第一部分 自研Mini-PC主板

1. 运算平台选型

我们的目标是在保证运算平台的算力的基础上，尽可能减小运算平台的体积和重量，在此基础上尽可能降低成本。

对比大部分队伍常用的Intel NUC和大疆妙算2代，我们认为要满足视觉的需求，运算平台需要至少满足以下要求：

1. 具有较强的CPU算力或者GPU算力；
2. 具有至少4GB内存（CPU、GPU合计）；
3. 具有至少1个USB3.0接口和至少一个额外的USB2.0接口；
4. 至少32GB的任意类型的存储空间，存储的接口速度至少为USB2.0；
5. 至少一个HDMI或者DP显示接口。

为了方便视觉调试，运算平台最好有以下额外功能：

1. 具有一个有线网口（RJ45）。这样可以连接千兆网线接口的工业相机。

千兆网络工业相机对比USB3.0工业相机，其数据传输速率相对更低（1000mbps相对5000mbps），导致相机的捕获帧率较低。但是即使是千兆网络的速率，仍然能够满足1280\*1024分辨率90fps传输，或者800\*600分辨率200fps传输。这样的速率已经能满足视觉算法的要求。

千兆网络工业相机的另一个优势是千兆网络能直接通过滑环，而USB3.0则必须先转换成光纤接口才能通过滑环。这使得千兆网络滑环的成本相对USB3.0滑环更低（800元对比超过2000元）。这样千兆网络工业相机能够相对运算平台进行360度多圈转动。我们在哨兵下云台上实装了千兆网络工业相机和千兆网络滑环，这样在运算平台布置在底盘上的同时，下云台能够同时实现360度连续旋转，并且视觉识别性能不会有任何影响。

1. 具有一块无线网卡。无线网卡虽然规则中声明上场时必须设置为禁用，但是在视觉平时的调试中却能提供很大的便利，让我们能实现远程无线调试视觉代码。
2. 具有一个额外的全功能带PD供电协议，有显示输出功能的USB Type-C接口，速率至少为USB3.0。这样在有线调试时，视觉组可以使用一根全功能USB Type-C线连接至一个PD-HUB进行调试，这个HUB连接了显示器、鼠标键盘以及无线网卡等，并且可以通过PD协议对运算平台供电。或者也可以采用NexDock这类的类似笔记本电脑的拓展坞进行调试。这样可以极大方便视觉的在线调试任务。
3. 具有至少1个硬件UART接口或者硬件CAN接口。这类硬件接口的性能通常比USB转UART或者USB转CAN的性能高很多，稳定性也更好。
4. 具有上电自启动电路。

综合以上因素，我们选择了NVIDIA Jetson Xavier NX作为运算平台（以下简称NX）。NX的TDP为15W，具有6核（2大+4小）ARM Cortex-A系列CPU，384个NVIDIA Volta™ CUDA运算单元，48个Tensor Core，2个NVDLA深度学习加速器，8GB 128位宽LPDDR4共享内存，存储为SD卡或者16GB的EMMC，可通过PCIEx4拓展存储，PCIEx1拓展无线网卡，模块内置千兆有线网络，1个USB3.0接口和3个USB2.0接口，2个HDMI/DP，3个硬件UART接口，1个硬件CAN接口，12通道CSI摄像头接口。整个模块的体积是69.9\*45\*20mm（L\*W\*H，仅模组含散热器，不含载板），相对于一般Mini-PC的100\*100\*40mm，体积减少了不少，重量也更轻，且运算能力可以满足我们基于神经网络卷积的视觉算法要求。

但是现在出现了一个问题。NX官方销售只有2种套装：只包含NX本体的量产套装和开发者套件。NX本体采用了笔记本内存条的SODIMM接口，必须安装到载板上才能使用。量产套装不包含载板和散热器，甚至售价还比开发者套件贵。然而开发者套件包含的载板体积却达到了101\*90\*45mm（包含NX本体和散热器），这使得NX相对于传统Mini-PC的体积优势不再存在，仅剩余重量优势。这显然是不能接受的。

不过NVIDIA在开发者社区开源了NX开发者套件的全部硬件软件机械源码、原理图和PCB Layout等等，这使得我们可以在NVIDIA开源资料的基础上自行研发一款体积更小，能满足我们的要求的载板。

1. 自研载板设计过程

我们的自研载板的要求如下：

基础要求：

1. 满足NX最小系统要求；
2. 使用XT30接口，24V 1.5A供电输入；
3. 引出一个USB3.0 Type-A接口；
4. 引出一个额外的USB2.0接口，接口形式任意；
5. 引出一个任意类型的显示输出接口；
6. 引出至少一个UART接口和至少一个CAN接口；
7. 系统存储空间使用模块自带SD卡接口；
8. 上电自启动。

额外要求：

1. 引出一个千兆网络接口；
2. 具有一个板载无线网卡；
3. 在板上实现一个全功能带PD协议的USB Type-C接口。

根据以上要求，我们给出了以下载板系统框图：

图片包含 图表

描述已自动生成

其中：

1. NX供电使用MP4470A芯片从24V降压提供5V 5A供电。这一路供电专供NX（NX推荐设计电源25W，使用5V供电，最大功耗20W），以及NX的散热器。
2. 外设5V供电使用MP38892芯片从24V降压提供5V 6A供电。能够满足连接多个USB设备的要求。同时，我们在芯片输入端增加了保护二极管，芯片输出端增加了自恢复保险丝，这样即使外设烧毁（RM调试中有时会发生这种情况），NX模块也不会受到任何影响。
3. 系统3.3V供电采用MP4423芯片从24V降压提供3.3V 3A供电。这一路供电主要为了满足USB拓展UPD720202、PD协议实现芯片TPS65987DDH、高速差分信号4:6MUX CBTL08GP053EVY以及无线网卡Intel 8265D2W的电源要求。
4. 为了满足NX的上电时序，以及提供保护和上电自启动功能，我们板载了一片STM32L031G6U6单片机作为BIOS MCU（以下简称BMCU）。以上3路电源都可以通过GPIO控制开关，为了给BMCU提供电源，我们设计了一路Always ON 3.3V电源（以下称3.3V AO），采用TPS560430芯片从24V降压提供3.3V 600mA给BMCU以及其他需要上电初始启动的电路供电。该电源上电即启动并给BMCU供电，由BMCU控制其它电源何时启动，并在大电流时进行保护。BMCU的加入使得我们能够顺利实现上电自启动。
5. 为了将NX大部分IO口的1.8V电平转换为3.3V，我们需要一些电压转换芯片。这些芯片需要1.8V电源，我们从3.3V AO通过X2SON 1\*1mm封装的LP5907 LDO芯片降压，提供1.8V 250mA的电源。
6. CAN收发器采用RoboMaster开发板A型使用的MCP2562芯片，并板载120欧姆终端电阻。
7. NX只引出了一路USB3.2 Gen2 10Gbps，我们通过PCIE转USB3.0芯片UDP720202从NX的PCIE4.0 x4接口（只利用到PCIE2.0 x1）转出2个USB3.0 Type-A接口，供摄像头使用。
8. NX的USB3.2 Gen2接口和一路DP 4通道接口连接至高速差分信号4:6MUX CBTL08GP053EVY。4:6MUX是全功能USB Type-C必须的接口芯片，它的功能是在USB口正反插时，将对应的信号连接到USB口的对应引脚上。这是USB Type-C实现正反插的重要芯片。同时也起到在全功能USB接口上切换USB3.0信号和视频信号的作用。该芯片采用I2C接口控制。
9. 为了实现PD协议，我们采用了TI的TPS65987DDH芯片。该芯片可实现PD协议通信，识别USB正反插情况，识别USB接口支持的数据类型，并通过数个GPIO或者I2C接口输出识别结果。该芯片通过外置SPI Flash编程，程序可以通过TI官方提供的编程小工具编写，并通过烧录器烧录。
10. 由于TPS65987DDH芯片和CBTL08GP053EVY芯片的I2C协议不兼容，我们通过BMCU进行了协议转换。TPS65987DDH直接通过GPIO向BMCU提供识别结果，然后BMCU通过I2C控制CBTL08GP053EVY连接正确的通道。
11. 板载一片 Intel 8265D2W无线网卡（NVIDIA官方推荐型号），接口为M.2 1216（LGA接口）。
12. 千兆网络接口通过H5084-NL千兆网络变压器直接连接至RJ45。
13. 板上最后引出一路DP接口供调试使用。
14. 所有接口配备ESD保护二极管。

参考以上框图和NVIDIA给出的开源资料，我们绘制了全部的原理图。

在PCB Layout方面，板上有很多高速差分信号，不同的信号需要匹配不同的阻抗。我们将这些信号分成了4组差分对组：

1. 85欧姆差分阻抗组：USB3.0、DP Main Lane、PCIE3.0、Type-C。这些差分对需要组内等长，误差不超过5mil，但不需要组间等长（NX板上有相关硬件，可以实现组间信号同步，以简化布线）。同时，单条差分线路过孔数量不超过4组，过孔线头不超过0.4mm，不允许出现走线线头，走线长度小于100mm。这是要求最高的差分对组。
2. 90欧姆差分阻抗组：USB2.0、DP AUX Lane、Type-C SBU。USB2.0和DP AUX Lane只需要组内等长，误差可以较大。过孔数量不限，线头长度小于5mm。Type-C的SBU通道实质也是DP AUX Lane。
3. 100欧姆差分阻抗组：千兆网络。千兆网络需要组内等长和组间等长，组内误差不超过5mil，组间不超过2mm。单条差分线路过孔数量不超过4组，过孔线头不超过0.4mm，不允许出现走线线头。
4. 120欧姆差分阻抗组：CAN。要求不高，保证通信正常即可。

除120欧姆差分阻抗外，其他组都要求50欧姆单端阻抗。经过Polar Si9000阻抗分析软件计算并与PCB生产厂家确认，我们选定了以下层叠结构和线宽线距：

四层板，芯板FR-4（介电常数4.6）厚1.3mm（含铜），内层铜厚0.5oz（0.0175mm）。压合使用2313PP（介电常数4.05）厚0.1mm，外层铜厚1oz（0.035mm），阻焊绿油（介电常数3.8），走线上阻焊0.5mil，基材上阻焊0.8mil。板子总厚1.6mm。

85欧姆阻抗线宽：不包地0.147mm，包地0.133mm

85欧姆阻抗线距：不包地0.117mm，包地0.102mm

90欧姆阻抗线宽：不包地0.147mm，包地0.133mm

90欧姆阻抗线距：不包地0.166mm，包地0.138mm

100欧姆阻抗线宽：不包地0.117mm，包地0.110mm

100欧姆阻抗线距：不包地0.169mm，包地0.167mm

120欧姆阻抗线宽：外层不包地0.117mm，外层包地0.110mm，内层不包地0.101mm，内层包地0.089mm

120欧姆阻抗线距：外层不包地0.169mm，外层包地0.161mm，内层不包地0.203mm，内层包地0.200mm

除120欧姆阻抗外，其他差分对均不允许内层走线。

板子最小线宽线距0.089mm，过孔外径0.45mm，内径0.2mm，过孔盖油，焊盘沉金。

以上参数可以使得差分对阻抗精度在±5%以内。

另外，顶层元件限高5mm，底层元件限高6mm。

最后我们将整块载板的面积控制在了90\*50mm，最终含保护壳的体积控制到了约95\*55\*45mm，达到设计要求。然而最终由于体积限制，只能安装一个USB3.0 Type-A接口，但是这也满足了基本要求。所有接口全部沉板以满足限高要求。

电子游戏截图

中度可信度描述已自动生成

PCB Layout

电子零件

低可信度描述已自动生成

载板和底部保护壳实物图（未安装NX模块和顶部保护壳）

参考文献：

Jetson Xavier NX System-on-Module Data Sheet

Jetson Xavier NX Product Design Guide

Jetson Xavier NX Developer Kit Carrier Board Design Package (P3509 A01)

Jetson Xavier NX Developer Kit Carrier Board Specification (P3509 A01)

Jetson AGX Xavier Series Module Data Sheet

Jetson AGX Xavier Developer Kit Carrier Board Specification

Jetson AGX Xavier Developer Kit Carrier Board Design Files

第二部分 超级电容管理模块

1. 电源树设计



我们设计的超级电容模组采用2.7V 8~10串，单个串联结构54.7~63F（可以由数个电容并联），总容量2000J。在电容控制板设计中，我们将裁判系统电源输入经过数个MOS开关和理想二极管直接连接到底盘，底盘的电压时刻与电池电压相同。这样在电容组不工作或者电压很低时，底盘也能正常工作。

电池的电源经过一个指向底盘的理想二极管和MOS开关到达高端节点。这个节点连接了底盘，电源和电容的BUCK模块。当底盘有空余功率时，高端节点连接电源模块的MOS开关打开，BUCK电源模块以BUCK模式工作，主控芯片控制BUCK模块利用剩余功率给电容充电。BUCK低压侧的MOS开关不打开，由于有从低压侧指向电容的理想二极管存在，充电时不会发生电流倒灌现象。

由于同步BUCK电源的特性，当BUCK低压侧连接电源而高压侧连接负载时，同步BUCK此时相当于一个反向的同步BOOST电源。利用这一特性，当需要电容放电时，关闭BUCK高压侧连接至高端节点的MOS开关，打开低压侧MOS开关，充满电的超级电容此时相当于低压侧的电源，而高压侧则相当于负载，BUCK电源模块现在作为一个反向BOOST电路工作。由于高压侧理想二极管的存在，不会发生电流倒灌现象。此时主控芯片控制BUCK电路（实际为BOOST工作中）升压，在低压侧电流不超过裁判系统超级电容模块的电流限制15A的情况下，向高端节点提供电流。由于电容组提供了电流，在底盘负载不变的情况下，电池提供的电流就会变小，达到功率控制的目的。

这一架构的优势在于电路结构相对简单的同时能够将电容的能量尽可能利用。实际我们测得电容组电压3V的情况下仍然能够向底盘输出约40W的功率。

主控芯片采用STM32G474CET6，该芯片具有5个板载ADC和6个板载运放，能够满足采集大量模拟信号的要求；另外时钟频率5.7GHz的HRTIM定时器能够实现高精度200kHzPWM信号生成（分辨率28500）。

板上采用数个TPS560430芯片提供5V、3.3V和10V电源。5V和3.3V提供数字电路的电源，10V则用于驱动低端NMOS。

另外我们采用了一片LM2733Y芯片将10V电源升压至33V。这样我们的高端MOS开关可以全部采用NMOS驱动。

MOS管全部采用AONS62614。这一型号具有100A大电流，60V电压，极低的开关时间，并且可以使用3.3V电压开关（低压侧）。

开关电源的MOS采用LM5106芯片驱动，理想二极管采用LM5050-1驱动。

主电感使用了WE 74435571100 10uh电感。经计算，在200kHz开关频率下，10uh电感不论是BUCK还是BOOST工作下都能将ripple电流控制在30%最大电流以内。饱和电流16.5A，在升压时由于结构，15A工作时ripple电流会小于1.5A，刚好满足要求。而降压的电流更低（120W仅5A），因此即使ripple电流更大也不会饱和。

板载数个INA240放大器，配合0.5~3mΩ不等的分压电阻来测量电流，通过0.1%精密电阻分压测量电压。

模拟电源方面使用LP5907高精度LDO从数字5V电源降压得到3.3V电源，并通过REF3025基准电压提供2.5V基准。整个板子采用4层板，数字/功率和模拟分开共地，并通过电感隔离。

电子仪器

描述已自动生成