



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101870107 A

(43) 申请公布日 2010. 10. 27

(21) 申请号 201010210026. 0

(22) 申请日 2010. 06. 26

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 栾楠 张诗雷 赵言正 张晓明

徐俊虎

(74) 专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王锡麟 王桂忠

(51) Int. Cl.

B25J 9/16(2006. 01)

B25J 13/00(2006. 01)

A61B 19/00(2006. 01)

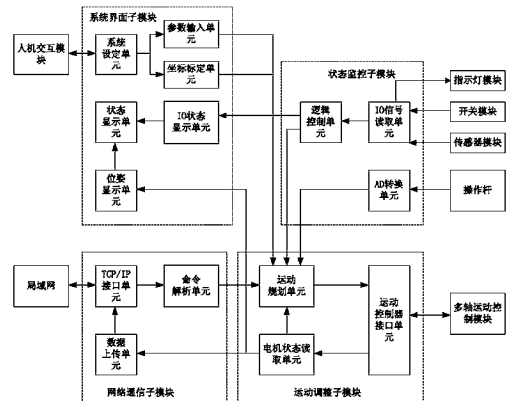
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

骨科手术辅助机器人的控制系统

(57) 摘要

一种机电技术领域的骨科手术辅助机器人的控制系统,包括:嵌入式中央控制模块、多轴运动控制模块、若干交流伺服驱动器、若干交流伺服电机、人机交互模块、传感器模块、开关模块、指示灯模块和操作杆,其中:所述的嵌入式中央控制模块包括:系统界面子模块、状态监控子模块、网络通信子模块和运动调整子模块。本发明自由度高,适用性强,可实现 7 自由度,具有冗余自由度,便于与医师协同作业;自主性较高;结构开放,能够作为基础平台与各种导航系统相结合,操作方式灵活;操纵方便,且定位精度高。



1. 一种骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征在于,包括:嵌入式中央控制模块、多轴运动控制模块、若干交流伺服驱动器、若干交流伺服电机、人机交互模块、传感器模块、开关模块、指示灯模块和操作杆,其中:嵌入式中央控制模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息以及其它通过后者中转的信息,嵌入式中央控制模块与人机交互模块相连传输图像显示信息和用户输入信息,多轴运动控制模块与交流伺服驱动器相连传输电机控制信息,交流伺服驱动器与交流伺服电机相连传输电机驱动和电机编码器信息,多轴运动控制模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,多轴运动控制模块与指示灯模块相连传输状态信息,多轴运动控制模块与开关模块相连传输开关信息,多轴运动控制模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息。

2. 根据权利要求1所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的嵌入式中央控制模块包括:系统界面子模块、状态监控子模块、网络通信子模块和运动调整子模块,其中:系统界面子模块与状态监控子模块相连传输系统运行状态信息,系统界面子模块与运动调整子模块相连传输系统参数以及位姿状态信息,状态监控子模块与运动调整子模块相连传输手动运动控制命令信息,网络通信子模块与运动调整子模块相连传输导航信息,系统界面子模块与人机交互模块相连传输系统参数设定与状态显示信息,状态监控子模块与开关模块相连传输开关信息,状态监控子模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,状态监控子模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息,运动调整子模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息。

3. 根据权利要求2所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的系统界面子模块包括:系统设定单元、I/O 状态显示单元、位姿显示单元、参数输入单元和坐标标定单元,其中:系统设定单元与人机交互模块相连传输系统设定信息,参数输入单元与系统设定单元相连传输系统参数信息,坐标标定单元与系统设定单元相连传输坐标信息,参数输入单元与运动调整子模块相连传输系统参数信息,坐标标定单元与运动调整子模块相连传输坐标变换矩阵参数信息,I/O 状态显示单元与状态监控子模块相连传输 I/O 状态信息,位姿显示单元与运动调整子模块相连传输位姿信息。

4. 根据权利要求2所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的状态监控子模块包括:逻辑控制单元、I/O 信号读取单元和 AD 转换单元,其中:逻辑控制单元与系统界面子模块相连传输 I/O 状态信息,逻辑控制单元与运动调整子模块相连传输运动状态信息,I/O 信号读取单元与逻辑控制单元相连传输数字量 I/O 信息,I/O 信号读取单元与开关模块相连传输开关信息,I/O 信号读取单元与传感器模块相连传输传感器检测的各种状态信息,AD 转换单元与操作杆相连传输操作杆输入的模拟信息,AD 转换单元与运动调整子模块相连传输操作杆输入的数字信息。

5. 根据权利要求2所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的运动调整子模块包括:运动规划单元、运动控制器接口单元和电机状态读取单元,其中:运动控制器接口单元与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息,运动控制器接口单元与电机状态读取单元相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与网络通信子模块相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与系统界面子模块相连传输电机状态信息,运动控制器接口单元与运动规划单元相连传输运动规划信息,运动规划单元与系统界面子模块相连传输设定的系统参数信息,运动规划单元与状态监控子模块相连传输操作杆的控制信号和开关信息。

6. 根据权利要求 2 所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的网络通信子模块包括:TCP/IP 接口单元、命令解析单元和数据上传单元,其中:数据上传单元与运动调整子模块相连传输机器人位姿信息,数据上传单元与 TCP/IP 接口单元相连传输机器人姿态信息,命令解析单元与 TCP/IP 接口单元相连传输外部设备的命令信息,命令解析单元与运动调整子模块相连传输运动控制指令和参数信息,TCP/IP 接口单元与局域网相连传输机器人姿态信息和外部的控制信息。

7. 根据权利要求 1 所述的骨科手术辅助机器人的控制系统,其特征是,所述的开关模块包括:紧急停止按钮、运行模式选择开关和冗余自由度控制开关,其中:紧急停止按钮与多轴运动控制模块相连传输运动停止信息,运行模式选择开关与多轴运动控制模块相连传输操作杆控制模块信息,冗余自由度控制开关与多轴运动控制模块相连传输机器人冗余自由度控制信息。

## 骨科手术辅助机器人的控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种机电技术领域的控制系统,特别是一种骨科手术辅助机器人的控制系统。

### 背景技术

[0002] 骨科手术辅助机器人的主要目标是在骨科手术中辅助医师完成特定的精细操作。该机器人在手术中可以完成以下几项功能:截骨切削、磨削钻孔、夹持固定等。这些操作由机器人完成具有很大的优势,一方面动作比较简单,机器人可以胜任;另一方面这些操作需要很高的精确性和稳定性,而机械手的定位比人更为准确、稳定且有力。使用机器人辅助手术医师完成这些费时费力的操作可以大大减低医师的作业强度,节约手术时间,提高作业精度,减少创口大小,还可以避免医师长时间保持某种姿势的操作带来的肌肉疲劳,以及肌肉疲劳可能造成的医生手臂颤动,从而提高了手术的稳定性和安全性。

[0003] 骨科手术辅助机器人主要由机器人本体机构,机器人控制器系统以及操作杆等部分构成。机器人的基本工作方式有两种:自动方式和手动方式。机器人工作在自动状态时,接受来自导航系统的引导指令,实现术前规划预定的动作,主刀医师可随时终止机器人动作并通过操作杆对规划好的位置、姿态进行调整。机器人工作在手动状态时需要一名操作员配合,由主刀医师通过操作杆控制机器人动作,由操作员通过界面设定速度、运动方式等参数,并在主刀医师的口令指挥下启动机器人完成操作。这主要是考虑主刀医师在手术过程中不便使用触摸屏等方式完成参数输入,而语音识别等方式风险太大,安全性得不到保证。机器人操作员可由护士或助手充任。

[0004] 经对现有技术的文献检索发现,中国专利申请号为:200710117890.4,专利名称为:一种基于3D鼠标操作的微创骨科手术机器人,该机器人由横向移动组件、减速器组件、上下移动组件、小臂移动组件、小臂组件、腕部组件和3D鼠标组成,其中:3D鼠标安装在小臂组件的小臂壳体上,方便医生操作和控制。该3D鼠标含有六个自由度,可以实现笛卡尔坐标系中的六个方向运动控制,但是该技术中机械结构本身并没有实现六个自由度运动,3D鼠标只能实现粗定位,且不具有自主控制功能,实施骨科手术存在局限性。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的上述不足,提供一种骨科手术辅助机器人的控制系统。本发明实现了对7自由度骨科辅助机器人的控制,具有辅助手术医师完成截骨、磨削、夹持定位等特定的精细操作的功能。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 本发明包括:嵌入式中央控制模块、多轴运动控制模块、若干交流伺服驱动器、若干交流伺服电机、人机交互模块、传感器模块、开关模块、指示灯模块和操作杆,其中:嵌入式中央控制模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息以及其它通过后者中转的信息,嵌入式中央控制模块与人机交互模块相连传输图像显示信息和用户输入信息,多轴运

动控制模块与交流伺服驱动器相连传输电机控制信息,交流伺服驱动器与交流伺服电机相连传输电机驱动和电机编码器信息,多轴运动控制模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,多轴运动控制模块与指示灯模块相连传输状态信息,多轴运动控制模块与开关模块相连传输开关信息,多轴运动控制模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息。

[0008] 所述的嵌入式中央控制模块包括:系统界面子模块、状态监控子模块、网络通信子模块和运动调整子模块,其中:系统界面子模块与状态监控子模块相连传输系统运行状态信息,系统界面子模块与运动调整子模块相连传输系统参数以及位姿状态信息,状态监控子模块与运动调整子模块相连传输手动运动控制命令信息,网络通信子模块与运动调整子模块相连传输导航信息,系统界面子模块与人机交互模块相连传输系统参数设定与状态显示信息,状态监控子模块与开关模块相连传输开关信息,状态监控子模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,状态监控子模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息,运动调整子模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息。

[0009] 所述的系统界面子模块包括:系统设定单元、I/O(输入输出)状态显示单元、位姿显示单元、参数输入单元和坐标标定单元,其中:系统设定单元与人机交互模块相连传输系统设定信息,参数输入单元与系统设定单元相连传输系统参数信息,坐标标定单元与系统设定单元相连传输坐标信息,参数输入单元与运动调整子模块相连传输系统参数信息,坐标标定单元与运动调整子模块相连传输坐标变换矩阵参数信息,I/O状态显示单元与状态监控子模块相连传输I/O状态信息,位姿显示单元与运动调整子模块相连传输位姿信息。

[0010] 所述的状态监控子模块包括:逻辑控制单元、I/O信号读取单元和AD转换单元,其中:逻辑控制单元与系统界面子模块相连传输I/O状态信息,逻辑控制单元与运动调整子模块相连传输运动状态信息,I/O信号读取单元与逻辑控制单元相连传输数字量I/O信息,I/O信号读取单元与开关模块相连传输开关信息,I/O信号读取单元与传感器模块相连传输传感器检测的各种状态信息,AD转换单元与操作杆相连传输操作杆输入的模拟信息,AD转换单元与运动调整子模块相连传输操作杆输入的数字信息。

[0011] 所述的运动调整子模块包括:运动规划单元、运动控制器接口单元和电机状态读取单元,其中:运动控制器接口单元与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息,运动控制器接口单元与电机状态读取单元相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与网络通信子模块相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与系统界面子模块相连传输电机状态信息,运动控制器接口单元与运动规划单元相连传输运动规划信息,运动规划单元与系统界面子模块相连传输设定的系统参数信息,运动规划单元与状态监控子模块相连传输操作杆的控制信号和开关信息。

[0012] 所述的网络通信子模块包括:TCP/IP接口单元、命令解析单元和数据上传单元,其中:数据上传单元与运动调整子模块相连传输机器人位姿信息,数据上传单元与TCP/IP接口单元相连传输机器人姿态信息,命令解析单元与TCP/IP接口单元相连传输外部设备的命令信息,命令解析单元与运动调整子模块相连传输运动控制指令和参数信息,TCP/IP接口单元与局域网相连传输机器人姿态信息和外部的控制信息。

[0013] 所述的开关模块包括:紧急停止按钮、运行模式选择开关和冗余自由度控制开关,其中:紧急停止按钮与多轴运动控制模块相连传输运动停止信息,运行模式选择开关与多

轴运动控制模块相连传输操作杆控制模块信息,冗余自由度控制开关与多轴运动控制模块相连传输机器人冗余自由度控制信息。

[0014] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0015] 1、自由度高,适用性强。现有技术大多只有 2-3 自由度,用于特定手术,如膝关节置换等,而本发明涉及的手术辅助机器人可实现 7 自由度,除可以完成任意姿态的作业外,还具有冗余自由度,便于与医师协同作业。嵌入式中央控制模块的运动调整子模块可实现冗余自由度的解算,在保证末端执行器位置姿态符合规划要求的前提下合理避让医师的动作空间,达到协同辅助的效果。

[0016] 2、自主性较高,与目前已有的全手动遥操作手术机器人有本质的不同。

[0017] 3、结构开放,通过 TCP/IP 协议、RS232/RS485 接口等多种常用通信方式,能够作为基础平台与各种导航系统相结合。操作方式灵活,既可以与自动导航装置连接,在导航装置的引导下作为执行机构完成术前规划的操作,也可以作为独立的手术辅助器械在医师的操作下实现截骨、钻孔、磨削、固定等手术作业。

[0018] 4、操纵方便,且定位精度高。嵌入式中央控制模块的运动调整子模块可实现动态坐标规划,支持“手把手”式操纵,尤其适用于手术中操控机器人的需要。

## 附图说明

[0019] 图 1 为实施例系统的连接组成示意图;

[0020] 图 2 为嵌入式中央控制模块的组成连接示意图。

## 具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明的实施例作详细说明:本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0022] 实施例

[0023] 如图 1 所示,本实施例包括:嵌入式中央控制模块、多轴运动控制模块、7 个交流伺服驱动器、7 个交流伺服电机、人机交互模块、传感器模块、开关模块、指示灯模块和操作杆,其中:嵌入式中央控制模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息以及其它通过后者中转的信息,嵌入式中央控制模块与人机交互模块相连传输图像显示信息和用户输入信息,多轴运动控制模块与交流伺服驱动器相连传输电机控制信息,交流伺服驱动器与交流伺服电机相连传输电机驱动和电机编码器信息,多轴运动控制模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,多轴运动控制模块与指示灯模块相连传输状态信息,多轴运动控制模块与开关模块相连传输开关信息,多轴运动控制模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息。

[0024] 如图 2 所示,所述的嵌入式中央控制模块包括:系统界面子模块、状态监控子模块、网络通信子模块和运动调整子模块,其中:系统界面子模块与状态监控子模块相连传输系统运行状态信息,系统界面子模块与运动调整子模块相连传输系统参数以及位姿状态信息,状态监控子模块与运动调整子模块相连传输手动运动控制命令信息,网络通信子模块与运动调整子模块相连传输导航信息,系统界面子模块与人机交互模块相连传输系统参

数设定与状态显示信息,状态监控子模块与开关模块相连传输开关信息,状态监控子模块与传感器模块相连传输各运动关节极限位置信息和周边环境信息,状态监控子模块与操作杆相连传输手动操纵控制信息,运动调整子模块与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息。

[0025] 所述的系统界面子模块通过液晶触摸屏向用户提供图形界面并接受用户触摸、点击输入。通过该界面用户可以完成各项参数的设定,完成对系统的各项操作,并能实时监控系统的运行状态,包括:系统设定单元、I/O 状态显示单元、位姿显示单元、参数输入单元和坐标标定单元,其中:系统设定单元与人机交互模块相连传输系统设定信息,参数输入单元与系统设定单元相连传输系统参数信息,坐标标定单元与系统设定单元相连传输坐标信息,参数输入单元与运动调整子模块相连传输系统参数信息,坐标标定单元与运动调整子模块相连传输坐标变换矩阵参数信息,I/O 状态显示单元与状态监控子模块相连传输 I/O 状态信息,位姿显示单元与运动调整子模块相连传输位姿信息。

[0026] 所述的状态监控子模块随时监控系统状态,包括从多轴运动控制模块反馈而来的电机运行状态,从触摸屏输入获得的用户输入状态,从各传感器获得的其他周边信息,从各控制开关获得的用户设定信息。将这些状态信息经过一定的计算处理后通过液晶触摸屏显示给用户,并根据设定的条件触发报警和紧急停止等操作。该模块包括:逻辑控制单元、I/O 信号读取单元和 AD 转换单元,其中:逻辑控制单元与 I/O 状态显示单元相连传输 I/O 状态信息,逻辑控制单元与运动调整子模块相连传输运动状态信息,I/O 信号读取单元与逻辑控制单元相连传输数字量 I/O 信息,I/O 信号读取单元与开关模块相连传输开关信息,I/O 信号读取单元与传感器模块相连传输传感器检测的各种状态信息,AD 转换单元与操作杆相连传输操作杆输入的模拟信息,AD 转换单元与运动调整子模块相连传输操作杆输入的数字信息。

[0027] 所述的运动调整子模块包括:运动规划单元、运动控制器接口单元和电机状态读取单元,其中:运动控制器接口单元与多轴运动控制模块相连传输运动规划信息,运动控制器接口单元与电机状态读取单元相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与网络通信子模块相连传输电机状态信息,电机状态读取单元与位姿显示单元相连传输电机状态信息,运动控制器接口单元与运动规划单元相连传输运动规划信息,运动规划单元分别与参数输入单元和坐标标定单元相连传输设定的系统参数信息,运动规划单元分别与 AD 转换单元和逻辑控制单元相连传输操作杆的控制信号和开关信息。

[0028] 所述的运动调整子模块根据运行模式的不同,接受来自导航装置或者用户手动信号的运动控制命令。根据运动命令类型,在机器人关节空间或者笛卡尔坐标空间中对机器人的运动轨迹进行计算,包括机器人位置、姿态以及速度等。最终根据机器人运动学公式计算出每个关节电机的运动量,传送到多轴运动控制模块。本实施例涉及的机器人具有冗余自由度和“手把手”操控功能,这两项功能均由运动调整子模块来具体实现,具体如下:

[0029] 在正常操作中机器人第 3 关节保持在预先设定的角度不变,由其余 6 关节实现操作,与普通 6 自由度机器人相似。在操作中当医师觉得机器人姿态有妨碍时,只需轻触位于机器人腕部的开关,则控制器控制机器人末端执行器按原计划运动;同时控制整个手臂以肩关节与腕关节的连线为轴线转动,实现机器人肘关节的避让,直至医师觉得不再妨碍其操作,停止触碰开关。这种方式可在不影响机器人当前操作的前提下实现机器人手臂形态的实时在线调整。

[0030] 医师通过拨动操作杆调整机器人末端的位置和姿态,操作杆内置的电位器测量杆柄被拨动的方位和角度,通过 AD 转换输入到控制器。控制程序根据机器人运动学方法,依据机器人手臂自身的姿态计算操作杆的方位,控制机器人沿着医师拨动的方位运动;运动速度取决于拨动的角度,而角度则是由人手克服拨杆复位弹簧的力度确定的,因而可实现正比于操作力的无级调速,使得整个调节过程非常直观、自然,不需要任何额外的学习和训练。

[0031] 所述的网络通信子模块采用 TCP/IP 网络协议通过局域网实现与导航装置通信,接收来自导航装置的引导指令,并将自身状态反馈给导航装置,该模块包括:TCP/IP 接口单元、命令解析单元和数据上传单元,其中:数据上传单元与电机状态读取单元相连传输机器人位姿信息,数据上传单元与 TCP/IP 接口单元相连传输机器人姿态信息,命令解析单元与 TCP/IP 接口单元相连传输外部设备的命令信息,命令解析单元与运动规划单元相连传输运动控制指令和参数信息,TCP/IP 接口单元与局域网相连传输机器人姿态信息和外部的控制信息。

[0032] 所述的多轴运动控制模块采用现有技术中的 GTS-800-PV 系列运动控制器,通过 PCI 总线与嵌入式中央控制模块相连接,能接受来自嵌入式中央控制模块运动规划子模块的运动规划信息,按照给定的运动控制方法经计算处理生成伺服电机控制信号,通过信号电缆发送给各伺服电机驱动器,控制各伺服电机运动。由于多轴运动控制模块实时性高,还包括了若干数字输入/输出端口,可以处理实时性要求较高的外部信号。多轴运动控制模块将采集的各伺服电机的位置、速度等状态信号通过 PCI 总线发送给嵌入式中央控制模块,该信号作为决策判断之用。

[0033] 所述的交流伺服驱动器及交流伺服电机采用现有技术中的安川  $\Sigma V$  系列产品,接受来自多轴运动控制卡的控制信号,依据控制信号驱动机器人运动。

[0034] 所述的人机交互模块采用现有技术中的液晶触摸屏,是嵌入式中央控制模块的显示输出和触摸输入部件,包括:液晶屏和覆于其上的触摸膜部件,其中:液晶屏通过 VGA 接口与嵌入式中央控制模块相连,起到计算机显示器的作用,触摸膜通过 USB 接口与嵌入式中央控制模块相连,通过点触起到鼠标输入的作用。

[0035] 所述的传感器模块是机器人各轴极限位置传感器,采用微动开关检测机器人各关节是否到达极限位置,通过数字 I/O 接口传输到多轴运动控制模块。

[0036] 所述的开关模块包括:紧急停止按钮、运行模式选择开关和冗余自由度控制开关,其中:紧急停止按钮通过数字 I/O 接口与多轴运动控制模块相连,用于在紧急时刻停止机器人运动;运行模式选择开关通过数字 I/O 接口与多轴运动控制模块相连,用于切换操作杆控制模式;冗余自由度控制开关通过数字 I/O 接口与多轴运动控制模块相连,用于控制机器人冗余自由度以调整机械臂的姿态。

[0037] 本实施例在使用时可根据需要选择根据手动或者自动工作状态:

[0038] 机器人工作在自动状态时,嵌入式中央控制模块通过网络通信子模块接受来自导航系统的引导指令,经过解析,由运动规划子模块进行运动轨迹计算,通过多轴运动控制模块驱动各关节电机,让机器人实现手术前规划的预定动作。在执行过程中,主刀医师可通过开关模块随时终止机器人动作并通过操作杆对规划好的位置、姿态进行调整。此时嵌入式中央控制模块通过状态监控子模块读取来自操作杆的指令,经过运动规划子模块进行运动



轨迹计算,通过多轴运动控制模块驱动各关节电机,让机器人实现医师设定的调整动作。

[0039] 机器人工作在手动状态时需要一名操作员配合,由主刀医师通过操作杆控制机器人动作,此时嵌入式中央控制模块通过状态监控子模块读取来自操作杆的指令,经过运动规划子模块进行运动轨迹计算,通过多轴运动控制模块驱动各关节电机,让机器人实现医师设定的调整动作。操作员配合医师,通过系统界面子模块实现记录关键位置,设定速度、运动方式等参数,现场完成手术动作规划,并在主刀医师的口令指挥下启动机器人完成操作。这主要是考虑主刀医师在手术过程中不便完成计算机操作,可由护士或助手充任机器人操作员。

[0040] 本实施例有 7 自由度,冗余自由度便于与医师协同作业;可工作于手动或者自动工作状态,具有较高的自主性;结构开放,操作方式灵活;操作方便,定位精度高,尤其适用于手术中操控机器人的需要。

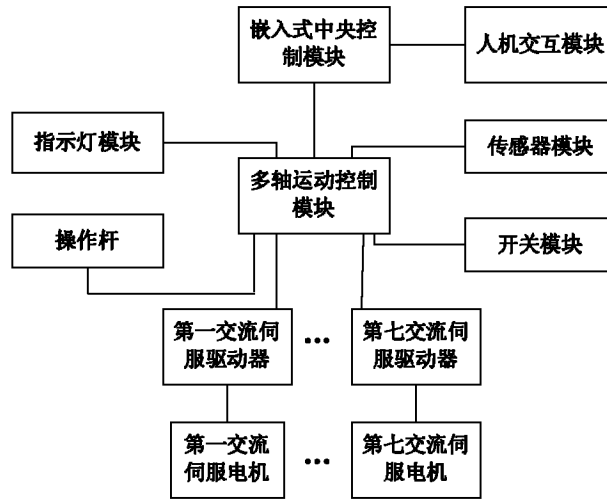


图 1

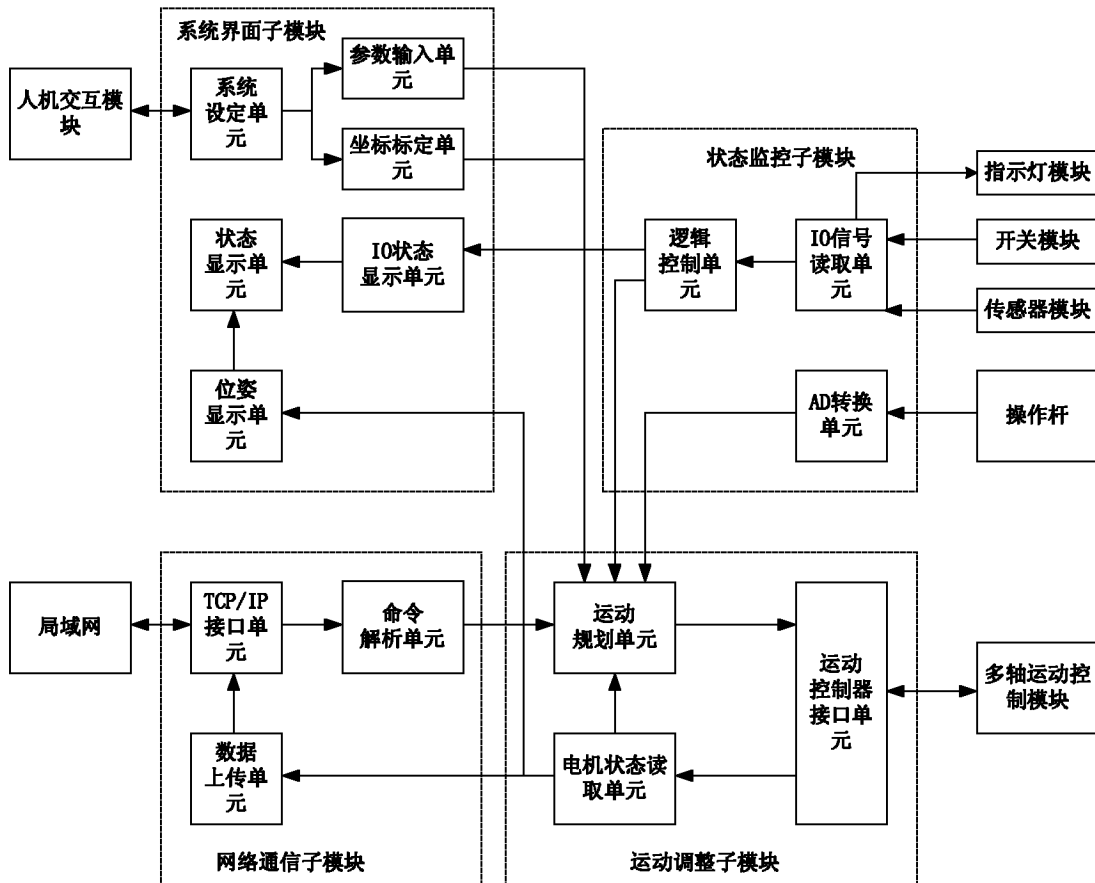


图 2