评委们好，我们要展示的作品是基于200kHz正弦波相位计算法的超声波测距系统。（AI背景）随着如今AI技术，自动化智能化技术的不断发展，自主移动机器人越来越成为研究的热点，毋庸置疑，未来的超声波测距仪将与AI，机器人等接轨，例如机器人自主导航技术是其研究核心，而路径规划又是移动机器人导航中最重要的任务之一，基于超声波测距的自主移动机器人路径规划是移动机器人技术中的一项重要研究。

传统超声波测距中大多采用发射40kHz脉冲的形式，对传播时间进行计时，根据距离等于传播速度乘以传播时间来计算距离。我们在此原理基础上采用了200kHz的正弦波用于发射，同样利用定时器对传播时间进行计时，根据接收到的正弦波与发射波的相位差计算出真实的传播时间，以此达到提高精度的效果。采用200KHz的原因是200kHz的频率本身就能很好的提高精度，而采用正弦波传播也让信号处理中的滤波操作变得简单稳定。

下面对整个系统的实现进行详细介绍，由于单片机自身时钟频率不足，本系统采用DDS芯片驱动产生波形，波形为200kHz的正弦波，程序上设计为主循环开始时打开DDS，当主循环结束时关闭DDS并延时等待，因此示波器上会不断切换显示正弦波与直流电压。（展示功能一）

当我们打开DDS开始发波时，同时也使能定时器，每10us进入定时中断进行一次时间递增。当我们在后面的步骤中关闭定时器提取这个递增的时间值时，就能知道定时器记录的传播时间。

我们将DDS发出的波形接入我们自制的放大器，放大器的设计采用共射放大电路，并在放大后进行高通滤波处理，最终效果是将0-1V的正弦波放大值-4至4V左右，经过我们的实测，超声波换能器需要输入-8到8V的正弦波，接收端才能接收到约-2mv到2mv的正弦波接收信号，因此我们增加了一个加法器去实现波形电压乘二的效果。我们将放大器用转接头一分为二，输入加法器，加法器电源为5V，最终得到了-8V到8V的正弦波信号。

将这个正弦信号输入超声波换能器的发射端，驱动振片震动发出超声波，然后利用另一个超声波换能器进行接收。双探头的设置是为了更好的减少盲区，达到更大的测量距离。在接收端我们测到了约-2mv到2mv的正弦波信号，这个信号是很微弱的，我们对其进行约100倍的放大处理。（展示功能二）

可以看到放大后的电压达到了约-300mv到300mv的幅值。百毫伏级别已经可以满足ADC的采集要求，但因为有一半的波形在0V以下，而ADC采集范围在0-3.3V之间，因此，我们还增加了一个加法器，将约2V的直流电压与接收波放大信号接入加法器，我们就能得到约1.6V至2.4V的波形。

将波形输入ADC进行采集，当ADC采样值大于我们设定的阈值时，计时停止，提取出当前时间，即为定时器实际计时。（展示功能四）这时利用距离等于传播速度乘以传播时间即可算出实际距离（展示功能三）

如我们之前所说，定时器计时时间与实际传播时间之间是有误差的。

评委们可以看一下这张图片，由于正弦波实际接收到时的电压并没有达到阈值，所以我们定时器记录的时间是要大于真实的传播时间的，这时候需要运用傅里叶变换计算接收波的初相位来得到发射波与接收波的相位差，根据相位差来把这一小段时间的误差除去。这里我希望评委们能让我展示一下我们的仿真实验（展示功能五）。

我们的仿真实验运用了fft函数对波形进行傅里叶变换，根据理论计算，波形的初相角等于傅里叶变换的负实部比虚部的反正切，即可计算出波形的初相角。

我们在仿真代码中假设接收波为0-1V，频率为200k，相位分别为-pi/2，-pi/3，pi/6，pi/4，依次测试，结果如图所示。

很遗憾，本次比赛中我们没能展示相角计算的测试，我们在实际的测试中发现我们的主控STM32C8T6的ADC在采集频率1kHz以上的波形时就已经无法很好的还原波形。这是由于主控性能所限，也是因为时间限制，本次比赛没做到换用别的单片机采集处理200kHz波形，因此此次测试仅使用了最简单的时间法进行粗略的测试。

我们的展示到这里就结束了，请问评委们有什么问题吗。

**答辩问题：**为什么采用正弦波而非方波

答：在放大过程中会有噪声产生的杂波，我们需要利用高通滤波器对波形进行滤波，而方波在滤波后将无法保持原特性，因此采用正弦波，而与之对应的，要想达到精确测量就要加入对正弦波的相位检测，把相位差的部分计算进来。

**答辩问题：**