Symulator tomografu komputerowego

Mikołaj Kiszka 155973

Maja Komorowska 155844

1. Cel projektu

Celem niniejszego projektu było stworzenie symulatora tomografu komputerowego, którego zadaniem jest odwzorowanie podstawowego działania rzeczywistego tomografu. W symulatorze tomografu zastosowano model stożkowy, własną implementację algorytmu Brehensama, transformaty Radona oraz odwrotnej transformaty Radona. W celu zobrazowania działania symulatora stworzono graficzny interfejs pozwalający na testowanie jego działa, a oszacowaniu jakości jego działania pomaga funkcja obliczająca pierwiastek błędu średniokwadratowego. W raporcie zaprezentowano także przykłady działania symulatora oraz ocenę jakości jego działania ze względu na różne parametry wybrane w symulacji.

2. Opis głównych funkcji programu

Poniżej opisane są fragmenty kodu zastosowane do stworzenia symulatora tomografu komputerowego. Symulator tomografu komputerowego wykonany został w Pythonie.

a) Użyte biblioteki niestandardowe:

- PIL – otwieradnie, edytowanie i zapisywanie obrazów
- matplotlib – tworzenie wykresów i wizualizacji danych
- IPython – interaktywne środowisko do wizualizacji w Jupyter Notebook
- numpy – operacje na macierzach
- pydicom – odczyt i zapisów plików medycznych w formacie dicom
- ipywidgets – tworzenie interaktywnych kontrolek w Jupyter Notebook

b) Odczyt plików jpg i dicom

Funkcje obsługujące odczyt plików jpg i dicom z zastosowaniem odpowiedniego formatowania i skalowania w celu normalizacji i ułatwienia kolejnych obliczeń

```
def cutThirdDimension(bitmap):
    if bitmap.ndim == 3:
        return bitmap[..., 0]
    else:
        return bitmap

def scaleBitmap(bitmap):
    return bitmap/255.0

def turnSingleJpgIntoBitmap(single_file):
    directory = r"Tomograf-images"
    jpg_file = os.path.join(directory, single_file)
    if single_file.lower().endswith('.jpg'):
        img = Image.open(jpg_file)
        bitmap = np.array(img)
        return scaleBitmap(cutThirdDimension(bitmap))
    else:
        print('Wrong file format')
        exit()

def turnSingleDicomIntoBitmap(single_file):
    directory = r"Tomograf-dicom"
    dicom_file = os.path.join(directory, single_file)

    if single_file.lower().endswith('.dcm'):
        dicom_data = pydicom.dcmread(dicom_file)
        bitmap = dicom_data.pixel_array.astype(np.float32)
        return scaleBitmap(cutThirdDimension(bitmap))
    else:
        print('Wrong file format')
        exit()
```

c) Zapis do jpg i dicom

Funkcje obsługujące zapis do formatów jpg i dicom. W trakcie zapisu do formatu dicom, zapisywane są także podane bądź wygenerowane metadane obrazu.

```
def saveBitmapAsJpg(bitmap, filename):
    img = Image.fromarray((bitmap * 255).astype(np.uint8))  # Normalize
    img.save(filename, format="JPEG")
```

```
def saveBitmapAsDicom(bitmap, filename, patient_name, patient_id, date,
comment="Generated DICOM image"):
    ds = Dataset()

    # Set required DICOM fields (some set to static or random values)
    ds.PatientName = patient_name
    ds.PatientID = patient_id
    ds.Modality = "CT"
    ds.StudyDate = datetime.datetime.strptime(date, "%d.%m.%Y")
    ds.StudyInstanceUID = pydicom.uid.generate_uid()
    ds.SeriesInstanceUID = pydicom.uid.generate_uid()
    ds.SOPInstanceUID = pydicom.uid.generate_uid()
    ds.SOPClassUID = pydicom.uid.CTImageStorage
    ds.ImageType = ["ORIGINAL", "PRIMARY", "AXIAL"]
    ds.InstanceNumber = str(random.randint(1, 100))
    ds.ImagesInAcquisition = "1"
    ds.FrameOfReferenceUID = pydicom.uid.generate_uid()

    # Convert bitmap to DICOM pixel array
    ds.Rows, ds.Columns = bitmap.shape
    ds.PhotometricInterpretation = "MONOCHROME2"
    ds.SamplesPerPixel = 1
    ds.BitsAllocated = 16
    ds.BitsStored = 16
    ds.HighBit = 15
    ds.PixelRepresentation = 0
    ds.PixelData = (bitmap.astype(np.uint16)).tobytes()

    # Set DICOM file meta information
    file_meta = pydicom.dataset.FileMetaDataset()
    file_meta.MediaStorageSOPClassUID =
pydicom.uid.SecondaryCaptureImageStorage
    file_meta.MediaStorageSOPInstanceUID = pydicom.uid.generate_uid()
    file_meta.TransferSyntaxUID = pydicom.uid.ExplicitVRLittleEndian
    file_meta.ImplementationClassUID = pydicom.uid.generate_uid()
    file_meta.ImplementationVersionName = "PYDICOM 2.0.0"

    ds.file_meta = file_meta

    ds.ImageComments = comment

    # Save as DICOM file
    ds.is_little_endian = True
    ds.is_implicit_VR = False
    ds.save_as(filename, write_like_original=False)
```

d) Algorytm Brehensama

Funkcja zawierająca implementacją algorytmu Brehensama służącego do symulacji promieni od emiterów do detektorów

```
def bresenhamAlgorithm(x1, y1, x2, y2):
    points = []
    x = x1
    y = y1
    dx = abs(x2 - x1)
    dy = abs(y2 - y1)

    # Direction of the algorithm
    xi = 1 if x1 < x2 else -1
    yi = 1 if y1 < y2 else -1

    # First pixel
    points.append((x,y))

    if dx > dy:
        # Algorithm operates on the leading axis OX
        d = 2*dy - dx
        while x != x2:
            # Incrementing D according to algorithm
            if d >= 0:
                # Move diagonally
                x += xi
                y += yi
                d += 2*(dy-dx)
            else:
                # Move horizzontally
                d += 2*dy
                x += xi
            points.append((x,y))
    else:
        # Algorithm operates on the leading axis OY
        d = 2*dx - dy
        while y != y2:
            # Incrementing D according to algorithm
            if d >= 0:
                # Move diagonally
                x += xi
                y += yi
                d += 2*(dx-dy)
            else:
                # Move vertically
                d += 2*dx
                y += yi
            points.append((x,y))
    return points
```

e) Zmiana rozmiaru obrazu wejściowego

Funkcja rozszerzająca obrazy prostokątne do kwadratowych w celu normalizacji obliczeń na współrzędnych. W innych funkcjach, które zostały użyte w symulatorze założone zostało, że praca wykonywana jest na obrazie kwadratowym. Jeżeli więc obraz jest prostokątny to piksele poza oryginalnym obrazem wypełniane są zerami (kolorem czarnym)

```
def resizeImage(bitmap):
    # Get the dimensions of the input bitmap (rectangle)
    a, b = bitmap.shape

    # If already square just return unchanged
    if a == b:
        return bitmap

    size = max(a, b)

    # Create a bitmap with the desired dimensions
    big_bitmap = np.zeros((size, size), dtype=bitmap.dtype)

    # Compute the offsets to center the image
    start_x = (size - a) // 2
    start_y = (size - b) // 2

    # Copy the original bitmap into the center of the new bitmap
    big_bitmap[start_x:start_x + a, start_y:start_y + b] = bitmap

    return big_bitmap
```

f) Transformata Radona

Funkcja implementująca transformatę Radona. Zastosowany został model stożkowy z symulacją ruchu emitera i detektorów. Poruszają się one po okręgu będącym okręgiem wpisanym w kwadrat (obraz oryginalny)

```
def radonTransform(bitmap , step, detectors_span, detectors_number):
    global singoram_steps
    singoram_steps = []
    bitmap = resizeImage(bitmap)

    size = max(bitmap.shape)
    center = size//2
    radius = size//2 - 1

    angles = np.deg2rad(np.arange(0,FULL_SCAN_ANGLE,step))
    span_rad = np.deg2rad(detectors_span)
```

```
    sinogram = np.zeros((len(angles), detectors_number), dtype=bitmap.dtype)

    for a_i, angle in enumerate(angles):
        # Emitter coordinates
        x = int(center + radius*np.cos(angle))
        y = int(center + radius*np.sin(angle))

        # Calculate detectors placements for each emiiter
        for d_i in range(detectors_number):
            # Detector coordinates
            x_d = int(center + radius*np.cos(angle + np.pi - span_rad/2 +
(d_i*span_rad)/(detectors_number-1)))
            y_d = int(center + radius*np.sin(angle + np.pi - span_rad/2 +
(d_i*span_rad)/(detectors_number-1)))

            # Ray between emitter and detector
            bresenham_points = bresenhamAlgorithm(x, y, x_d, y_d)

            # Calculate sinogram single point
            total_intensity = np.mean([bitmap[x_b, y_b] for x_b, y_b in
bresenham_points if 0 <= x < size and 0 <= y < size])
            sinogram[a_i, d_i] = total_intensity

         singoram_steps.append(sinogram.copy())

        return sinogram, bitmap.shape[0]
```

g) Filtrowanie

Funkcja implementująca filtrowanie z zastosowaniem konwolucji z domyślą maską (jądrem) 21

```
def filtering(bitmap, kernel_size = 21):
    # Ensure that the kernel size is odd
    if kernel_size%2==0:
        kernel_size += 1
    kernel = np.zeros(kernel_size)

    # Calculate middle index (kernel is indexed from -k to k)
    middle_idx = kernel_size//2
    kernel[middle_idx] = 1

    # Calculate kernel values for negative k:
    # h[k] = 0, if k is even
    # h[k] = (-4/pi^2)/k^2, if k is odd
    for i in range(1, middle_idx, 2):
        kernel[i] = (-4/(np.pi**2)) / ((i-middle_idx)**2)
```

```
    # Mirror first half of kernel into the second half
    kernel[-middle_idx:] = kernel[:middle_idx][::-1]

    # Use convolution
    for it, i in enumerate(bitmap):
        bitmap[it] = np.convolve(i, kernel, mode='same')
    return bitmap
```

h) Odwrotna transformata Radona

Funkcja implementująca odwrotną transformatę Radona wykonana analogicznie do transformaty Radona i pozwalająca na wstępne odtworzenie obrazu oryginalnego

```
def inverseRadonTransform(sinogram, resized_size, detectors_span):
    global inverse_radon_steps
    inverse_radon_steps = []


    step = FULL_SCAN_ANGLE/sinogram.shape[0]
    detectors_number = sinogram.shape[1]
    center = resized_size//2
    radius = resized_size//2 - 1
    angles = np.deg2rad(np.arange(0,FULL_SCAN_ANGLE,step))
    span_rad = np.deg2rad(detectors_span)

    result_image = np.zeros((resized_size, resized_size),
dtype=sinogram.dtype)

    for a_i, angle in enumerate(angles):
        # Emitter coordinates
        x = int(center + radius*np.cos(angle))
        y = int(center + radius*np.sin(angle))

        for d_i in range(detectors_number):
            # Detector coordinates
            x_d = int(center + radius*np.cos(angle + np.pi - span_rad/2 +
(d_i*span_rad)/(detectors_number-1)))
            y_d = int(center + radius*np.sin(angle + np.pi - span_rad/2 +
(d_i*span_rad)/(detectors_number-1)))

            # Ray between emitter and detector
            bresenham_points = bresenhamAlgorithm(x, y, x_d, y_d)
            # Calculate sinogram single point
            for x_b, y_b in bresenham_points:
                if 0 <= x_b < resized_size and 0 <= y_b < resized_size:
                    result_image[x_b, y_b] += sinogram[a_i, d_i]
        inverse_radon_steps.append(result_image.copy())
    return result_image
```

i) Przywrócenie oryginalnego rozmiaru obrazu

Funkcja przywracająca oryginalny rozmiar obrazu. Oznacza to, że obrazy oryginalnie prostokątne, który zostały rozszerzone do kwadratowych zostaną ponownie przycięte do oryginalnych rozmiarów

```
def cropToOriginal(resized_bitmap, a, b):
    size = resized_bitmap.shape[0]  # Square size

    # Compute the offsets used during centering
    start_x = (size - a) // 2
    start_y = (size - b) // 2

    # Crop the image back to the original size
    cropped_bitmap = resized_bitmap[start_x:start_x + a, start_y:start_y + b]

    return cropped_bitmap
```

j) Normalizacja obrazu wynikowego

Funkcja obsługująca usunięcie ujemnych wartości i przeskalowanie go do zakresu [0,1] na podstawie 99.9. percentyla wartości pikseli

```
def normalizeImage(bitmap):
    bitmap = np.maximum(bitmap, 0)  # Remove negative values
    max_val = np.quantile(bitmap, 0.999)  # Use the 99.9th percentile
    bitmap = np.clip(bitmap / max_val, 0, 1) if max_val > 0 else
np.zeros_like(bitmap)
    return bitmap
```

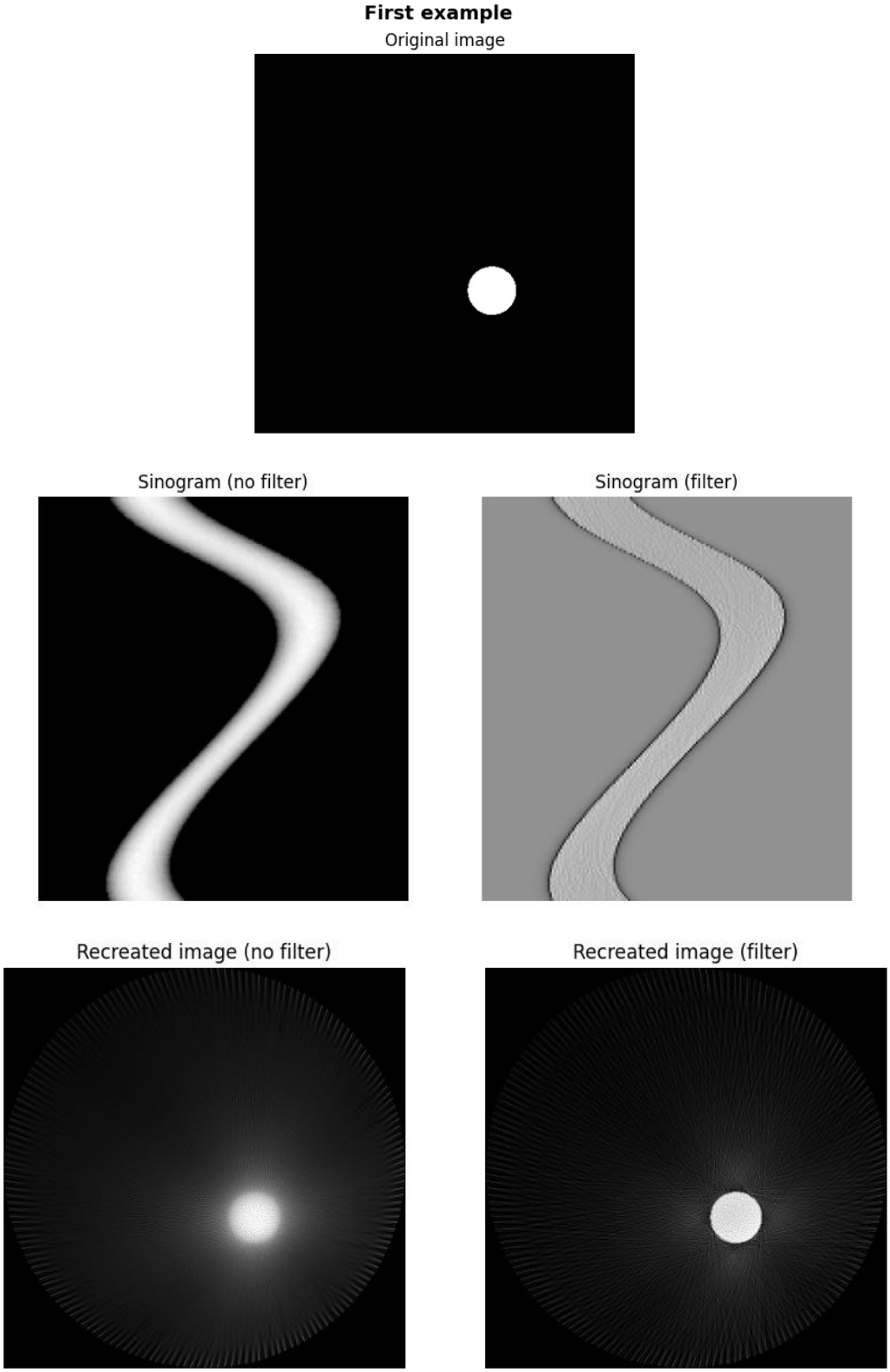
k) Obliczanie pierwiastka błędu średniokwadratowego

Funkcja obliczające pierwiastek błędu średniokwadratowego między 2 obrazami

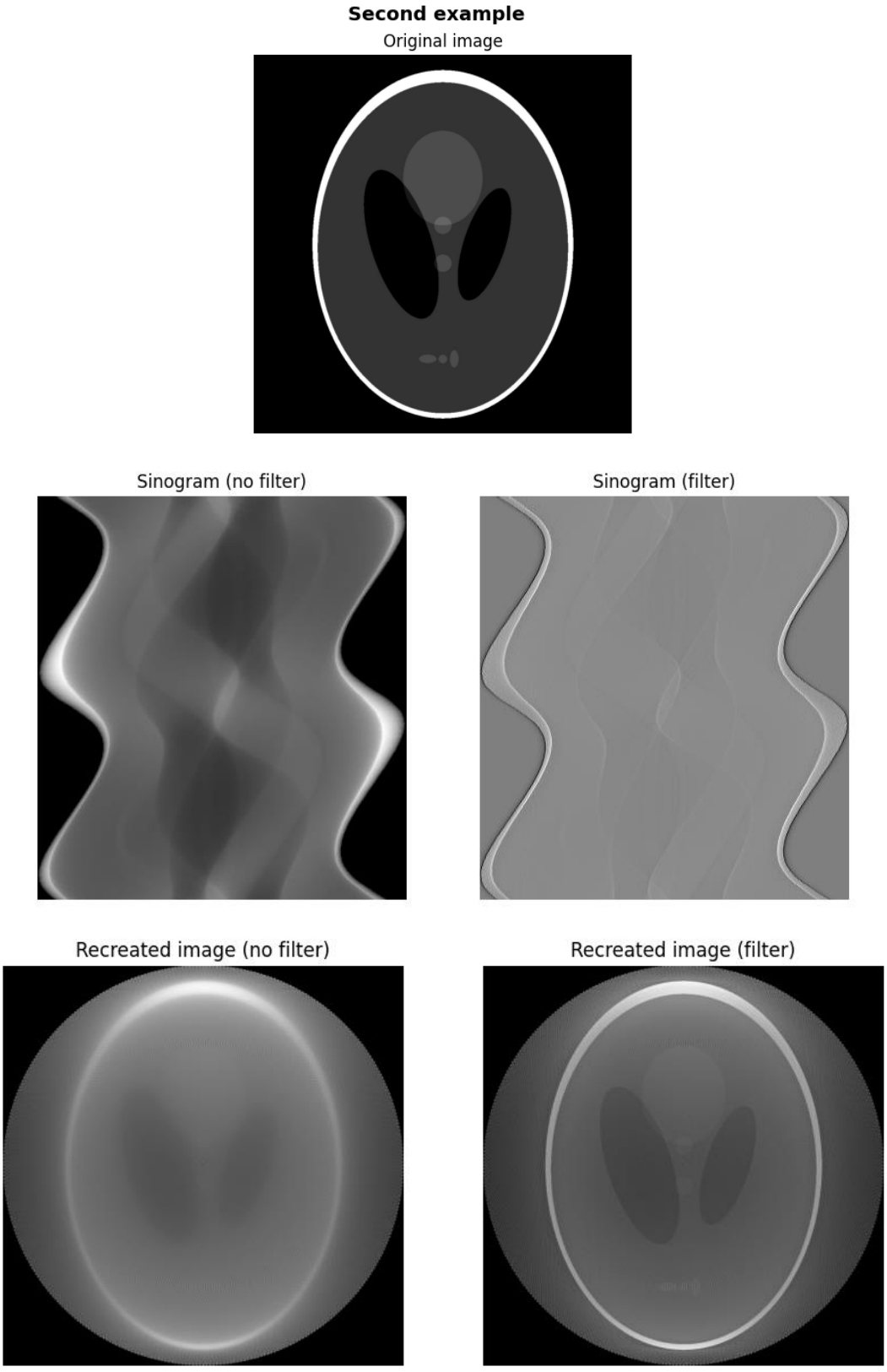
```
def rootMeanSquaredError(img1, img2):
    if img1.shape != img2.shape:
        raise ValueError("Obrazy muszą mieć ten sam rozmiar")

    # Obliczanie RMSE
    rmse = (np.mean((img1 - img2) ** 2))**0.5
    return rmse
```

3. Przykłady działania symulatora

a) Obraz prosty

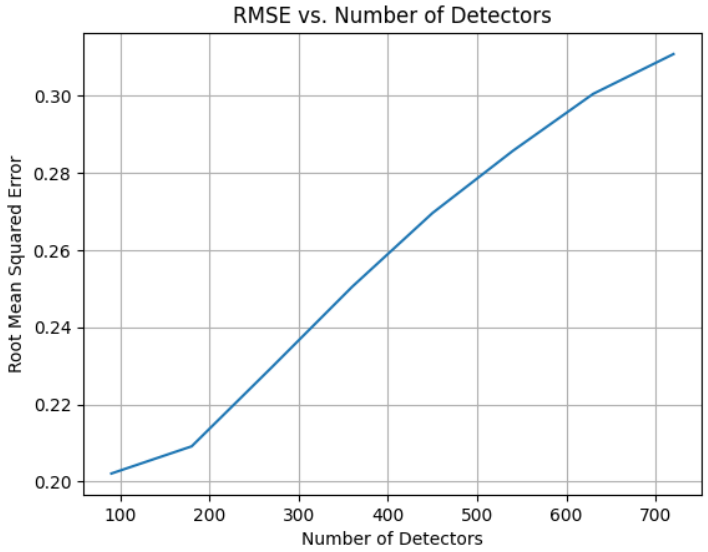


b) Obraz złożony



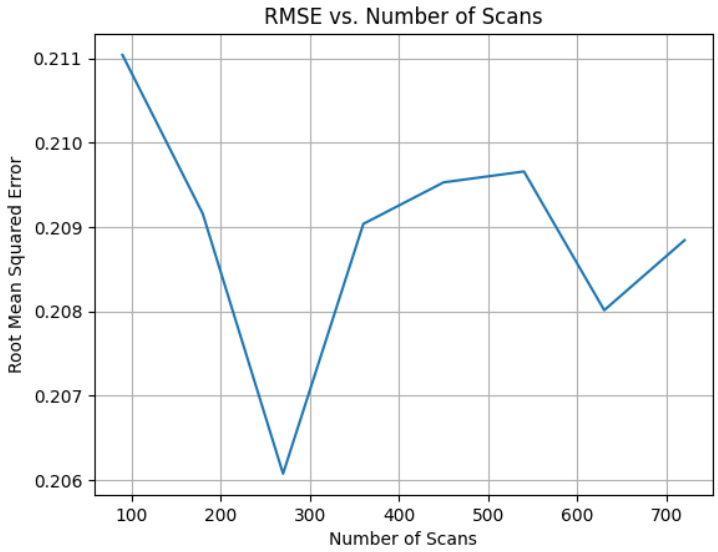
4. Badanie wpływu parametrów na jakość obrazu wynikowego

a) Liczba detektorów



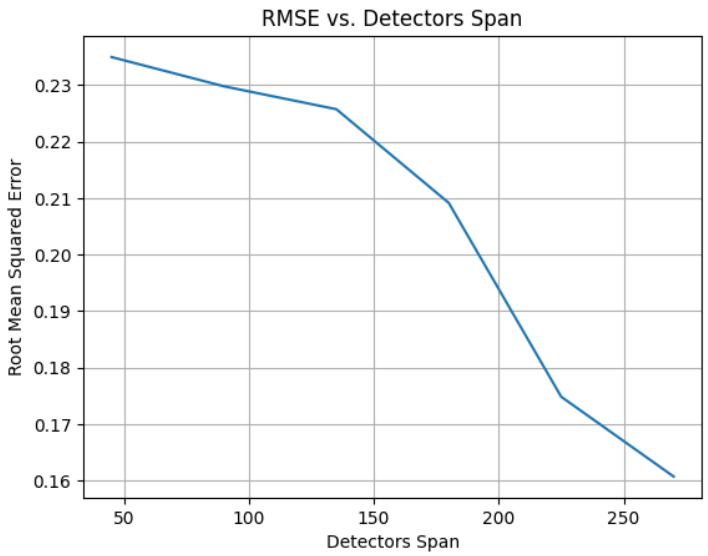
Obliczenia RMSE zgadzają się z subiektywną oceną obrazu. Zwiększanie liczby detektorów powoduje coraz mocniejsze rozświetlenie obrazu i coraz widoczniejsze stają się promienie dookoła oryginalnego obrazu. Przy obecnej implementacji lepiej sprawdzają się mniejsze liczby detektorów (do minimalnej wartości 90 - poniżej tej wartości obrazy są niewyraźne).

b) Liczba skanów



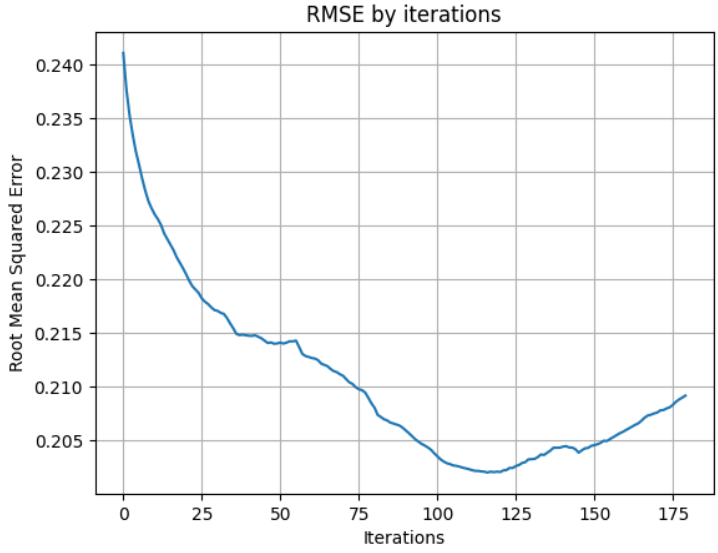
Subiektywnie obrazy są bardzo zbliżone do siebie (poza wyraźnie gorszym obrazem dla minimalnej liczby skanów - 90). Ciężko więc zobaczyć zależność RMSE wynikającą z obliczeń.

c) Rozpiętość wachlarza



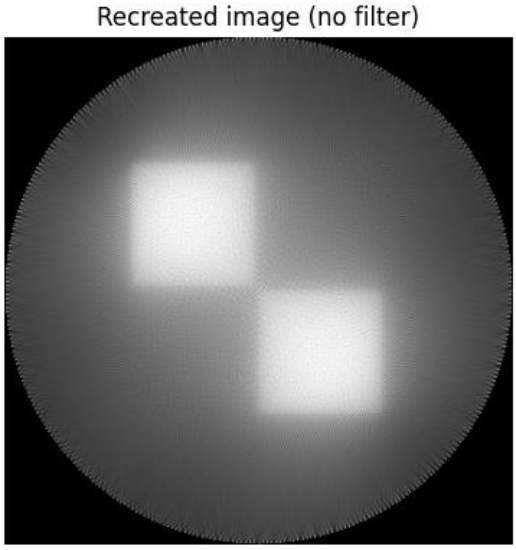
Zwiększanie rozpiętości wachlarza wyraźnie poprawia jakość wynikowego obrazu. Przy wartościach poniżej 180 nie widać nawet wszystkich szczegółów obrazu. Obserwacje te są zgodne z obliczonymi wartościami RMSE.

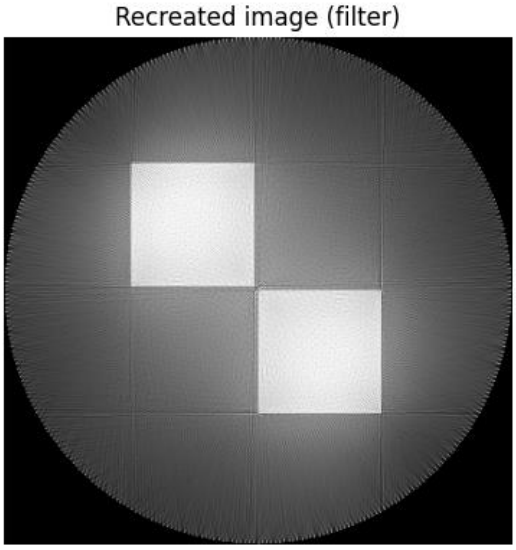
d) Liczba iteracji



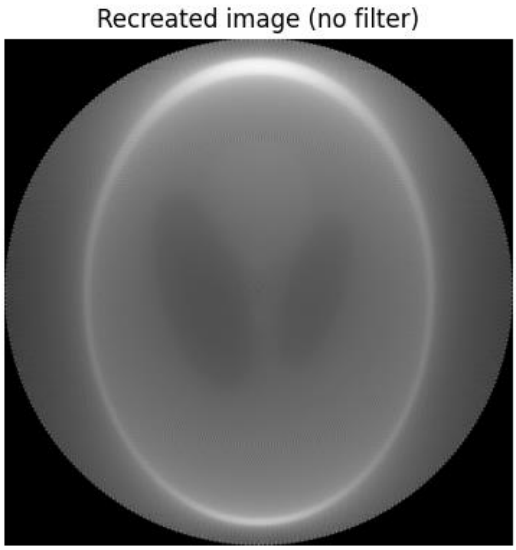
Wykonanie kolejnych iteracji odwrotnej transformaty Radona poprawia jakość wynikowego obrazu. Zgadza się to w większości z wykreśloną zależnością na wykresie. Zaskakujący jest jednak wzrost błędu powyżej iteracji 125. Może to wynikać ze zwiększenia widoczności promieni dookoła analizowanego obrazu wraz ze wzrostem iteracji.

e) Filtracja






```
Simple image filter influence
RMSE without filter: 0.3229776435111086
RMSE with filter: 0.30205610031935326
```




```
Complex image filter influence
RMSE without filter: 0.2918063436705631
RMSE with filter: 0.22675962751320947
```

Filtrowanie obrazu wyraźnie poprawia jakość wynikowego obrazu. Dla prostych obrazów brak filtracji powoduje, że obraz staje się nieostry. Jeżeli nie zastosowano filtracji to dla bardziej skomplikowanych obrazów wejściowych, obraz wyjściowy staje się bardzo niewyraźny a szczegóły całkiem niewidoczne. Obserwacje te są zgodne z obliczonymi wartościami RMSE

5. Interfejs graficzny

W ramach przygotowaniu projektu stworzony został interfejs graficzny do testowania oraz obrazowania działania symulatora tomografu komputerowego. Program pozwala na dostosowanie parametrów symulatora i wybór pliku wejściowego oraz wyjściowego wraz z metadanymi. Program pozwala także na wybranie opcji użycia filtrowania oraz pokazania kolejnych kroków transformaty bądź odwrotnej transformaty Radona w postaci animacji. Poniżej przedstawiony jest interfejs wraz z jego wynikiem działania.