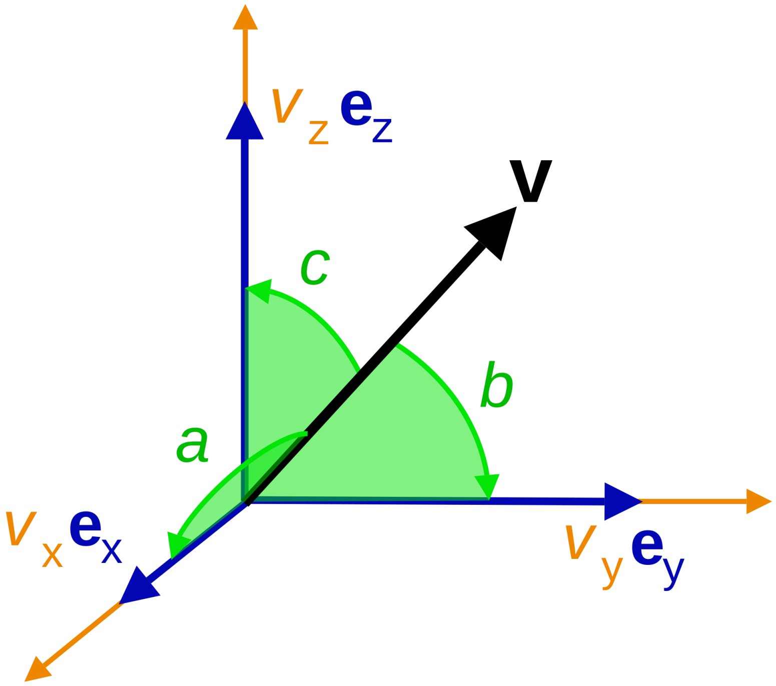
DICOM标准中的坐标系

0. Prerequisite

方向余弦



$$
\begin{aligned}
\alpha = \cos a = \frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{e}_x}{\|\mathbf{v}\|} &= \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}},\\
\beta = \cos b = \frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{e}_y}{\|\mathbf{v}\|} &= \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}},\\
\gamma = \cos c = \frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{e}_z}{\|\mathbf{v}\|} &= \frac{v_z}{\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}}.
\end{aligned}
$$

- 任意向量的方向余弦，其值等于与其平行的单位向量在对应坐标轴上的投影。

仿射变换

$$\vec{y} = A\vec{x} + \vec{b}$$

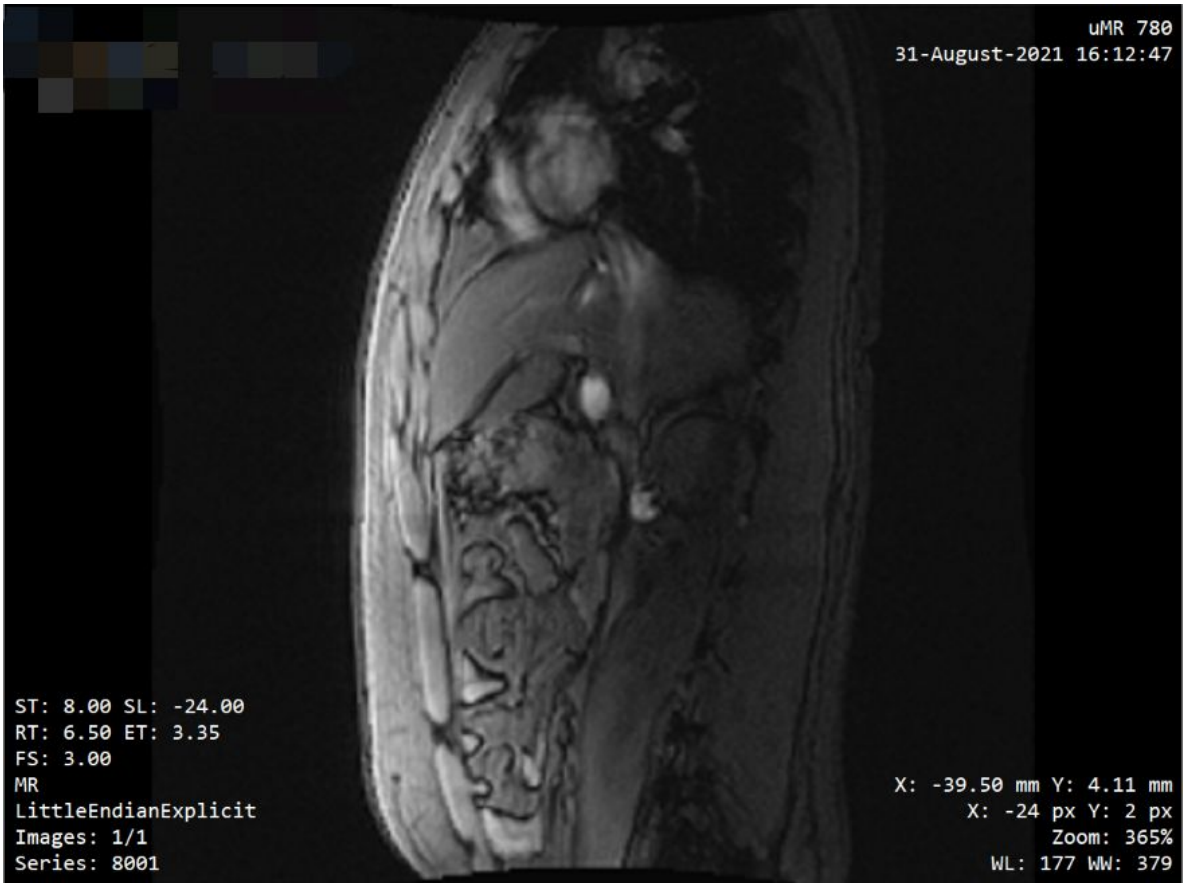
- 类似于一次函数，但非线性变换。使用增广矩阵将其变为线性变换的形式：

$$\begin{bmatrix}\vec{y}\\1\end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & A & & \vec{b}\\ 0 & \ldots & 0 & 1\end{array}\right]\begin{bmatrix}\vec{x}\\1\end{bmatrix}$$

1. 相关的DICOM Tag

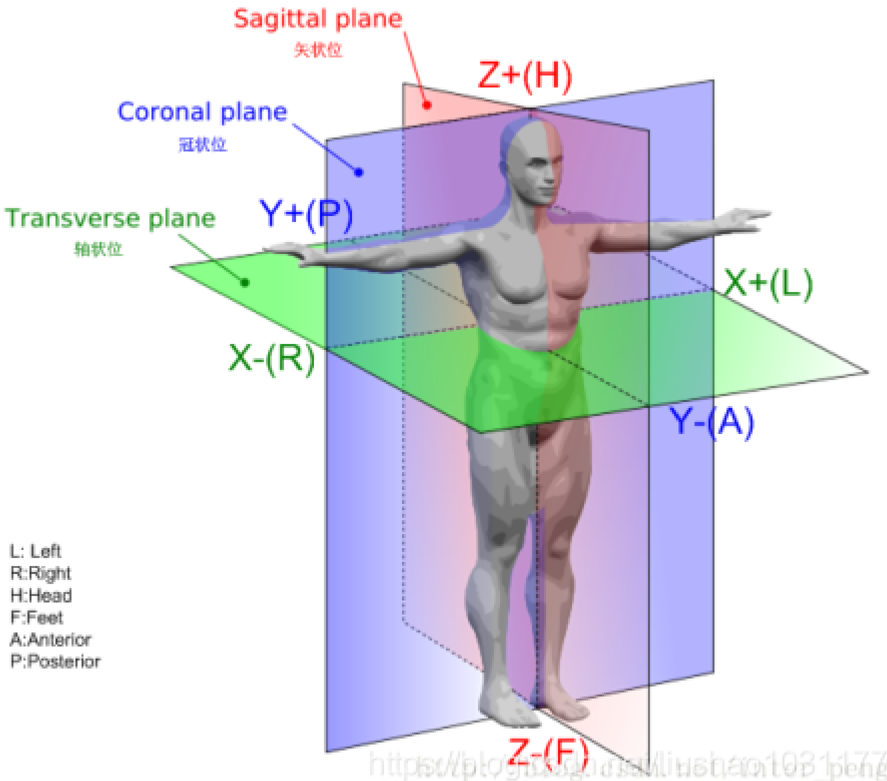
（所有单位均为mm）

Tag Name	(Group,Element)	VR	Example	Remark
Image Position (Patient)	(0020,0032)	DS	-24\-199.166672\199.166672	图像左上角的x,y,z坐标
Image Orientation (Patient)	(0020,0037)	DS	-0\1\-0\-0\-0\-1	前三个数为x轴的方向余弦，后三个数为y轴的方向余弦，为一对单位正交向量
Pixel Spacing	(0028,0030)	DS	1.66666663\1.66666663	row和column方向的分辨率
Spacing Between Slices	(0018,0088)	DS	24	相邻切片层之间的物理距离
Slice Thickness	(0018,0050)	DS	8	层厚



2. 坐标系

DICOM patient coordinate system (DPCS) 或 Reference Coordinates System（RCS）



- X轴正方向：从右（right）指向左（left）
- Y轴正方向：从前胸（anterior）指向后背（posterior）、
- Z轴正方向：从脚底（foot）指向头顶（head）

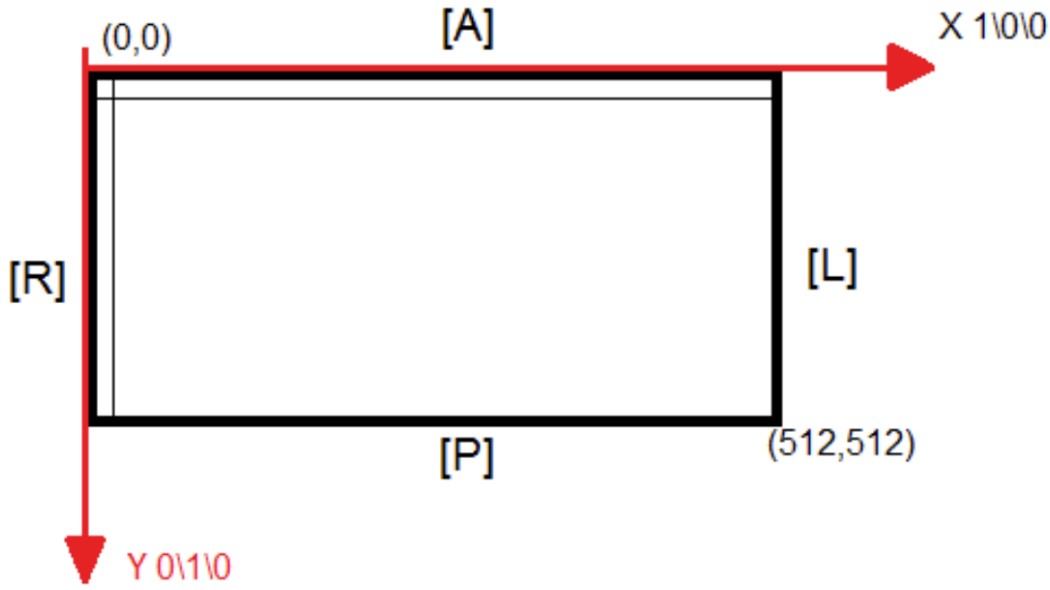
图像坐标系

- x轴：图像行的方向，从左到右
- y轴：图像列的方向，从上到下

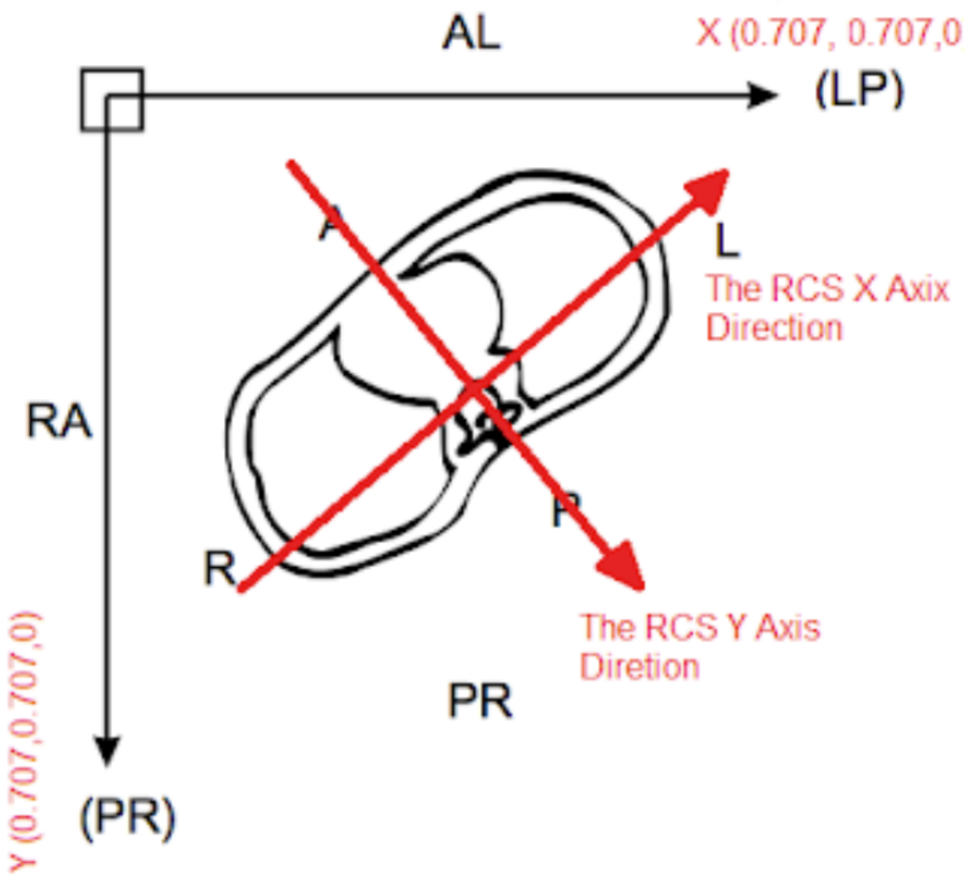
3. 坐标映射

成像平面的确定

- 成像平面由Image Orientation Patient决定
- 常见的成像平面：
  - (1,0,0,0,1,0)：横断面（横截面，X-Y平面）



- (0,1,0,0,0,-1)：矢状面（Y-Z平面）
- (1,0,0,0,0,-1)：冠状面（X-Z平面）

- 一般的成像平面：
  - (0.707, -0.707, 0, 0.707, 0.707, 0)
  - 

成像平面坐标的映射（实质：仿射变换）

(i, j)坐标的变换

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_x\Delta i & Y_x\Delta j & 0 & S_x \\ X_y\Delta i & Y_y\Delta j & 0 & S_y \\ X_z\Delta i & Y_z\Delta j & 0 & S_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} i \\ j \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- P_{xyz}: (i, j)的实际空间坐标
- S_{xyz} : Image Position (Patient) (0020,0032)的值
- X_{xyz}: x轴的方向余弦， Image Orientation (Patient) (0020,0037) 中的前三个数
- Y_{xyz} : y轴的方向余弦， Image Orientation (Patient) (0020,0037) 中的后三个数
- i, j: 像素点在图像坐标系的坐标，从0开始
- Δi，Δj： x轴和y轴方向的分辨率， Pixel Spacing (0028,0030) 中的两个值

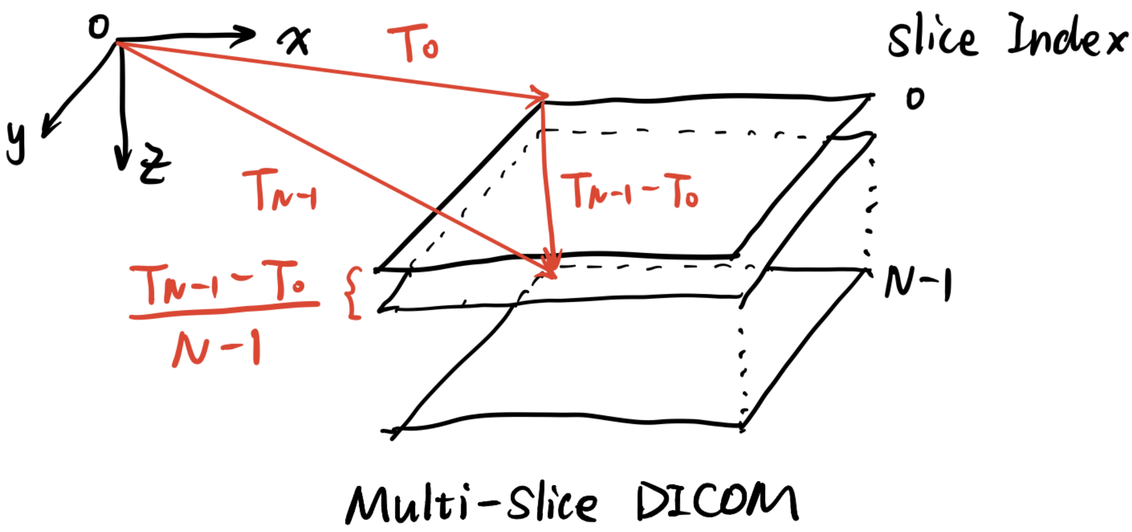
(c, r)坐标的变换：更易懂的表示（DICOM Affine Formula）

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11}\Delta r & F_{12}\Delta c & 0 & S_x \\ F_{21}\Delta r & F_{22}\Delta c & 0 & S_y \\ F_{31}\Delta r & F_{32}\Delta c & 0 & S_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ c \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r \\ c \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- P_{xyz}: (i, j)的实际空间坐标
- S_{xyz} : Image Position (Patient) (0020,0032)的值
- $F_{:,1}$: x轴的方向余弦， Image Orientation (Patient) (0020,0037) 中的前三个数
- $F_{:,2}$: y轴的方向余弦， Image Orientation (Patient) (0020,0037) 中的后三个数
- (c, r): 像素点在图像坐标系的坐标，从0开始
- Δr，Δc： row和column方向的分辨率， Pixel Spacing (0028,0030) 中的两个值

从2D到3D

多切片（multi slice)



- 设一张包含N张图片的序列，index从0到N-1
- $T_m = (T_m^0, T_m^1, T_m^2)$：第m张图的Image Position（Patient)

> **可以得出：z方向平行于$T_{N-1} - T_0$方向，相邻slice间的距离为$\frac{T_{N-1}-T_0}{N-1}$**

3D Affine Formula (multi slice)

$$A_{multi} = \begin{pmatrix} F_{11}\Delta r & F_{12}\Delta c & \frac{T_N^0 - T_0^0}{N-1} & T_0^0 \\ F_{21\Delta r} & F_{22}\Delta c & \frac{T_N^1 - T_0^1}{N-1} & T_0^1 \\ F_{31\Delta r} & F_{32}\Delta c & \frac{T_N^2 - T_0^2}{N-1} & T_0^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

单切片（single slice）

- 对于单切片图像，我们无法通过T_m得到z方向的向量。
- 但是还有其他方法：$\vec{e_z} = \vec{e_x} \times \vec{e_y}$，$\vec{z} = \Delta s \vec{e_z}$
  - 其中$\vec{e_x}, \vec{e_y}$均可以从Image Orientation (Patient)中获得
  - Δs为 Spacing Between Slices

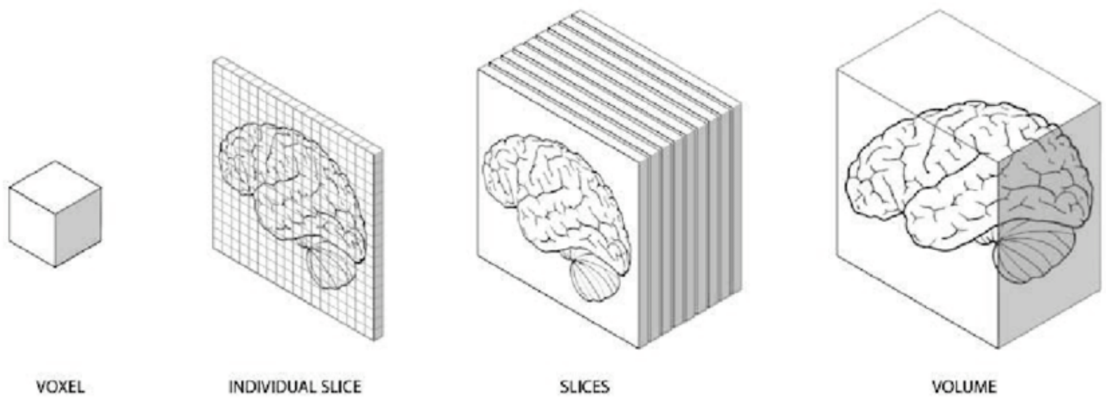
3D Affine Formula (multi slice)

$$A_{\text{single}} = \begin{pmatrix} F_{11}\Delta r & F_{12}\Delta c & \Delta s z_0 & T^0 \\ F_{21}\Delta r & F_{22}\Delta c & \Delta s z_1 & T^1 \\ F_{31}\Delta r & F_{32}\Delta c & \Delta s z_2 & T^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

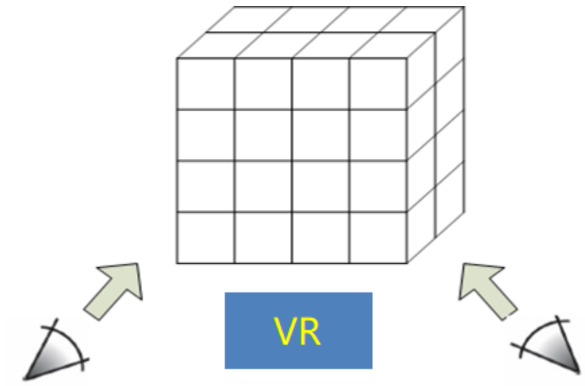
> **终于，我们得到了DICOM检查序列中任意切片的任意像素坐标点所对应的物理位置！**

4、DICOM数据的显示

获得体数据

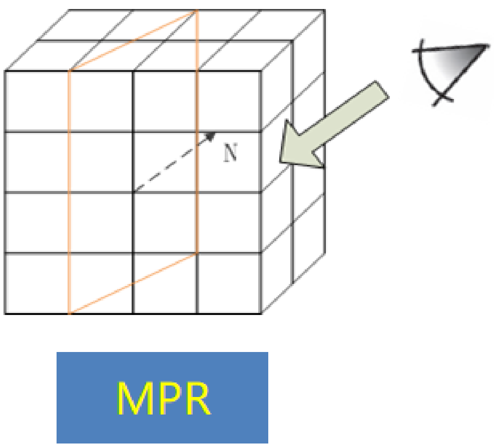


VR（Volume Rendering）

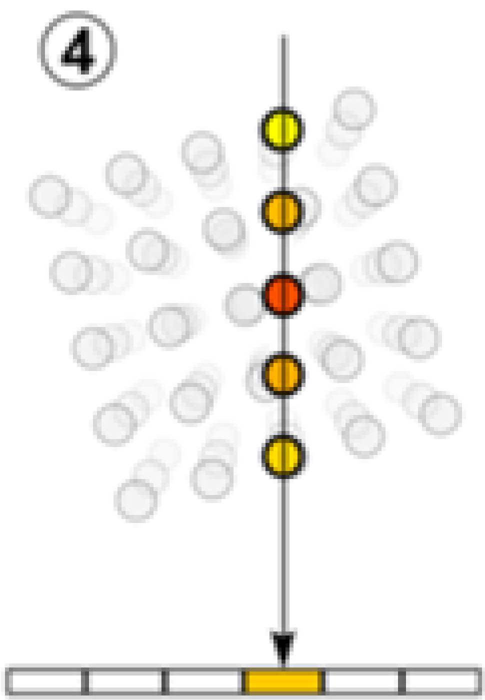


MPR（multiplanar reconstructions）

- 狭义的MPR指是将数据从一个解剖平面（通常为横断面）转换到其他平面的过程
- 广义的MPR则允许以非正交（倾斜）重建数据，如沿着管道中心线，脊柱椎管走向等，称为CPR（Curved planar reformation）

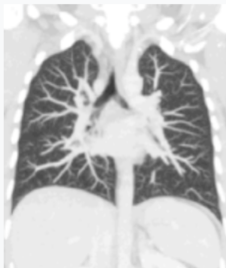
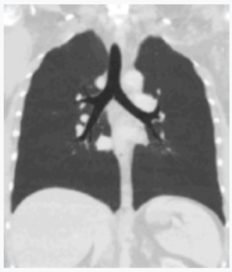


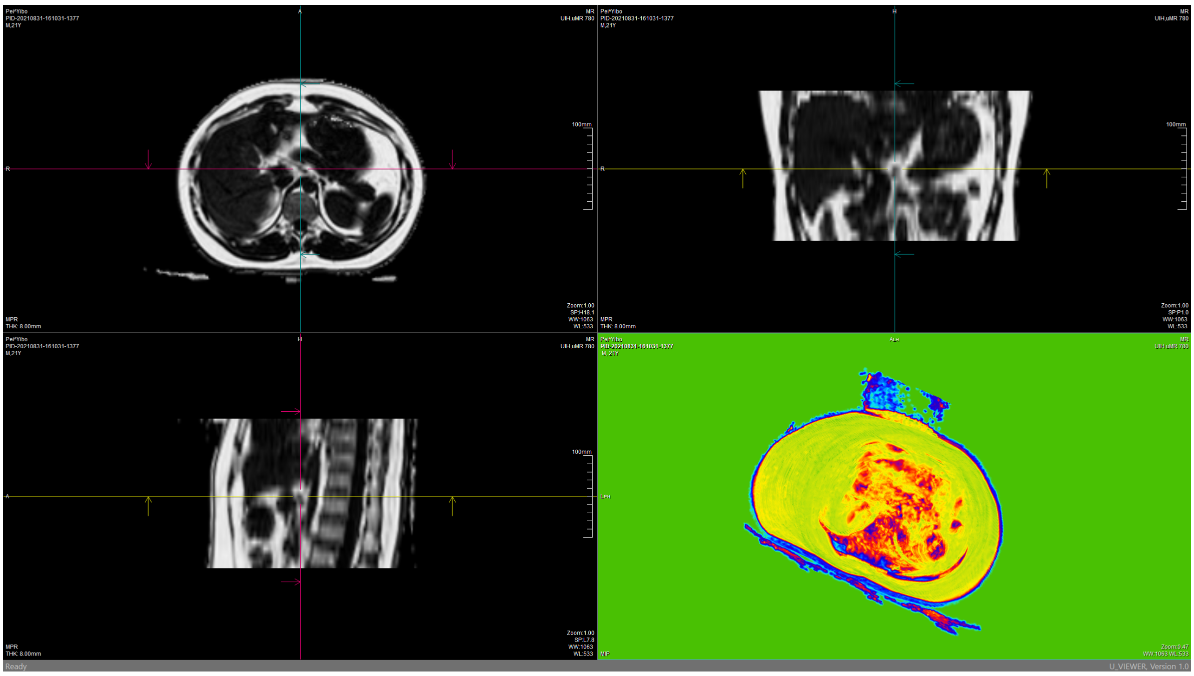
- 实际上是一个投影的过程，需要插值和叠加



- 3D->2D，可以做各种处理

- average（AIP）
- MIP
- MinIP（小MIP）

Type of projection	Schematic illustration	Examples (10 mm slabs)
Average intensity projection (AIP)		
Maximum intensity projection (MIP)		
Minimum intensity projection (MinIP)		



夹带私货

pyb0924/BM425: BM425 生物医学工程课程设计 (https://github.com/pyb0924/BM425)

Reference

1. DICOM standard. http://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/html/part03.html#sect_C.7.6.2.1.1
2. zssure. DICOM世界观·第一章 坐标系统. https://blog.csdn.net/zssureqh/article/details/61636150
3. Wikipedia contributors. (2021, October 28). Direction cosine. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 13:13, November 4, 2021, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Direction_cosine&oldid=1052251529
4. Defining the DICOM orientation. NiBabel:Access a cacophony of neuro-imaging file formats, from https://nipy.org/nibabel/dicom/dicom_orientation.html
5. Wikipedia contributors. (2021, November 8). CT scan. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 14:04, November 9, 2021, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=CT_scan&oldid=1054189306