

# 基于 OpenCV 形态学运算的加速器中心等中心自动测量

余权达

齐齐哈尔市第一医院放化疗科 黑龙江 齐齐哈尔 161005

**摘要:**目的:研究基于 EPID 的加速器中心等中心自动测量方法,提高测量精度和效率。保证在大分割高剂量放疗和立体定向放射治疗中,放疗的精度要求。精度要求是非常关键的,因为它直接关系到肿瘤靶区是否能被精准照射,以及正常组织能否得到最大程度的保护。例如立体定向放疗需要亚毫米级的患者定位和靶区定位精度。方法:采用 OpenCV 图像处理库,开发了自动测量软件。软件首先利用边缘检测算法提取图像中的球体边缘,然后利用形态学运算去除噪声,拟合球体圆心,得到球体中心与射野中心的偏移量。本研究通过计算机 OpenCV 编程,实现了快速自动测量。结果:软件能够自动测量 EPID 图像中球体中心与射野中心的偏移量,测量精度优于 0.2mm,测量效率优于人工测量。结论:基于 EPID 的加速器中心等中心自动测量方法可行、有效,能够提高测量精度和效率,方便处理和智能化。避免了手动测量费时费力,受人为因素的影响。

**关键词:** EPID; 加速器; 等中心; 自动测量; OpenCV

## 引言:

立体定向放射外科手术 (SRS) 由瑞典神经外科医生 Leksell 发明,用于消除大脑中无法手术的肿瘤。其在单次分割中向直径小于 3cm 的小靶区(主要位于颅内区域)照射 15-20Gy 的高剂量辐射,因此,SR 治疗需要定位和剂量的精确性。最初,SRS 是使用 X 射线进行的,后来使用质子束和专用的立体定向伽马装置。由于现在 linac 基本上都配备了 EPID,因此也使用 EPID 成像来执行 W-L 测试。这种方法有几个优点,如图像采集更快、图像存档以及数字图像分析便利,可以实现计算机分析和自动化。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

我科室拥有一台 Varian 直线加速器,具有 6MV、6FFF、10MV 光子束以及六个电子能量。配备了一个尺寸为 40x30cm<sup>2</sup>、分辨率为 1024x768 像素的非晶硅电荷耦合器阵列(array),像素大小为 0.39mm。

### 1.2 方法

在这项工作中,我们使用了自制的测量工具。在一根有机玻璃杆的末端有一个不透射的 6mm 铅球,该杆固定在线性加速器床上,杆上有刻度。在直线加速器上执行 W-L 测试时,将球与激光对准,并获取了球的图像,包括 0°、90° 和 270° 的机架角度,床角度为 0°,以及床角度为 90° 和 270° 时的机架角度为 0°。

基于的等中心线验证软件,该软件使用 python 编程,的主要任务是识别 EPID 图像上射野的中心(正方形或圆形)和不透射铅球的中心。识别方法是通过对 EPID 采集的数字图像应用形态学运算来实现。

具体步骤如下:

形态学操作:首先,使用两种形态学操作——顶

帽和底帽运算——处理包含辐射场和射线不透射球的 EPID 图像。

图像顶帽运算(top-hat transformation)函数用于执行形态学顶帽滤波,因为开运算抹除图像的外部细节,“有外部细节”的图像减去“无外部细节”的图像,得到的结果就只剩外部细节了,这个函数用于获取射野的图像及其中心坐标值。

计算公式:  $\text{That}(A) = A - (A \circ B)$

图像底帽运算(bottom-hat transformation)函数用于执行形态学底帽滤波,让原图的闭运算图减去原图。因为闭运算抹除图像的内部细节,“无内部细节”的图像减去“有内部细节”的图像,得到的结果就只剩内部细节了。底帽滤波相当于将输入图像减去对其执行形态学闭合操作的结果,函数用于获取不透射铅球的图像及中心坐标值。

计算公式:  $\text{Bhat}(A) = (A \cdot B) - A$

这两种函数都需要一个结构元素,结构元素的形状和大小根据物体的形状和大小来选择。对于正方形辐射场,选择方形的结构元素;对于不透射铅球的图像,

选择圆盘形的结构元素。

### 1.2.1 图像处理

应用这些形态学操作后，可以增强 EPID 灰度图像的质量。将灰度图像转换为二值图像后，只有射野（正方形）或不透射铅球（圆形）分别显示为白色和黑色像素。

提供的 `findContours()` 方法可以通过计算图像梯度来判断图像的边缘，从而用来判断图像是什么形状。通过该函数获取射野的正方形的形状和获取不透射铅球的圆形的形状。

OpenCV 提供的 `boundingRect()` 方法可以自动计算轮廓最小矩形边界的坐标、宽和高。

### 1.2.2 位移计算

图像上的每个点距离等中心线的距离（即球中心偏离光束中心的距离）都会被计算出来。

由于图像是在距离等中心一定距离的位置用成像仪采集的，因此需要对像素大小进行放大校正，这可以通过使用图像文件中 DICOM 头部的成像仪位置信息来完成。

等中心处的像素大小的放大校正可以使用以下公式确定： $PSI=PRx(SAD/RTImageSID)$  其中：PSI 是等中心处的像素大小。PR 是成像仪的像素分辨率，对于 Trilogy EPID 它是 0.39mm，对于 EDGE 直线加速器的 DMI 面板它是 0.336mm。SAD 是源到轴距离，通常为 1000mm。RTImageSID 是源到成像仪距离，单位为毫米，可从 DICOM 文件头中获得。

### 1.2.3 软件流程

软件读取存储在文件夹中的所有 DICOM 图像，并通过确定正方形和射线不透射球的中心来估计辐射束中心到球中心的偏移量。软件从头文件中读取机架、治疗床和准直器的位置（角度），并将这些信息与计算出的偏移量一起记录到一个“输出”文件中。检测射野和不透射铅球中心间位移的准确性。通过在球位置引入已知位移并使用软件估计该位移，来测试检测球中心相对于辐射场中心的位移的准确性。

测试步骤如下：

(1) 首先使用房间激光器小心地将 W-L 质量保证工具的球体定位在 Trilogy 直线加速器的等中心；(2) 使用刻度尺将球体定位在 -1.0mm 处，并使用 1.5x1.5cm<sup>2</sup> 的照射野，通过使用刻度尺将球体从 x 方向（LAT）以

0.25mm 的步长从 -1.0 移动到 +1.0mm，每隔 0.25mm 获取球体的 EPID 图像；(3) 在每个位置，使用 6MV 和 10MV 光束，在 gantry（机架）和治疗床为 0° 且成像距离等中心 50cm 的情况下获取图像；(4) 同样，通过仅在 y 方向（LNG）以 0.25mm 的步长将球体从 -1 移动到 +1mm 来获取图像。

位移测量：使用软件确定球体中心的 x 和 y 方向位移，并将其与施加的位移进行比较。

准确性验证：还通过将软件的结果与手动方法对 10 组 SRSW-L 测试图像集的结果进行比较来验证准确性。

检测可重复性：软件估计位移的可重复性是通过在不改变球体位置的情况下重复获取 W-L 测量图像 (N = 5) 来测试的。

软件检测球体中心相对于射野中心的位移的可重复性也使用上述软件准确性测试的结果进行分析。在球体沿 x 方向移动时，y 方向没有施加任何偏移，反之亦然。由于第一组图像中球体没有在 y 方向移动，因此期望软件确定的 y 位置在所有九个获取的图像中都相同。类似地，在仅在 y 方向施加偏移的第二组图像中，软件确定的 x 方向偏移应该相同。

由于该软件使用的图像处理功能来确定球体和射野中心，这些功能会根据图像质量参数（例如图像对比度和分辨率）影响结果。为了研究图像对比度和分辨率对软件性能的影响，在 Trilogy 直线加速器上使用相同的设置，用 6MV 和 10MV 光束获取了测试图像。都没有对不透射线铅球体的位置进行调整，因此使用这些图像确定的偏移量用于比较图像对比度和分辨率的影响。

## 2 结果

### 2.1 软件处理效果

图 1 展示了针对 6MV 的图像，应用代码中每个函数后的示例图像。

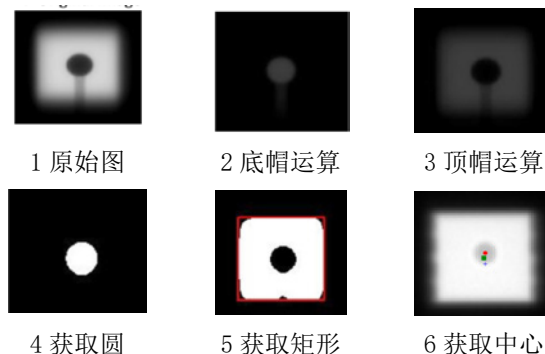


图 1：软件处理 EPID 影像的结果

形态学运算的一个问题是，球体的杆部会在图像边界引入伪影，如图像 4 的图像 5 所示。这可能会导致确定质心时出现误差；因此，使用了 boundingRect 属性来获取射野的中心。

图像 4 和图像 5 中显示了原始 EPID 图像（图像 1）、底帽和顶帽操作后的图像（图像 2 和 3）、球的二值图像（图像 4）、带有 boundingRect 的射野二值图像（图像 5）以及标记了球和场中心的最终图像，程序设计满足了实际测量需要。

## 2.2 等中心线定位精度

通过引入已知偏移量到不透射铅球来评估识别球体中心相对于射野中心的位移的准确性。将不透射球放置在等中心，并通过对球体施加已知 x 方向（LAT）和 y 方向（LNG）偏移来获取 EPID 图像。使用软件对使用 6 和 10MV 获得的图像进行估计的结果。给出了施加给球体的偏移量、软件估计的偏移量以及偏差值。

使用 6MV 光束时，Trilogy 直线加速器在确定施加到球体位置的偏移量方面，平均误差分别为 x 和 y 方向的 0.025mm(SD±0.048) 和 0.02mm(SD±0.011)；使用 10MV 光束时，x 和 y 方向的平均误差分别为 0.024mm(SD±0.014) 和 0.013mm(SD±0.014)。还通过将软件确定的等中心位置与手动方法进行比较来测试准确性，偏差在 ±0.3mm 以内。

## 2.3 可重复性

通过重复采集未施加任何偏移的球体图像来测试

可重复性，软件确定的结果对所有图像 (N=5) 都完全相同。从用于确定准确性的图像中分析了正确确定重复图像相同位置的能力。在本研究进行的实验中，施加 x 方向的 displacement 时，球体的 y 方向位置没有改变，类似地，施加 y 方向的 displacement 时，x 方向的位置没有改变。

列出了这两台直线加速器在 x 和 y 方向均未施加偏移的情况下，软件确定的 x 和 y 位置的平均值和标准差 (N=9)，以及与平均值的绝对值的最大偏差。使用 Trilogy 直线加速器，从平均值估计球体位置的最大误差分别为 0.06mm 和 0.08mm。

## 3 讨论

创新性提出了一种基于 EPID 的加速器等中心自动测量方法，提高了测量精度和效率。采用 OpenCV 图像处理库，实现了自动测量，方便处理和智能化。应用价值：可用于放疗质控，提高放疗精度和安全性。方便加速器等中心的日常维护和校准。可为其他研究提供参考，推动相关技术发展。与前人研究的比较：相同之处：本研究与前人研究都采用 EPID 图像进行等中心测量。不同之处：本研究采用 OpenCV 图像处理库，实现了自动测量。测量精度优于前人研究，且测量效率更高。后续研究：研究不同图像处理算法对测量精度的影响，研究基于深度学习的自动测量方法。开发更加智能化的等中心测量系统。

## 结 论：

基于图像处理开发的软件可以准确估计球体中心偏离射野中心的偏差，并且使用 EPID(针对 6MV 光束)采集的图像也能提供和胶片相似的估计精度。使用不同能量获取的图像也没有观察到明显差异。而且，该软件确定的射野中心不受球体杆部在辐射场上引入的伪影的影响。相比胶片的优势，EPID 图像采集和处理过程更加快速，能够在数秒内完成测量，而胶片拍摄需要显影和扫描，耗时较长。此外，EPID 图像可以直接在计算机上进行处理和分析，无需人工操作，而胶片拍摄需要

人工进行测量，容易出现误差。

## 参考文献：

- [1] 马新明,赵晓莉,时雷,等.基于 OpenCV 的图像处理系统设计与实现[J].河南农业大学学报,2014,48(1):4.
- [2] 赵勇.试验筛校准中的图像测量技术研究[J].电视技术,2019,43(7):5.
- [3]Zhang Y,Ding K,Cowan G,et al.Alignment of multiradiationisocenters for megavoltage photon beam[J].J Appl Clin MedPhys,2015,16(6):314-324.

作者简介：余叔达（1974- ）男，汉族，硕士，研究方向是编程实现放疗物理的自动测量。