

# 光电混合通信在现代化舰船综合信息网络中的架构设计研究

费香邦<sup>1</sup> 李少鹏<sup>2</sup>

上海航天电子技术研究所 201108

**【摘要】**文章以现代化舰船综合信息网络的通信需求为主要导向,聚焦现代化舰船综合信息网络的核​​心需求,结合光电混合通信技术特性,设计适配舰船环境的三级通信架构,构建完善的性能保障机制,并通过实验验证架构的可行性与优越性,为舰船综合信息网络的升级迭代提供理论与技术参考。

**【关键词】**光电混合通信;舰船综合信息网络;架构

Research on the Architecture Design of Optoelectronic Hybrid Communication in Modern Ship Integrated Information Network

Fei Xiangbang<sup>1</sup> Li Shaopeng<sup>2</sup>

Shanghai Institute of Aerospace Electronics Technology 201108

**【Abstract】**This article focuses on the communication requirements of modern ship integrated information networks, focusing on the core requirements of modern ship integrated information networks. Combining the characteristics of optoelectronic hybrid communication technology, a three-level communication architecture adapted to ship environments is designed, and a comprehensive performance guarantee mechanism is constructed. The feasibility and superiority of the architecture are verified through experiments, providing theoretical and technical references for the upgrading and iteration of ship integrated information networks.

**【Key words】**optoelectronic hybrid communication; Ship Integrated Information Network; architecture

随着舰载诸多新型设备的广泛应用,舰船信息网络需要传输的数据呈现出了“海量性、异构性、实时性”的显著特点,传统的以电通信为主的传输方式因为受到贷款的限制,很难满足高清图像、雷达探测等大贷款业务在传输上的需求;且单一的光纤通信虽然有着贷款较高的优势,但是其在终端设备的适配和灵活部署与抗震动冲击等的短板。所以,融合光纤通信和电通信优势的光电混合通信技术,就成为突破舰船综合信息网络传输瓶颈的主要方向

## 一、现代化舰船综合信息网络业务特性及通信需求

### (一) 舰船综合信息网络核心业务类型

现代化的舰船综合信息网络所承载的业务类型较为复杂,按照功能的属性可以被分为作战指挥类、导航定位类、侦察探测类和保障运维者四大类,不同的业务在传输的特点上也有明显不同。作战指挥类的业务对于传输的实时性和可靠性要求比较高,不允许出现有关数据丢失或者延迟较大的情况,传输的延迟要控制在毫秒级;导航定位类虽然数据量相对比较小,但是对于传输的连续性要求非常严格,需要保证舰船在航行中的定位信息能够实时的更新;侦察探测类的业务量非常大,属于典型的大带宽需求的业务,对于传输速率的要求非常高;而保障运维类的业务对于实时性的要求相对来讲低一些,但是需要保证传输的稳定性与经济性<sup>[1]</sup>。

### (二) 舰船综合信息网络核心通信需求

按照以上业务的实际特点,现代化的舰船综合信息网络的核​​心通信需求可以归纳为以下几点<sup>[2]</sup>:

1.高带宽。随着侦查探测设备分辨率的不断提升,单套

舰载相控阵雷达的峰值数据速率已经达到了数十 Gbps,高清的图像在传输中的速率也达到了 Gbps 级别,这就要求通信网络具有重组的带宽资源来支撑多个业务的一同传输;

2.低延迟。一些关键的业务对于延迟是非常敏感的,端到端的传输延迟需要控制在 10ms 之内,反之将会影响执行的效率,严重的还会导致任务失败;

3.高可靠性。舰船在复杂的海洋环境中航行的时候,通信链路非常容易受到外界的干扰,这就要求网络有着较强的容错能力和故障的自愈能力,以此保障一些关键业务在链路故障的时候仍旧可以正常地传输;

4.强抗干扰。舰船在不同的环境中可能会存在大量的电磁干扰,海洋环境中的盐雾、湿度和振动冲击等因素也会影响到通信设备的正常运行,这就要求通信的架构要具备较好的电磁兼容性和环境的适应性。

### (三) 光电混合通信的应用优势

和传统的单一的通信方式相比较,光电混合通信在适配舰船综合信息网的需求上有着非常显著的优势:

1.带宽资源充足。光纤通信的传输带宽能够达到 Tbps 级别,可以游戏哦啊的支撑侦察探测类的大带宽业务的传输,能够解决传统的电通信带宽不足的相关问题;

2.传输延迟较低。光纤通信的信号衰减比较小、传输的速率较快,能够大幅度地降低业务传输的延迟,从而满足一些关键业务对于低延迟的需求;

3.适配性强。借助电通信链路来对接终端设备,能够解决光纤通信在终端部署灵活性不足的相关问题,从而实现对不同类型终端设备的全面覆盖;

4.抗干扰能力强。光纤通信不会受到电磁干扰的影响,能够有效地提升关键业务在传输上的稳定性,电通信链路也

可以通过抗干扰的设计进一步的增强环境的适应性；

5.可靠性高。借助光电链路冗余的设计，可以实现链路故障时候的快速切换，从而提升网络的容错能力。

基于以上的优势，光电混合通信成为创建现代化舰船综合信息网络的理想选择。

## 二、光电混合通信架构设计方案

结合舰船综合信息网络在业务上的需求及光电混合通信在技术上的优势，文章设计了“骨干层-接入层-终端层”三级光电混合通信架构，借助层级化设计来实现业务精准适配及高效的传输。架构设计的整体思路为：骨干层使用光纤通信创建核心传输的链路，以此保障大带宽、低延迟业务的骨干传输；接入层使用光电混合接入的方式，以此实现骨干层和终端层的高效衔接，用以适配不同类型终端在通信上的需求；终端层使用电通信链路对接各个类别舰载的设备，以此保障设备数传的灵活传输<sup>[9]</sup>。

### （一）骨干层架构设计

骨干层是舰船综合信息网络的核心理传输枢纽，主要负责各个区域业务的数据采集和转发，直接地决定网络整体的传输性能。借助光纤通信的高带宽和低延迟的优势，骨干层使用全光纤拓扑结构，选择使用波分复用（WDM）技术来提升光纤链路的带宽实际利用率。

#### 拓扑结构

骨干层使用环形拓扑结构设计，把舰船的导航中心、侦察中心、动力保障等中心且核心的节点借助光纤链路连接从而形成环形网络。环形拓扑的优势在于能够保持较好的容错能力，当某一个段的光线链路发生故障的时候，数据能够借助反向链路的传输来保障核心业务的连续性。与此同时，在环形拓扑基础上，增加核心节点之间的直连链路，形成“环形+星形”的混合拓扑，有效提升骨干层的传输效率及可靠性。

#### 通信协议

骨干层使用 IEEE802.3ae 标准（10Ethernet）作为核心的通信协议，结合了多协议的标签交换（MPLS）的技术来实现业务数据的快速转发与隔离。IEEE802.3ae 标准能够保障 10Gbps 以上的传输速率，满足了大带宽相关业务的骨干传输的需求；MPLS 技术借助给不同类型业务的数据添加相关标签，以此实现业务的精准转发和优先级的区分，保障一些关键业务的传输优先级能够高于普通的业务。

#### 设备选型

核心的节点使用高性能的光线交换机，支持 WDM 技术及 MPLS 技术，端口的速率不低于 10Gbps，具备了冗余电源及风扇的设计，提升了设备在舰船震动和盐雾环境中的稳定性；光纤选择使用单模光纤，传输的损耗较低、传输的距离较远，能够满足舰船各个核心节点之间对于长距离传输的需求，也具备了较好的抗弯曲的性能，适配了舰船空间受限的部署环境。

### （二）接入层架构设计

接入层是骨干层和终端层的衔接桥梁，主要负责把终端

设备的相关业务数据汇聚到骨干层中，并把骨干层的相关控制指令发送到终端设备中。考虑到了终端设备有多啊阳性和通信需求存在的差异性，接入层采用光电混合接入的方式，针对不同类型的终端设备设计了相对应的接入链路。

#### 拓扑结构

接入层使用了星形拓扑的设计，以接入交换机为核心，实现了对周边终端设备的集中接入。每一个接入的交换机对应了一个剪床工嗯呢该区域，借助光纤链路和骨干层的核心交换机连接，保障了接入层和骨干层之间高带宽的传输；接入交换机借助电通信链路来对接区域之内的终端设备，实现了设备数据更加灵活的介入。与此同时，相邻区域中的接入交换机之间所增设备用的光纤链路，形成了接入层中的冗余备份，大幅度提升接入层的可靠性。

#### 通信协议

接入层和骨干层之间使用和骨干层一致的 IEEE802.3ae 标准，以此保障上下行的链路在传输速率上的匹配；接入层和终端设备之间按照终端的类型选择不同的通信协议。针对一些大带宽需求的设备，使用 IEEE802.3ab 标准来保证 Gbps 级别的传输速率；对于一些小数据且低速率需求的设备，使用 RS485 协议或者 CAN 总线协议，以此提升通信的经济性与稳定性；针对一些无线终端设备，增加无线接入点，使用 IEEE802.11aC 标准来实现无线终端灵活接入。

#### 设备选型

接入交换机选择使用光电混合交换机，能够同时具备多个光纤端口及电端口，光纤端口主要用来连接骨干层，电端口用来对接终端设备，支持端口速率自适应的功能，能够按照终端设备的需求自动的调整成传输的速率；无线 AP 选择使用工业级的无线设备，有着较好的抗电磁干扰能力和环境的适应性，且支持多个用户并发接入，保证无线终端在通信上的稳定性；接入层也配备了光模块和电信号转换模块，实现了光电信号的高效转换，光模块使用 SFP+模块，支持 10Gbps 传输速率，电信号转换模块使用工业级的转换模块，保证信号在转换中的稳定性和可靠性。

### （三）终端层架构设计

终端层是舰船综合信息网络的终端接入部分，直接对接了不同类型的舰载设备，主要任务为业务数据的采集及相关控制指令的执行。终端层设计的主要目标是为了实现对不同类型舰载设备的全方面适配，以此保证设备数据的精准采集及传输。

终端层使用“设备-终端适配器”的介入模式，借助终端适配器来实现舰载设备和接入层链路的适配连接。不同类型的舰载设备借助相对应的终端适配器接入网络。针对具备了以太网接口的相关设备，借助以太网的适配器直接的接入到接入层的电端口；针对不具备以太网接口的一些传统设备，借助协议转换适配器把设备的原始信号转换成为以太网信号之后接入网络；针对一些移动终端设备，借助无线适配器来接入无线的 AP，以此实现无线接入。

在设备选型上，终端适配器选择使用工业级的适配设备，有着较好的抗震动和抗盐雾的性能，支持多个协议转换的功能，能够按照不同设备的接口类型及信号类型精准地适

配;针对一些关键的设备,使用冗余适配器的设计,配备了两个相互独立的接入链路,以此保证设备能在单一链路故障的时候保持正常的通信。

### 三、架构性能保障机制设计

#### (一) 抗干扰机制设计

舰船的实际环境中会存在大量的电磁干扰,在海洋环境中的一些雷电和静电等也会对通信的链路产生不必要的干扰,需要针对性地设计一些抗干扰的机制。

针对光纤通信链路来说,由于光纤自身不会受到电磁干扰的影响,抗干扰的重点就在于光纤接口设备的电磁屏蔽设计。光纤的交换机和光模块等的设备使用金属外壳进行封装,外壳进行接地处理,从而形成电磁的屏蔽层,阻挡一些外部的电磁干扰进入设备的内部;光纤的接口使用密封式的设备,配备电磁屏蔽头,用于接口位置的电磁泄漏及干扰;光电链路的敷设使用金属桥架来防护,有效增强链路的抗电磁干扰能力。

针对电通信链路,使用多种抗干扰技术来提升链路的整体抗干扰能力。

首先使用了屏蔽电缆,电缆的外层使用金属屏蔽网,两端接地,能够有效阻挡外部的电磁干扰;

其次,使用差分信号的传输技术,借助两根信号线来传输相反的信号,干扰信号在两根信号线上产生影响来相互抵消,以此提升信号传输的稳定性;

再次,使用了滤波技术,在电通信链路的连段配备滤波器,以此滤除信号中存在的干扰成分,保证相关有效信号能够正常地传输;

最后,优化了链路的敷设路径,把电通信链路和动力电缆及雷达发射天线等一些较强的干扰源保持安全的距离,有效避免污染源对通信链路产生直接的影响。

#### (二) 抗振动环境适配机制设计

舰船在航行中也会产生持续的振动,可能会使得通信的设备松动或者链路链接的脱落,从而影响网络的正常运行。对于这样的问题,会从设备的安装与链路固定这两个方面设计抗振动环境的适配机制。

##### 设备安装

全部的通信设备都使用了防震安装支架,支架的材料使用强度比较高的合金材料,有着较好的减震性能。支架和设备之间使用橡胶的减震垫,借助橡胶的弹性形变来吸收振动的能量,以此减少振动对设备所产生的影响;设备和支架之间的连接使用防松动的螺栓,螺栓配备了防松动的螺母和弹簧垫圈,以此防止振动会导致的螺栓松动。

##### 链路固定

光纤和电缆在敷设上使用防震卡箍来固定,卡箍之间的距离不超过 50cm,以此保证链路在震动中不会发生位移;光纤的链路在连接上使用可以插拔的防震光接头,接头之内配备了弹性的固定结构,以此防止振动会导致的接头脱落;电缆的链路在连接上使用压接式的接头,且接头和电缆之间的连接较为紧密,有着较好的抗振动性能。

#### (三) 容错备份机制设计

为了保证网络在链路或者设备故障的时候能够正常地运行,设计了多个层次的容错备份机制,包含了骨干层、接入层和终端层这三个级别。

##### 骨干层的容错备份

使用了环形拓扑的自愈机制,当某一段的光纤链路出现故障的时候,网络会自动的检测故障的位置,借助环形拓扑的方式链路创建传输路径,故障的自愈时间 < 300ms;与此同时,核心的交换机使用双机热备设计,两台交核心的交换机实时了同步数据,在主用的交换机出现故障的时候,备用的交换机会自动的切换为主用的状态,切换的时间 < 50ms,以此保证骨干层核心设备的可靠性。

##### 接入层容错备份

相邻的区域在接入交换机之间增加了光纤链路,在某一个接入的交换机和骨干层的主用链路发生故障的时候,会自动切换到备用的链路,借助相邻的接入交换机接入到骨干层;接入交换机也采用了双机热备设计,主备交换机会实时的同步接入终端的信息,以此保证接入层设备在故障时候业务保持连续性。

##### 终端层容错备份

对于一些关键的终端设备使用了双适配器和双链路的接入设计,两个适配器分别连接不同的接入交换机,形成了相互独立的接入链路,当一条链路发生故障的时候,会自动切换到另一条链路中,保证关键设备能够持续通信。

同时,也设计了网络状态监测系统,实时的奸恶各个层级的链路的实际传输状态机设备的实际运行状态,在检测到异常的时候,会即时的发出告警的信号,并自动的启动容错备份机制,以此提升网络的故障响应效率。

### 结束语

文章围绕现代化的舰船综合信息网络对于通信的实际需求,关注光电混合通信架构设计进行研究,初步探索了融合了光纤高宽带和电通信灵活适配特点的技术路径,为突破舰船信息传输瓶颈提供了全新的思路。

### 参考文献

- [1]龙清钧,朱显峰.光电混合缆在通信网络中的电力传输与数据传输技术[J].中国新通信,2025,27(03):22-24.
- [2]陈跃飞.光电混合网络的通信协议研究[D].西安电子科技大学,2024.
- [3]彭紫哈.光电混合通信的物联网组网技术研究[J].中国宽带,2024,20(01):112-114.