

机载超短波通信系统链路调度策略研究

王 颖

(中国电子科技集团公司第十研究所, 四川 成都 610036)

摘 要: 机载超短波通信系统主要承担飞机对外语音信息、情报信息及态势信息等多种信息的传输工作。在日常使用中, 机载超短波系统需要基于不同的任务需求配置功能线程, 以完成多路机载语音、数据链传输任务。传统的静态调度方法越来越难以满足日益增长的通信需求, 同时也造成链路资源开销大、冗余高的问题。基于以上问题, 提出了一种基于天线分时复用的动态链路调度策略及具体实现方法, 包括天线资源管理、功能线程状态监测和资源仲裁策略等; 针对动态调度天线可能造成接收信号不连续的问题进行了影响分析, 结果表明合理配置天线切换周期能够保证正常通信。

关键词: 超短波通信; 链路调度策略; 资源仲裁

中图分类号: TN914

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1003-3114(2023)02-0306-06



Research on Link Scheduling Strategy of Airborne Ultrashort Wave Communication System

WANG Ying

(The 10th Research Institute of CETC, Chengdu 610036, China)

Abstract: The airborne ultra-short wave communication system is mainly responsible for the transmission of various information such as voice information, intelligence information, and situation information. In daily use, airborne ultrashort wave systems need to configure functional threads based on different mission requirements to complete the tasks of multi-channel airborne voice and data link transmission. Traditional static scheduling methods are becoming more and more difficult to meet the growing demand for communication, and at the same time, they also cause problems such as high link resource overhead and high redundancy. To solve above problems, a dynamic link scheduling strategy based on antenna time-sharing multiplexing and its specific implementation method are proposed, including antenna resource management, functional thread status monitoring and resource arbitration strategy. The impact analysis of the problem that the dynamic scheduling antenna may cause the received signal to be discontinuous is analyzed. Results show that the rational configuration of the antenna switching cycle can ensure normal communication of the function.

Keywords: ultra-shortwave communications; link scheduling strategy; resource arbitration

0 引言

超短波具有信号传输稳定的特点, 是目前最主要的机载通信手段。机载超短波通信系统是指以 VHF/UHF 频段电磁波作为信息载波, 用于飞机对外的语音和数据信息交互的通信设备^[1-2]。

机载超短波通信系统是多功能线程并行通信系统, 一般装配多条超短波通信链路^[3]。传统超短波

通信采用单链单天线的配置方式, 即每条链路固定配置一副天线; 而实际情况下, 超短波天线受装机位置和总体布局的影响, 装机后部分方向的天线增益无法满足使用需求, 导致通信质量差、不稳定^[4-6]。

目前先进的机载超短波通信系统采用天线空间分集的方式提升天线空域覆盖, 可有效改善通信的可靠性和稳定性^[7-8]。但此类系统进一步加大了天线和射频链路的资源开销, 加剧了机载平台负荷。如何在保证通信质量的情况下减少资源开销, 是当前机载超短波通信系统亟待解决的问题。

收稿日期: 2022-12-26

1 机载超短波通信系统架构和特点

1.1 机载超短波通信链路

机载超短波通信系统是多线程并行通信系统,为飞行员提供常规、抗干扰话音和数据业务,根据任务需求,也提供搜救话音/数据和船舶自动识别信号接收等业务^[9-11],如图1所示。

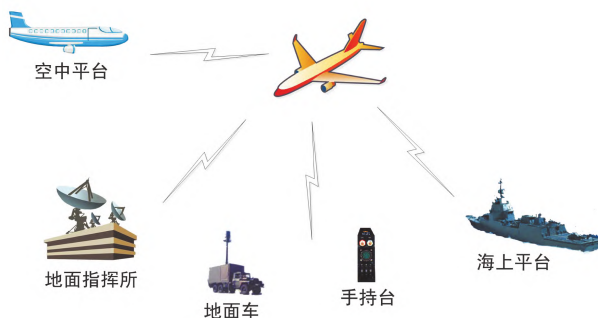


图1 机载超短波频段通信示意图

Fig. 1 Schematic diagram of airborne ultra-shortwave band communication

机载超短波通信是半双工通信,传统的超短波通信链路采用一副天线进行收发,如图2所示。

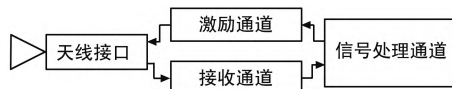


图2 单天线超短波通信链路

Fig. 2 Single-antenna ultra-shortwave communication link

由天线接收到的信号通过天线接口完成低噪声滤波和放大,经过接收通道完成下变频、幅度调整及AD变换,信号处理内完成解调^[12];单一超短波天线在装机后受机体遮挡、天线安装角度调整等因素影响,天线方向图发生畸变,在空域覆盖要求内增益无法保证完全满足通信需求,导致通信出现信号质量差、通信中断等问题^[13]。

目前先进的机载超短波通信链路多采用天线分集技术手段,利用两副安装在不同位置的天线,空域覆盖具备互补性,为接收信号提供更多副本^[14-15],在信号处理中选择信号质量好的链路送至应用层,从而提高传输的可靠性,如图3所示。目前基于双天线的机载超短波通信系统采用静态链路配置,即并行的功能线程为 N 路,需要配置 $2 \times N$ 组超短波天线及射频资源,硬件开销较大。

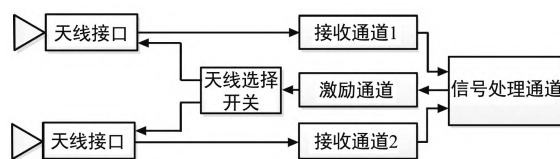


图3 双天线超短波通信链路

Fig. 3 Dual antenna ultra-shortwave communication link

1.2 基于天线分时复用的机载超短波通信系统

在多线程并行情况下,每条链路均采用独立的两副超短波天线通信,实现成本很高。随着机载通信需求的种类和数量日益增长,采用天线资源堆叠的方式实现多任务并行的超短波通信系统是不现实的。

当前机载超短波通信系统采用静态链路调度方式,架构可配性低、不够灵活、资源利用率较低。本文提出了基于天线分时复用的机载超短波通信系统,采用天线动态切换的链路调度策略。由图4可以看出,基于天线分时复用的超短波通信链路通过射频矩阵开关,按照预设的天线切换周期动态构建天线与信道间的通信链路,采用单信道分时接收双天线射频信号,当信号处理捕获到有用信号时停止矩阵切换,完成信号接收,接收结束后继续动态切换天线,直至再次捕获到有用信号。

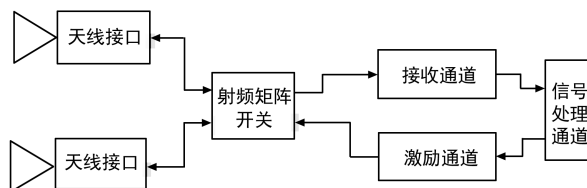


图4 基于天线分时复用的超短波通信链路

Fig. 4 Ultra-shortwave communication link based on antenna time-sharing multiplexing

基于天线分时复用的超短波通信系统采用动态资源调度策略,根据链路状态进行实时分配,及时释放出未被占用的天线,天线利用率高;无需采用两路信号同时接收,射频链路资源开销减少,每条链路在当前时刻只占用一副天线和一路信道资源,当链路的天线资源出现冲突时,根据链路优先级,完成天线资源调度,基于天线分时复用的超短波通信系统框架如图5所示。

基于天线分时复用的超短波通信系统较原有单天线超短波通信系统,采用两副超短波天线进行分集接收,提升了机载超短波通信链路的稳定性和可靠性;与静态链路配置的双天线超短波通信系统相比,采用射频矩阵开关动态接入两副天线,在保证通信质量的前提下,大幅减少了天线和信道资源开销。

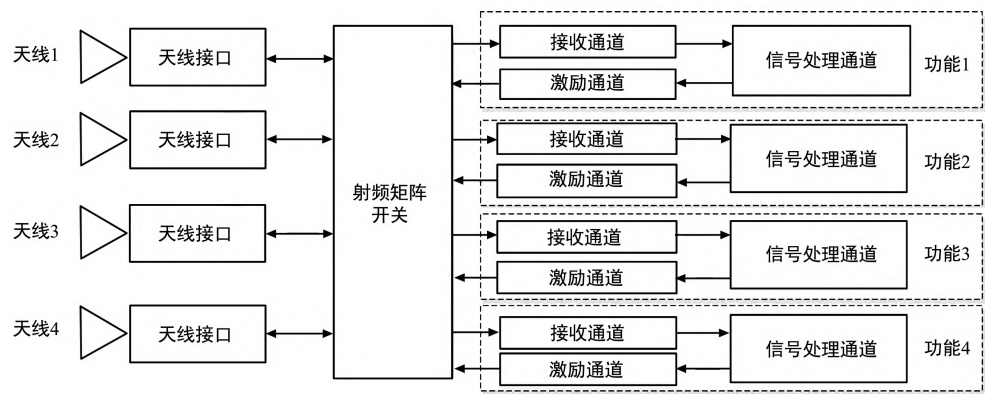


图 5 基于天线分时复用的超短波通信系统

Fig. 5 Ultra-short-wave communication system based on antenna time-sharing multiplexing

2 动态链路调度策略

传统的机载超短波通信系统链路调度采用静态链路调度方式,即当功能线程运行时,分配给该线程的链路资源(数字处理、射频链路及天线)是固定的。这种链路调度策略实现简单、易于管理,但架构可配性低、不够灵活、天线利用率低。在选择天线分集的超短波系统中硬件资源需求大幅提升,基于静态链路调度的超短波通信系统在机载平台实现困难。

基于天线分时复用的机载超短波通信系统采用动态调度方式,根据功能线程状态,实时分配天线资源,既不会大幅增加硬件资源又可以保证功能线程分时接入多副天线信号,实现空域覆盖提升。当多

功能线程并行工作时,存在天线资源竞争和冲突问题。动态链路调度策略是基于天线分时复用的机载超短波系统的一个关键技术,对通信稳定性和可靠性有很大的影响。

2.1 调度策略概述

基于天线分时复用的动态链路调度策略分为天线资源管理、功能线程状态监控以及资源仲裁策略。链路调度策略根据当前天线资源状态和功能线程状态选择预分配的天线,分配原则是为每个超短波功能线程选择两副空域覆盖互补最高的天线进行有用信号搜索;当需要发射时,优先选择上一次接收到信号的天线进行发射,当天线资源存在冲突时,由资源仲裁策略完成天线资源的分配,工作流程如图 6 所示。

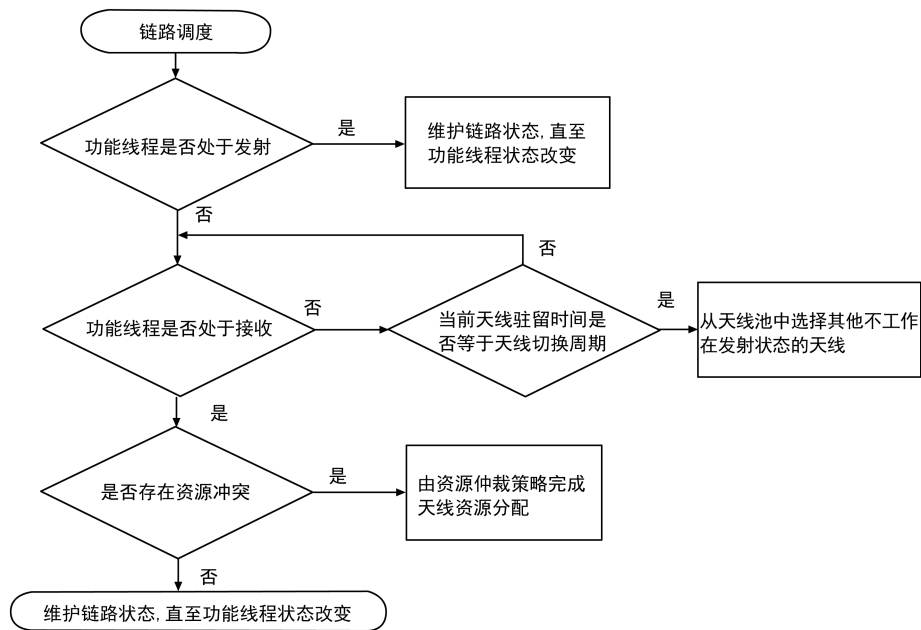


图 6 链路调度工作流程

Fig. 6 Link scheduling workflow

2.1.1 天线资源管理

动态链路资源调度的核心是为功能线程提供最优的天线资源,机载平台装配的所有超短波天线资源均处于超短波通信系统天线资源池中。当功能线程运行时,链路调度在天线资源池选择可用的天线,完成天线与功能线程所在信道资源链路连接,并标记该天线被使用的状态和对应功能线程。天线资源的工作状态有以下三种:

- ① 当天线处于发射状态时,该天线资源只能被当前线程使用;
- ② 当天线处于搜索状态时,该天线资源可以被多个处于搜索或接收状态的功能线程共用;此时如果有功能线程需要使用该天线发射,可以占用该天线发射;
- ③ 当天线处于接收状态时,该天线资源可以被多个处于搜索或接收状态的功能线程共用;此时如果有功能线程需要使用该天线发射,链路调度根据提出发射请求的功能线程和正在接收的功能线程二者的优先级,将天线资源分配给优先级更高的功能线程。

2.1.2 功能线程状态监控

天线资源的工作状态是由当前使用该天线的功能线程状态决定的,功能线程状态分为搜索、接收和发射三种状态。链路调度监控功能线程状态,完成天

线资源的动态分配。当功能线程处于搜索状态时,链路调度根据预设的天线切换周期完成天线切换;当功能线程处于接收或者发射状态时,链路调度维护功能当前链路状态直至功能线程转为其他状态。

2.1.3 资源仲裁策略

资源仲裁是链路资源调度的核心。多功能线程并行工作时,天线资源存在冲突和竞争,如表 1 所示。

表 1 采用相同天线的功能线程资源使用情况
Tab. 1 Usage of functional thread resources using the same antenna

需要使用该天线的功能线程状态	正在使用该天线的功能线程状态		
	搜索	接收	发射
搜索	共用	共用	冲突
接收	共用	共用	冲突
发射	冲突	冲突	冲突

出现天线资源冲突时由资源仲裁策略决定天线资源的分配。由于发射过程被中断将影响收发双方的通信体验,故当天线处于发射时,其他功能线程不能抢占该天线。其他情况下,则由资源仲裁策略根据功能线程的优先级进行天线分配,资源仲裁工作流程如图 7 所示。

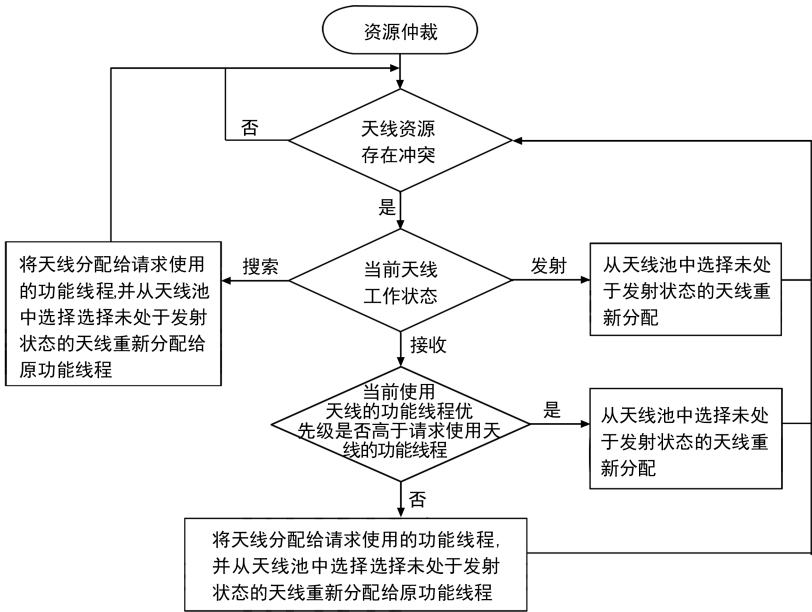


图 7 资源仲裁工作流程
Fig. 7 Resource arbitration workflow

2.2 基于动态链路调度的功能线程工作流程

2.2.1 单功能线程

为保证通信空域覆盖,单个功能线程接收时采用多副天线分时接入,接入天线后进行通信信号搜索和捕获,未捕获到有用信号时,资源调度根据设定的切换

周期,完成天线资源切换,接入下一个天线继续搜索信号;当捕获到有用信号时,维持当前天线接入状态,完成信号的完整接收后再释放天线资源。发射时,资源调度优先选择上一次接收到信号的天线,完成天线切换后进行发射,单功能线程资源调度流程如图 8 所示。



图 8 单功能线程资源调度流程

Fig. 8 Single-function thread resource scheduling process

2.2.2 多功能线程

机载超短波系统多个功能线程并行工作时,不同功能线程可以同时使用同一副天线搜索和接收信号;但天线处于发射时,只允许一个功能线程使用,此时其他功能线程只能使用未处于发射状态的天

线。如图 9 所示,两个功能线程使用两副天线工作,当功能线程 1 使用天线 2 发射时,功能线程 1 驻留在天线 1 搜索信号。如图 10 所示,功能线程 2 优先级高于功能线程 1,当功能线程 2 使用天线 2 接收时,链路调度策略分配天线 1 用于功能线程 1 发射。

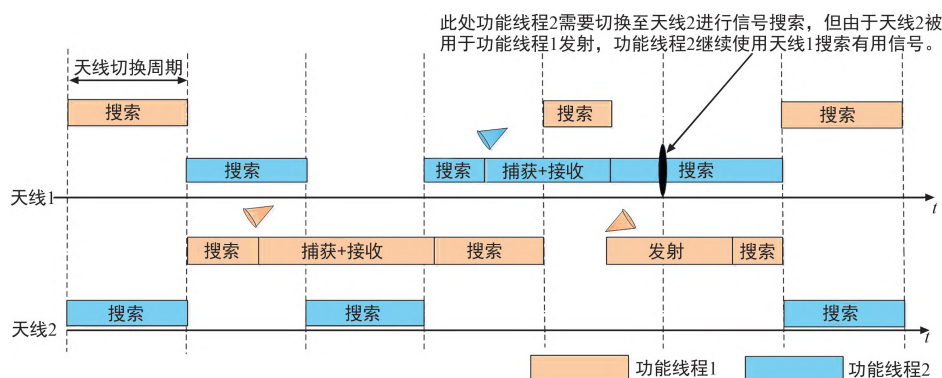


图 9 多功能线程资源调度流程(发射状态优先级高于搜索状态)

Fig. 9 Multifunctional thread resource scheduling process (emission state takes precedence over search state)

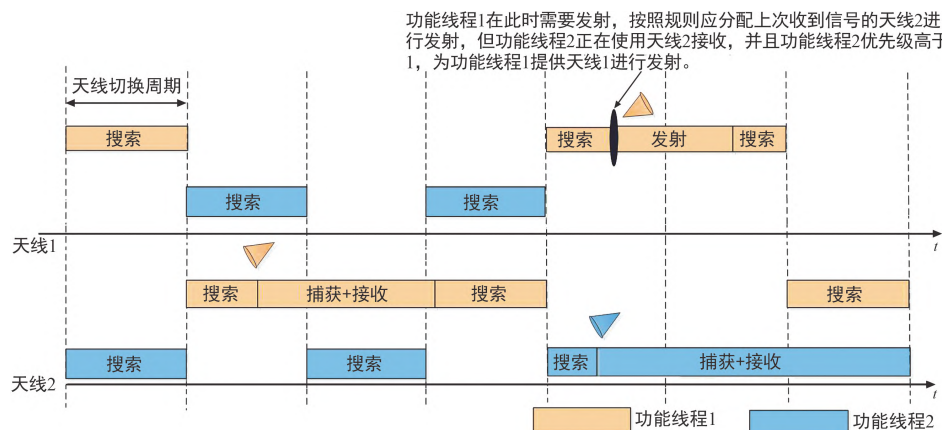


图 10 多功能线程资源调度流程(功能线程 2 优先级高于功能线程 1)

Fig. 10 Multifunctional thread resource scheduling process (functional thread 2 has a higher priority than functional thread 1)

3 动态链路调度策略对功能影响分析

基于天线分时复用的动态链路调度策略能够有效提升天线利用率,减少信道资源开销。由上节链路调度策略可知,链路调度依据功能线程当前状态和天线当前使用情况进行资源配置。功能线程处于

搜索状态时,链路调度会根据预设的天线切换周期为功能线程分时接入两副超短波天线,天线切换周期记为 t_0 ;由于单一天线装机后方向图无法完全覆盖通信空域,存在当前接入的天线未覆盖到接收信号,但未接入的天线能够覆盖到接收信号,导致此时功能无法接收的现象。

在正常通信过程中,接收端射频信道需要进行开关切换、放大、AGC 建立、频率转换以及模数转换等,从天线收到信号到数据处理收到稳定数字信号的这段处理时间被称为信号建立时间,记为 t_c 。为保证通信的可靠性和稳定性,在通信波形设计过程中,发射端在发送用户信息前会填充一段保护信息,记为 t_p ,保护信息的持续时间 $t_p \geq 2t_c$ 。这样,在接收

端信道处理过程中不会损失有用信息。

动态链路调度策略中,天线切换周期 t_0 是可以设置的,当 $t_0 \leq t_c$ 时,即使发射端发出信号时,接收端选择的的天线无法覆盖来波方向;当切换至能够接收到信号的天线时,由天线无法覆盖和接收信道建立损失的时间 $t_0 + t_c \leq t_p$,不会造成用户信息的损失,可以正常接收,如图 11 所示。



图 11 通信空域仅单天线覆盖时通信接收正常

Fig. 11 When only a single antenna is covered in the communication airspace, the communication reception is normal

由以上分析可以得出,动态调度策略能够根据通信体制选择合适的天线切换周期,保证用户信号正常接收。

4 结论

根据当前机载平台超短波通信系统并行功能线程多、信道资源紧张和天线布局受限的问题,提出了一种基于天线“分时复用”的动态链路调度策略及具体的实现方法。针对动态链路调度策略对通信功能的影响进行了分析,结果表明合理配置天线切换周期,能够保证信号的正常接收。本文提出的动态调度策略既保证功能线程可以分时接入多副天线信号,实现空域覆盖提升,又不会加重硬件资源开销,为后续机载设备的超短波通信系统设计提供参考。

参考文献

- [1] 张翥杨. 某型机载超短波语音通信系统原理研究及设计[J]. 信息与电脑, 2017(14): 181-191.
- [2] 史彦斌, 高宪军. 航空机载超短波电台效能评估研究[J]. 通信技术, 2010(2): 51-53.
- [3] 茅成. 综合通信导航识别系统中的多链路超短波通信的实现[J]. 电讯技术, 2009, 49(8): 59-64.
- [4] 魏亮, 王涛涛, 李峰. 飞机超短波天线合理布局仿真计算[J]. 现代电子技术, 2012, 35(13): 95-97.
- [5] 周桑桑. 机载垂尾超短波通信天线的辐射特性研究与仿真[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- [6] 杨胜学. 机载超短波天线综合检测技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2016.

- [7] 张丙飞, 赵海波, 成建波. 基于双天线数传超短波电台的设计与实现[J]. 通信技术, 2018, 51(6): 1444-1448.
- [8] 赵爽. 多天线系统中天线选择技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [9] 陈芳准, 黄炜, 范鹏. 机载 AIS 监视性能仿真研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2013(6): 627-631.
- [10] 杨冰. 机载任务多链路资源分配研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [11] 刘威鑫. 无线通信系统中协同分集策略研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [12] 李建强, 王刚. 基于 HSP50110、HSP50210 和 FPGA 的机载超短波电台接收通道设计[J]. 航空电子技术, 2006, 37(2): 6-9.
- [13] 周文兵, 陈志君. 直升机超短波通信链路分析[J]. 直升机技术, 2012(3): 34-37.
- [14] JARDINE A J, THOMPSON J S, MCLAUGHLIN S, et al. Dual Antenna Cooperative Diversity Techniques Communications[J]. IEEE Proceedings, 2006, 153(4): 556-564.
- [15] 王玥, 杨峰, 丁良辉. 基于 CDD 技术的无人艇通信链路研究[J]. 信息技术, 2021(6): 16-21.

作者简介:



王 颖 中国电子科技集团公司第十研究所工程师。主要研究方向: 机载航空电子系统设计。