

# 短波地空通信换频策略研究

刘 岗, 任清华, 刘芸江, 郑佟庆

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘 要:**针对短波地空通信,推导出了飞机飞行位置与时间的函数关系,结合位置关系,并基于 ITS 区域信噪比数据,采用插值算法确立了各信道航线信噪比随时间的分布曲线,依据信噪比的分布,得出了一种依据信噪比排序的换频策略。该策略给出了飞机在整个航线上的实时频率使用计划,从而保证信道通信质量始终处于较高的水平,并把 REL 作为信道质量的评估标准,经仿真验证,该换频策略下的航线平均信噪比和航线通信可靠度有了较大提高,确保了飞机在飞行过程中的通信始终处于最佳信道上,克服了任一频率只适合一定空域通信的缺陷。

**关键词:**短波;地空通信;信噪比;可靠度;换频策略

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2009.04.013

**中图分类号:** TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)04-0058-04

短波地空通信,相对于短波固定通信,航线上换频策略的确立显得尤为重要,目前,Goodman、E Johnson<sup>[1-2]</sup>等对短波频率多样性进行了深入研究,指出了频率多样性对短波通信可靠度的提高有很大作用,美国 HF-GCS、澳大利亚的 MHFCS 系统、国际民航 HF DL 中都采用了相关的理论成果<sup>[3-4]</sup>,但对于航线上飞机飞行过程中换频方案的设计,未见相应的理论研究。国内方面,短波地空通信属于基础的定频工作状态,航线上频率的更换方案也仅仅依赖于经验上的总结,缺乏相应的理论指导。

本文结合国内短波地空通信现状,基于 ITS 信噪比数据的提取,经插值算法确立了各信道航线信噪比随时间的分布,给出了一种依据信噪比排序的航线换频策略,该策略为飞机航线飞行时实时选取最佳信道进行通信,保证通信质量提供了理论指导。

## 1 理论分析

### 1.1 航线信噪比的确立

对于飞机,根据飞行速度可确定任意时间的地理位置,根据地理位置,结合通信参数,可由 ITS 确定离散点的信噪比,从而进行插值确立实际通信环境下该信道的航线各点的信噪比。

#### 1) 航线点位置与时间的关系

航线确定以后,对于任意时刻  $t$  便可确定飞机方位,对于地球任意 2 点的大圆路径距离为<sup>[5]</sup>:

$$d = a \cos^{-1} [\sin(x_1) \sin(x_2) + \cos(x_1) \cos(x_2) \cos(y_1 - y_2)] \quad (1)$$

式中:  $x_1, x_2$  分别为 2 点的地理纬度;  $y_1, y_2$  分别为 2 点的地理经度;  $a$  为地球的平均半径。

设飞机航线函数为  $y = f(x)$ , 飞机飞行速度为  $v_0$ , 则经过很短的时间  $\Delta t$  后, 飞机位置变为  $(x + \Delta x, f(x + \Delta x))$ , 代入式(1)可得出时间  $t$  与地理位置的关系的差分方程为:

$$\sum_{t=0}^t v_0 \Delta t = \sum_{x=x_0}^x a \cos^{-1} [\sin(x) \sin(x + \Delta x) + \cos(x) \cos(x + \Delta x) \cos(f(x) - f(x + \Delta x))] \quad (2)$$

\* 收稿日期: 2009-03-11

基金项目: 国家“863”创新基金资助项目(2007AAXX130)

作者简介: 刘 岗(1984-), 男, 山东临朐人, 硕士生, 主要从事军事航空通信研究; E-mail: liugang8394@163.com  
任清华(1967-), 男, 浙江三门人, 教授, 主要从事军事航空通信研究。

由差分方程可得到任意时刻飞机所对应的位置。

### 2)航线信噪比的确立

假定地面发射功率为  $P_s$  (以 dBm 为单位),地面发射天线增益  $G_s$ ,机载接收天线增益  $G_e$ ,则机载接收点的信噪比为:

$$SNR = P_e - P_n \tag{3}$$

式中:  $P_e$  为机载接收点信号功率<sup>[5-6]</sup>;  $P_n$  为机载接收点的有效噪声功率<sup>[5-6]</sup>,且:

$$P_e = P_s + G_s + G_e - L_{sy} \tag{4a}$$

$$P_n = 10 \lg f_a + G_e + 10 \lg b - 174 \tag{4b}$$

式中:  $L_{sy}$  为传播过程的全部损耗;  $f_a$  为机载有效天线噪声系数;  $b$  为机载接收机有效噪声带宽。

ITS<sup>[7]</sup>正是依托以上理论,结合通信参数及通信环境综合考虑,由 ICEAREA 计算出区域内各接收点的信噪比,其区域内点成四边形分布,对于航线上各点的信噪比的具体值由线形插值获得<sup>[8]</sup>,见图 1。图 1 中,4 个点的信噪比由 ITS 根据实际通信参数获得,分别为  $SNR_{NW}$ 、 $SNR_{NE}$ 、 $SNR_{SW}$ 、 $SNR_{SE}$ ,则对于飞机所处点接收信号的信噪比为:

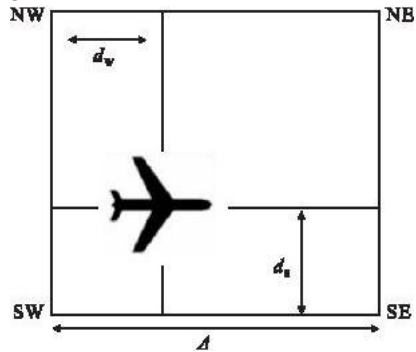


图 1 插值方案图

g. 1 The scheme chart of Interposing value

$$SNR = SNR_{SW} \left( 1 - \frac{d_s}{\Delta} \right) \left( 1 - \frac{d_w}{\Delta} \right) + SNR_{SE} \left( 1 - \frac{d_s}{\Delta} \right) \left( \frac{d_w}{\Delta} \right) + SNR_{NW} \left( \frac{d_s}{\Delta} \right) \left( 1 - \frac{d_w}{\Delta} \right) + SNR_{NE} \left( \frac{d_s}{\Delta} \right) \left( \frac{d_w}{\Delta} \right) \tag{5}$$

对 ITS 获得的信噪比值进行如上方法插值可获得航线上各点的信噪比的值,结合时间与航线的关系,可获得接收点在各信道上随时间的信噪比  $SNR(f_i, t)$  分布。

### 1.2 航线换频策略的确立

航线换频策略的目的是对于任意时刻  $t$ ,根据各信道航线上信噪比的分布  $SNR(f_i, t)$ ,选取最佳信道,即最高信噪比所对应的信道进行通信,其基本方法为:

对于  $\forall t_b, t_b \in (0, t_d), t_d$  为到达目的地时间,可以确定该时刻由信噪比大小所决定的信道排序矩阵  $F = (f_a, f_b, \dots, f_c)$ ,其中矩阵  $F$  为  $1 \times n$  矩阵,矩阵中元素数目  $n$  为信道数目,且:

$$SNR(f_a, t_b) > SNR(f_b, t_b) > \dots > SNR(f_c, t_b) \tag{6}$$

所以,  $t_b$  时刻所使用的信道为:

$$f_a = F(1) = \{f_i | \max_{i=1 \rightarrow n} (SNR(f_i, t_b))\} \tag{7}$$

对航线上所有时刻求出最佳使用信道后,便可确立各个信道所对应的使用时间段,即第  $i$  个信道所对应的使用时间集合  $T_i$  为:

$$T_i = \{t_j | f_i = \{f_k | \max_{k=1 \rightarrow n} (SNR(f_k, t_j))\}, t_j \in (0, t_d)\} \tag{8}$$

一旦飞机起飞后,根据各个信道所适用的时间集合,选取最佳信道进行通信,所以换策略下整个航线的信噪比分布  $SNR(f, t)$  也就确立了。

$$SNR(f, t) = \max_{k=1 \rightarrow n} (SNR(f_k, t)) \tag{9}$$

## 2 仿真与性能分析

### 2.1 航线信噪比的确立

仿真条件:

航线:从 A 地(34.27N, 108.95E)出发到达 B 地(37.52N, 121.39E),航线函数由航路点拟合为:

$$y = f(x) = -0.31x^4 + 44.55x^3 - 2433.49x^2 + 59065.92x - 537441.24 \tag{10}$$

飞机飞行速度:600 km/h;

地面收发控制指挥中心:A 地(34.27N, 108.95E);

地面发射机功率:  $P=400\text{ W}$ ;

通信频率<sup>[9]</sup>:取自航空通信业务频率  $f_1=4.50\text{ MHz}$ ,  $f_2=5.46\text{ MHz}$ ,  $f_3=6.79\text{ MHz}$ ,  $f_4=8.07\text{ MHz}$ ,  $f_5=10.5\text{ MHz}$ ;

地面短波天线:对数周期天线;

机载短波天线<sup>[10]</sup>:单极子零增益天线;

时间: 2008 年 7 月上旬 10 点;

仿真结果:

由航线函数结合式(2)可得出飞机任意时刻对应的位置图如图 2,根据 ITS 得到的接收区域内等间隔点的信噪比,根据式(5)可获得航线上各点的信噪比的具体值;结合图 2,可获得接收点在各信道上随时间的信噪比曲线如图 3:

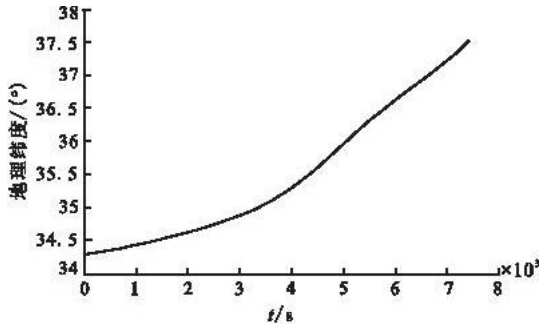


图 2 任意时间飞机位置对应地理纬度图

Fig.2 Aircraft position with different latitude

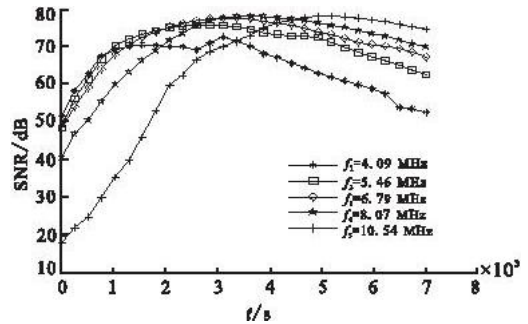


图 3 接收点各信道信噪比随时间曲线图

Fig.3 Receiving spot's SNR curve with different frequency

由图 3 可以发现,接收信号信噪比在一定的时间内呈现出较高的值,随着时间的推迟,通信距离的增大,成下降趋势,说明接收信号在一定区域内信噪比达到最高,即任一信道适合于一定区域内通信,为航线换频策略提供了理论依据。

### 2.2 换频方案下的信噪比分析

由航线上各信道信噪比排序,结合式(7)、式(8)可以得出整个航线上的换频策略见表 1。

表 1 航线上换频策略表

Tab.1 Frequency choosing strategy on the whole route

信道编号	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
时间/s	$\leq 808.72$	$808.72-2\ 035.31$	$2\ 035.31-3\ 168.43$	$3\ 168.43-4\ 610.86$	$\geq 4\ 610.86$

换频策略下航线上信噪比分布由式(9)计算,结果见图 4。

各信道及换频频策略下的平均信噪比经计算结果见表 2。

表 2 航线上各信道平均信噪比

Tab.2 Average SNR of different frequencies

信道编号	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	换频策略
平均信噪比/dB	64.577 2	70.105 6	71.495 5	70.322 0	62.955 2	74.486 1

在换频策略下,航线接收点的信噪比值能够短时间内达到接收标准(60 dB)以上,并维持在很高的标准上,实现了始终保持最好频率所对应的信道质量的要求,平均信噪比可达到 74.486 1 dB,明显优于不换频下任意信道的信噪比。

### 2.3 换频策略下的可靠度分析

对于任意信道在航线上使用的性能分析标准,在保证接收点接收信号达到最大信噪比的同时,主要是可靠度(REL)分析,已知信噪比基本接收标准不低于 60 dB 时,通信可以得到高质量保证<sup>[11]</sup>,对于航线上各信道的可靠度分布以及换频策略下航线上可靠度分布经计算<sup>[5]</sup>,结果见图 5。

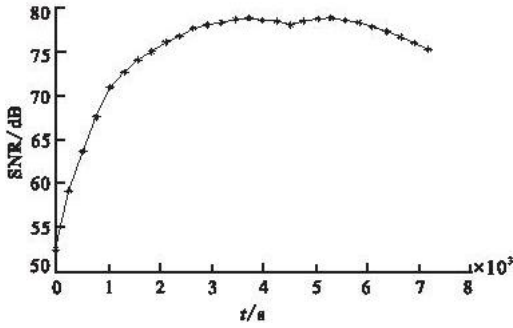


图 4 换频策略下航线上信噪比分布图  
Fig.4 The route's SNR distribution in frequency choosing strategy

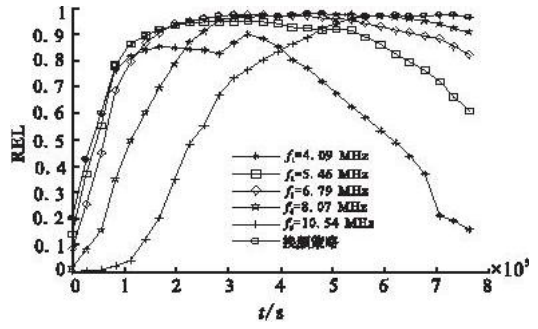


图 5 接收点通信可靠度随时间的曲线图  
Fig.5 Receiving reliability curves

各信道及换频策略下的平均可靠度见表 3:

表 3 航线上各信道平均通信可靠度  
Tab.3 Average reliability indexes of different frequencies

信道编号	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	换频策略
平均可靠度(%)	0.656 7	0.840 7	0.874 1	0.819 6	0.662 9	0.920 2

经过换频策略,由于能够保证通信始终处在接收点信噪比最高的信道上,所以能够保证通信链路可靠度处于最高水平上,短时间内可靠度达到 90% 以上,平均可靠度可达到 92.02%,明显优于不换频下任意信道的可靠度。

### 3 结束语

本文分析了基于 ITS 预测模型下航线上的信噪比的分布,根据航线信噪比的分布给出了合理的频率更换策略,在性能上给出了评价标准,与传统的单信道定频通信模式进行比较,大大提高了通信质量,同时对航线上频率更换方案进行了具体细化,给出了理论依据,具有一定的参考意义。

#### 参考文献:

[ 1 ] Goodman J M . A Review of Methods for Coping with Ionospheric Variability in Connection with HF Systems[C]//The 5th International Conference on HF Radio Systems and Techniques. Edinburgh:IEEE Conference Publication,2005:108-112.

[ 2 ] Eric E Johnson . Advanced High-Frequency Radio Communications[M]. Boston:The Artech House Telecommunication Library,1997;191-194.

[ 3 ] USAF High Frequency Global Communications System [EB/OL].[2009-01-08]. <http://wiki.radioreference.com/index.php/USAF-High-Frequency-Global-Communications-System>.

[ 4 ] Airlines Electronic Engineering Committee . Draft Manual on the Implementation of HF Data Link (HFDL). Appendix E to the Report on Agenda Item 1 [M]. USA : Aeronautical Radio , INC , 2003 ,33-37.

[ 5 ] Frank G Stewart . Ionospheric Communications Enhanced Profile Analysis & Circuit (ICEPAC) Prediction Program Technical Manual[M].USA ;Institute for Telecommunication Sciences,2008 ;46-59 .

[ 6 ] 盖哈德·布劳 .短波通信线路工程设计[M].北京 :电子工业出版社,1987.  
Gerhard Braun.Planning and Engineering of Shortwave Links[M]. Beijing ;Electronic Industry Press,1987. (in Chinese)

[ 7 ] George Lane . Review of the High Frequency Ionospheric Communications Enhanced Profile Analysis & Circuit (ICEPAC) Prediction Program[M].Alexandria;Ionospheric Effects Symposium,2005 .

[ 8 ] Mahesh Veena . Development of Experimental Frame and Abstract DEVS Models to Support SCOPE Network Expansion[D]. Arizona ;The University of Arizona . 2005 .

[ 9 ] 国家无线电频谱管理研究所 . 中华人民共和国无线电频谱划分图[S].2001 .  
National Radio Spectrum Administration Institute. People's Republic of China Radio Spectrum Partition Graph[S].

2001. (in Chinese)

(下转第 94 页)