

全数字超声诊断系统的结构设计方法

赵彦群 唐明 刘福生

深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18045

[摘要] 全数字化超声诊断系统是一种医疗设备,利用高频声波传输到人体分析不同组织的反射能力,构成人体组织图像,对疾病进行诊断。传统全数字超声诊断系统的接收量小,且控制效率低。为了解决此问题,本文对全数字超声诊断系统的结构进行优化设计,提高信息获取的准确性。以系统的诊断原理分析了全数字超声诊断系统的硬件设计,并分析系统各模块、编程原理与主要通讯接口,最后对系统功能与特点进行总结与展望。

[关键词] 全数字系统; 超声诊断; 结构设计; 超声结构

中图分类号: TU318 文献标识码: A

Design Methodology for the Structural Design of Fully Digital Ultrasound Diagnostic Systems

Yanqun Zhao Ming Tang Fusheng Liu

Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co.,Ltd.

[Abstract] A fully digital ultrasound diagnostic system is a medical device that utilizes high-frequency sound waves transmitted into the human body to analyze the reflective properties of different tissues, thereby constructing images of human tissues for disease diagnosis. Traditional fully digital ultrasound diagnostic systems often suffer from limited reception capacity and low control efficiency. To address these issues, this paper focuses on the optimized structural design of fully digital ultrasound diagnostic systems to enhance the accuracy of information acquisition. Based on the diagnostic principles of the system, the hardware design is analyzed, along with the system modules, programming principles, and key communication interfaces. Finally, the system functions and features are summarized, and future prospects are discussed.

[Key words] Fully Digital System; Ultrasound Diagnosis; Structural Design; Ultrasound Structure

在超声技术不断发展的背景下,超声设备的更新速度也不断加快,超声检查逐渐成为临床疾病评价、预测与治疗的主要方法。但是,我国超声仪器生产厂家的规模比较小,与国外大企业相比还缺乏竞争力。在国民经济稳定发展的形势下,人们生活水平不断提高,政府也加大医疗保障方面的力度。在今后十几年内,我国市场对医疗器械的需求也会越来越高。在此背景下,本课题的研究对提升中国医疗设备产业技术水平具有重要意义。本文探讨了一种全数字超声诊断与信号处理系统的全新架构,突破了传统超声体系结构的限制,为医疗领域提供设备支持^[1]。

1 全数字超声诊断系统的概述

图1为全数字超声诊断系统的数据处理架构,包括发射前端、波束处理单元、接收前端、信号与图像处理单元。通过发射前端生成高压脉冲信号,利用时间增益补偿TGC后,将回波信号送到模数转换器(ADC)。将多通道数字化回波信号传输到波束合成器中,信号的相互叠加提高成像空间的分辨率。对信号进行对数压缩、包络检波等处理后,送到多普勒信号处理中,显示所

收集的图像。

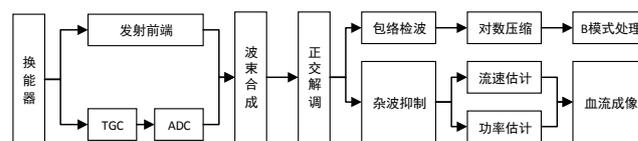


图1 全数字超声诊断系统的数据处理

全数字超声诊断系统根据人体中声波的声学差异,得到器官、组织的细微结构图像。超声回波信号是指换能器中心频率中的射频信号,一般换能器工作频率不超过20MHz。以Nyquist采样理论降低接收回波信号的失真,避免信号混叠。换能器的接收回波信号幅值为10~30uVPP,在低噪声放大后扩大接收范围。为了提高待测目标的质量,要求采样模块的采样速率为50MHz、采样精度为14bit。系统采用192独立接收通道,实时数据处理能力为28.8GB/s。所以,全数字超声诊断系统的信号处理对于处理器计算能力的要求高^[2]。

2 全数字超声诊断系统的结构设计方法

2.1 全数字超声诊断系统结构组成

全数字超声诊断系统结构由显示器、显示器机械臂、操作面板、电动机械臂、主机箱、底盘等部件组成,其中主机箱由探头板、发射/接收板、波束合成板、图像处理板和用户接口板等组成,整机结构如图2所示。

2.2 电动机械臂设计

机械臂控制系统由检测元件与驱动部分构成,图2为电动机械臂样机。在机械臂整体结构优化设计中,不仅要保证设计轻度、刚度,还要优化结构设计,降低整体重量,改善设备与机械的整体性能。为了降低升降电机负荷,提高动态性能,本文重点优化机械臂大臂基座。使机械臂关节的极限位置力矩与等效力作为危险工况下的拓扑优化条件,统计得出臂基座下基线负荷工况。在模型中设置减重槽,在模型优化后可降低基座质量。为了改善臂基座的局部变形情况,将零件设计作为分体式,也就是分别加工关节套筒与基座板,使用螺钉装配。不仅可以降低加工难度与成本,还能利用螺钉预紧力降低整体变形,改善机械臂变形与应力情况。



图2 电动机械臂样机

超声诊断机械臂有四个自由度,2个移动副与2个转动副。根据运动学正解得到手臂变换矩阵,描述机械臂末端连杆坐标系。以D-H法创建坐标系规则与连杆描述的参数,得出两个连杆之间的坐标变换通式。通过求解超声诊断仪的机械臂正运动学位姿变换矩阵,分析机械臂末端连杆坐标系和基坐标系的数学关系。以D-H法坐标系的创建规则,两个连杆坐标系的坐标公式为:

$${}^{i-1}T_i = Rot(x, \alpha_{i-1}) Trans(x, \alpha_{i-1}) Rot(z, \theta_i) Trans(z, d_i)$$

公式1

得出末端连杆与基坐标的位置矩阵变换公式:

$${}^0T_n = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 \dots {}^{n-1}T_n$$

公式2

利用Matlab仿真得出超声诊断机械臂工作空间,将基坐标作为原点,设置关节固定步长,得出机械臂工作空间云图,满足实际临床检测区域需求^[3]。

2.3 显示器机械臂设计

显示器机械臂可以使显示器在升降、转动和移动中保持平

稳,尤其在显示器升降时需要提供平衡力。机械臂结构由四组连杆组成,材料为铝合金。弹簧组件倾斜布置在支撑臂的四连杆中,弹簧(压簧)的一端固定在平行支架上,另一端固定在支撑臂固定座上,弹簧压缩后产生的弹力形成的力矩来平衡显示器重力产生的力矩,阻尼结构增加弹簧伸缩及力矩平衡的稳定性。以MR公司的机械臂为例,运用力矩平衡方法来计算弹簧的力值和力矩的差值,力的差值部分用阻尼来弥补,计算结果如图3所示。

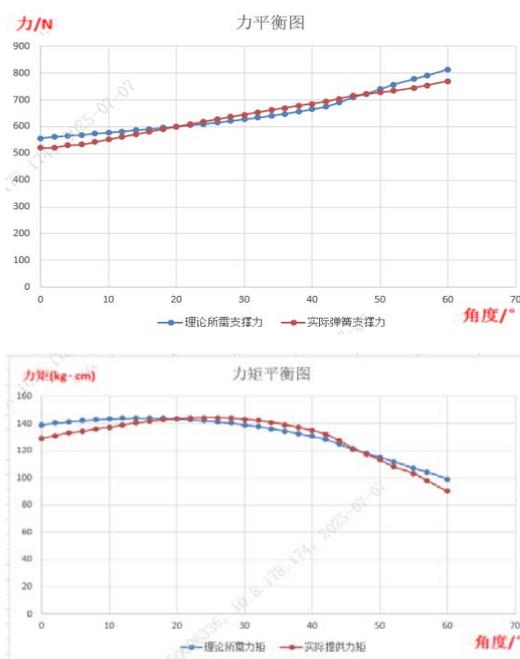


图3 显示器机械臂的力平衡和力矩平衡图

2.4 弹簧阻尼支撑机构

使用金属弹簧+阻尼的全新支撑机构,结构简单,寿命长,成本低,稳定性良好。通过阻尼增加弹簧伸缩及力矩平衡的稳定性,阻尼力与弹簧力的综合力矩与显示器转矩实现平衡。阻尼橡胶柱通过双螺母固定在导向轴上,阻尼橡胶柱外部有环形槽,环形槽凸起部分和导向套筒干涉,环形槽凹下部分起到储存润滑油的作用。阻尼橡胶柱和套筒单边干涉,保证阻尼力合适。由于橡胶变形过程中体积不变,设计需要满足压缩部分的体积小于间隙部分的体积^[4]。

2.5 传动机构

全数字超声诊断系统的电动机械臂使用高强度轻质合金材料,重量比传统钢材要轻,并能够保证机械在运行中承载操作面板组件稳定,误差在±0.2毫米内。传动机构使用高精度滚珠丝杠,提高了传动效率,能够使超声探头在不同位置定位。利用直线导轨作为超声操作面板的移动轨道,导轨直线的误差不超过0.02毫米,保证操作面板在移动过程中的高度直线性,得到精准、稳定的位置。

选择伺服电机,转速精度为±0.01转/分钟,能够以预定的程序精准控制机械部件的运动位置与速度,从而实现稳定的运动。另外,设备使用焊接工具制作支撑框架,框架整体刚度较强,

可抵御外界冲击与振动,保证系统运行过程中的稳定性^[5]。

外壳使用PC+PBT工程塑料,此材料的耐化学腐蚀性、抗冲击性良好,能够保护内部电子元件与机械结构^[5]。

3 FPGA通讯功能设计

3.1 通讯功能概述

FPGA通讯作为双核架构,可利用x86处理器实现系统的实时控制功能,输出字符并显示。收集超声图像信息,并对信息进行处理。用户界面显示信息包括输出字符显示界面与超声图像,图4为FPGA的通讯原理。

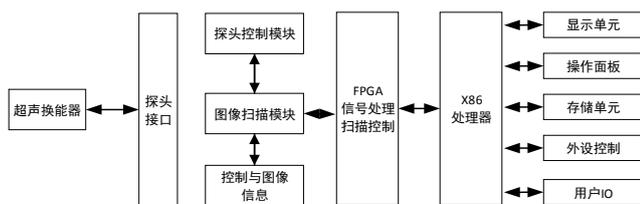


图4 FPGA的通讯原理

(1) 探头数据收集。探头回波信号经过AFE完成模数转换后,由FPGA写入缓存,再进行相关数字信号处理,最后FPGA经过高速总线传输给X86处理器,FPGA通过GPIO口、探头连接,对探头状态与电平信息查询、读取。假如并无接入探头,GPIO口数据为高电平;在接入探头时,将电源功率信息发送到参数表^[6]。

(2) 参数信息传递。多普勒成像软件将参数信息的格式转为控制字表,并发送在FPGA中,处理超声图像信息。

(3) 显示信息传输。用户图形接口界面包括字符界面信息与超声图像信息,x86处理器显示模块的工作硬件环境就相当于利用显卡控制LCD显示器,利用FPGA接收图像信号并交给CPU进行后处理,最后将灰阶信号发送给显示单元的显示信息,与操用户界面的超声用户界面操作流程叠加后处理,从而驱动显示器。

3.2 探头参数传递

FPGA处理器的GPIO口连接探头,在为探头上电后使用拉低或者拉高的方式,在FPGA中读取探头识别码,定时读取GPIO口线信息得到探头识别码。在定时时间过后对等待时间消息的响应,为10ms,系统探头扫描的间隔设置为0.5s。在第二次读取不同编码时,如果和上次相同,确认探头已检测到图像数据,FPGA处理探头编码后,记录编码型号。

4 结束语

在全数字超声诊断系统工作过程中,高数据处理带宽与图像处理为重点内容。本文使用高性能FPGA设计信号处理器,使处理任务划分成为多个流程,提高系统成像的质量。另外,FPGA通信程序的设计方便了高级信号的处理流程。总体来说,本文所分析的全数字超声诊断系统结构的稳定性好、成本低,操作简单,具有丰富的功能。在未来发展的过程中,脉冲编码、合成孔径成像、光学成像等技术会广泛应用在超声成像系统中,从而增强诊断超声系统工作的模态,提高临床诊断水平。

[基金项目]

国家重点研发计划项目-光声/超声双模态多光谱功能成像系统研发(编号:2023YFC2411700)。

[参考文献]

- [1]王可庆.基于边缘检测的图像分割的超声诊断机器人控制系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(07):117-120+126.
- [2]陈晓冬,吉佳瑞,盛婧,等.分数阶微分加权引导滤波对超声图像的纹理保持[J].光学精密工程,2020,28(01):174-181.
- [3]许林,孟娜,袁静,等.基于边缘检测和图像分割的超声诊断机器人控制系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(8):125-129.
- [4]刘畅,程义军,薛晨阳,等.面向乳腺癌诊断的压电式微机械超声换能器的设计[J].传感技术学报,2023,36(9):1491-1496.
- [5]张飞霆,张开富,程晖,等.基于热缓冲探头的超声导波高温结构损伤诊断技术研究[J].兵器装备工程学报,2024,45(11):188-195.
- [6]张宏杰,蔡养春,吴军强.基于NSGA-II算法的超声骨刀换能器设计与模态优化[J].天津工业大学学报,2025,44(2):84-91.

作者简介:

赵彦群(1982--),男,汉族,江苏连云港人,研究生,职称:中级,研究方向:超声产品材料、创新结构设计与工艺方法研究。

唐明(1982--),男,汉族,四川资阳人,研究生,职称:中级,研究方向:超声换能器。

刘福生(1987--),男,汉族,河北衡水人,本科,单位:深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司,研究方向:超声整机系统及硬件系统。