συμπλήρωση μηδενικών - zero padding, για να το πετύχετε). Θα θεωρήσουμε πως χρησιμοποιούμε μόνο πυρήνες με περιττό πλάτος και περιττό ύψος. Ανάλογα με τον υπολογιστή, η υλοποίησή σας θα χρειαστεί περίπου ένα δευτερόλεπτο ή λιγότερο για να εκτελεστεί.

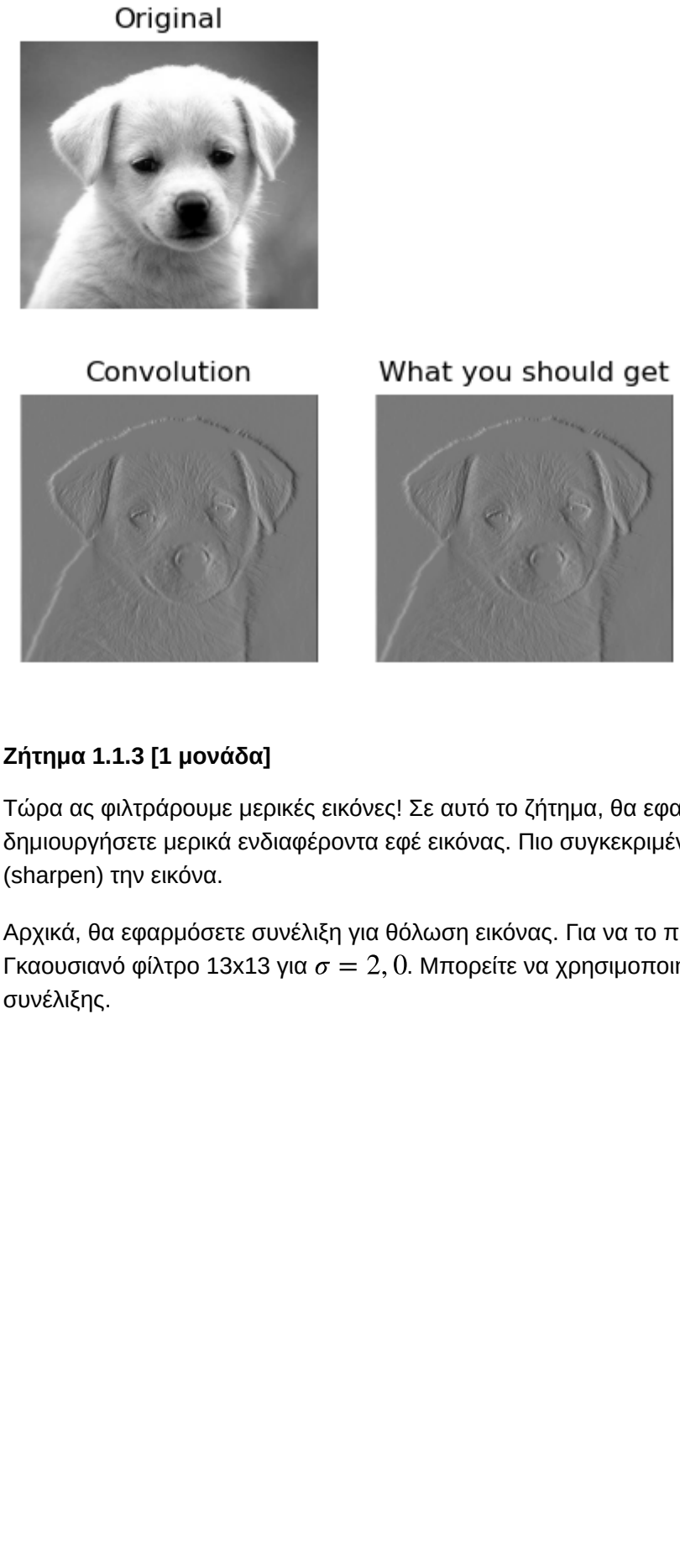
Υπόδειξη: Για να έχει το αποτέλεσμα της συνέλιξης $g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$ το **ίδιο σχήμα** με την εικόνα εισόδου f, θα πρέπει οι διαστάσεις της συμπληρωμένης (με μηδενικά) εικόνας "padded_f" να είναι $P = A + C - 1$ και $Q = B + D - 1$, όπου $A, \mathrm{B} : height, width$ της εικόνας f, ενώ $C, D : height, width$, του πυρήνα h.

In [187]:

```
def conv(image, kernel):
    """ An efficient implementation of a convolution filter.

    This function uses element-wise multiplication and np.sum()
    to efficiently compute a weighted sum of the neighborhood at each
    pixel.

    Hints:
        - Use the zero_pad function you implemented above
        - You should need at most two nested for-loops
        - You may find np.flip() and np.sum() useful
        - You need to handle both odd and even kernel size

    Args:
        image: numpy array of shape (Hi, Wi)
        kernel: numpy array of shape (Hk, Wk)

    Returns:
        out: numpy array of shape (Hi, Wi)
    """
    Hi, Wi = image.shape #height width of image
    Hk, Wk = kernel.shape #height width of kernel
    out = np.zeros((Hi, Wi)) #out array with dimensions of hi,wi and values zeroes

    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """
    #calculate padding to the (left,right,top,bottom) sides of the image using the kernel width
    #to align the image to the (left,right,top,bottom) with the kernel centre
    pad_left = (Wk - 1) // 2
    pad_right = (Wk - 1) // 2
    pad_top = (Hk - 1) // 2
    pad_bottom = (Hk - 1) // 2

    #use the zero_pad to pad zeros to the image sides
    padded_image = zero_pad(image, pad_top, pad_bottom, pad_left, pad_right)

    #flip kernel horizontally and vertically to match the summation operation of convolution
    kernel = np.flip(kernel, axis=0)
    kernel = np.flip(kernel, axis=1)

    #loop over the pixels of the image from top to top+hi and left to left+wi
    #then take the neighborhs of the current pixel from the padded image
    #then calculate the convolution
    #by multiplicating the neighborhood with the flipped kernel and sum everything
    for i in range(pad_top, pad_top+Hi):
        for j in range(pad_left, pad_left+Wi):
            neighborhood = padded_image[i-pad_top:i+pad_bottom+1, j-pad_left:j+pad_right+1]
            out[i-pad_top, j-pad_left] = np.sum(neighborhood * kernel)


    return out

# Simple convolution kernel.
kernel = np.array(
[
    [1,0,-1],
    [2,0,-2],
    [1,0,-1]
])

t1 = time()
out = conv(img, kernel)
t2 = time()
print("took %f seconds." % (t2 - t1))

# Plot original image
plt.subplot(2,2,1)
plt.imshow(img,cmap='gray')
plt.title('Original')
plt.axis('off')

# Plot your convolved image
plt.subplot(2,2,3)
plt.imshow(out,cmap='gray')

plt.title('Convolution')
plt.axis('off')

# Plot what you should get
solution_img = io.imread('images/convolved_dog.jpg', as_gray=True)
plt.subplot(2,2,4)
plt.imshow(solution_img,cmap='gray')
plt.title('What you should get')
plt.axis('off')

```

```
87 plt.show()
```

```
took 0.867487 seconds.
```



Ζήτημα 1.1.3 [1 μονάδα]

Τώρα ας φιλτράρουμε μερικές εικόνες! Σε αυτό το ζήτημα, θα εφαρμόσετε τη συνάρτηση συνέλιξης που μόλις υλοποιήσατε για να δημιουργήσετε μερικά ενδιαφέροντα εφέ εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιήσετε συνέλιξη για να "θολώσετε" (blur) και να "οξύνετε" (sharpen) την εικόνα.

Αρχικά, θα εφαρμόσετε συνέλιξη για θόλωση εικόνας. Για να το πετύχετε αυτό, πραγματοποιήστε συνέλιξη της εικόνας του σκύλου με ένα Γκαουσιανό φίλτρο 13x13 για $\sigma = 2,0$. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση που σας δίνετε για να πάρετε τον Γκαουσιανό πυρήνα της συνέλιξης.

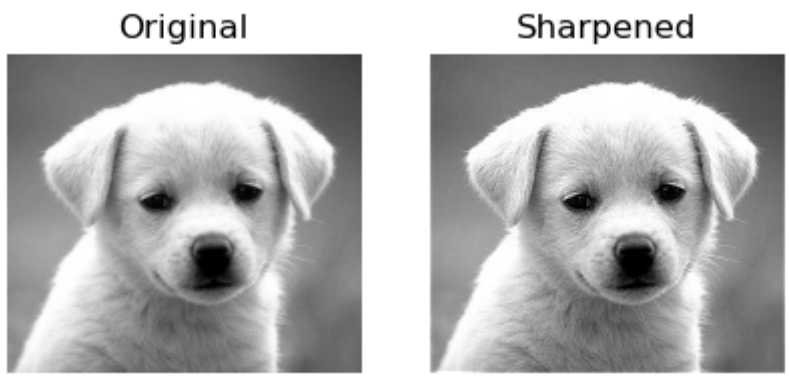
In [188]:
```python
def gaussian2d(sig):
    """
    Creates 2D Gaussian kernel with a sigma of `sig`.
    """
    filter_size = int(sig * 6)
    if filter_size % 2 == 0:
        filter_size += 1

    ax = np.arange(-filter_size // 2 + 1., filter_size // 2 + 1.)
    xx, yy = np.meshgrid(ax, ax)
    kernel = np.exp(-0.5 * (np.square(xx) + np.square(yy)) / np.square(sig))
    return kernel / np.sum(kernel)

def blur_image(img):
    """Blur the image by convolving with a Gaussian filter."""
    blurred_img = np.zeros_like(img) #initialize blurred_img with same size with img and values of zer
    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """

    sigma = 2.0 #set standard deviation to two
    kernel = gaussian2d(sigma) #create a gaussian2d kernel with standard deviation two
    blurred_img = conv(img, kernel) #use convolution to blur the image by applying the kernel to it


    return blurred_img

# Plot original image
plt.subplot(2,2,1)
plt.imshow(img,cmap='gray')
plt.title('Original')
plt.axis('off')

# Plot blurred image
plt.subplot(2,2,2)
plt.imshow(blur_image(img),cmap='gray')
plt.title('Blurred')
plt.axis('off')

plt.show()
```

Ζήτημα 1.1.4 [1 μονάδα]

Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε τη συνέλιξη για την όξυνση (αύξηση ευκρίνειας) των εικόνων. Πραγματοποιήστε συνέλιξη της εικόνας με το ακόλουθο φίλτρο για να δημιουργήσετε ένα πιο ευκρινές αποτέλεσμα. Για ευκολία, σας δίνετε και το φίλτρο όξυνσης:

In [189]:
```python
sharpening_kernel = np.array([
    [1, 4,     6,  4, 1],
    [4, 16,   24, 16, 4],
    [6, 24, -476, 24, 6],
    [4, 16,   24, 16, 4],
    [1,  4,    6,  4, 1],
]) * -1.0 / 256.0
```

In [190]:
```python
def sharpen_image(img):
    """Sharpen the image by convolving with a sharpening filter."""
    sharpened_img = np.zeros_like(img) #initialize sharpened_img with same size with img and values of
    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """
    #use convolution to blur the image by applying the kernel to it
    sharpened_img = conv(img, sharpening_kernel)

    return sharpened_img

# Plot original image
plt.subplot(2,2,1)
plt.imshow(img, vmin=0.0, vmax=1.0,cmap='gray')
plt.title('Original')
plt.axis('off')

# Plot sharpened image
plt.subplot(2,2,2)
plt.imshow(sharpen_image(img), vmin=0.0, vmax=1.0,cmap='gray')
plt.title('Sharpened')
plt.axis('off')

plt.show()
```



Ζήτημα 1.2 Αντιστοίχιση/Ταίριασμα Προτύπου (Template Matching) [4 μονάδες]

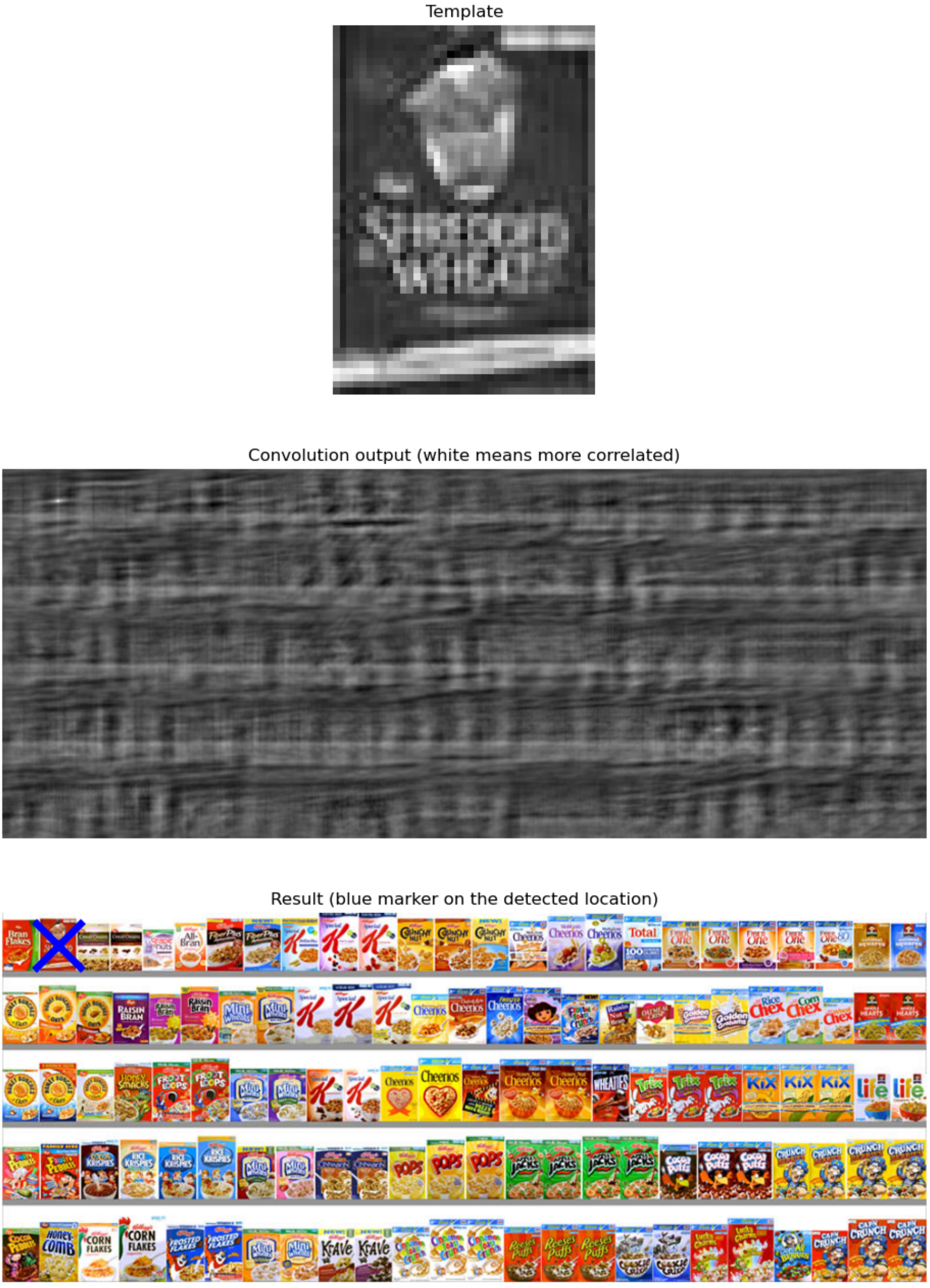
Υποθέτουμε το παρακάτω πρόβλημα. Έστω ένας υπάλληλος κάποιου καταστήματος super market είναι υπεύθυνος για τον περιοδικό έλεχγο των ραφιών, με σκοπό την αναπλήρωσή τους με προϊόντα που έχουν εξαντληθεί/πωληθεί (restocking sold-out items). Σε αυτή την περίπτωση, η ανάπτυξη μιας εφαρμογής υπολογιστικής όρασης, η οποία θα "βλέπει" και θα καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τα προϊόντα στα ράφια θα μπορούσε να αυτοματοποιήσει τη δουλειά του υπαλλήλου.

Ευτυχώς, κάτι τέτοιο μπορεί να επιλυθεί ακόμη και με πρωταρχικές τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που βασίζονται στη συνέλιξη, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για την αντιστοίχιση μιας εικόνας με κάποιο πρότυπο (template matching):

- Ένα αναποδογυρισμένο (flipped) πρότυπο *t* πολλαπλασιάζεται με τις περιοχές μιας μεγαλύτερης εικόνας *f* για να υπολογιστεί πόσο παρόμοια είναι κάθε περιοχή με το πρότυπο (πόσο μοιάζει κάθε περιοχή με την εικόνα προτύπου). Σημειώστε, ότι θα πρέπει να αναστρέψετε το φίλτρο πριν το δώσετε στη συνάρτηση συνέλιξης, έτσι ώστε συνολικά να μην είναι αναποδογυρισμένο όταν κάνετε συγκρίσεις.
- Επίσης, Θα χρειαστεί να αφαιρέσετε τη μέση τιμή της εικόνας ή του προτύπου (όποια και αν επιλέξετε, αφαιρέστε την ίδια τιμή, τόσο από την εικόνα όσο και από το πρότυπο) έτσι ώστε η λύση σας να μην είναι ευαίσθητη προς τις περιοχές υψηλότερης έντασης (λευκές).
- Δοκιμάστε να εκτελέσετε αρχικά τη συνέλιξη του ανεστραμμένου πυρήνα (προτύπου) με την εικόνα, χωρίς να αφαιρέσετε τη μέση τιμή και δείτε την ευαισθησία του αποτελέσματος σε περιοχές υψηλότερης έντασης. Εξηγείστε (σε σχόλια) γιατί η αφαίρεση της μέσης τιμής (και από τις 2 εικόνες) αντιμετωπίζει το πρόβλημα, κάνοντας τη λύση σας ανθεκτική σε περιοχές υψηλής έντασης.
- Παρέχεται το πρότυπο ενός προϊόντος (template.jpg) και η εικόνα του ραφιού (shelf.jpg). Θα χρησιμοποιήσετε συνέλιξη για να βρείτε το προϊόν στο ράφι.

In [191]:

```
# Load template and image in grayscale
img = io.imread('images/shelf.jpg')
img_gray = io.imread('images/shelf.jpg', as_gray=True)
temp = io.imread('images/template.jpg')
temp_gray = io.imread('images/template.jpg', as_gray=True)

# Perform a convolution between the image (grayscale) and the template (grayscale) and store
# the result in the out variable
""" ==========
YOUR CODE HERE
========== """

#flip the template horizontally and vertically
t = np.flip(np.flip(temp_gray, axis=1), axis=0)

#subtract the mean from the template and image so the image isnt valnurable to white intensity arrias
img_gray -= np.mean(img_gray)
temp_gray -= np.mean(temp_gray)
#i observe that the mean is not nessesary in the img although it is in the template image
#otherwise the convolution enhances the values and they become sensitive to white regions
#so by substracting the mean from the template we essentially get the values of temp around zero
#in order to not get very high values after convolution
#this is also happens for the image but it is not absolutely nessesary because
#we want to identify regions in the image that closely resemble the template,
#regardless of the intensity levels of the image.


#reflip the template horizontally and vertically
re_temp_gray = np.flip(np.flip(temp_gray, axis=1), axis=0)


#use convolution to the image with the reflipped template
out = conv(img_gray, re_temp_gray)


# Find the (x, y) coordinates of the maximum value in the out variable
""" ==========
YOUR CODE HERE
========== """
variable = np.argmax(out) #find the variable of the maximum value in out
#get tuple (y, x) coordinates
#where y will be the result div (row) and the x will be the result of mod (column)
y, x = divmod(variable, out.shape[1])


# Display product template
plt.figure(figsize=(20,16))
plt.subplot(3, 1, 1)
plt.imshow(temp_gray, cmap="gray")
plt.title('Template')
plt.axis('off')

# Display convolution output
plt.subplot(3, 1, 2)
plt.imshow(out, cmap="gray")
plt.title('Convolution output (white means more correlated)')
plt.axis('off')

# Display image
plt.subplot(3, 1, 3)
plt.imshow(img, cmap="gray")
plt.title('Result (blue marker on the detected location)')
plt.axis('off')

# Draw marker at detected location
plt.plot(x, y, 'bx', ms=35, mew=5)
plt.show()
```



Άσκηση 2: Ανίχνευση Ακμών (Edge detection) [15 μονάδες]

Σε αυτό το πρόβλημα, θα υλοποιήσετε τα βήματα του ανιχνευτή ακμών "Canny". Πρέπει να ακολουθήσετε τα βήματα με τη σειρά που σας δίνετε.

Ζήτημα 2.1 Εξομάλυνση (Smoothing) [1 μονάδα]

Αρχικά, πρέπει να εξομαλύνουμε τις εικόνες για να αποτρέψουμε τον θόρυβο να θεωρηθεί ως ακμές. Για αυτήν την άσκηση, χρησιμοποιήστε ένα φίλτρο Γκαουσιανού πυρήνα (Gaussian) 9x9 με $\sigma = 1,5$ για να εξομαλύνετε τις εικόνες.

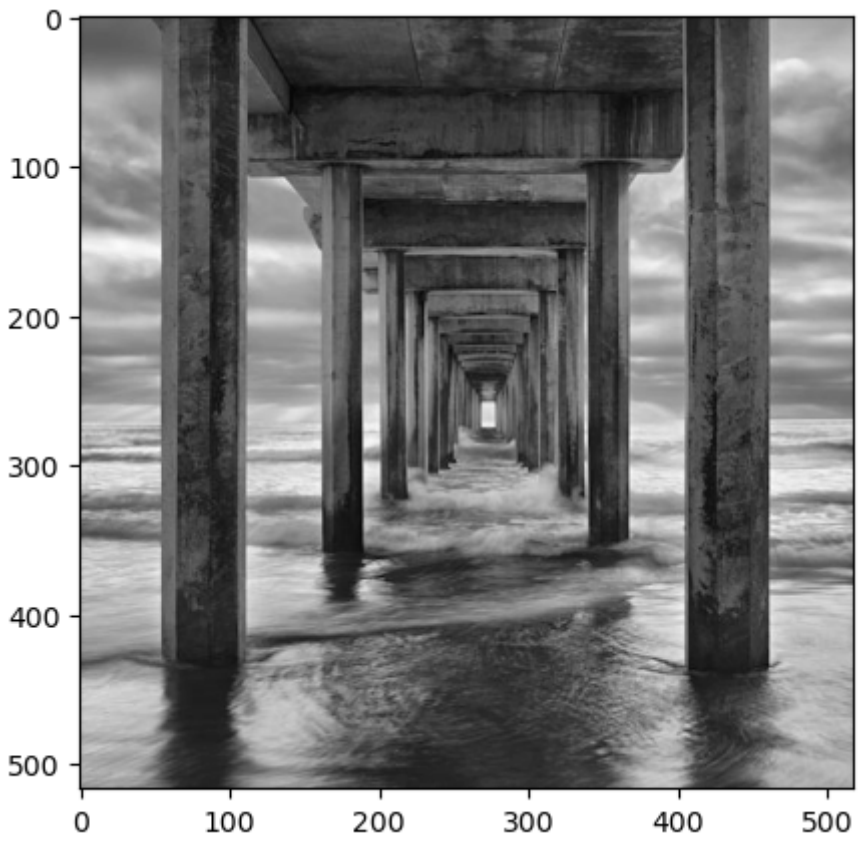
In [192]:
```
import numpy as np
from skimage import io
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.cm as cm
from scipy.signal import convolve
%matplotlib inline

import matplotlib
matplotlib.rcParams['figure.figsize'] = [5, 5]
```

In [193]:
```
def gaussian2d(sig=None):
    """Creates a 2D Gaussian kernel with
    side length `filter_size` and a sigma of `sig`."""
    filter_size = int(sig * 6)
    if filter_size % 2 == 0:
        filter_size += 1

    ax = np.arange(-filter_size // 2 + 1., filter_size // 2 + 1.)
    xx, yy = np.meshgrid(ax, ax)
    kernel = np.exp(-0.5 * (np.square(xx) + np.square(yy)) / np.square(sig))
    return kernel / np.sum(kernel)
```

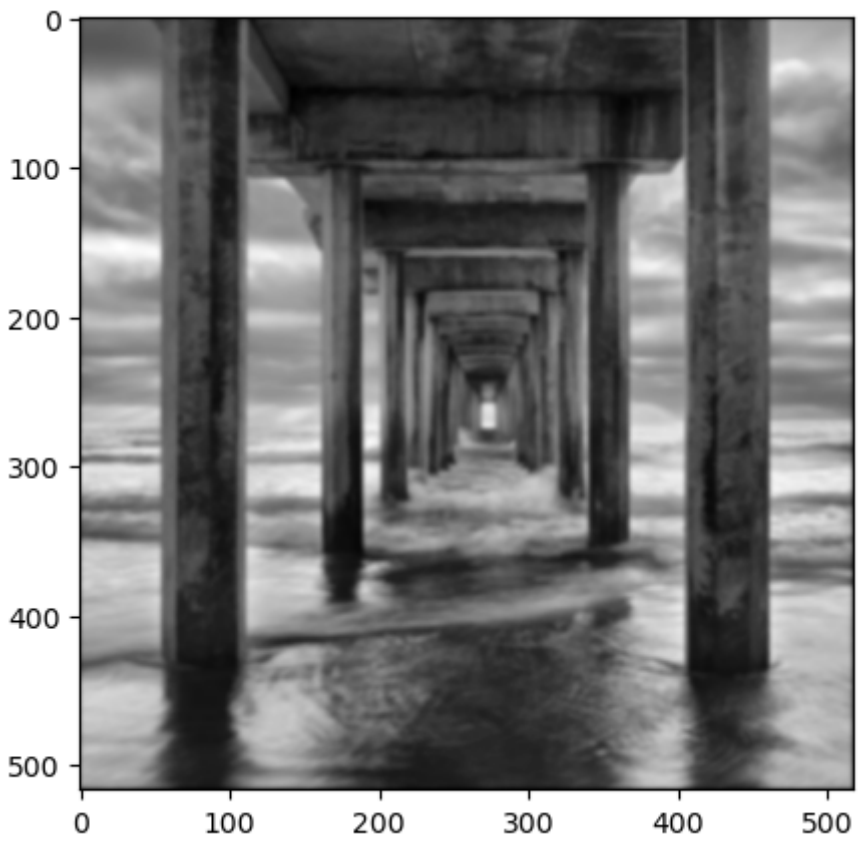
In [194]:
```
def smooth(image):
    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """
    sigma = 1.5 #set standard deviation to 1.5
    kernel = gaussian2d(sigma) #create a gaussian2d 9x9 kernel with standard deviation 1.5
    smoothed = conv(image, kernel)  #use convolution to smooth the image by applying the kernel to it

    return smoothed
```

In [195]:
```
# Load image in grayscale
image = io.imread('images/canny.jpg', as_gray=True)
assert len(image.shape) == 2, 'image should be grayscale; check your Python/skimage versions'
smoothed = smooth(image)
print('Original:')
plt.imshow(image, cmap=cm.gray)
plt.show()

print('Smoothed:')
plt.imshow(smoothed, cmap=cm.gray)
plt.show()
```

```
Original:
```




```
Smoothed:
```



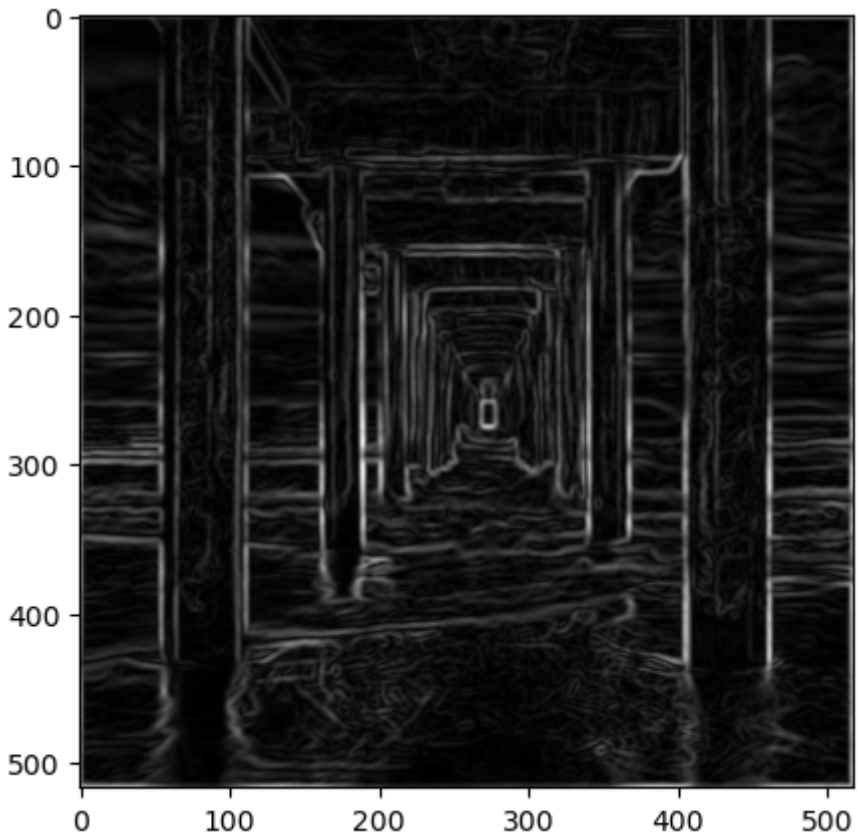
Ζήτημα 2.2 Υπολογισμός Παραγώγου (Gradient Computation [4 μονάδες]

Αφού ολοκληρώσετε την εξομάλυνση, βρείτε την παράγωγο/κλίση της εικόνας στην οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση. Υπολογίστε την εικόνα του μέτρου (μεγέθους) κλίσης (gradient magnitude) ως $|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$. Η κατεύθυνση της ακμής για κάθε pixel δίνεται από την εξίσωση $G_\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$.

In [196]:
```python
def gradient(image):
    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """
    gx = np.gradient(smoothed, axis=1) #calculate the derivative in the horizontal direction (x-axis)

    gy = np.gradient(smoothed, axis=0) #calculate the derivative in the vertical direction (y-axis)

    g_mag = np.sqrt(np.square(gx) + np.square(gy)) #calculate gradient magnitude
    g_theta = np.arctan2(gy, gx) #calculate edge direction


    return g_mag, g_theta
```

In [197]:
```python
g_mag, g_theta = gradient(smoothed)
print('Gradient magnitude:')
plt.imshow(g_mag, cmap=cm.gray)
plt.show()
```

```
Gradient magnitude:
```



Ζήτημα 2.3 Καταστολή μη-μεγίστων (Non-Maximum Suppression) [5 μονάδες]

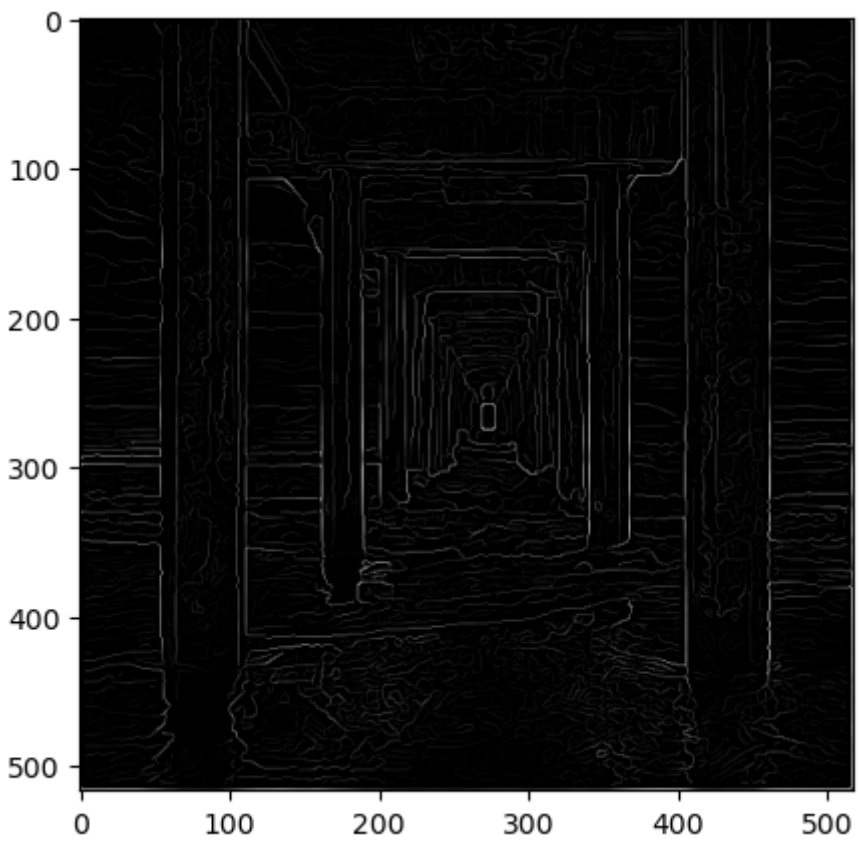
Θα θέλαμε οι ακμές μας να είναι ευκρινείς (sharp), σε αντίθεση με αυτές στην εικόνα ντεγκραντέ (gradient image). Χρησιμοποιήστε καταστολή μη-μεγίστων για να διατηρήσετε όλα τα τοπικά μέγιστα και απορρίψτε τα υπόλοιπα. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την ακόλουθη μέθοδο για να το κάνετε:

- Για κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα του μέτρου (μεγέθους) της κλίσης (gradient magnitude image):
  - Στρογγυλοποιήστε την κατεύθυνση της κλίσης θ στο πλησιέστερο πολλαπλάσιο των 45° (το οποίο θα αναφέρουμε ως ve).
  - Συγκρίνετε την ισχύ της ακμής (edge strength) στο τρέχον εικονοστοιχείο (δηλαδή το μέτρο της κλίσης) με τα εικονοστοιχεία κατά μήκος της κατεύθυνσης κλίσης $+ve$ και $-ve$ στην 8-γειτονιά του (8-connected pixel neighborhood).
  - Εάν το εικονοστοιχείο δεν έχει μεγαλύτερη τιμή από τους δύο γείτονές του στις κατευθύνσεις κλίσης $+ve$ και $-ve$, καταργήστε (suppress) την τιμή του εικονοστοιχείου (ορίστε το σε 0). Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία, διατηρούμε τις τιμές μόνο εκείνων των pixel που έχουν μέγιστα μεγέθη κλίσης στη γειτονιά κατά μήκος των κατευθύνσεων κλίσης $+ve$ και $-ve$.
- Επιστρέψτε το αποτέλεσμα ως την εικόνα-απόκριση της καταστολής μη-μεγίστων (NMS).

In [198]:
```
def nms(g_mag, g_theta):
""" ==========
YOUR CODE HERE
========== """

nms = np.zeros_like(g_mag)  #initialize with zeros the non-maximum suppression image

#loop every pixel of the image
for i in range(g_mag.shape[0]):
    for j in range(g_mag.shape[1]):

        #round to 45 and use mod 8 to take positive and negative values because we have 8 neighbors
        ve = np.round(g_theta[i, j] * 4 / np.pi) % 8

        #np.minimum,np.maximum are used because of problems with the dimensions
        if ve == 0 or ve == 4: #vertical edge
            neighbor_1 = g_mag[i, np.maximum(j - 1, 0)]  #pixel in the -ve direction
            neighbor_2 = g_mag[i, np.minimum(j + 1, g_mag.shape[1] - 1)]  #pixel in the +ve direction
        elif ve == 1 or ve == 5: #diagonal edge
            neighbor_1 = g_mag[np.maximum(i - 1, 0), np.maximum(j - 1, 0)]  #pixel in the -ve directi
            ## Pixel in the +ve direction
            neighbor_2 = g_mag[np.minimum(i + 1, g_mag.shape[0] - 1), np.minimum(j + 1, g_mag.shape[1
        elif ve == 2 or ve == 6: #horizontal edge
            neighbor_1 = g_mag[np.maximum(i - 1, 0), j]  #pixel in the -ve direction
            neighbor_2 = g_mag[np.minimum(i + 1, g_mag.shape[0] - 1), j]  #pixel in the +ve direction
        else: #other diagonal
            #pixel in the -ve direction
            neighbor_1 = g_mag[np.minimum(i + 1, g_mag.shape[0] - 1), np.maximum(j - 1, 0)]
            #pixel in the +ve direction
            neighbor_2 = g_mag[np.maximum(i - 1, 0), np.minimum(j + 1, g_mag.shape[1] - 1)]

        #we only keep the pixels that have the biggest values from the neighbors
        if g_mag[i, j] >= neighbor_1 and g_mag[i, j] >= neighbor_2:
            nms[i, j] = g_mag[i, j]
        else: #make every other smaller pixel equal to zero
            nms[i, j] = 0


return nms
```

In [199]:
```
nms_image = nms(g_mag, g_theta)
print('NMS:')
plt.imshow(nms_image, cmap=cm.gray)
plt.show()
```

```
NMS:
```



Ζήτημα 2.4 Κατωφλίωση Υστέρησης (Hysteresis Thresholding) [5 μονάδες]

Επιλέξτε κατάλληλες τιμές κατωφλίων και χρησιμοποιήστε την προσέγγιση κατωφλίου που περιγράφεται στη διάλεξη 5. Αυτό θα αφαιρέσει τις ακμές που προκαλούνται από το θόρυβο και τις χρωματικές διαφοροποιήσεις. Μπορείτε να ανατρέξετε και σε άλλες πηγές (βιβλιογραφία, διαδίκτυο) για περισσότερες πληροφορίες στην προσέγγιση κατωφλίου.

- Ορίστε δύο κατώφλια `t_min` και `t_max` .
- Εάν το `nms > t_max` , τότε επιλέγουμε αυτό το pixel ως ακμή.
- Εάν `nms < t_min` , απορρίπτουμε αυτό το pixel.
- Αν `t_min < nms < t_max` , επιλέγουμε το pixel μόνο αν υπάρχει διαδρομή από/προς άλλο pixel με `nms > t_max` . (Υπόδειξη: Σκεφτείτε όλα τα pixel με `nms > t_max` ως σημεία έναρξης/εκκίνησης και εκτελέστε αναζήτηση BFS/DFS από αυτά τα σημεία

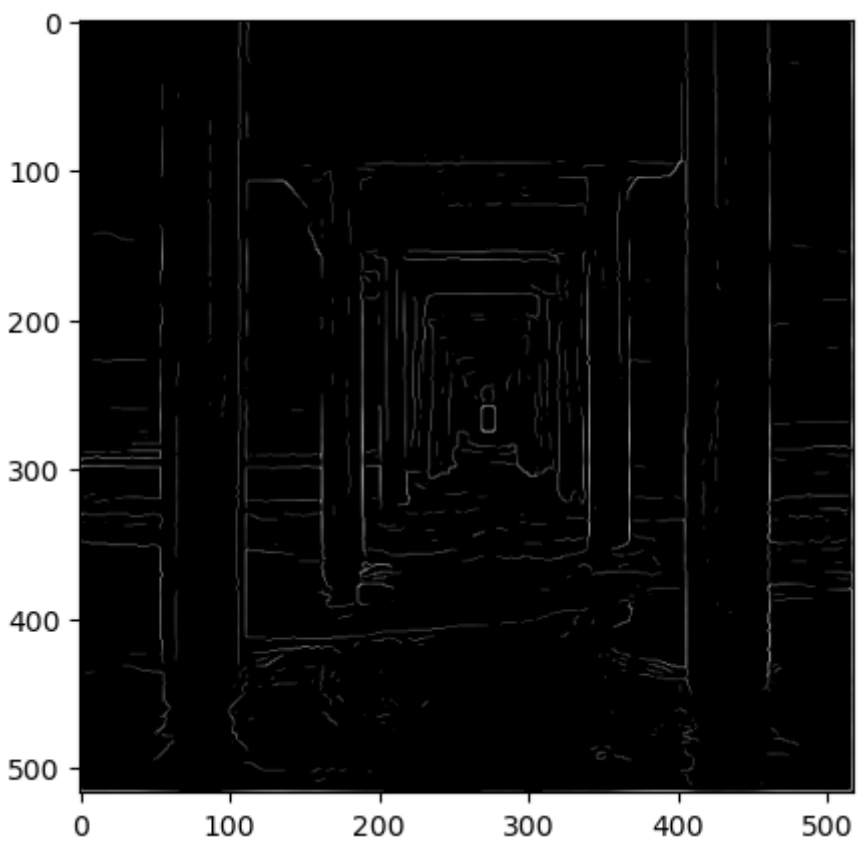
εκκίνησης).

- Η επιλογή της τιμής των χαμηλών και υψηλών κατωφλίων εξαρτάται από το εύρος των τιμών στην εικόνα μεγέθους κλίσης (gradient magnitude image). Μπορείτε να ξεκινήσετε ορίζοντας το υψηλό κατώφλι σε κάποιο ποσοστό της μέγιστης τιμής στην εικόνα μεγέθους ντεγκραντέ (gradient magnitude image), π.χ. `thres_high = 0,2 * image.max()` , και το χαμηλό όριο σε κάποιο ποσοστό του υψηλού ορίου, π.χ. `thres_low = 0,85 * thres_high` . Έπειτα, μπορείτε να συντονίσετε/τροποποιήσετε (tune) αυτές τις τιμές όπως θέλετε.

In [200]:
```python
def hysteresis_threshold(image, g_theta, use_g_theta=False):
    """ ==========
    YOUR CODE HERE
    ========== """
    nms_image = nms(image, g_theta) #nms

    thres_high = 0.2 * image.max() #high threshold
    thres_low = 0.85 * thres_high  #low threshold

    result = np.zeros_like(nms_image)  # initialize the result image

    #for every pixel
    for i in range(result.shape[0]):
        for j in range(result.shape[1]):
            if nms_image[i, j] < thres_low:  #nms < thres_low set pixel to zero
                result[i, j] = 0
            elif nms_image[i, j] > thres_high: #nms > thres_high set pixel to zero
                result[i, j] = nms_image[i, j]
             #thres_low < nms_image < thres_high dfs or bfs wasnt implemented and i just put the condi
            elif thres_low < nms_image[i, j] < thres_high:
                result[i, j] = 0
            else:
                result[i, j] = 0

    return result
```

In [201]:
```python
thresholded = hysteresis_threshold(nms_image, g_theta)
print('Thresholded:')
plt.imshow(thresholded, cmap=cm.gray)
plt.show()
```

```
Thresholded:
```



Οδηγίες υποβολής

Μην ξεχάσετε να κάνετε turnin **τόσο** το αρχείο Jupyter notebook όσο και το PDF αρχείο αυτού του notebook μαζί με το συνοδευτικό αρχείο `onoma.txt` : **turnin assignment_2@mye046 onoma.txt assignment2.ipynb assignment2.pdf**

Βεβαιωθείτε ότι το περιεχόμενο σε **κάθε κελί εμφανίζεται** καθαρά στο τελικό σας αρχείο PDF. Για να μετατρέψετε το σημειωματάριο σε PDF, μπορείτε να επιλέξετε **έναν** από τους παρακάτω τρόπους:

1. Google Collab (Συνιστάται): You can `print` the web page and save as PDF (e.g. Chrome: Right click the web page → Print... → Choose "Destination: Save as PDF" and click "Save"). Προσοχή στην περίπτωση όπου κώδικας/σχόλια εμφανίζονται εκτός των ορίων της σελίδας. Μια λύση είναι η αλλαγή γραμμής π.χ. σε σχόλια που υπερβαίνουν το πλάτος της σελίδας.
2. Local Jupyter/JupyterLab(Συνιστάται): You can `print` the web page and save as PDF (File → Print... → Choose "Destination: Save as PDF" and click "Save"). Προσοχή στην περίπτωση όπου κώδικας/σχόλια εμφανίζονται εκτός των ορίων της σελίδας. Μια λύση είναι η αλλαγή γραμμής π.χ. σε σχόλια που υπερβαίνουν το πλάτος της σελίδας.
3. Local Jupyter/JupyterLab(Συνιστάται!): You can `export` and save as HTML (File → Save & Export Notebook as... → HTML). Στη συνέχεια μπορείτε να μετατρέψεται το HTML αρχείο αποθηκεύοντάς το ως PDF μέσω ενός browser.

In [ ]:
```
1
```

In [ ]:
```
1
```

In [ ]:
```
1
```

In [ ]:
```
1
```