



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107485447 A

(43)申请公布日 2017.12.19

(21)申请号 201710676073.6

(22)申请日 2017.08.09

(71)申请人 北京信息科技大学

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路  
12号机电系统测控重点实验室

(72)发明人 龙忠杰 徐小力

(74)专利代理机构 北京远创理想知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11513

代理人 张素妍

(51) Int. Cl.

A61B 34/20(2016.01)

A61B 34/30(2016.01)

A61B 17/00(2006.01)

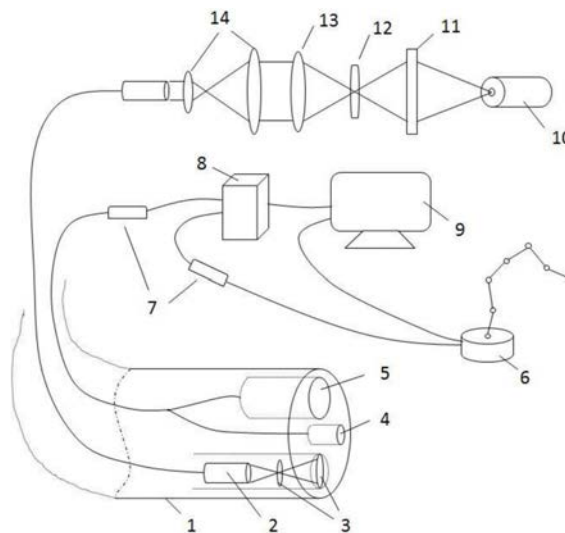
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿  
导航装置及方法

(57)摘要

本发明涉及一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法,其步骤:设置导航装置;对光源标定;获取互相关图像;将互相关图像上的峰值求和得到水平方向像素的偏移量,得到整个场景的深度图;将目标物体在世界坐标系上的坐标值转换到追踪器电子单元,统一由电子单元坐标系表示;采用改进的基于中点插值的立方格子算法生成实体曲面;分别计算生成实体曲面的所有点云三维坐标的加权平均值,即曲面的重心;存储等边三角形三个点的三维坐标;计算等边三角形极小邻域内的法向量,即为术中器具的当前位置;把曲面重心坐标值和法向量传送给六轴机械手,控制六轴机械手尖端以垂直于曲面的姿态到达点G,实现术中器具的位姿导航。



1. 一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其特征包括以下步骤:

1) 设置一包括内窥镜探管、六轴机械手、追踪器电子单元、电磁式位置追踪器和电脑的导航装置;内窥镜探管与电磁式位置追踪器,该电磁式位置追踪器经追踪器电子单元与电脑连接,同时,六轴机械手经另一电磁式位置追踪器与追踪器电子单元连接;

2) 在距离内窥镜探管5-20mm的范围内,每隔1mm取一个参考平面并把参考平面的散斑图像保存下来,标定后共保存了15幅散斑图像;

3) 水下环境中将内窥镜探管放入膝盖切口,使内窥镜探管前端与软骨表面之间距离10mm处投射散斑图案并拍摄图像,将该图像与先前保存的15幅参考图像依次进行互相关计算,共得15幅互相关运算结果图像;

4) 互相关图像上的峰值处表示空间物体存在的位置,将峰值求和得到水平方向像素的偏移量 $\Delta x$ ,经插值运算得到整个场景的深度图;

5) 将目标物体在世界坐标系上的坐标值转换到追踪器电子单元,统一由电子单元坐标系 $S_i^w$ 表示;

6) 采用改进的基于中点插值的立方格子算法,在OpenGL平台渲染生成实体曲面;

7) 分别计算生成实体曲面的所有点云三维坐标的加权平均值,即曲面的重心G的坐标值为 $(\overline{X^w}, \overline{Y^w}, \overline{Z^w})$ ;

8) 搜索以点G为圆心,r为半径的圆上三个点云,当且仅当组成一个等边三角形时,存储这三个点的三维坐标,记等边三角形的顶点分别为 $P_1, P_2, P_3$ ;

9) 计算等边三角形任意两边的向量积,求得等边三角形极小邻域内的法向量,则过点G的法向量代表了术中器具垂直于曲面的姿态,G即为术中器具的当前位置;

10) 把步骤7)中曲面重心G的坐标值和步骤9)中的G的法向量由电脑实时传送给六轴机械手,控制六轴机械手尖端以垂直于曲面的姿态到达点G,实现术中器具的位姿导航。

2. 如权利要求1所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其特征在在于:所述步骤4)中,深度图中每个空间点的三维坐标值如下:

$$Z_i^c = \frac{b \cdot L \cdot N_x}{b \cdot N_x + L_w \cdot \Delta x}$$

$$Y_i^c = \frac{Z_i^c (v_0 - y_i^c)}{f}$$

$$X_i^c = \frac{Z_i^c (x_i - u_0)}{f}$$

式中,b为基线长度, $N_x$ 为成像平面宽度, $(x_i^c, y_i^c)$ 为物体在图像平面上的坐标值, $(u_0, v_0)$ 为投影中心,f为焦距, $L=20\text{mm}$ , $L_w$ 为当成像距离为L时,摄像机所能投射屏幕的宽度值。

3. 如权利要求1所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其特征在在于:所述步骤5)中,坐标转换公式为: $S_i^w = R_s(S_i^c + \vec{L}_r) + \vec{T}_s$ ,式中, $S_i^c = [X_i^c, Y_i^c, Z_i^c]^T$  $R_s$ 为电磁式位置追踪器的旋转矩阵, $\vec{L}_r$ 为内窥镜探管前端与电磁式位置追踪器的相对距离, $\vec{T}_s$ 为平移矩阵。

4. 如权利要求1所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其特征在于:所述步骤6)中,具体过程为:

6.1) 设相邻两个格子顶点分别是 $C_i$ 和 $C_{i-1}$ ,则点云格子的间隔参数 $t=C_i-C_{i-1}$ ;

6.2) 计算以 $C_iC_{i-1}$ 为边长的正方体内每一个点云在边长 $C_iC_{i-1}$ 上的投影,如果投影点 $d_i$ 在边长中点的左侧,则该点云配置给顶点 $C_i$ ,否则配置给 $C_{i-1}$ ;

6.3) 根据顶点的分布状态,提取三角形曲面,在一个正方体内,存在三角形的顶点给予二维数值1,否则赋予0;

6.4) 根据8位二维数值的索引获得曲面抽取的类型,进而完成曲面渲染,生成可视化曲面。

5. 一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其特征在于:它包括内窥镜探管、光纤前端、双远心镜头、光源、内窥镜光源、内窥镜摄像头、六轴机械手、电磁式位置追踪器、追踪器电子单元和电脑;

所述内窥镜探管内设置有所述双远心镜头、内窥镜光源和内窥镜摄像头,所述双远心镜头经光纤与设置在所述内窥镜探管外部的所述光源连接,所述光源发出的结构光由所述双远心镜头折射后投影在软骨表面,投影后的结构光传输至所述内窥镜摄像头;所述内窥镜光源和内窥镜摄像头经导线与设置在所述内窥镜探管外部的一所述电磁式位置追踪器连接,该电磁式位置追踪器经所述追踪器电子单元与所述电脑连接;所述六轴机械手经另一所述电磁式位置追踪器与所述追踪器电子单元连接。

6. 如权利要求5所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其特征在于:所述光源包括氦氖激光器、毛玻璃、扩束镜、成像镜头和耦合透镜组;所述氦氖激光器投射出的激光经所述毛玻璃后产生激光散斑,依次经过所述扩束镜、成像镜头和耦合透镜组后射入光纤。

7. 如权利要求5所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其特征在于:所述六轴机械手具有0.005mm的末端重复定位精度。

8. 如权利要求7所述的一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其特征在于:所述六轴机械手采用型号为型号为Meca500、厂家为Mecademic, Inc.的机械手。

## 一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种手术导航设备领域,特别是关于一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法。

### 背景技术

[0002] 内窥镜是一种通过插入外科切口并且用于查看器官内部结构的仪器。作为一种微创式或非侵入式的手术,因其切口小,住院时间短的优点,已广泛用于诊断和治疗不同疾病。目前,大多数的内窥镜手术是使用单目内窥镜进行,然而传统的内窥镜仅提供二维图像信息,无法为外科医生提供手术目标的立体视觉感知,外科医生必须依靠运动视差,对象排除和其他间接依据去评估术中对象的空间关系。

[0003] 在群众性体育运动广泛开展的今天,膝关节软骨损伤发生在运动员中并不罕见,约占膝关节损伤总数的5%~10%。关节软骨损伤后很难自行修复,容易发生不可逆转的病理改变,最终演变成创伤性关节炎或骨关节炎。自1991年Hangody等首次提出自体骨软骨移植术并应用于临床后,内窥镜下进行软骨移植因其创伤少、对关节功能影响小、术后功能恢复快等优点,已成为当前关节软骨损伤的首选治疗方法。然而,内窥镜下手术空间狭窄、操作困难,特别是传统内窥镜不具备立体感知和位置定位功能,切取骨柱时很难做到与关节面垂直,难以确保手术效果。近年来,用于内窥镜下手术的辅助仪器已被开发,但是仪器的操作仍然依赖于外科医生的经验水平。

### 发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法,其能有效解决传统内窥镜无法获取深度信息的问题,并解决内窥镜下手术时器具与关节面难以保持垂直的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其特征在于包括以下步骤:1) 设置一包括内窥镜探管、六轴机械手、追踪器电子单元、电磁式位置追踪器和电脑的导航装置;内窥镜探管与电磁式位置追踪器,该电磁式位置追踪器经追踪器电子单元与电脑连接,同时,六轴机械手经另一电磁式位置追踪器与追踪器电子单元连接;2) 在距离内窥镜探管5-20mm的范围内,每隔1mm取一个参考平面并把参考平面的散斑图像保存下来,标定后共保存了15幅散斑图像;3) 水下环境中将内窥镜探管放入膝盖切口,使内窥镜探管前端与软骨表面之间距离10mm处投射散斑图案并拍摄图像,将该图像与先前保存的15幅参考图像依次进行互相关计算,共得15幅互相关运算结果图像;4) 互相关图像上的峰值处表示空间物体存在的位置,将峰值求和得到水平方向像素的偏移量 $\Delta x$ ,经插值运算得到整个场景的深度图;5) 将目标物体在世界坐标系上的坐标值转换到追踪器电子单元,统一由电子单元坐标系 $S_i^w$ 表示;6) 采用改进的基于中点插值的立方格子算法,在OpenGL平台渲染生成实体曲面;7) 分别计算生成实体曲面的所有点云三

维坐标的加权平均值,即曲面的重心G的坐标值为 $(\overline{X^w}, \overline{Y^w}, \overline{Z^w})$ ;8) 搜索以点G为圆心,r为半径的圆上三个点云,当且仅当组成一个等边三角形时,存储这三个点的三维坐标,记等边三角形的顶点分别为 $P_1, P_2, P_3$ ;9) 计算等边三角形任意两边的向量积,求得等边三角形极小邻域内的法向量,则过点G的法向量代表了术中器具垂直于曲面的姿态,G即为术中器具的当前位置;10) 把步骤7)中曲面重心G的坐标值和步骤9)中的G的法向量由电脑实时传送给六轴机械手,控制六轴机械手尖端以垂直于曲面的姿态到达点G,实现术中器具的位姿导航。

[0006] 进一步,所述步骤4)中,深度图中每个空间点的三维坐标值如下:

$$[0007] \quad Z_i^c = \frac{b \cdot L \cdot N_x}{b \cdot N_x + L_w \cdot \Delta x}$$

$$[0008] \quad Y_i^c = \frac{Z_i^c (v_0 - y_i^c)}{f}$$

$$[0009] \quad X_i^c = \frac{Z_i^c (x_i - u_0)}{f}$$

[0010] 式中,b为基线长度, $N_x$ 为成像平面宽度, $(x_i^c, y_i^c)$ 为物体在图像平面上的坐标值, $(u_0, v_0)$ 为投影中心,f为焦距, $L=20\text{mm}$ , $L_w$ 为当成像距离为L时,摄像机所能投射屏幕的宽度值。

[0011] 进一步,所述步骤5)中,坐标转换公式为: $S_i^w = R_s(S_i^c + \overrightarrow{L_r}) + \overrightarrow{T_s}$ ,式中, $S_i^c = [X_i^c, Y_i^c, Z_i^c]^T$  $R_s$ 为电磁式位置追踪器的旋转矩阵, $\overrightarrow{L_r}$ 为内窥镜探管前端与电磁式位置追踪器的相对距离, $\overrightarrow{T_s}$ 为平移矩阵。

[0012] 进一步,所述步骤6)中,具体过程为:6.1) 设相邻两个格子顶点分别是 $C_i$ 和 $C_{i-1}$ ,则点云格子的间隔参数 $t=C_i-C_{i-1}$ ;6.2) 计算以 $C_i C_{i-1}$ 为边长的正方体内每一个点云在边长 $C_i C_{i-1}$ 上的投影,如果投影点 $d_i$ 在边长中点的左侧,则该点云配置给顶点 $C_i$ ,否则配置给 $C_{i-1}$ ;6.3) 根据顶点的分布状态,提取三角形曲面,在一个正方体内,存在三角形的顶点给予二维数值1,否则赋予0;6.4) 根据8位二维数值的索引获得曲面抽取的类型,进而完成曲面渲染,生成可视化曲面。

[0013] 一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其特征在于:它包括内窥镜探管、光纤前端、双远心镜头、光源、内窥镜光源、内窥镜摄像头、六轴机械手、电磁式位置追踪器、追踪器电子单元和电脑;所述内窥镜探管内设置有所述双远心镜头、内窥镜光源和内窥镜摄像头,所述双远心镜头经光纤与设置在所述内窥镜探管外部的所述光源连接,所述光源发出的结构光由所述双远心镜头折射后投影在软骨表面,投影后的结构光传输至所述内窥镜摄像头;所述内窥镜光源和内窥镜摄像头经导线与设置在所述内窥镜探管外部的一所述电磁式位置追踪器连接,该电磁式位置追踪器经所述追踪器电子单元与所述电脑连接;所述六轴机械手经另一所述电磁式位置追踪器与所述追踪器电子单元连接。

[0014] 进一步,所述光源包括氩氦激光器、毛玻璃、扩束镜、成像镜头和耦合透镜组;所述氩氦激光器投射出的激光经所述毛玻璃后产生激光散斑,依次经过所述扩束镜、成像镜头和耦合透镜组后射入光纤。

[0015] 进一步,所述六轴机械手具有0.005mm的末端重复定位精度。

[0016] 进一步,所述六轴机械手采用型号为型号为Meca500、厂家为Mecademic, Inc.的机械手。

[0017] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:1、本发明的三维内窥镜能实现极小空间内(约10mm直径)膝盖软骨曲面的实时三维可视化,解决传统内窥镜无法获取深度信息的问题。2、本发明采用微型六轴机械手根据三维内窥镜计算获得的空间坐标和方向向量导航出术中器具的位置及姿态,通过机械手的辅助定位完成软骨的切取任务,解决内窥镜下手术时器具与关节面难以保持垂直的技术问题。3、本发明将激光散斑耦合到成像光纤,能以6mm的成像距离静态地获取曲面三维信息而无需进行扫描,适合微创手术空间狭小的特点。4、本发明在内窥镜探管、软骨关节处和六轴机械手末端分别附有电磁式位置追踪器,三维内窥镜可以实现自身定位的同时完成三维模型的创建,同时,机械手可以获取自身在三维模型中的位置与姿态。5、本发明采用的六轴机械手具有0.005mm的末端重复定位精度,较之医生的徒手操作,能极其稳定地完成软骨切取任务。

## 附图说明

[0018] 图1是本发明装置的整体结构示意图。

## 具体实施方式

[0019] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0020] 如图1所示,本发明提供一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置,其包括内窥镜探管1、光纤前端2、双远心镜头3、光源、内窥镜光源4、内窥镜摄像头5、六轴机械手6、电磁式位置追踪器7、追踪器电子单元8和电脑9。

[0021] 内窥镜探管1内设置有双远心镜头3、内窥镜光源4和内窥镜摄像头5,双远心镜头3经光纤与设置在内窥镜探管1外部的光源连接,光源发出的结构光由双远心镜头3折射后投影在软骨表面,投影后的结构光传输至内窥镜摄像头5,且内窥镜摄像头5接收到的结构光图像具有在z轴方向上放大倍数恒定的特点。内窥镜光源4和内窥镜摄像头5经导线与设置在内窥镜探管1外部的一电磁式位置追踪器7连接。该电磁式位置追踪器7经追踪器电子单元8与电脑9连接,同时,六轴机械手6经另一电磁式位置追踪器7与追踪器电子单元8连接。在本实施例中,光纤直径优选为1mm,内窥镜探管1直径优选为7mm。

[0022] 上述各实施例中,光源包括氦氖激光器10、毛玻璃11、扩束镜12、成像镜头13和耦合透镜组14。氦氖激光器10投射出的激光经毛玻璃11后产生激光散斑,依次经过扩束镜12、成像镜头13和耦合透镜组14后射入光纤。

[0023] 上述各实施例中,六轴机械手6采用超紧凑型六轴机械手,且该机械手具有0.005mm的末端重复定位精度。在一个优选地实施例中,六轴机械手6采用型号为Meca500、厂家为Mecademic, Inc.的机械手,该机械手本体质量为4.5kg,有效负载为0.5kg,最大伸展长度为332mm。

[0024] 基于上述装置,本发明还提供一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航方法,其包括以下步骤:

[0025] 1) 光源标定。在距离内窥镜探管15-20mm的范围内,每隔1mm取一个参考平面并把

参考平面的散斑图像保存下来,标定后共保存了15幅散斑图像。

[0026] 2) 水下环境中将内窥镜探管1放入膝盖切口,使内窥镜探管1前端与软骨表面之间距离约10mm处投射散斑图案并拍摄图像,将该图像与先前保存的15幅参考图像依次进行互相关计算,共得15幅互相关运算结果图像。

[0027] 3) 互相关图像上的峰值处表示空间物体存在的位置,将峰值求和得到水平方向像素的偏移量  $\Delta x$ ,经插值运算得到整个场景的深度图。

[0028] 其中,深度图中每个空间点的三维坐标值如下:

$$[0029] \quad Z_i^c = \frac{b \cdot L \cdot N_x}{b \cdot N_x + L_w \cdot \Delta x}$$

$$[0030] \quad Y_i^c = \frac{Z_i^c (v_0 - y_i^c)}{f}$$

$$[0031] \quad X_i^c = \frac{Z_i^c (x_i - u_0)}{f}$$

[0032] 式中, $b$ 为基线长度, $N_x$ 为成像平面宽度, $(x_i^c, y_i^c)$ 为物体在图像平面上的坐标值, $(u_0, v_0)$ 为投影中心, $f$ 为焦距, $L=20\text{mm}$ , $L_w$ 为当成像距离为 $L$ 时,摄像机所能投射屏幕的宽度值。

[0033] 4) 将目标物体在世界坐标系上的坐标值转换到追踪器电子单元8,统一由电子单元坐标系 $S_i^w$ 表示。坐标转换公式为: $S_i^w = R_s(S_i^c + \vec{L}_r) + \vec{T}_s$ ,式中, $S_i^c = [X_i^c, Y_i^c, Z_i^c]^T$ 为电磁式位置追踪器7的旋转矩阵, $\vec{L}_r$ 为内窥镜探管前端与电磁式位置追踪器7的相对距离, $\vec{T}_s$ 为平移矩阵。

[0034] 5) 采用改进的基于中点插值的立方格子算法,在OpenGL平台渲染生成实体曲面,其步骤包括:

[0035] 5.1) 设相邻两个格子顶点分别是 $C_i$ 和 $C_{i-1}$ ,则点云格子的间隔参数 $t=C_i-C_{i-1}$ ;

[0036] 5.2) 计算以 $C_i C_{i-1}$ 为边长的正方体内每一个点云在边长 $C_i C_{i-1}$ 上的投影,如果投影点 $d_i$ 在边长中点的左侧,则该点云配置给顶点 $C_i$ ,否则配置给 $C_{i-1}$ ;

[0037] 5.3) 根据顶点的分布状态,提取三角形曲面,在一个正方体内,存在三角形的顶点给予二维数值1,否则赋予0;

[0038] 5.4) 根据8位二维数值的索引获得曲面抽取的类型,进而完成曲面渲染,生成可视化曲面。

[0039] 6) 分别计算生成实体曲面的所有点云三维坐标的加权平均值,即曲面的重心 $G$ 的坐标值为 $(\overline{X^w}, \overline{Y^w}, \overline{Z^w})$ ;  $\overline{X^w}$ 为x轴坐标值, $\overline{Y^w}$ 为y轴坐标值, $\overline{Z^w}$ 为z轴坐标值。

[0040] 7) 搜索以点 $G$ 为圆心, $r$ 为半径的圆上三个点云,当且仅当组成一个等边三角形时,存储这三个点的三维坐标,记等边三角形的顶点分别为 $P_1, P_2, P_3$ 。

[0041] 8) 计算等边三角形任意两边的向量积,求得等边三角形极小邻域内的法向量,则过点 $G$ 的法向量代表了术中器具垂直于曲面的姿态, $G$ 即为术中器具的当前位置。

[0042] 9) 把步骤6)中曲面重心 $G$ 的坐标值和步骤8)中的 $G$ 的法向量由电脑9实时传送给六

轴机械手6,控制六轴机械手6尖端以垂直于曲面的姿态到达点G,实现术中器具的位姿导航,即器具的轴线垂直于软骨曲面。

[0043] 上述各实施例仅用于说明本发明,各部件的结构、尺寸、设置位置及形状都是可以有所变化的,在本发明技术方案的基础上,凡根据本发明原理对个别部件进行的改进和等同变换,均不应排除在本发明的保护范围之外。



专利名称(译)	一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN107485447A</a>	公开(公告)日	2017-12-19
申请号	CN201710676073.6	申请日	2017-08-09
[标]申请(专利权)人(译)	北京信息科技大学		
申请(专利权)人(译)	北京信息科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	北京信息科技大学		
[标]发明人	龙忠杰 徐小力		
发明人	龙忠杰 徐小力		
IPC分类号	A61B34/20 A61B34/30 A61B17/00		
CPC分类号	A61B34/20 A61B17/00234 A61B34/30 A61B34/70 A61B2034/2051 A61B2034/2065 A61B2034/301		
代理人(译)	张素妍		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明涉及一种面向膝盖软骨移植术的术中器具位姿导航装置及方法，其步骤：设置导航装置；对光源标定；获取互相关图像；将互相关图像上的峰值求和得到水平方向像素的偏移量，得到整个场景的深度图；将目标物体在世界坐标系上的坐标值转换到追踪器电子单元，统一由电子单元坐标系表示；采用改进的基于中点插值的立方格子算法生成实体曲面；分别计算生成实体曲面的所有点云三维坐标的加权平均值，即曲面的重心；存储等边三角形三个点的三维坐标；计算等边三角形极小邻域内的法向量，即为术中器具的当前位置；把曲面重心坐标值和法向量传送给六轴机械手，控制六轴机械手尖端以垂直于曲面的姿态到达点G，实现术中器具的位姿导航。

