我们按照老师详细设计讲解的顺序进行介绍，分为以下四个部分：

首先是机械结构详细设计。

在车身总体方面，经过几天的深入了解与设计，我们最终采取的方案与第一次汇报时有了很大的改动。首先是放弃了麦克纳姆轮而采用普通车轮，原因有三点：首先是麦轮与地面的硬接触，摩擦力较小，采取软质的车轮有利于控制打滑，相应地在转向控制上也具有优势。采用差速法转向相比麦轮在算法上复杂度有所降低。此外，麦轮驱动需要更大的电机，小车自重与耗能也随之增加，在保证功能实现的前提下采用普通车轮更加合适。

此外，我们本来打算采用两个驱动轮加两个牛眼万向轮的结构，经过老师的提示改成了两个驱动轮加一个万向轮的三轮结构，原因在于四轮小车车轮难以共地会造成轻微颠簸的问题，由于小车机构的限制我们难以做出悬挂机构保证四轮小车车轮均保持接触地面，改为三轮保证了行驶过程中的稳定性。同时三轮结构也能很好地缩小车身尺寸，最终我们设计出的车身的外轮廓为200mm×200mm，是一个正方形，规整的形状和尺寸较小的车身有利于避障时规避物体，同时在计算时车体的抽象建模更加容易。

在车身分层以及硬件位置安排上，我们基本保留了原方案。

车身的3D建模与尺寸设计以及全部完成如图所示。

为了保证在抓取、行进过程中车身姿态稳定不翻倒，对于各种情况下的车身重心的近似估算也很重要，计算过程如图。由于万向轮在小车后方，因此在平衡校核时主要考虑向前倾倒的情况，因此在满载平置的时刻转轴前方压力最大（即上图中x4的情况），综合考虑到其他部件的自重以及对于车身其他运动状况下重心平衡的要求，我们最终确定x=40mm，即电池组的重心距离车位78mm，基本可以满足各种运动情况下小车的平衡。

对于抓取结构的设计，我们基于原有的方案在结构上进行了优化，重点突出轻量化和小体积，最终如图所示，在具体的结构设计上，对于手爪的每个爪体用两个转轴连接，实现转动完成抓取。上部的轴一端固定，一端与手爪连接，下部轴一端与手爪连接，一边为齿轮，两侧由一个舵机驱动，通过齿轮传动同时驱动两个手爪。

我们对于抓取机构能否达到要求做了校核，经过对于模型的简化，在夹取时水平状态下，竖直方向上对物体的摩擦力最大，此时对动摩擦因数要求最高，依据机械臂的力学模型以及SG90舵机的扭矩得到此时对物体的夹紧力为1.34N，由物体质量算出动摩擦因数μ≥0.183。由此可得，只要手爪与物体接触面不过于光滑，在初始时刻能够顺利夹取物体。对于MG995舵机，我们简化机械臂受力为下图，假设机械臂的总重量40g，机械臂的重心在整个臂长的中点。容易得知在θ=0时F0与FG对o点的合力矩最大，为0.96kg·cm，远小于MG995舵机在5V下的工作扭矩13kg·cm，因此MG995舵机的性能绰绰有余。

下面进入硬件单元详细设计，

首先是主控板的选择，我们对主控板的需求主要包括基本的数据运算、生成PWM信号、基本I/O、串行通信与数据收发等等，对于算力有一定的要求。由于智能小车中主控板需要控制比较多的硬件，因此对于引脚数量需求较高，在满足上述条件的基础上尽可能减小尺寸、降低成本。因此我们选用老师提供的stm32F103VET6开发板作为主控板，可以看到它有丰富的功能和引脚资源，在对外接口的种类上也有一定的丰富性，能够满足我们的需求。

在执行器的性能分析上，前面已经进行过舵机的分析，这里再补充一点，舵机的功率一般不高，可以通过单片机的引脚输出PWM对于舵机直接进行控制，电流足够。对于我们选用的25GA370带编码器减速直流电机，额定电压12V，电流等于0.3A。可得出额定功率最大为3.6W。电机需要的电流远大于单片机IO接口输出的电流（通常为8~20mA），因此需要使用专门的电机驱动模块。课程提供的L298N的最大功率为25W。一个驱动器驱动两个电机的方案完全可行。

对于电机驱动力进行简单校核，电机额定转矩0.4kg·cm，即3.92N·cm。我们此次选用的是直径为65mm的车轮，由此进行计算，在地面不打滑的情况下，电机可以为小车提供2.41N的驱动力，对于本次的驱动需求来说足够。如果要保证不打滑的条件，此时轮子受的摩擦力应小于最大静摩擦力，由此可以计算得到μ≥0.49，因此对于场地的粗糙程度有一定的要求，但0.49属于相对较为光滑的表面，当前的车轮表面与场地条件基本可以满足这一条件。

下面是传感器性能分析，首先是避障时使用的超声传感器，本次老师为我们提供的是HY-SRF05超声传感器，与我们原本选择的HC-SR04在引脚与尺寸上存在一定区别（因此超声支架的建模也需要修改），但是基本功能、工作原理相同，因此可以在避障中起到需求的作用。经过调研，两个器件的基本性能参数完全一致，工作电流均为15mA，可直接接电源模块的5V电源与单片机的引脚即可正常工作。传感器的感应角度不大于15度，因此需要在小车车身周边安装多个超声传感器来满足避障的探测需求，尽量增大检测范围。两者的探测距离均为2cm-450cm，根据本次场地的大小以及避障的基本需求，两款超声都可以满足需要。此外，两款传感器都有可达0.2cm的高精度，对于小车的精确避障很有帮助。

对于视觉传感模块，我们选择的OpenMV既可以作为一个机器视觉传感器，也可以作为一个有计算功能的单片机使用。openMV采用的STM32H743核心主频可达400MHz，每秒处理的帧数可达300帧（理论值）。CPU的RAM达到了256KB，而一帧灰度图像的大小为72KB，运算能力强大，可以满足巡线避障需要的图像识别与计算的需求。

电源部分我们将硬件需要的电源电压做了如下整理，LM2596的引脚数目与负载电流大小3A能够满足目前的用电需求。

下面是我们的电气原理图和电气连线表，我们对stm32的引脚资源进行了简单的分配，由于stm32引脚资源丰富，能够满足我们的需求。

最后是软件模块详细设计，首先看到系统软件逻辑框图，我们把系统软件模块分为上位机、数据收集、运动执行三个部分，上位机模块主要包含蓝牙函数，负责手机与单片机的通讯，完成参数调试、遥控的任务，数据收集模块包含OpenMV的相关函数，以及超声波、IMU惯性测量模块的函数，负责包括路线、障碍物、车身方位等等信息的搜集。这些数据传入单片机后再main函数中进行处理后，控制运动执行模块后进行PID控制小车车轮的速度，从而控制小车的速度与方向。

下面描述一下巡线和避障模块的软件逻辑框图。

巡线部分的逻辑相对较为简单，因为考虑到车轮转速的PID控制和编码器反馈的速度紧密关联，因此我们将速度PID的函数集成在motor子程序里，而control子程序主要负责更加偏向于小车总行进设定的速度设置和方向设置功能，。经过openMV传入巡线数据，给单片机发送小车行进指令，单片机通过control模块将小车目标的运行速度与方向转化为两个车轮的转速，motor模块则控制两轮按着这个转速运动，从而完成巡线。

避障的逻辑则相对复杂一些，因为既涉及到和周边障碍物的位置关系，还要考虑小车车体的方向。我们前方有三个固定的超声传感器，在sonic子程序控制下以固定频率向单片机传输各自方向障碍物的距离，尾部的一个传感器在小车向后运动时则在舵机的控制下以固定频率左右旋转，将不同方向的障碍物距离数据传输给单片机。单片机得到数据之后通过sonic模块中的函数运用避障算法给出行动指令，单片机通过control模块将小车目标的运行速度与方向转化为两个车轮的转速，motor模块则控制两轮按着这个转速运动，从而完成巡线。这里还有imu子程序不断通过串口读取车身方向的数据，通过imu中的函数对小车的前进方向做出一定的限制，从而完成达到终点的目的，通过刚才相同的方式将指令通过control模块实现。

我们的详细设计就介绍到这里。