**技术分析 - 机械系统与运动控制**

**前言**

机械系统是机器人的基础部分之一，它决定了机器人能否运动、能以什么样的形式运动、运动的性能如何。机器人的其他重要组成部分是传感器系统与控制算法，主要功能是感知信息并计算出期望的运动方式。

在一个机器人系统中，机械部分和算法部分的复杂度是不确定的，这一比例主要取决于机器人的用途，例如是更偏重于智能感知，还是灵活运动。我所在的主题组所需要研究的人形遥操作机器人，在机械部分的主要目标是实现具有较高灵活度的、仿人的动作，但不需要很高的速度和精度；而在运动控制部分，期望的主要功能是模仿操作者的动作，理论上不需要很复杂的闭环控制系统，在机械结构精度足够的情况下开环控制足够，但要求有较好的实时性。

一个机器人的运动性能是由机械系统和控制系统共同决定的，使用更优化、更多功能和更高效的机械结构可以简化控制算法，而使用更完善的传感器系统和算法则能够在当前的机械系统上达到更好的效果。然而，这两个方面需要相互协调，达到平衡，如果一个方面性能较差，有可能是无法弥补的。

**机械系统——以T-HR3和NAO机器人为例**

**整体动作**

机器人的运动主要在于关节的转动，多使用伺服电机实现。为提高转动的精度，或者是对力量的控制，还可以在关节处加入角度或扭矩传感器，形成局部闭环。

例如T-HR3机器人的29处关节和主控系统的16个部位内都安装了带扭矩传感器的扭矩伺服模块，可以精确控制动作带有的力度，并能够反馈给控制者。而规模较小、结构相对简单的NAO机器人则在肢体处安装了压力传感器和触觉传感器。

**自由度**

T-HR3和NAO都属于仿人机器人，具有较多的运动自由度，例如手、四肢的多个关节，而每个关节的伺服电机旋转角度与人接近，甚至具有略大于人的旋转角度。但在每个自由度上，电机旋转的速度，即关节的灵活性往往不及人。

**运动控制**

**底层控制单元**

仿人机器人的底层控制单元是伺服电机以及相应的控制器件，可能配备有相应的角度、转矩、压力等传感器，使得该电机输出期望的角度或力量。

加入局部闭环控制可以在一定程度上提升控制的准确性，但整体的控制性能主要还是取决于使用的电机的精度、速度、转矩等参数。

轻便小巧的伺服电机往往性能较差，而如果需要实现高性能的控制，则所需的电机往往体积和重量较大，且成本高，无法安装进一些精细的结构中，例如机器人的手，因此在执行器的选择上需要进行平衡和取舍。

**整体动作控制**

为了让机器人实现某个特定的动作，需要让各伺服电机同时转动到设定的角度，给出设定的转矩，并且一些精度要求较高的动作还需要各电机之间有较好的同步性。

T-HR3这类直接模仿操作者动作的遥操作机器人，可以直接读取测量自操作者的关节角度，并控制电机东部转动即可，因此对电机控制同步性和传输延迟比较敏感。而NAO机器人是完全可编程的，则需要编程者事先设定好期望的动作和角度。

**自主动作的实现**

T-HR3还能实现全身协调平衡控制，被人或者周围的物体碰到也能保持自身平衡，并且还配备有主动规避干扰功能，能够避免与其他机器人或者控制者接触。另外，NAO机器人也具有防自撞、倒地前使用手臂进行自我保护、摔倒后自行站立的功能。

这类复杂的功能则需要额外的整体感知器件，例如利用陀螺仪测量当前的姿态角，利用加速度计测量运动趋势，利用红外或超声波传感器感知周围的障碍物，甚至可以识别出动作上有冲突的指令并进行智能的管理。同时，还需要设计者对机器人的系统模型有较好的认识，因此才可以在一些极端或故障情况下实现一些自主动作控制。