

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.07.016

引用格式:张智慧.基于目标运动估计的越区切换优化策略[J].电讯技术,2015,55(7):797-801.[ZHANG Zhihui. Handoff Optimization Based on Target Motion Estimation[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(7):797-801.]

# 基于目标运动估计的越区切换优化策略\*

张智慧\*\*

(北京信息职业技术学院,北京 100015)

**摘要:**地空数据通信系统的越区切换不仅要尽可能地减少切换次数,还要保持地面通信路由优化,以提高地空通信保障的可靠性。通过采用基于加速度的运动估计预测目标位置,并融合最短路径算法确定越区切换站点,在保证地空数据通信质量的同时提高了越区切换的效率,满足空中目标自由机动情况下的跨区域无缝通信要求。

**关键词:**地空数据通信;越区切换;路径优化;目标运动估计

**中图分类号:**TN919 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)07-0797-05

## Handoff Optimization Based on Target Motion Estimation

ZHANG Zhihui

(Beijing Information Technology College, Beijing 100015, China)

**Abstract:** For the handoff of ground-air data communication system, not only handoff times need to be reduced, but also ground communication route optimization is required in order to improve the reliability of ground-air communication. Based on the prediction of target position and the integration of the shortest path algorithm, the handoff site is determined. With this method, the quality of ground-air data communication is ensured and the handoff efficiency is improved, which meets the cross-regional seamless communication requirement of air targets in free maneuvering state.

**Key words:** air-ground data communication; handoff; path optimization; target motion estimation

### 1 引言

越区切换是地空数据通信系统的关键技术之一,是实现空中目标跨区域、远程不间断信息交互的重要手段<sup>[1]</sup>。地空数据通信一般为视距通信,空中目标在飞行时往往会跨越多个地面站点的通信覆盖范围,为保证地面控制中心与空中目标的不间断通信,就必须实时切换与空中目标通信的地面站,通过地面通信网络中继,保证地空不间断通信<sup>[2]</sup>。目前的越区切换设计大多是集中在地面站点的通信检测和目標位置优化上<sup>[3-5]</sup>,没有将空中目标、地面站、控制中心和地面通信网络看成是一个体系进行综合

考虑,导致越区切换可能受空中目标自由机动或地面通信网络影响。本文综合考虑地空通信链路、地面通信网络因素,提出了一种基于路径估计的越区切换策略,用于地空通信组网,以提高跨区域、远程地空通信的可靠性和无缝性。

### 2 组网方式下的越区切换设计

为了实现大区域范围内地面站点资源的共享使用,往往将地面站点、各类控制中心通过地面通信网络进行组网使用,由地空通信组网中心统一调配地空通信资源,组织空中目标、地面站点和控制中心实

\* 收稿日期:2015-04-13;修回日期:2015-06-23 Received date:2015-04-13;Revised date:2015-06-23

\*\* 通讯作者:zhangzh@bitc.edu.cn Corresponding author:zhangzh@bitc.edu.cn

施越区切换,提高通信资源利用效率,实现远程一站式地空通信保障。地空通信组网中心在选择空中目标和地面站之间的通信时,不仅要考虑地面站点就近原则,把握越区切换时机,而且还要考虑地面通信网络质量,预先规划地面站点保障路径,成体系实施地空通信保障。

虽然按照移动通信中基于接收质量的越区切换方式易于实现,理论上也能够保证地空通信质量,但在实际运用时由于环境干扰以及空中目标高速机动,会导致一旦空中目标收不到当前站点的询问报文,越区切换就无法实施,后续地空通信失效。通过融合利用地面雷达探测的目标位置和空中目标下传的平台信息,可以比较精确地定位空中目标位置,合理预测目标相对地面站点的距离,对比地面站点的通信覆盖能力,较好地确定越区切换时机。

组网条件下,每次实施越区切换都涉及到空中目标信道的选择、控制中心信道的选择和地空通信组网中心目标参数的调整,是一个复杂的系统工程。目前的越区切换设计基本上都忽略了对地面通信网络的考虑<sup>[3]</sup>,单纯地追求地空通信质量,空中目标处于地面站点重叠覆盖区域且通信不稳定时就会频繁实施切换,而且一旦三者之间不能同步,就会导致切换失败。考虑到地空通信与移动通信中的终端随机移动不同,空中目标的飞行线路一般是经过预先规划,即便临时自由机动的空域也是相对固定的,这就为预先规划越区切换提供了可能。实际的地空通信中,有时还需要保持无线电静默,则更加需要预先规划。利用这一预知条件,可以在实际应用中将越区切换次数降到最小,实现体系保障效能最优。

本文综合考虑上述两个方面的因素,通过采用基于加速度的运动估计预测空中目标位置,实时监测越区切换时机;应用最短路径算法预先规划越区切换地面站点,当确认目标自由机动到预先规划路径之外时,则快速重新规划越区切换路径和策略,降低越区切换的虚警率,确保地空通信的可靠性和有效性。

### 3 基于运动估计的越区切换检测

地空通信受外界干扰的因素比较多,尤其是在对抗条件下电磁环境更为复杂,甚至需要无线电静默,使得通过空中目标检测地面站信号强度辅助进行越区切换就会变得非常困难。实际上,地面站点

在配置时就充分考虑了地空通信的覆盖高度和范围,也具备检测站点周围电磁频谱的能力,利用空中目标的位置可以在检测不到应答信号的情况下完成预先切换。地空通信组网中心在掌握所有的地面站点的位置和通信覆盖范围的情况下,通过空中目标位置和运动趋势来确定越区切换时机,据此通知空中目标的下一个地面站点和频率,确认空中目标、地面控制中心建立通信链路后,释放原地面站点链路资源,就可以保证通信的可靠性和连续性。如果未能完成空中目标与接替地面站点的建链确认,而空中目标位置已经完全脱离原站点覆盖范围,组网中心也可以通过调整接替地面站点工作在相同的频点和波道,以守候空中目标应答,一旦确认,则立即释放原站点链路资源,确保通信不间断。

基于上述越区切换控制思路,需要建立目标的运动估计算法,预测目标下一步位置,确定越区切换时机。考虑到空中目标的机动能力有限,存在最大加速度  $a_{\max}$ ,利用地面预警探测网获得的空中目标信息,可建立空中目标的运动方程如下:

$$P = vt + 0.5(a + a_z)t^2 + P_0, -a_{\max} < a_z < +a_{\max}。 (1)$$

式中,  $a_z$  是空中目标加速度变化量,  $P_0$  是空中目标当前位置,  $v$  是空中目标速度,  $a$  是空中目标加速度。据此运动方程可预测空中目标的运动位置。

令  $P_1 = vt + 0.5at^2 + P_0$ , 可得

$$P = P_1 + 0.5a_z t^2, -a_{\max} < a_z < +a_{\max}。 (2)$$

式中,  $P_1$  是按照当前运动趋势估计的下一时刻目标位置。

由此可知,目标下一时刻的位置一定是在预测位置  $P_1$  周围以  $0.5a_{\max}t^2$  为半径的扇形区域内,如图 1 所示。利用这一运动特性,根据地面站点的布局与通信覆盖范围,就可以确定地面站点越区切换的时机。

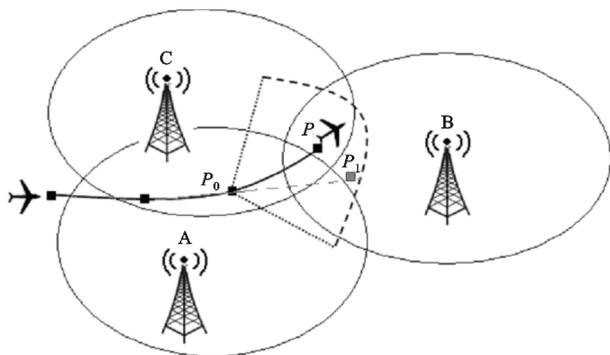


图 1 目标位置预测区域

Fig. 1 Target position area forecast

据此原理,越区切换检测步骤如下:

(1)通过地面预警探测网获取目标航迹信息,结合目标回传平台信息采用卡尔曼滤波进行航迹修正,计算目标当前的位置、速度和加速度等运动状态;

(2)计算目标下一时刻位置,为保证检测的有效性,时间周期为越区切换及建链确认的 2~3 个周期(经验值,视组网状态而定),按照目标运动趋势与相对距离变化对候选地面站进行排序。例如图 1 中,B、C 站点都满足覆盖要求,但相对距离更近的为 B 站点;

(3)预测目标位置范围,和地面站点覆盖范围进行对比,在目标估计位置相邻的地面站点中,选择地空通信覆盖重叠较大的站点实施越区切换。例如图 1 中,估计位置扇形区域和 B 站点的重叠面积大于和 A 站点的重叠面积,则实施向 B 站点切换。

通过估计目标运动方向与趋势,结合航路规划信息,以地面检测为主实施越区切换,可以大大降低虚警率,提高越区切换效率。例如图 1 中,就可以避免在实际应用过程中,先切换到 C 站点,再切换到 B 站点。

#### 4 基于最短路径的航路越区切换规划

考虑到空中目标一般都有预先航路规划,组网中心掌握着所有控制中心和地面站点的信息,可以通过地面站点预先规划,实现地空通信保障最优。在网络方式下,通过网络检测能够获取源节点到目的节点之间的网络通信时延和路由跳数,这样就建立起了组网中心、地面站点、控制中心等各类节点的网络拓扑和路径权值,地面站点的故障状态作为路径权值系数。越区切换规划就是按照航路规划,遴选控制中心到各相关地面站点的最短路径,保障地空通信质量。

路径规划算法步骤:

(1)按照航路规划,找出所有覆盖航路的地面站点,并检测控制中心到这些地面站点的路径权值;故障站点通过路径权值系数配置进行排除,生成所有地面站点集合 SiteArray;

(2)按照就近原则,对航路上的地面站点依次进行着色,LineSitePlan 表示覆盖航路路径最短且地面站点最少的已选择地面站点集合:

第一步,在 LineSitePlan 中增加起始地面站点

S,航线覆盖 $[L1, L2]$ 表示该站点通信范围能够覆盖目标航迹的范围;

第二步,从 SiteArray 中未使用的地面站点集合中,按照距离航路最近的原则,选出最优站点 N,计算该站点的航线覆盖 $[L1, L2]$ 。检测 LineSitePlan 中已选择站点的航线覆盖是否已覆盖站点 N 的航线,若未覆盖,则将 N 加入 LineSitePlan;若已覆盖,则计算 LineSitePlan 中是否存在航路覆盖区域在站点 N 覆盖区域之内的站点,若存在且距离航路的路径大于站点 N,则用站点 N 替代所有相关站点。

第三步,重复第二步,直至所有未选择站点进行搜索后,LineSitePlan 未发生变化或规划的航线已经全覆盖,则算法停止;

(3)模拟航路运行,产生地面站点越区切换顺序列表,形成越区切换规划。

算法实现流程如图 2 所示。

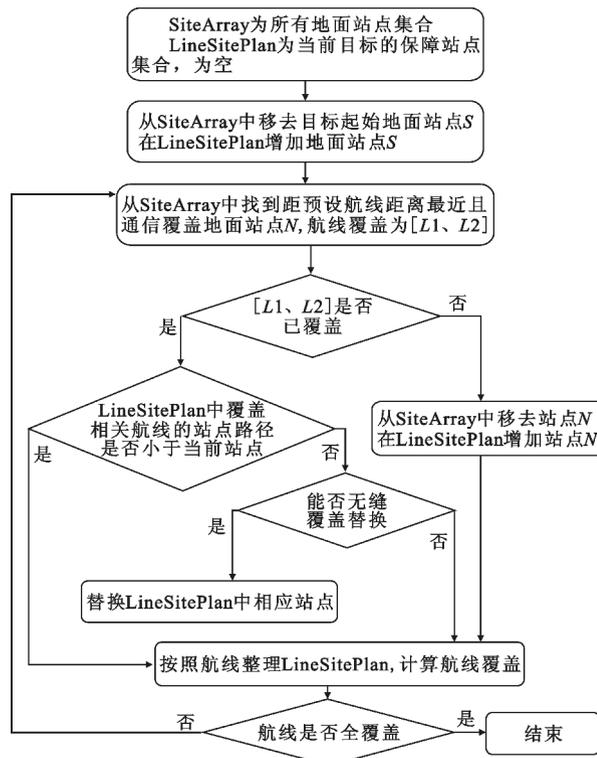


图 2 最短路径算法实现流程

Fig. 2 Flow chart of the shortest path algorithm

运用上述算法,通过路径权值、航线覆盖等指标控制地面站点的选择,可以获得切换次数最少且网络通信质量最好的地面站点越区切换规划,为实施越区切换提供参考,同时也可在干扰条件下辅助实施预先切换,确保地空不间断通信。

## 5 越区切换的应用实现

空中目标按照航路飞行时,期间一般由地面站点向空中目标发送呼叫报文,空中目标不主动向地面站点发送信息,地面站点越区切换主要由组网中心完成。控制中心通过地面通信网络连接地面站点完成和空中目标通信,组网中心动态发起越区切换,保障空中目标在整个飞行过程中与控制中心的正常通信。相比移动通信基站的越区切换允许一定的掉线概率,地空通信则要求在空中目标飞行过程中时刻保持与地面的通信联络,即使与空中目标偶尔失联,也要保持地面站点守候空中目标的应答信息,所以往往依据航路预先规划地面站点切换路径,并基于运动估计来确认越区切换时机,确保空地通信不会间断。当检测到空中目标发生临时机动,脱离原有路径,则需要适应空中目标地空通信变化要求,完成新的地面站点路径规划。

应用实现流程如下:

(1)组网中心根据收到的空中目标航路航线,采用最短路径算法,生成地面站点越区切换保障规划;

(2)空中目标起飞时装订初始地面站点通信频点和波道,控制中心也调整到相应的波道,进入正常通信状态;

(3)组网中心从地面预警探测网获取空中目标航迹信息,融合回传的平台信息,实时估计目标运动状态,判断越区切换时机和目标地面站点:

1)当运动估计满足越区切换要求且目标地面站点与规划路径相符时,实施越区切换;

2)当目标地面站点与规划路径不符且地空通信状态良好时,采用询问—应答方式确认目标机动,重新规划路径并实施越区切换;

3)当地空通信状态不好且目标位置符合越区切换要求时,延迟切换周期并保持原地面站点通信资源,重复进行运动估计检测,直至最低越区切换周期时限要求,则按规划路径实施越区切换;

4)地空通信状态不好,且目标位置估计与规划路径偏离,满足最低越区切换周期时限要求,则重新规划路径并实施越区切换;

(4)重复第3步直至完成空中目标地空通信保障。

本文设计的越区切换方法在实际工程应用中相比较于依靠询问—应答监测的越区切换,应用条件对比见表1,整体具有如下优势:

(1)全面考虑了地空通信质量和地面通信网络质量,后者能够保证整个体系最优;

(2)以地面规划为主、地空询问—应答监测为辅,在复杂电磁环境下仍能保证地空通信质量;

(3)能够预先掌握地面站点地空通信资源利用情况,提高越区切换成功率;

(4)适用于组网方式下地面站点的动态规划。

表1 本文方法与询问—应答方式的应用条件对比  
Table 1 Comparison between query-response method and the proposed method

方法	地面通信网故障因素	多个地面站覆盖区域	目标无应答	地面站点资源预先规划
询问—应答方式	无考虑	监测地空通信质量,存在反复切换	告警	不支持
基于路径估计	全面优化	已规划最优站点,无反复切换	根据目标位置自动等待响应,直至最低越区切换时间	支持

## 6 结束语

基于运动估计的越区切换方式很好地解决了空中目标远程不间断通信问题,基本可实现无需人工干预的自动越区切换,而且综合考虑了地面通信网络、地空通信干扰情况,能够始终保持整个地空通信体系处于最优状态。尤其是在复杂对抗环境中,仍能较好地完成地空通信保障任务。本文提出的解决方案已经在某地空数据链组网系统中实际应用,结果表明,此方案大大提高了地空通信资源的利用效率和越区切换的成功率,降低了越区切换次数和虚警率。针对大规模空中目标的地空通信保障,如何更好地利用地空通信资源,将是下一步的研究重点。

### 参考文献:

- [1] Yang S R, Kao C C, Kan W C. Handoff minimization through a relay station grouping algorithm with efficient radio resource scheduling policies for IEEE 802.16j multihop relay networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010(5):2185-2197.
- [2] Kim Y, Ko H, Pack S, et al. Mobility-Aware Call Admission Control Algorithm With Handoff Queue in Mobile Hotspots[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(8):3903-3912.
- [3] 林菡,朱振宇,方卫.空地数据链越区切换设计[J].舰

船电子工程,2013(7):63-65.

LIN Han, ZHU Zhenyu, FANG Wei. Handoff Design in Air-ground Data Link System[J]. Ship Electronic Engineering,2013(7):63-65. (in Chinese)

- [4] 梁爽,赵伟光. VHF/UHF 数据链中的越区切换算法[J]. 微电子学与计算机,2013(6):137-140.

LIANG Shuang, ZHAO Weiguang. The Handoff Algorithm of VHF/UHF Data Link[J]. Microelectronics & Computer,2013(6):137-140. (in Chinese)

- [5] 李莹,熊健,袁苑. 空地数据链系统越区切换设计[J]. 电讯技术,2008,48(2):73-76.

LI Ying, XIONG Jian, YUAN Yuan. Handoff Design in VHF/UHF Air-ground Data Link System[J]. Telecommunication Engineering,2008,48(2):73-76. (in Chinese)

- [6] 朱晓敏,李丹丹,邢婷,等. 一种基于预测和提前认证的机车越区切换方案[J]. 铁道学报,2011(10):67-72.

ZHU Xiaomin, LI Dandan, XING Ting, et al. Strategy of Locomotive Handoff Based on Prediction and Advanced Authentication[J]. Journal of the China Railway Society, 2011(10):67-72. (in Chinese)

- [7] 葛志强,王瑾,燕海涛. V/U 数据链的越区切换方法探讨[J]. 电光与控制,2008(2):55-57.

GE Zhiqiang, WANG Jin, YAN Haitao. Methods for switchover in V/UHF data link[J]. Electronics Optics & Control,2008(2):55-57. (in Chinese)

- [8] 杨青智. 机动目标跟踪技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.

YANG Qingzhi. Research on the technology of maneuvering target tracking[D]. Xi'an: Xidian University, 2008. (in Chinese)

### 作者简介:



张智慧(1972—),女,河北邯郸人,1997年获学士学位,现为讲师,主要研究方向为电子学与通信。

ZHANG Zhihui was born in Handan, Hebei Province, in 1972. She received the B. S. degree in 1997. She is now a lecturer. Her research concerns electronics and communication.

Email: zhangzh@bitc.edu.cn