2 Related Works 3

2.1. Haptic Survey PA Model . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

在以往的有关haptic的文献或者项目中，也都大量地互相提及到力触觉设备的种类和特点，但是每篇的分类方式都有所不同，而在一份关于力触觉[[1]](#footnote-0)的详细报告中指出了用于判断和衡量力触觉设备的两个重要影响因素分别是”Physicality”力触觉设备和目标物体之间的物理性是否一致，以及 ”Actuation” 既该设备是否依靠了伺服器驱动来实现力觉效果，该报告根据这两个特征，将所有力触觉技术分为了四个板块，举例来说，涉及到形状模拟的力触觉技术首先没有设备在物理外观上就与目标物体不一致，并且由于是基于力视觉模拟的理论上，整个设备中没有使用伺服器或者马达，既会归为第一象限(NN)。而在广泛利用机器人技术到达目的的力触觉技术，例如使用机械臂来实现虚拟空间物体的力触觉模拟效果，在物理性和驱动性两个因素上都与目标物体相同，所以被划分为第四象限(YY)。而在只注重单一表现上，以第三象限中为例，触觉技术展现了和目标物体相同的物理属性，但是没有使用驱动技术，例如伪触觉和视触觉技术，多是根据改变视觉参数（光照、纹理）或是根据追踪器来展示不同的效果（Optitrack, HTC trackers）

2.2. Research Objectives . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

虽然在上文中提及了PA模型理论，可以用于划分力触觉技术的分类，但本研究主题在思考之初就有较多思考倾向于使用部分机器人技术在实现成本上的可行性是最高的但是研究的目的将不会是与现实中相同的物理效果，所以利用pa模型虽然得到了理论知识的补充，但是对自身的研究分析上没有明显的成效，而在参考PA模型之后，根据力触觉的研究目标将相关的力触觉技术划分为以下四个区域。物体表现，用户影响，力学过程表现，以及创新型交互方式。关于判断的逻辑如下是

否在现实中已有的交互模式

是否需要借助多个不同的虚拟物品展现力觉效果

使用场景下的用户动作是否是动态的

2.2.1 Object . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

该种类型下的力触觉设备主要以虚拟物品为对象，旨在产生或者改变新的物体属性，

例如利用线缆将用户手部和用户身体的固定，来保持一定的范围从而让用户感受到复杂多边形的轮廓。 通过橡皮绳和重物组件来模拟物品的阻尼震动，对于漂浮物体和容器物体有着明显的力反馈作用。 利用形状错觉来改变力触觉感知信息来模拟与实际外形不完全相符的虚拟物品 利用可变形的力触觉设备实际代表在虚拟空间下的手持物品 通过调节CMG设备可变扭矩来展现不同物体的惯性和粘度等物理属性 通过EMS设备对肌肉的限制来展现重物或者墙体等质量较大的物体 通过转轮的旋转来表现在桌面的纹理和粗糙 小型化的设备通过输出物品的阻力来展示物品的坚硬度 通过改变设备的外形来模拟不同体积大小的虚拟物品

2.2.2 User . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

而与物体相对应的是力学设备对用户自身做出影响，注意这里的设备使用和运行的过程中，没有涉及的任何的虚拟物品，也就是在该类型的场景中没有任何的物品做为交互媒介和对象，而该类型的力学设备不仅仅作用于用户在虚拟空间的动作支持，还可以做为日常运动的辅助设备。例如 通过手部外骨骼可以增强用户在虚拟环境中的运动，也可以做为帮助用户进行康复训练为目的的辅助设备。 利用多驱动器和固定式设备实现了用户在虚拟空间中对指定位置和动作的力学提示效果。

2.2.3 Force Generation . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

除了将实现对象聚焦在物体自身属性和用户动作上，还有一批haptic技术更加注重”力”的实现，力在基本定义时说明了是在两个物体之间的相互作用所产生的结果，在概念上具有代表性的有

在冲击力方面被广泛引用的利用ems和电磁铁共同作用的冲击力模拟

除了通常的阻力之外，实现了在3dof上的力觉反馈

同样利用空气动力完成了在方向性上的方向性力觉反馈

以及气动力实现用户全身范围的冲撞和碰撞力反馈

还有和接触的阻力不同，通过橡胶实现了持续性阻力

以及来通过小型的刚性物体能实现较为细节的物体抓取和移动

同样还有利用离心力的变化来描述用户的抓取和投掷动作

当然在上述的以虚拟物体为目标的技术中，有重合的部分力学技术虽然是通过产生模拟阻力可以表现物体的坚硬程度，但本质上还是模拟产生一个物体与另一个物体之间的相互作用力，

当然做为以阻力为输出目标的研究课题也比较完整，比如通过实现两个线性马达表现了两个杠杆之间的阻力，来模拟类似于剪刀的阻力效果

利外骨骼技术控制和帮助手掌行为，通过描述阻力实现对抓取和拧转等动作

2.2.4 Innovative Interaction . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

还有一类的力触觉项目虽然可以按照研究目标划分，但是由于这些这些研究的概念极为先进，预测性或者创造性了一些我们无法在现实生活中模拟

例如突破性将物体赋予兴趣属性的

以及研究力触觉在混合现实中的应用

还有结合VR的触觉人机交互的

等都是通过触觉技术手段启发性的创造了一些较为先进的人机交互系统。在这一点上也同时启发我们是否可以利用新的技术手段来达成之前我们所没有的力觉新体验，以及思考伴随这些新体验所带来的解决方案。

2.3. Manifestation Form . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

除了以研究对象为分类标准外，设备的表现形式也可以分为固定式和非固定式两种方案，

2.3.1 Grounded . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

固定式设备是通过物理的连接链接至外部设备，或者被固定在某个静态结构上，例如地面或者桌面，通常固定式设备需要使用大型的外部设备提供动力源，例如气泵L 或者驱动伺服机所需的电机，L或者是空间追踪器所需的基站，L并且在设备的实现原理上也多是使用机械臂或者相似的机械结构，L

2.3.2 Ungrounded . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

相对的，不进行与外部设备相链接的被称作非固定式，也是目前研究的主流方向，并且在研究内容与固定式相比，更加注重虚拟空间中具体细节的表现，通常非固定式设备利用例如震动子L 小型电机L 等对电源输入要求不高的原理装置，或者是通过伪触觉来实现目的的设备，例如视力触觉，关于伪触觉的报告文献L中调查的项目大多是非固定式设备类型。根据更加具体的使用方式，非固定式设备还可以向下细分为例如手持设备、控制器设备、以及穿戴设备，

手持设备就是指用户可以直接用手体验的设备，设备的体积大小没有明显的、=倾向，手持设备可以是做为独立设备例如[[2]](#footnote-1)，还有一部分的力触觉设备是以手机做为交互对象，通过附在手机的背部来达到手持的目的[[3]](#footnote-2)

控制器类型就是在输出的同时也能做到输入信息，通常较为常见的使用场景为力学设备组件附加到现有的控制上例如气动L 或者设备自身嵌入的传感器来进行力学信息例如抓取的用力程度L的输入而不仅是普通手柄的摇杆或者按键输入

除此以外还有相当一部分的穿戴式力觉设备例如通过在手臂部位装置橡皮筋L 以及利用EMS为技术原理实现的相关研究L 还有例如该设备聚焦于用户的腕部运动和力反馈，该系统在进行力觉表现的同时也可以通过驱动限制用户的手臂活动范围L

结合目前的市场发展趋势，包括对力觉手套概念的火热讨论，力觉手套也会成为新的研究趋势TBD

2.4. Self-motion . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

在上述的描述中，回顾了很多不同种类的力学设备，而对于专注于运动感知的力触觉设备的主题也有部分的文献进行过类似的研究，首先在L中通过固定的力学设备向用户的手部传递在与虚拟空间中相同方向矢量的力学向量，证明了在和没有提供力反馈的情况相比，提供力反馈的情况下用户对于运动感知信息更加的明显，这种反馈可以有效的增强用户在虚拟环境下的更加真实的体验。但是这个项目使用了在市面上贩卖的大型接地力觉设备，本次的研究主题主要以小型化设备，用户切实可以随时使用的情况下进行考虑，并且在上述研究中，对于在位移方向上的表现，使用了倾斜式设计做为表现方式，这和本次研究设计中的滚筒式设计有着巨大差异。

类似的还有L，该研究主要探讨了在被动视觉的情景下，是否提供在旋转向量上的力学表现的反馈情景和仅提供视觉上的反馈情景会对用户在旋转向量的判断上产生影响，并且是积极的影响，换句话说用户在触觉反馈下对旋转向量的描述会比视觉反馈下的描述会更加精准。这是因为触觉反馈可以帮助用户补全记忆轨迹中没有获取到情报的部分，虽然情报的整合在用户的处理时间上有所增加，但是在准确性和完整程度上有所增强。

除了在上述两份以理论研究与证明的研究之外，还有部分自行设计与生产的运动状态表现用的力触觉设备，例如L将6dof上可移动的机械设备安置在用户的颈部和左右手的三个位置，全方位模拟用户在虚拟空间中第一视角下的运动信息，包括线性速度和旋转速度。但这种触觉方案由于颈部的装置强制提供的前庭信息可能会和视觉信息相冲突导致，所以在L中使用旋转向量来表达前进或者后退的方向向量，这种设计方案可以有效的减少模拟器疾病。

也有部分研究人员考虑到更加灵活多用的使用设计方法，例如在L中利用6dof上可以自由运动的机械臂和用户的手柄相链接，通过机械臂的拖拽等物理推拉力，从而来模拟在应用中的受力情况，在这份研究中也被证明这种方法和仅使用视觉相比，用户更加能感受到自身的运动感觉。

2.5. AI driving . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

因为本次项目的应用场景将设计为模拟驾驶环境，在验证完成本次设计的有效性之后，还将会对未来可能的影响进行较为初步的实验和探索，其中就包括了在感受到载具自身的运动状态之后是否可以增强用户和载具之间的联系感，例如在这篇论文L中被提及在自动驾驶环境下，系统运作的透明度和动作后果的责任是否会对整个自动驾驶交互系统产生影响，在自动驾驶环境下用户是否可以信任自动驾驶系统。另外在系统设计上，随着自动化驾驶系统的接入，新的交互界面和交互方式如何发展，在文章中也被提及，新的交互方式会极大得影响用户的信任度，再例如LPD接口L的提供了较为创新的设计思路，将虚拟的图标投射至挡风玻璃上，还有L设计了在自动驾驶环境下用于检测和及时调整当前行动模式的态势感知系统。而在触觉的解决方案中，虽然没有对载具自身运动信息的输入输出功能，但是在这份研究L中讨论了在自动驾驶环境下调整载具控制权的触觉设计方法。

通过对上述提到的力触觉相关的论文和文章中，不难发现在功能上还是以静态物体为研究对象，或者是常见的力学现象，例如阻力，冲击力，碰撞力等等为主要的实现功能。而在设计偏好以及实现方法上也都以非固定式的表现形式，来更加方便用户的使用，更加贴合现实中的表现形式，力学渲染可以做的更加具体和细节，以及最重要的是可以灵活使用，有机地与虚拟现实技术相结合。此外对于本次的研究主题，在自运动物体的运动状态力学显示上，虽然没有完全相同的解决方案和课题，但是也是有较多的研究人员从不同方面和角度来考虑相近的课题。

1. ”Can I Touch This?”: Survey of Virtual Reality Interactions via Haptic Solutions [↑](#footnote-ref-0)
2. Haptic Handshank – A Handheld Multimodal Haptic Feedback Controller for Virtual Reality [↑](#footnote-ref-1)
3. Haptic Edge Display for Mobile Tactile Interaction [↑](#footnote-ref-2)