



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105342634 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 24

(21) 申请号 201510766030. 8

(22) 申请日 2015. 11. 10

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街  
29 号

(72) 发明人 周正东 周红

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237

代理人 贺翔

(51) Int. Cl.

A61B 6/03(2006. 01)

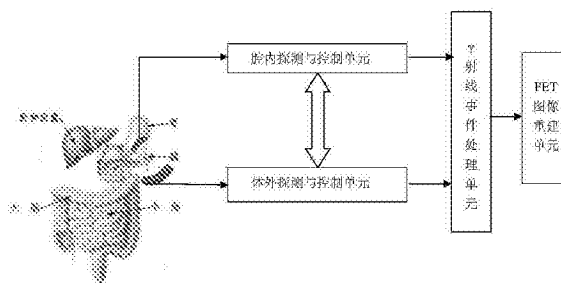
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

### (54) 发明名称

内窥式 PET 成像系统及方法

### (57) 摘要

本发明公开一种内窥式 PET 成像系统与方法,由人体腔内探测与控制单元、体外探测与控制单元、 $\gamma$  射线事件处理单元及 PET 图像重建单元构成。腔内探测与控制单元由人体腔内  $\gamma$  射线探测器、腔内探测器信号处理模块、腔内控制模块构成。腔内探测与控制单元可安装于电子内窥镜镜体末端,腔内控制模块用来测量和控制探头的位姿,腔内探测器信号处理模块将腔内  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传输到  $\gamma$  射线事件处理单元;体外探测与控制单元由体外  $\gamma$  射线探测器、体外探测器信号处理模块、体外控制模块构成。体外控制模块通过机器臂来控制体外  $\gamma$  射线探测器的位姿,体外探测器信号处理模块将体外  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传输到  $\gamma$  射线事件处理单元。



1. 一种内窥式 PET 成像系统, 由人体腔内探测与控制单元、体外探测与控制单元、 $\gamma$  射线事件处理单元及 PET 图像重建模单元构成, 其特征在于: 所述腔内探测与控制单元由腔内  $\gamma$  射线探测器、腔内探测器信号处理模块及腔内控制模块构成; 所述体外探测与控制单元由体外  $\gamma$  射线探测器、体外探测器信号处理模块及体外控制模块构成; 所述腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器绕探测目标做相对旋转运动, 探测体内放射性核素正电子湮灭产生的一对方向相反能量相同的  $\gamma$  光子; 所述  $\gamma$  射线事件处理单元对腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器探测到的  $\gamma$  光子事件进行分析判别, 记录真符合事件, 剔除假符合事件; 所述 PET 图像重建模单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合事件, 利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

2. 如权利要求 1 所述的内窥式 PET 成像系统, 其特征在于: 所述腔内  $\gamma$  射线探测器为多排探测器, 腔内控制模块包含可实时获取腔内  $\gamma$  射线探测器位姿的位姿传感器, 并根据需要对腔内  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整, 所述腔内控制模块由执行器和控制电路构成, 腔内探测器信号处理模块将腔内  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。

3. 如权利要求 2 所述的内窥式 PET 成像系统, 其特征在于: 所述腔内探测与控制单元安装在内窥镜插管远端中, 利用内窥镜将腔内探测与控制单元送达腔内指定位置。

4. 如权利要求 3 所述的内窥式 PET 成像系统, 其特征在于: 所述体外  $\gamma$  射线探测器为多排探测器, 体外  $\gamma$  射线探测器悬挂在机器臂上, 体外控制模块利用机器臂对体外  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整, 所述体外控制模块由执行器和控制电路构成, 体外探测器信号处理模块将体外  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。

5. 如权利要求 4 所述的内窥式 PET 成像系统, 其特征在于: 所述腔内  $\gamma$  射线探测器的体积小于体外  $\gamma$  射线探测器的体积。

6. 如权利要求 5 所述的内窥式 PET 成像系统, 其特征在于: 所述腔内  $\gamma$  射线探测器的探测单元数小于体外  $\gamma$  射线探测器的探测单元数。

7. 一种内窥式 PET 成像系统的成像方法, 其特征在于: 首先从医疗成像设备读入患者胃部或者腹部的断层解剖图像序列, 根据患者胰腺或者前列腺的位姿规划腔内  $\gamma$  射线探测器在胃内或者直肠内的置入位姿、体外  $\gamma$  射线探测器的位姿、以及两者做相对旋转运动的旋转轴、旋转中心、旋转角度, 然后按照如下步骤进行:

1) 利用内窥镜将腔内  $\gamma$  射线探测器置入患者胃内或者直肠内事先规划的位置, 并进行姿态调整, 腔内  $\gamma$  射线探测器位姿通过腔内位姿传感器获得, 并由腔内控制模块进行调整;

2) 体外控制模块操控机器臂上的体外  $\gamma$  射线探测器置于事先规划的位置, 并进行姿态调整, 并由体外控制模块进行调整;

3) 腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器做相对旋转运动同时采集正电子湮灭产生的一对  $\gamma$  光子, 相应的信号处理模块对采集的信号进行处理, 并发送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元, 该单元对  $\gamma$  事件进行分析判别, 记录真符合  $\gamma$  事件, 剔除假符合  $\gamma$  事件;

4) PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合  $\gamma$  事件, 利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

## 内窥式 PET 成像系统及方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及针对医学断层成像系统及方法，确切地说是涉及医学断层内窥式 PET 成像系统及方法。

### 背景技术：

[0002] 胰腺癌是一种恶性程度很高，诊断和治疗都很困难的消化道恶性肿瘤，约 90% 为起源于腺管上皮的导管腺癌。其发病率近年来明显上升，常用超声内镜检查，早期诊断极其困难，治愈率极低，5 年生存率 <1%，是预后最差的恶性肿瘤之一。

[0003] 前列腺癌是男性高发疾病，是发生在前列腺的上皮性恶性肿瘤，2012 年我国肿瘤登记地区前列腺癌发病率为 9.92/10 万，列男性恶性肿瘤发病率的第 6 位。如果能早期发现，就可以得到有效治疗，临床常用超声内镜检查。早期前列腺癌患者可采用根治性治疗方法，能够治愈早期前列腺癌的方法有放射性粒子植入、根治性前列腺切除术、根治性外放射治疗。

[0004] PET 成像是癌症早期诊断的有效手段，但是这两种器官体积小，邻近其他放射性核素吸收强的器官，如胰腺与心脏、肝脏相邻，前列腺与膀胱相邻，常规全身 PET 难以对胰腺和前列腺疾病进行有效诊断。

### 发明内容：

[0005] 本发明提供一种内窥式 PET 成像系统及方法，有效提高胰腺和前列腺 PET 成像的质量，以满足胰腺癌和前列腺癌早期精确诊断的需求，为胰腺癌和前列腺癌的早期精确诊断提供有效手段。

[0006] 本发明采用如下技术方案：一种内窥式 PET 成像系统，由人体腔内探测与控制单元、体外探测与控制单元、 $\gamma$  射线事件处理单元及 PET 图像重建模单元构成，所述腔内探测与控制单元由腔内  $\gamma$  射线探测器、腔内探测器信号处理模块及腔内控制模块构成；所述体外探测与控制单元由体外  $\gamma$  射线探测器、体外探测器信号处理模块及体外控制模块构成；所述腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器绕探测目标做相对旋转运动，探测体内放射性核素正电子湮灭产生的一对方向相反能量相同的  $\gamma$  光子；所述  $\gamma$  射线事件处理单元对腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器探测到的  $\gamma$  光子事件进行分析判别，记录真符合事件，剔除假符合事件；所述 PET 图像重建模单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合事件，利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

[0007] 所述腔内  $\gamma$  射线探测器为多排探测器，腔内控制模块包含可实时获取腔内  $\gamma$  射线探测器位姿的位姿传感器，并根据需要对腔内  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整，所述腔内控制模块由执行器和控制电路构成，腔内探测器信号处理模块将腔内  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。

[0008] 所述腔内探测与控制单元可安装在内窥镜插管远端中，利用内窥镜将腔内探测与控制单元送达腔内指定位置。

[0009] 所述体外  $\gamma$  射线探测器为多排探测器,体外  $\gamma$  射线探测器悬挂在机器臂上,体外控制模块利用机器臂对体外  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整,所述体外控制模块由执行器和控制电路构成,体外探测器信号处理模块将体外  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。

[0010] 所述腔内  $\gamma$  射线探测器的体积小于体外  $\gamma$  射线探测器的体积。

[0011] 所述腔内  $\gamma$  射线探测器的探测单元数小于体外  $\gamma$  射线探测器的探测单元数。

[0012] 本发明还采用如下技术方案:一种内窥式 PET 成像系统的成像方法,首先从医疗成像设备读入患者胃部或者腹部的断层解剖图像序列,根据患者胰腺或者前列腺的位姿规划腔内  $\gamma$  射线探测器在胃内或者直肠内的置入位姿、体外  $\gamma$  射线探测器的位姿、以及两者做相对旋转运动的旋转轴、旋转中心、旋转角度,然后按照如下步骤进行:

[0013] 1) 利用内窥镜将腔内  $\gamma$  射线探测器置入患者胃内或者直肠内事先规划的位置,并进行姿态调整,腔内  $\gamma$  射线探测器位姿通过腔内位姿传感器获得,并由腔内控制模块进行调整;

[0014] 2) 体外控制模块操控机器臂上的体外  $\gamma$  射线探测器置于事先规划的位置,并进行姿态调整,并由体外控制模块进行调整;

[0015] 3) 腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器做相对旋转运动同时采集正电子湮灭产生的一对  $\gamma$  光子,相应的信号处理模块对采集的信号进行处理,并发送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元,该单元对  $\gamma$  事件进行分析判别,记录真符合  $\gamma$  事件,剔除假符合  $\gamma$  事件;

[0016] 4) PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合  $\gamma$  事件,利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

[0017] 本发明具有如下有益效果:本发明将内窥式 PET 成像系统的探测器分别置于腔内和体外对目标进行成像,可有效减少相邻放射性核素强吸收器官(心脏、肝脏、膀胱)对小体积成像目标(胰腺、前列腺)的严重干扰,提高了图像的信噪比和质量,同时减少了两侧探头之间的距离,从而提高了图像的空间分辨率,采用先验图像约束压缩感知的方法可有效抑制图像噪声、提高图像重建的速度和质量,从而为胰腺癌和前列腺癌的早期精确诊断提供有效的手段,具有重要的临床应用价值。

#### 附图说明:

[0018] 图 1 为内窥式 PET 成像系统框图。

[0019] 图 2 为腔内探测单元框图。

[0020] 图 3 为体外探测单元框图。

#### 具体实施方式:

[0021] 请参照图 1 至图 3 所示,本发明内窥式 PET 成像系统由人体腔内探测与控制单元、体外探测与控制单元、 $\gamma$  射线事件处理单元、PET 图像重建单元构成。腔内探测与控制单元由腔内  $\gamma$  射线探测器、腔内探测器信号处理模块、腔内控制模块构成;体外探测与控制单元由体外  $\gamma$  射线探测器、体外探测器信号处理模块、体外控制模块构成;其中腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器绕探测目标做相对旋转运动,探测体内放射性核素正电子湮灭产生的一对方向相反能量相同的  $\gamma$  光子, $\gamma$  射线事件处理单元对腔内  $\gamma$  射线探测器

和体外  $\gamma$  射线探测器探测到的  $\gamma$  光子事件进行分析判别,记录真符合事件,剔除假符合事件;PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合事件,利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示,可有效提高图像的信噪比和空间分辨力,为临床微小病灶的早期精确诊断提供重要的手段。

[0022] 其中腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器在各自控制模块的控制下做同步旋转运动。

[0023] 腔内  $\gamma$  射线探测器为多排探测器,探测器体积较小,以便插入人体腔道;腔内控制模块包含位姿传感器,可实时获取腔内  $\gamma$  射线探测器的位姿,并根据需要对腔内  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整;腔内控制模块由执行器和控制电路构成;腔内信号处理模块将腔内  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。该腔内探测与控制单元可安装在内窥镜插管远端中,利用内窥镜将腔内探测与控制单元送达腔内指定位置。

[0024] 体外探测与控制单元由体外  $\gamma$  射线探测器、体外探测器信号处理模块、体外控制模块构成。体外  $\gamma$  射线探测器为多排探测器,远大于腔内  $\gamma$  射线探测器;体外控制模块利用机器臂对体外  $\gamma$  射线探测器位姿进行调整;体外控制模块由执行器和控制电路构成;体外探测器信号处理模块将体外  $\gamma$  射线探测器获取的信号进行处理并传送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元。

[0025] 由于受人体腔道大小的限制,腔内  $\gamma$  射线探测器的体积较小,相应的探测单元数较少;体外  $\gamma$  射线探测器体积较大探测单元数较多,以保证可探测到所有被腔内  $\gamma$  射线探测器探测到的  $\gamma$  光子对应的反方向运动的  $\gamma$  光子。

[0026]  $\gamma$  射线事件处理单元对腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器探测到的  $\gamma$  事件进行分析判别,记录真符合  $\gamma$  事件,剔除假符合  $\gamma$  事件。

[0027] PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合  $\gamma$  事件,采用先验图像约束压缩感知的重建方法对探测目标区域进行图像重建与显示。

[0028] 先验图像约束压缩感知重建方法采用滤波反投影解析重建的图像结果作为先验知识,在一定程度上能有效保留图像轮廓及细节信息,弥补传统迭代算法对图像过度平滑的不足。

[0029] 压缩感知 (compressed sensing, CS) 理论指出,如果图像信号可以通过稀疏变换变得更加稀疏,那么该图像可以从远小于采样定理要求的采样数中恢复。基于 CS 理论,一个具有可稀疏性的图像信号的重建可描述成:

$$[0030] \min \|\psi x\|_1 \text{ 使得 } Ax = y \quad (1)$$

[0031] 其中,  $A$  为系统响应矩阵,  $y$  表示投影测量结果,  $\psi$  为稀疏变换矩阵,本专利中稀疏变换采用图像梯度的范数即全变差 (TV) 来衡量:

$$[0032] \|\psi x\|_1 = TV(x) = \sum_{1 \leq i < M(N-1)} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (x_{i+M} - x_i)^2} \quad (2)$$

[0033] 其中,离散化的二维图像  $x \in \mathbb{R}^{M \times N}$ ,  $x_i$  为像素值。

[0034] 将先验图像通过高斯滤波处理后引入到上述 TV 最小化过程:

$$[0035] \min(f_c) \text{ 使得 } Ax = y \quad (3)$$

$$[0036] f_c = \alpha \|\psi(x - x_p)\|_1 + (1 - \alpha) \|\psi x\|_1 \quad (4)$$

[0037] 式中  $\alpha$  为  $[0, 1]$ , 用于控制分配给先验图像项的相对权重;  $\Psi$  为稀疏变换矩阵。

[0038] 将上述优化过程转化成无约束最小化问题:  $\hat{x} = \min f$ , 其中目标函数:

$$f = \alpha \|\Psi(x - x_p)\|_1 + (1 - \alpha) \|\Psi x\|_1 + \frac{\lambda}{2} (y - Ax)^T D (y - Ax) \quad (5)$$

[0040] 式中  $D = \text{diag}\{d_1, d_2 \cdots d_l\}$  为对角矩阵, 对角线上的元素为实际探测器单元测量到的光子数;  $\lambda$  为数据相容性参数。

[0041] 上述目标函数 (公式 5) 梯度存在, 可利用最速下降法 (SD)、共轭梯度法 (CG) 或可分离抛物替代法 (SPS) 求解上述最小化问题, 以有效提高图像重建的速度。

[0042] 下面通过两个实施例分别介绍胰腺内窥式 PET 成像和前列腺内窥式 PET 成像。

[0043] 实施例 1: 胰腺内窥式 PET 成像

[0044] 首先从 CT/MRI 等成像设备读入患者胃部充盈状态下的胸腹部断层图像序列, 根据患者胰腺的位置规划腔内  $\gamma$  射线探测器在胃内的置入位姿、体外  $\gamma$  射线探测器的位姿、以及两者做相对旋转运动的旋转轴、旋转中心、旋转角度, 腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器尽可能靠近胰腺, 两探测器之间的距离尽可能短, 然后按照如下步骤进行:

[0045] 1) 使患者胃部充盈, 利用内窥镜将腔内  $\gamma$  射线探测器置入患者胃内事先规划的位置, 并进行姿态调整, 腔内  $\gamma$  射线探测器位姿通过腔内位姿传感器获得, 并由腔内控制模块进行调整;

[0046] 2) 体外控制模块操控机器臂上的体外  $\gamma$  射线探测器置于事先规划的位置, 并进行姿态调整, 并由体外控制模块进行调整;

[0047] 3) 腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器做相对旋转运动同时采集正电子湮灭产生的一对  $\gamma$  光子, 相应的信号处理模块对采集的信号进行处理, 并发送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元, 该单元对  $\gamma$  事件进行分析判别, 记录真符合  $\gamma$  事件, 剔除假符合  $\gamma$  事件。

[0048] 4) PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合  $\gamma$  事件, 利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

[0049] 实施例 2: 前列腺内窥式 PET 成像

[0050] 首先从 CT/MRI 等成像设备读入患者腹部的断层图像序列, 根据患者前列腺的位置规划腔内射线探测器在直肠内的置入位姿、体外探测器的位姿、以及两者做相对旋转运动的旋转轴、旋转中心、旋转角度, 然后按照如下步骤进行:

[0051] 1) 利用内窥镜系统将腔内  $\gamma$  射线探测器置入患者直肠内事先规划的位置, 并进行姿态调整, 腔内  $\gamma$  射线探测器位姿通过腔内位姿传感器获得, 并由腔内控制模块进行调整;

[0052] 2) 体外控制模块操控机器臂上的体外  $\gamma$  射线探测器使其置于事先规划的位置, 并进行姿态调整, 并由体外控制模块进行调整;

[0053] 3) 腔内  $\gamma$  射线探测器和体外  $\gamma$  射线探测器做相对旋转运动, 同时采集正电子湮灭产生的一对  $\gamma$  光子, 相应的信号处理模块对采集的信号进行处理, 并发送到体外  $\gamma$  射线事件处理单元, 该单元对  $\gamma$  事件进行分析判别, 记录真符合  $\gamma$  事件, 剔除假符合  $\gamma$  事件。

[0054] 4) PET 图像重建单元根据  $\gamma$  射线事件处理单元获得的真符合  $\gamma$  事件, 利用先验图像约束压缩感知重建算法对探测目标区域进行图像重建与显示。

[0055] 本发明内窥式 PET 成像系统将  $\gamma$  射线探测器分别置于腔内和体外, 对胰腺和前列

腺进行成像,可有效地减少相邻放射性核素强吸收器官对小体积成像目标的严重干扰,提高了图像的信噪比和质量,同时这种方案有效减少了两侧探头之间的距离,从而提高了图像的空间分辨率,采用先验图像约束压缩感知的方法可有效抑制图像噪声、提高图像重建的速度和质量,从而为胰腺癌和前列腺癌的早期精确诊断提供有效的手段,具有重要的临床应用价值。

[0056] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下还可以作出若干改进,这些改进也应视为本发明的保护范围。

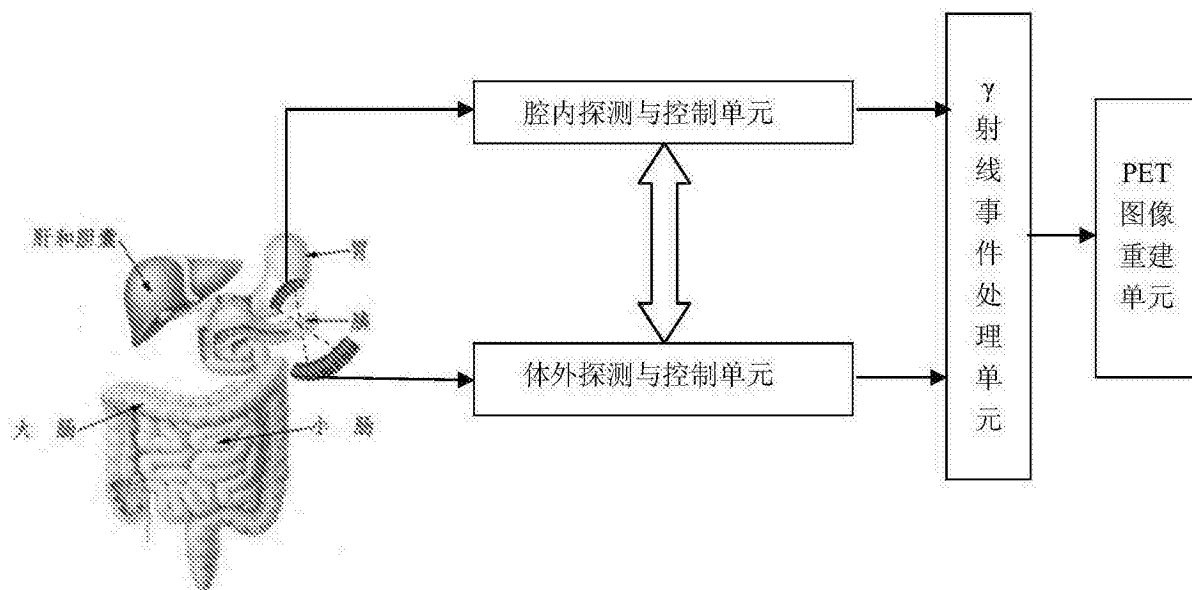


图 1

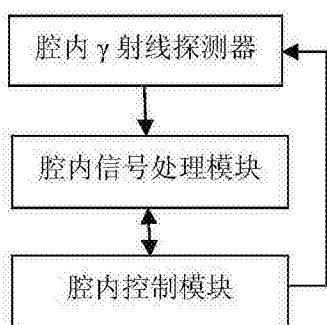


图 2

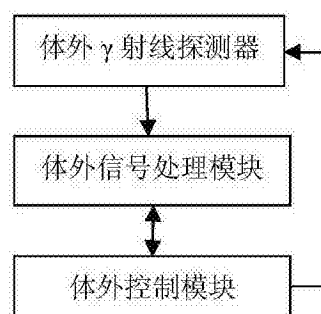


图 3



专利名称(译)	内窥式PET成像系统及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN105342634A</a>	公开(公告)日	2016-02-24
申请号	CN201510766030.8	申请日	2015-11-10
[标]申请(专利权)人(译)	南京航空航天大学		
申请(专利权)人(译)	南京航空航天大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京航空航天大学		
[标]发明人	周正东 周红		
发明人	周正东 周红		
IPC分类号	A61B6/03		
代理人(译)	贺翔		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

#### 摘要(译)

本发明公开一种内窥式PET成像系统与方法，由人体腔内探测与控制单元、体外探测与控制单元、 $\gamma$ 射线事件处理单元及PET图像重建单元构成。腔内探测与控制单元由人体腔内 $\gamma$ 射线探测器、腔内探测器信号处理模块、腔内控制模块构成。腔内探测与控制单元可安装于电子内窥镜镜体末端，腔内控制模块用来测量和控制探头的位姿，腔内探测器信号处理模块将腔内 $\gamma$ 射线探测器获取的信号进行处理并传输到 $\gamma$ 射线事件处理单元；体外探测与控制单元由体外 $\gamma$ 射线探测器、体外探测器信号处理模块、体外控制模块构成。体外控制模块通过机器臂来控制体外 $\gamma$ 射线探测器的位姿，体外探测器信号处理模块将体外 $\gamma$ 射线探测器获取的信号进行处理并传输到 $\gamma$ 射线事件处理单元。

