

简易频率特性测试仪

沈阳工学院信息与控制学院 李 岳 连文典 王冠男 贾 婷

【摘要】本系统设计的频率特性测试仪是以EP3C10E144C8作为数据处理及控制核心，由正交信号源、被测双端口网络、检波电路、检相电路及显示等模块组成。其中，正交信号发生电路采用DDS技术模块实现，其他模块均由分立模拟器件搭建。本系统的硬件设计包括ADC模数转换电路设计、低通滤波器设计、电压比较器、有效值检波器等模块组成，软件设计采用模块化编程方法和基于FPGA的DDS技术设计来实现，该系统可以在输出1MHz~40MHz频率的扫频范围，而且对被测网络进行频率特性测量，并把测得的幅频特性以及相频特性数据显示在示波器上。电压放大倍数测量的误差不大于±5%，相移测量误差不大于1°。

【关键词】FPGA；幅频特性；相频特性；正交信号；扫频；幅度谱；相位谱

1. 系统设计

本系统采用EP3C10E144C8型号的FPGA芯片作为控制及数据处理的核心，将设计任务分解为正交信号发生器、被测网络、数据采集与存储、幅频特性测量、相频特性测量、结果显示等功能模块。频率范围1MHz~40MHz，步进100KHz、稳定度小于0.0001及测量精度5%均可达到要求。

系统总体框图如图1所示。

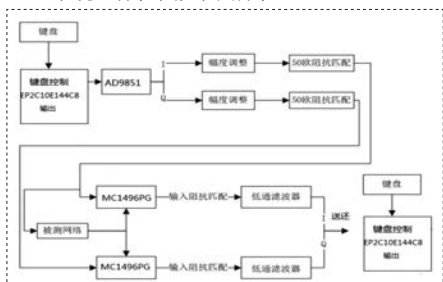


图1 系统总体框图

2. 电路与程序设计

2.1 正交信号源输入端

正交信号源电路设计中采用了2块AD9851芯片产生所需的正交信号。AD9851频率控制字：

$four = (\Delta Phase \times System Clock) / 2^{32}$ 频率通过频率控制字控制，32bit数值。相位通过W0的高5bit控制，精度为 $360^\circ / 32 = 11.25^\circ$ 。一次控制字更新为256个20ns（50MHz的一个周期），总扫描时间为0.02048s由于比较器一级的输入输出电压都很大，因此电路中的运放芯片应该选取超高摆率、输出电流大、耐压高的运放。同时，为使进入比较器的信号更加稳定，应选取增益带宽较大的运放。

2.2 LFT滤波电路

加载高频载波的原信号，经过相干检波作用后，滤波器的任务是滤除2倍频率分量，最后为2MHz（2MHz~80MHz），余下来的就只有直流分量。需要用一个低通滤波器来滤除高频分量，滤出直流分量，然后对原信号进行幅频和相频特性的分析，本系统采用二阶巴特沃斯型低通滤波器。

3. 程序设计

最大输出40M，步进最小100KHz，也就是4000次即可完成一次扫描。一次控制字更新为256个20ns（50MHz的一个周期），那么总共需要的扫描时间为0.02048秒。

采用基于FPGA的DDS IP核控制，经由ADC9851，DDS专用芯片输出。固定频率输出，通过直接控制频率控制字来实现。扫频频率输

出，复杂些，需要控制输入最大最小频率边界，扫描频率步进值，实现起来需要使用计数器进行累加进行控制字的累加，累加到最大设置值后复位为最小设置值，累加的值即为步进的值。幅度测量采用峰值检波技术，相位测量则利用数字鉴相技术实现。检波电路和鉴频电路输出经A/D采集后由FPGA存储在RAM中，再经分析处理后输出到LED显示电路、波形显示控制电路，以实现频率特性参数和频率特性曲线显示。键盘输入设置扫频范围和频率步进，相位通过W0的高5bit控制，精度为 $360^\circ / 32 = 11.25^\circ$ 。频率通过频率控制字控制，32bit数值。后经过AD得到的采集数据还要在切换步进间隙利用FFT计算频点值。得到它的幅频特性和相频特性。

4. 系统测试

FPGA输出的两路正交波形，显示标准正弦和余弦，相位差 90° ，且每路波形输出幅度至少1V。

(1) 正交扫频信号输出1MHz~40MHz，有示波器显示相位误差几乎为零，幅度没有变化。由于FPGA频率步进可控，而且可固定输出。

(2) 示波器显示波形幅度大于1V，而且，AD9851在一点范围内幅度可控。

(3) 可通过按键控制扫频范围和步进，支持固定频率输入模式和扫频模式两种模式。并最小步进间隔100KHz。一次扫频2秒以内。

航迹，然后给出这些边界的权值，最后使用某种搜索算法，如动态规划等来搜索最优的航迹。由此得到的航迹很粗糙，仅仅相当于解决了存在多个威胁的时候从哪两个威胁中穿越的问题，而且航迹是分段的，这时可以采用一些常用的手段对得到的初始航迹进行平滑。在某文献中提出了一种UUV群协同同时分步规划航迹的方法。首先基于威胁所在和目标要求构造了Voronoi图，采用威胁程度和耗油量两个指标的加权形式来衡量航迹的优劣，权值的选取可以依具体任务要求而定，这样通过搜索得到最初的航迹后将其进行所谓的“离散化”，即分割成长度一定的单元环节，文中形象地称之为“链条化”。因为要求机群同时到达目标，但生成的初始航迹长短可能各不相同，所以可以在代价条件允许的情况下加入“链条环节”使机群协调。最后对得到的“链条式航迹”进行修整，使其平滑且具有可航性。

5.7 人工势场法

航迹规划问题无非就是要求避开威胁和障碍从而安全完成任务，最简单的人工势场建立思想就是在不考虑其他约束的情况下，将目标作为吸引场，将威胁和障碍作为排斥场，无人水下航行体则在两者综合生成的势场中航行。势场的建立涉及到威胁障碍、目标的评估等因素，非常直观，但对一些约束条件不好处理，所以人工势场法一般用来完成航迹规划的后期处理，如利用Voronoi图、PRM等方法生成的航迹进行平滑处理等。

6. 多UUV协调航迹规划

在攻击作战中，为了使摧毁目标的概率最大，需要多个无人水下航行体之间相互配合完成攻击任务，这就涉及到多机协调规划技术。多机协调规划的目标是确立每一个航行体的航行路线，防止水下碰撞事故，并在尽可能少的时间内以最少整体代价函数到达目标。在无人水下航行体协同航迹规划中，到达目标的时间(TOT)是一个非常重要的评估指标。目前，为了使无人水下航行体能够同时到达目标，一般采用以下两种方式：一种是通过协调无人水下航行体的航行速度使到达目标较短路径的无人水下航行体采取小的

速度，使较长路径的无人水下航行体速度加大。另一种是对航路做一些修正，通过附加一些路径使每个无人水下航行体到达目标点的距离大致相等。目前，在多UUV协调航路规划任务中，求解无人水下航行体整体最优航路是一个大系统的非线性最优化问题，计算复杂，对信息快速处理要求苛刻。目前该项技术还处于理论探索研究阶段，离实用还有较长的一段距离。

当前，一些研究者对该项技术进行了初步研究，据报道，通过规划路径选择，使每个UUV的规划路径长度大致相等，再通过调整航行速度来协调到达目标的时间。还有报道，通过添加若干定长线段到较短路径的方法，来保证每架飞机的航程相等，并对航路进行光顺处理。在有些资料中给出了多机规划的分层协同控制架构，并在此架构下，分别对多目标攻击、目标截获、路径生成及优化的方法进行了论述。

7. 航迹规划研究的关键问题及展望

在航迹规划过程中，对地形、敌情信息的处理是进行规划的前提，它直接决定了规划路径的质量。针对航拍等方式获取的地形信息，在规划前需要对这些信息进行处理，确定地形的方差、均值、粗糙度、相关程度等。在无人水下航行体进行海底地形跟随航行时，针对孤立的海底地形和障碍物，考虑无人水下航行体的纵向机动性的限制，对这类海底地形进行平缓处理。针对敌情信息，要求分析出敌方威胁的性质、杀伤范围，对威胁等级进行评估。目前，针对规划算法的研究很多，而针对地形、敌情信息处理方法的研究相对较少。

针对无人水下航行体的自主实时航迹规划和不确定性规划是当前航路规划的一大难点。针对无人水下航行体来讲，由于航行的环境瞬息万变，必须根据战场环境进行实时航迹规划。现代无人水下航行体一般载有声响、合成孔径声响一种或几种，由这些传感器对周围环境进行实时探测，动态实时规划必须能够做到在无人干预的情况下，根据探测结果自动修改航迹。另外，在战争态势下，由于传感器本身的测量误差和对地面威胁人为的伪装

以及威胁目标的迅速改变，往往获得的信息是不准确和不完备的，有的甚至是相互抵触的。只有通过有效利用获取的各种信息，对战场态势进行评估。目前针对不确定性处理的理论与方法主要有贝叶斯理论、模糊技术、Dempster-Shafer证据理论等。只有对各种途径获取的信息运用不确定性理论进行综合处理后，再运用前面所述的航迹规划算法，才能得到一条适合航行的较优路径。

目前，国内外航迹规划技术方面的研究正方兴未艾。未来在算法方面的发展方向必然是将静态参考航迹规划与实时动态航迹规划相结合的分阶段分层次的航迹规划算法；充分考虑在执行海底安防、目标搜索营救、信息侦察等任务时的特殊约束和要求，结合不同任务的要求和特点的规划算法；多机协同执行任务时，使整体代价达到最优的航迹规划算法；针对各种复杂不确定性环境，能够在无人干预情况下实时反应，具有一定智能的算法。

8. 结束语

无人水下航行体的航迹规划问题是一个涉及到水动力学、航行力学、自动控制、导航、声响、火控、人工智能、计算机和图像处理等多个学科和专业的科学，其复杂性和综合性都是较大的研究课题，需要很大的研究投入。目前，由于无人水下航行体各项技术的大力发展与应用，UUV的航迹规划研究显得尤为重要。与国外相比，我国目前还未能开发出较为成熟的UUV航迹规划应用系统，这就需要在自主研究的基础上，认真借鉴学习国外成熟的经验，并充分考虑未来发展的需要，积极进行航迹规划理论与应用技术等方面的研究。

参考文献

- [1] 陈江,陈涛,施小成等.UUV走航CTD探测的航迹规划及控制方法研究[J].中国造船,2011,52(1).
- [2] 严浙平,黄宇峰,李峰.遗传算法在AUV局部路径规划中的应用研究[J].应用科技,2009,36(2).
- [3] 何祖军,齐亮.基于蚁群算法的AUV目标避碰规划的方法研究[J].舰船科技,2007,29(6).

简易频率特性测试仪

作者: [李岳](#), [连文典](#), [王冠男](#), [贾婷](#)
作者单位: [沈阳工学院信息与控制学院](#)
刊名: [电子世界](#)
英文刊名: [Electronics World](#)
年, 卷(期): 2014(11)

引用本文格式: [李岳](#). [连文典](#). [王冠男](#). [贾婷](#) 简易频率特性测试仪[期刊论文]-[电子世界](#) 2014(11)