首先是车身设计与运动控制部分。

车身设计我们基本沿用了详细设计里的大部分内容，包括整体的车身结构和具体硬件的排布方式，根据后续组装的情况对于某些细节做了一些修改。车身的优点也在最后的功能实现里尽数体现了，比如我们较小的车身方便了避障时的穿行，车身前方同时作为超声支架的外包围，很好地保护了机械臂与车轮，因此在避障时可以承受大量的碰撞而不会影响车体运动。为了保证openmv能够顺利地完成任务，我们加高了第三层的高度扩展视野。在布线方面，我们通过二层板中央的面包板，既固定了蓝牙和imu，也将各个模块的供电与电源模块相连接，间接避免了杜邦线纠缠不清的状态。

（机械臂部分）

当然，由于我们对于机械结构的设计尚未经过真正系统性的课程训练，所以在设计中还是存在过于理想化的状况，导致装配时遇到了一些难度比较大的情况，结构设计在装配友好性方面还存在一定的优化空间。

运动控制作为智能小车下位机编程调试的重点内容，我们也花了一定的精力调整小车的电机转动，采用了传统的增量式PID闭环控制算法。我们原本也将模糊PID算法纳入考虑范围，但是这种方式在我们的赛道上相对传统PID并没有优势，徒增复杂度，因此没有采用。首先，将编码器测速值通过线性变换使得量纲与占空比相同，从而方便参数的调整（可以轻微举例）。为了尽量保证电机转速在连续变换条件下的稳定性，我们采用了一套相对而言比较温和的pid参数，尽可能避免转速的跳变。在遥控方面，为了保证运动的精度，我们采用按下按键时电机转动，松开按键停止的方式。运动包括前进后退，向左原地旋转和向右原地旋转，以及机械臂的升降与开合，基本可以通过遥控完成所有动作。对于具体的巡线过程中的速度调整，我们沿用了详细设计中的方案，采用类似于增量PID的算法，根据OpenMV发送给下位机的多次横向偏差数据，按照设定的参数计算出轨迹的曲率，再转化为曲率半径和转向角速度，从而进行差速转向。但是在调参的过程中我们发现，这里的PID算法的参数随着一些客观条件的变化会不断发生改变（可以举例），因此需要较长的调试周期。避障环节内的运动控制则相对复杂很多，因为涉及到很多微调的小动作，所以如果要在50ms一次的控制周期中完成这些单独的动作，我们应用了大量的标志位去标识这些动作，例如定角度旋转、以及转向之后的短暂停留等等。例如我们要旋转某个固定角度，就计算出旋转这一角度需要的周期，然后通过标志位每次循环自增1，达到目标次数后归零的方式完成旋转动作。同时为了防止电机在正反转交替的过程中产生跳跃带来不稳定性，我们在每次旋转或者后退动作的前后加入短暂的停车稳速。

在详细了解并理解的超声波传感器的工作原理后，我们最终选择了让四个超声在一个检测循环内轮流检测的方式。一层考虑是超声波本身的传播具有不确定性，同时收发会导致超声之间的相互影响。第二层则是根据仪器的使用说明，两次测量之间需要间隔一段时间（通常是69ms）才能较好地发挥作用，轮流检测的方式可以使同一个超声两次检测间有足够的时间差，又能更好地保证准确性。我们在超声的调试过程中也遇到了很多问题，首先就是有一个超声本身十分不稳定，测量误差有时相当大，会对避障产生不利的影响，限于条件我们难以很好地克服这一客观限制，但可以通过滤波以及多次测量取均值降低误差。另外则是由于小车本身有速度，在惯性的作用下在停车后依然会向前行进一小段举例，在避障过程中遇到死胡同时可能造成不利影响，这一点我们通过增加避障算法的判断条件解决了。第三则是障碍物外表的不规则性（例如圆柱状、方形柱的棱角），超声波很难对这些情况产生效果，很多组也在这样的地方产生了问题，由于调试时间较短，我们很难在硬件上做出性能的提升，因此我们在算法上加入了三向贴近后后退一小段距离再通过imu重置方向的手段，基本能够解决这一问题。

最后来聊一聊我们在课程项目设计与实现过程中的几点心得。在硬件设计方面，要综合考虑后面任务实现里可能需要的性能，同时不可或缺的还有具体装配的简便性，对于非标机械结构的拿捏有待提高。其次，对于各个硬件模块的需求与性能要做好充分的调研，保证足够满足需求，否则到项目后期考虑更换会非常麻烦。此外，在项目推拿过程中对于各个硬件的测试一定要提前留出充分的时间，否则硬件存在未被发现的问题到集成调试时期会很致命。最后在硬件布局时也应当考虑布局合理方便布线与拆装。在软件模块的设计上，首先要规划好上位机下位机各自的职能，并在充分讨论后决定通讯方式与内容，制订完备的通信协议，避免信息交流的冲突。其次在程序结构的设计上要充分考虑设备的算力和程序任务的合理分配，例如什么部分放在中断里，什么部分放入主循环，什么部分需要封装成函数，以及各种变量的存储方式等等，在编程初期就要做好规划。最后就是在算法设计上要着力追求参数的严谨性和情况的完备性，要通过理论分析与实际调试细致地分析出可能遇到的各种情况并作出应对。除了软硬件设计本身，小组合理的分工合作也相当重要，在各司其职的同时及时交流进展、通力协作，是保证项目按照进度规划顺利推进的基础，如图就是我们小组基本的分工合作。实际上小车的每个部分的完成，都包含着我们组三个人共同的努力。