-【秘密】

**上海开普勒机器人 专利技术交底书**

案号： 填写日期：2024-11-19

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **■普通□紧急□重要**  申请类型：  **■**发明 □外观  **■**实用新型 | 产品公司：上海开普勒机器人有限公司 | | 技术秘密  请勿泄漏  违者必纠 |
| 部门： | 软件研发部 |
| 提交日期： | 2024-11-19 |
|  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **交底书名称** | 一种基于人形机器人自我中心视角的模仿学习操作策略方法 | | | | | | |
| **所属项目** | **■**规划项目（） □未来技术储备 □个人构思 | | | | | | |
| **项目名称** | **模仿学习与遥操作** | | | | | | |
| **所属阶段** | □预研 **■**正式立项后 □产品上市后 | | | | | | |
| **第一设计人** | 卢壮 | **身份证号** | 320324199511192319 | | | | |
| **共同设计人** | 陈春玉、陈宇涛、刘元豪 | | | | | | |
| **交底书撰写人** | 卢壮 | | | **公司对应专利人员** | | 李庆 | | |
| **联系电话** | 13077913395 | | | | **联系电话** | | 18622097061 | | |
| **关联专利** | ×××××××××××××××××××××××××××××× | | | | | | |
| **技术要点简介及备注** | 本发明专利是一种改进的模仿学习算法，基于ALOHA中的动作分块模仿学习算法，采用条件变分自动编码器（CVAE）框架，利用安装在机器人头部的单个RGB-D相机，获取操作任务的RGB和深度信息，通过此单摄像头视觉系统来对人形机器人的多关节（双臂、双手、颈部和腰部）进行控制。与传统的多相机方案相比，本方法成本更低，结构更简单，并能够完成复杂的操作任务。  本技术适用于人形机器人、服务机器人、协作机器人等领域，特别是在资源受限的环境中应用优势明显。 | | | | | | |

注：第一设计人或发明人必须是对该发明创造作出实质性贡献的人员。共同设计人必需有技术层面贡献，由第一设计人指定。

**技术交底内容**

**说 明：**技术交底书按技术内容，常见的可分为三类：产品类、方法类和电控类。方法类为完成发明任务所必须的实现方法、流程步骤和条件。而产品类技术交底按下述模板撰写，电控类需将各功能电路及之间电连接关系或信号传送关系，用画图框的形式抽象化为产品类。

|  |
| --- |
| 一、背景描述（现有的状况，碰到的问题） |
| 【填写说明】遇到的问题及现有的解决方法及其现有方法的缺点不足。  自主灵巧操作作为人形机器人领域的核心技术挑战之一，其实现依赖于多项关键技术的协同发展。高质量的自主灵巧操作需要具备以下几方面的能力：  精确的运动控制：确保机器人在执行复杂操作时能够稳定、准确地完成预定动作。  高效的运动规划：能够快速生成优化的运动路径，以适应动态变化的环境和任务需求。  细致的接触力协调：在与物体交互过程中，实时调整施加的力，确保操作的安全性和有效性。  闭环的视觉反馈：通过视觉系统实时监控操作过程，进行动态调整和优化。  实现上述功能通常依赖于高端机器人平台、高精度传感器以及先进的校准算法。然而，这些技术的集成往往伴随着高昂的成本和复杂的实现难度，限制了其在广泛应用中的推广和普及。  当前，模仿学习在双臂操作任务中已经取得一定进展。然而，现有方法普遍存在以下局限性：  依赖多摄像头系统：现有模仿学习方法通常依赖于多个RGB摄像头进行环境感知和位置信息采集，且多采用机器人本体之外的第三人称视角。这不仅增加了系统的复杂性和成本，还对安装环境提出了更高要求。  外观设计不美观：例如，ALOHA算法通过在两个手臂末端和正前方、正上方安装RGB相机，以获取多角度的视觉信息。尽管这种方法在低成本机器人平台上能够通过少量的人类专家演示实现较好的模仿效果，但手臂末端的RGB相机增加了人形机器人的外观负担，影响整体美观性。  控制范围受限：现有算法通常仅控制双臂的少数关节，未能充分发挥机器人全身的运动潜力。这限制了操作任务的复杂性和精确度，使得机器人难以完成更加复杂和精细的操作任务。  数据处理负担重：多摄像头方案需要传输和处理大量图像数据，导致系统延迟和功耗显著增加。这不仅降低了系统的实时性，还对能源效率提出了挑战。  缺乏力控信息：现有方法主要依赖关节位置信息进行控制，缺乏对接触力的监测和反馈。这限制了机器人在操作过程中对力的精细调节能力，影响了操作的稳定性和安全性。  综上所述，现有的模仿学习方法在实现自主灵巧操作方面虽然取得了一定进展，但在外观设计、全身运动控制、数据处理效率以及力控制等方面仍存在显著不足。因此，亟需一种新型的模仿学习方法，能够在降低系统成本的同时，提升操作任务的复杂性、精确度和系统效率，从而更好地满足人形机器人在多样化应用场景中的需求。 |
| **二、解决方案（方案附图与部件描述）** |
| **1、方案附图（插入Word中图文件对象或外部另附可编辑图纸文件）**  【填写说明】每个图下方标注数字图号及简单地对图的命名。图1选定为最能表达方案内容的附图。图中加数字标号指明各个部件。最好不要直接在图中加文字说明，不相关的部件不需要画，简单方案的图可以直接用示意图。附图请提交AutoCAD格式（2000、2004、2007版）、Word绘图、VISIO、ProE等可编辑图形。  为了解决上述问题，本发明采用的技术方案如下：  如图一所示为方法工作的示意图。首先，为人形机器人设定任务目标，例如抓取物品、搬箱子、  整理桌面等；接着，通过遥操作进行专家演示并进行数据收集；然后，构建模仿学习算法并进行训练；最后，将训练好的模型部署在边缘计算平台进行动作序列的预测，从而实现人类演示的动作复现。    图1  如图2所示为详细的基于人形机器人自我中心视角的模仿学习操作策略的方法：  本方法工作流程包括六个步骤：1. 设定任务目标；2. 遥操作进行专家演示；3.数据集采集；4. 模仿学习算法构建与训练；5. 模仿学习算法真机部署；6.结果反馈。    图2   1. **设定任务目标**   步骤1：接到任务需求。  步骤2：根据任务需求进行动作分解，单个动作的时间在60秒以内。 步骤3：形成多个任务目标。   1. **遥操作进行专家演示**   步骤1：演示者针对任务目标开始进行动作演示。  步骤2：通过动作捕捉设备、VR设备或者RGB等设备实时获取演示者的人体关节位姿。  步骤3：将人体关节位姿重定向到人形机器人。  步骤4：人形机器人执行关节位姿控制，实现与演示者的动作跟随。   1. **数据集采集**   步骤1：在动作演示时全程记录机器人的关节位置、深度相机的RGB图和深度图、双臂末端力。  步骤2：将步骤1中所述的各数据进行时间对齐。  步骤3：一次动作演示的数据按照hdf5协议进行保存。  步骤4：每个任务目标重复进行100次演示。  步骤5：为每个任务目标获得数据集。   1. **模仿学习算法构建与模型训练**     图3   * 1. 模仿学习算法构建   如图3所示为本专利所构建的模仿学习算法框架图，该算法基于条件变分自编码器，分为编码器和解码器。图3左边为编码器，将关节位置、末端力、动作序列通过transformer编码模块压缩成风格变量，编码器仅在训练时使用。图3右边为解码器，通过transformer编码模块将RGB图、深度图、关节位置、末端力、风格变量进行合成，其中深度图通过原始的单通道深度图复制三份再进行通道拼接获得，再通过transformer编码模块预测一个动作块的动作序列，解码器在推理部署时使用，且在推理时风格变量设置为标准正态分布的平均值。   * 1. 模型训练     图4  模型训练时先通过编码器获得风格变量，如图4所示，动作序列通过线性层1映射为512维特征，并进行正弦位置编码，公式如下：  编码器模型权重矩阵通过线性层2映射为512维特征，获得；关节位置向量通过性层3映射为512维特征；末端力向量通过性层4映射为512维特征。获得风格变量之后通过解码器进行动作序列预测，如图5所示，原始深度图的大小是，复制成三份，按照通道进行拼接，即得到和RGB相同的大小，接着对RGB图和深度图进行归一化，即RGB图的所有元素除255，深度图的所有元素除65535，然后通过预训练好的ResNet18对RGB图和深度图进行特征提取，分别获得的特征图，再将前两维展开成，通过线性层6映射为512维特征，同样也要进行正弦位置编码。同时关节位置向量通过性层7映射为512维特征；末端力向量通过性层8映射为512维特征；风格变量通过性层9映射为512维特征。  总体步骤如下：  步骤1：获得数据集。  步骤2：设置动作块的步骤数k，一般为在采集数据时2秒左右的采样步数，由于目前大部分消费级的RGBD相机的频率在30Hz，所以k建议设置为60。  步骤3：设置权重参数。  步骤4：初始化编码器模型权重参数，其中代表t时刻k个步骤的动作序列，代表t时刻关节位置、末端力的观测。  步骤5：初始化解码器模型权重参数，其中代表t时刻k个步骤的动作预测，代表t时刻RGB图、深度图、关节位置、末端力的观测。  步骤6：从数据集中随机抽样出一组和，其中。  步骤7：将和输入到编码器模型，获得风格变量  步骤8：将风格变量和输入到解码器模型，获得动作预测  步骤9：计算和之间的均方差，获得重构损失  步骤10：计算风格变量和标准正态分布的KL散度，获得正则化项  步骤11：计算总损失  步骤12：使用ADAM优化器更新编码器和解码器模型权重参数  步骤13：重复步骤6~步骤12，进行n次迭代，一般n设置为50000    图5   1. **模仿学习算法真机部署**   通过PyTorch框架得到训练好的模型文件一般为ckpt格式，借助onnx工具可将ckpt格式的模型转为onnx格式，再通过TensorRT工具将onnx格式的模型转为trt格式，在部署在如Nvidia Orin NX开发版上。具体步骤如下：  步骤1：获得训练好的编码器模型  步骤2：为每个任务目标设置推理步长，一般设置为该任务目标对应的数据集中最长演示的步骤数  步骤3：设置指数加权系数，一般为0.001  步骤4：创建一个大小为的队列，其中代表对时刻所有预测，代表关节数量  步骤5：获取时刻的观测  步骤6：输入到解码器模型，获得时刻k个步骤的动作预测，其中风格变量设置为0。  步骤7：将填充到  步骤8：从队列中获取时刻的所有预测  步骤9：对进行指数加权，获得时刻的最终预测，其中  步骤10：按照执行关节位置控制  步骤11：重复步骤5~步骤10，依次对时刻进行动作预测并执行   1. 结果反馈   这项发明致力于解决人形机器人自我中心视角的自主灵巧操作问题。我们设计了基于条件变分自编码的模仿学习方法，该方法基于Aloha算法进行改进。为了更好的适应人形机器人的形态，将原来多个视角的RGB相机改为了头部单个RGBD相机；将原算法仅双臂14个关节扩展到人形机器人双臂14个关节、双手12个关节、颈部2个关节、腰部2个关节一共30个关节；增加了末端力控信息，为灵巧操作时提供接触调节；在数据预处理阶段对图像进行随机改变亮度、对比度、饱和度增强，并随机改变RGB通道排列，增强了算法对环境变化的鲁棒能力。实验结果证明，该方法在人形机器人上半身自主操作任务中具有良好的效果。 |
| **三、原理效用（说明方案工作原理及用此方案所能解决的问题）** |
| 【填写说明】描述之前的模式及问题，而此方案通过什么原理实现什么效果，解决了什么问题。  本方法是对Aloha算法的改进，原方法是应用在双臂+二指夹抓的机器人上，关节自由度是底盘移动的两个自由度+机械臂各6个自由度+夹抓各1个自由度一共14个，相机是两臂末端两个RGB相机+正前方视角1个RGB相机和俯视角1个RGB相机一共4个。本方法去掉了原来的多个RGB相机，只用头部一个RGBD相机，并通过深度图复制拼接达到和RGB相同的3通道，在通过预训练的resnet18进行特征提取，这使得人形机器人更加拟人化，因为人类的手腕部及胸部是没有眼睛的。本方法在Kepler K2人形机器人上进行落地，将远来的关节自由度进行扩展，通过对网络结构进行调整由14个自由度扩展到人形机器人上半身的30个关节自由度，包括双臂各7个自由度，双手各6个自由度，颈部2个自由度和腰部2个自由度。为了更好进行接触力调节，将双臂两个末端的6维力传感器信息加入到网络中来，力反馈的加入使得接触操作相对更柔和。由于光照的影响，本方法使用了对图像的增强处理，包括随机改变亮度、对比度、饱和度增强，并随机改变RGB通道排列。 |
| **四、扩展方案（选填）** |
| 【填写说明】发散思维，请想一下此方案还可用于哪些领域，或者哪些部件可以被替换，或可进行哪些改进。  本方法可以应用于其他人形机器人上半身的模仿学习操作任务中，只需对网络进行修改。除此之外，本方法还可以扩展到人形机器人下半身的行走、下蹲、转弯等任务的模仿中。 |
| **五、保护要点（选填）** |
| 【填写说明】若有可能请描述下您希望重点保护的，您认为重要的技术特征、技术点或方案。  本方案仅使用了一个RGBD相机且在模仿学习操作过程中引入了末端力反馈信息。 |
| **六、其他说明（选填）** |
| 【填写说明】时间是否紧迫，是否有相关的专利在申请、是否参考现有的文献等其它备注说明。 |

**撰写要求说明：**

1、有关专利内容请先与产品公司专利负责人初步沟通；

2、请在预计受理日前至少一个月前向本公司专利负责人提交技术交底书；

3、文件交底书在申请受理前，需经技术负责人审阅，严禁外传，降低技术秘密泄露风险；

4、由发明及撰写人撰写此技术交底书，及对专利有技术贡献人能答复技术问题；

6、表单解释和模板修定归属公司。