

强电磁干扰环境下红外成像设备的抗干扰技术

王东方

中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471023

[摘要]伴随红外成像技术于军事侦察、航空航天、智能监控、工业检测等众多领域的普遍运用,该技术在复杂环境中的可靠性与稳定性备受重视。强电磁干扰环境可影响红外成像设备的信号采集、图像传输与处理系统,引发图像噪声增多、信号畸变乃至设备功能丧失。基于红外成像设备抗干扰的需求,对电磁干扰的类别与作用机制展开剖析,全面归纳硬件防护、信号处理和算法优化等抗干扰手段。借助优化器件布局、屏蔽与接地规划、滤波线路以及图像信号处理策略,能大幅提升强电磁干扰环境里红外成像设备的成像品质与稳定性,为红外成像设备于复杂环境中的稳定运用。

[关键词]红外成像;强电磁干扰;抗干扰技术;信号处理;图像稳定性

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17594

中图分类号: TP206

文献标识码: A

Anti-interference Technology for Infrared Imaging Equipment in Strong Electromagnetic Interference Environment

WANG Dongfang

China Aviation Industry Group Luoyang Electronic Optic Equipment Research Institute, Luoyang, He'nan, 471023, China

Abstract: With the widespread application of infrared imaging technology in various fields such as military reconnaissance, aerospace, intelligent monitoring, and industrial inspection, the reliability and stability of this technology in complex environments have been highly valued. Strong electromagnetic interference environments can affect the signal acquisition, image transmission, and processing systems of infrared imaging equipment, leading to increased image noise, signal distortion, and even loss of equipment functionality. Based on the anti-interference requirements of infrared imaging equipment, this paper analyzes the categories and mechanisms of electromagnetic interference, comprehensively summarizes anti-interference methods such as hardware protection, signal processing, and algorithm optimization. By optimizing device layout, shielding and grounding planning, filtering circuits, and image signal processing strategies, the imaging quality and stability of infrared imaging equipment in strong electromagnetic interference environments can be greatly improved, providing stable application of infrared imaging equipment in complex environments.

Keywords: infrared imaging; strong electromagnetic interference; anti-interference technology; signal processing; image stability

引言

红外成像凭借全天时、非接触、高灵敏特性,在军事、航空、安防及工业自动化等范畴被普遍运用。然而,实际应用期间,红外成像装置常需于复杂状况下运行,尤其是有着强电磁干扰的环境,如雷达发射区域、高功率通信设施周边以及工业电磁噪声环境。电磁干扰或许会干扰红外探测器、模拟信号放大器、数字图像处理模块等关键部件,最终影响到图像品质与设备功能的稳定程度。以往红外成像系统设计着重针对热噪声、光学误差等情况,然而在强电磁干扰环境下保障成像效果的技术尚不完善。本研究融合电磁兼容学说、红外成像机制与信号处理手段,探究强电磁干扰场景下增强红外成像装置抗干扰性能的技术途径,为红外设备在复杂作战和工业场景中的稳定运用提供理论支撑与实践举措。

1 强电磁干扰对红外成像设备的影响机制

1.1 干扰信号对红外探测器输出的影响

当面临强电磁干扰环境,红外成像设备受影响最直接的部位里,有红外探测器输入端。电磁信号如射频干扰、

脉冲干扰和宽带噪声等,能通过空间辐射、导体耦合或者接地回路耦合等形式进入探测器系统,使探测器工作时的电压与电流特性产生变化。此类干扰一般呈现为探测器输出信号产生瞬时起伏或长期偏移,造成图像亮度失常、局部出现斑点噪声增多或信号不均衡。尤其在低强度信号或微弱红外辐射情形下,干扰信号幅值或与有效探测信号相近,导致图像信号受严重干扰,频谱上不同类型干扰的分布特性会对探测器输出所受干扰模式产生作用。例如,周期性亮度闪烁或由窄带射频干扰引发,脉冲干扰可让图像出现随机性的噪点或者条纹^[1]。

1.2 模拟信号放大与模数转换环节的抗干扰问题

在电磁干扰环境中,红外成像装置的模拟信号放大与数字转换阶段十分敏感。放大微弱红外信号过程中,或会将耦合进来的干扰信号一同放大,造成输出信号出现非线性畸变或幅值饱和。信号达到饱和状态会致使灰度信息出现缺失,对图像整体亮度和局部细节的呈现效果产生干扰。当开展模数转换工作时,干扰信号或许会造成量化误差与采样偏移,使图像灰度精度下降,造成细微温差难以辨别。

此外,不同频率段的干扰信号或许会在放大器与 ADC 输入端引发谐波和高频噪音,进而加大图像背景的噪声水平。放大和转换电路的布局、屏蔽以及滤波能力与抑制干扰高度相关,过长信号线或平行敷设线路易引发天线效应,从而使外部射频干扰侵入电路。为应对这些难题,可运用差分信号构造、低噪声运算放大器、防饱和构造以及前端滤波等手段,同时配合屏蔽层与接地的优化处理,降低外界干扰对信号幅度和线性造成的影响。

1.3 数字图像传输与处理环节的干扰效应

在红外成像装置里,电磁干扰的敏感部分还有数字图像的传输与处理模块。强电磁场或致数字逻辑电路出现误操作、数据缺失或处理偏差,从而对最终图像的显示和存储的可靠程度造成影响。例如,干扰信号会引发 FIFO 缓存数据错乱、图像帧缺失或像素信息出错,进而引发图像条纹、局部变形或图像滞后。数字模块的抗干扰性能,既取决于芯片自身的抗干扰能力,又和 PCB 线路布局、信号完整性规划、屏蔽层设置及电源管控紧密相连。不恰当的布线与接地方案有放大共模干扰的可能,致使微弱噪声对数字信号的采样和处理产生影响,高速数据传输链路中。宽带噪声与瞬态脉冲干扰极易导致数据传输出错,让系统帧率的稳定性和图像的精度降低。为减少这些难题,数字图像处理阶段可融合硬件滤波、差分信号传输、稳压电源以及屏蔽技术,同时于软件里添加错误探测与修正机制,如冗余编码、帧校验和噪声抑制算法。联合运用软硬件抗干扰手段,能大幅增强红外成像设备在复杂电磁环境中的可靠性与精准度,保障图像传输、处理及显示的稳定,为工业、科研、军事等领域应用筑牢根基^[2]。

2 红外成像设备的硬件抗干扰技术

2.1 器件布局与屏蔽设计

在红外成像装置的硬件抗干扰规划里,器件布局和屏蔽设计是关键的起始部分。器件布局合理可有效降低干扰信号的耦合与传导现象。需使敏感信号处理单元与干扰源分隔程度最大化,调整信号线的走向布局,防止平行布线以及长距离信号线间的相互干扰。此外,给关键器件和模块周边添设金属屏蔽罩,可构建电磁屏蔽结构,阻止外界射频干扰直接影响到信号处理线路。另一关键举措是分区隔离,把电源模块、信号处理模块和控制模块做物理上的分隔,以规避模块间干扰耦合。屏蔽设计应关注接地与通风事宜,保障散热良好并维持屏蔽效能。采用恰当布置与屏蔽构思,可在硬件环节为红外成像系统打造首道防护壁垒,增强设备在复杂电磁环境里的抗干扰性,为后续软件处理和算法优化打造稳定根基^[3]。

2.2 接地设计与滤波电路

接地设计和滤波电路构成硬件抗干扰技术的必要部分。接地方式的选定对电路干扰抑制效果存在直接影响。针对红外成像装置,可依据不同模块的电流特性与干扰源

特征采用多点接地和单点接地策略,结合不同模块的干扰源特征与电流特性做组合优化。采用多点接地方式能够削减高频干扰产生的共模电压,单点接地可让环路电流干扰降低,滤波电路和接地设计配套同样关键,常用的电源滤波装置、信号滤波装置以及旁路电容可有效抑制经电源线和信号线传入的干扰信号。对于电源部分,需构建具备抗干扰功能的电源体系,涵盖电压稳定、隔离以及纹波管控手段,保障核心器件供电稳定。综合运用接地设计与滤波电路,红外成像设备能极大降低电磁干扰在信号传输及处理过程中的影响,让图像采集稳定精确,为系统的稳定运转提供支撑。

2.3 抗射频干扰与过压保护

当面临高强度的电磁干扰环境,红外成像设备的核心器件可能被射频干扰与高频脉冲损害。因此,硬件设计应运用低噪声放大器、差分信号传输以及屏蔽电缆等举措,提升系统抵御射频干扰的能力。低噪声放大器可于微弱信号环境下维持高信噪比,削减外界干扰对图像质量造成的效应。差分信号传输借助双线差分输入和输出消除共模干扰,切实降低外部射频信号对数据传输造成的干扰,屏蔽电缆可防止高频干扰信号直接耦合到信号线上去。针对高频脉冲干扰或是过电压情形,可于关键节点添加限幅电路、瞬态抑制元件与稳压保护元件,以防核心器件遭受过电压冲击毁坏。借助全面且多维度的硬件抗干扰手段,辅以物理隔离、屏蔽、滤波与稳压防护,红外成像系统可于复杂电磁环境中维持高度稳定与可靠,给图像采集及处理提供坚实的硬件保障^[4]。

3 信号处理与算法优化的抗干扰策略

3.1 图像信号预处理

针对红外成像设备实施抗干扰设计时,图像信号预处理是软件范畴最根本、最直接的抗干扰举措。信号预加工涵盖自适应滤波、中值滤波以及噪声抑制等手段。自适应滤波能按照图像局部区域特性对滤波系数加以调整,对干扰噪声实施选择性抑制,还能最大限度留存边缘与细节,提升图像的清晰度。中值滤波借助对像素周围区域的中值运算,能高效消除脉冲噪声与孤立干扰点,尤其适合高频瞬时干扰。噪声抑制算法一般融合空间域和频域的分析,能针对不同干扰类型做优化,在减少图像噪点的同时维持灰度对比度。借助这些前期处理手段,即便输入信号受到电磁干扰,红外成像系统,仍能输出稳定且可识别的图像,给后续处理分析奠定可靠根基。此外,预处理可实时操作,维持图像传输和显示的连贯,特别是在军事侦察以及工业监测这类对时效性要求严苛的场景中意义显著。借助预处理算法与硬件滤波的协同效能,可有效提高红外成像设备在强电磁干扰环境下的整体抗干扰水平,为成像质量筑牢首道屏障^[5]。

3.2 多帧图像融合技术

当遭遇瞬时干扰与间歇性的信号干扰时,多帧图像融

合技术呈现出出色的抗干扰本领。该技术运用对连续采集的多帧图像实施加权平均、像素融合与自适应融合的处理方式,能让偶发性干扰噪声平滑化,明显减小其在最终成像成果里的影响。加权平均法按照图像的噪声程度和帧间的差别,给每一帧像素赋予不一样的权值,达成高噪声区域的衰减处理。自适应融合将运动检测和区域特征分析相整合,对各帧权值做动态调节,达成对目标区域着重留存、干扰区域抑制的效果。此外,多帧融合可提升图像的信噪比,增强灰度层次的展现,增进细节辨别能力。此方法既能用于静态场景,还能拓展到动态目标的成像工作里。通过对帧间做运动补偿,实现对运动目标和干扰的辨别,融合多帧技术与预处理算法协同运用,可创建多维度抗干扰策略,让红外成像系统于复杂电磁环境下,既维持图像品质,保障设备操作连贯稳定,为实际应用给予坚实的技术保障。

3.3 频域分析与智能化处理

在当代红外成像体系里,频域剖析与智能算法被当作高级抗干扰手段,对处理复杂电磁环境下的干扰意义重大。采用频域分析方式,先把图像信号从时间域变换到频率范围,让干扰信号于频谱里展现出特定频率特性。通过对这些频率成分开展识别和分析工作,可针对性地构建频域滤波器,去除周期性的干扰、高频的噪声以及瞬间的异常信号,增强图像整体的清晰程度、对比效果和细节还原度。设计频域滤波器时,不只是依靠普通的低通、带通或者陷波滤波器,还能依据实际干扰信号的幅值、频率分布和变化特点做自适应调整,获取更具靶向性的干扰抑制功效。此方法处理重复性显著或规律清晰的干扰信号时极为有效,能大幅减轻图像噪声对探测与识别工作的干扰,增强红外成像系统工作的稳定性^[6]。

智能算法在抗干扰操作中起到了核心作用。借助机器学习与模式识别手段,系统可对图像里的干扰特征开展分类与识别工作,达成动态自动化的干扰防控,基于历史干扰数据和实际采集样本,自行判定干扰的种类、强度以及分布特征。进而挑选最佳处理办法优化图像。智能算法不仅拥有自适应处理本领,还可借助迭代学习不断提高抗干扰的性能,让系统能应对因环境变化而产生的干扰特性变动。与传统固定滤波和手动调参手段相比,智能算法可迅速应对复杂多变的电磁干扰情况,增强图像处理的效率与精准度,降低人工干预对成像质量的作用。

借助硬件防护、图像信号预加工、多帧图像整合及频域与智能算法操作的综合运用,红外成像装置搭建起多层次、全维度的抗干扰架构。硬件防护保障基础环境稳固,经预处理与多帧融合,可削减瞬态及随机噪声,频域分析结合智能化算法达成有针对性、高精度的干扰控制。不同策略协同实施,让红外成像设备于强电磁干扰场景中,既能维持图像的稳定与清晰,又可增强系统整体可靠度与适应性。此综合抗干扰策略为军事侦察、工业检测、科研观测等多领域应用提供有力支撑,保障红外成像在复杂环境下可长时间稳定地进行高精度成像。

4 结语

本文对强电磁干扰在红外成像设备上产生影响的机制开展系统解析,给出硬件防护与信号处理协作的抗干扰方案。在硬件方面,借助优化器件布局、设计屏蔽与接地以及实施滤波限幅手段,能显著减少干扰耦合与信号失真。借助软件途径,借助图像前期处理、多帧融合处理以及智能算法的优化调整,能增强成像系统抗干扰能力。通过整合硬件及软件举措,红外成像装置在强电磁干扰场景中可维持图像品质与系统平稳性,支持其在军事、航空、安防以及工业等复杂情形里的可靠运用。未来研究可将人工智能与实时数据分析进一步融合,达成更为智能化和动态化的抗干扰技术,增强红外成像设备在恶劣环境中的自主适应与性能优化水平。

【参考文献】

- [1]李艳霞.电子信息通信工程中的设备抗干扰思考[J].信息与电脑,2025,37(12):90-92.
 - [2]杨帅.多射频设备协同感知及抗干扰技术研究[D].安徽:中国科学技术大学,2024.
 - [3]白钰.电子通信设备中的抗干扰接地措施分析[J].电子技术,2024,53(6):44-46.
 - [4]张凤林,张闻朝.自适应抗干扰终端的测试技术及专用设备[J].北斗与空间信息应用技术,2024(2):1-6.
 - [5]陈秉试.电子通信工程中的设备抗干扰接地措施分析[J].集成电路应用,2023,40(8):226-227.
 - [6]张潇北,李一雯.基于抗干扰接地技术的通信工程设备远程重启研究[J].微型电脑应用,2023,39(1):136-139.
- 作者简介:王东方(1982.4—),男,本科,汉族,硕士,高级工程师。