

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.07.004

引用格式:程延松,李锐,周自力,等.基于干扰保护比的同频航向信标台最小保护间距计算[J].电讯技术,2016,56(7):737-743.[CHENG Yansong,LI Rui,ZHOU Zili,et al. Interference protection ratio based computation of minimum cochannel localizer station protection distance [J]. Telecommunication Engineering,2016,56(7):737-743.]

基于干扰保护比的同频航向信标台最小保护间距计算*

程延松**¹,李锐¹,周自力¹,李黎²,王建强¹,王军²

(1. 中国民用航空局第二研究所,成都 610041;2. 电子科技大学 通信抗干扰技术国家级重点实验室,成都 611731)

摘要:针对航向信标(LOC)台站典型同频场景,提出了最小保护间距的数值计算方法。利用 LOC 台站间距离曲线拟合得到满足干扰保护比的保护间距函数,根据几何函数确定 LOC 台站空间间距,基于保护间距和空间间距的关系确定同频 LOC 台站的最小保护间距。所提计算方法可在满足干扰保护比的前提下,获得更加精确的同频 LOC 台站间距,该间距小于美国联邦航空管理局(FAA)规定的相对保守的台站间距,可有效提高 LOC 系统的频率利用效率。

关键词:同频航向信标台站;频率利用效率;干扰保护比;需求保护间距;空间间距

中图分类号:V249 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)07-0737-07

Interference Protection Ratio Based Computation of Minimum Cochannel Localizer Station Protection Distance

CHENG Yansong¹,LI Rui¹,ZHOU Zili¹,LI Li²,WANG Jianqiang¹,WANG Jun²

(1. The Second Research Institute of Civil Aviation Administration of China, Chengdu 610041, China;
2. National Key Laboratory of Science and Technology on Communications, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: A numerical computation method for minimum protection distance is proposed for cochannel localizer(LOC) stations under several typical scenarios. For this proposed method, the function of required protection distance is fitted based on the distance curves between LOC stations, and the space distance curves corresponding to these scenarios are obtained from the geometrical function. The minimum LOC co-channel distance is determined based on the relationship between the required protection distance and the space distance. Compared with the relatively conservative protection distance provided by the Federal Aviation Administration(FAA) regulation, the proposed method can obtain more accurate and smaller LOC co-channel distances under the fundamental premise of safety. Therefore, the frequency utilization efficiency of LOC systems can be improved.

Key words: cochannel localizer station; frequency utilization efficiency; interference protection ratio; demand protection distance; physical distance

* 收稿日期:2016-01-15;修回日期:2016-03-15 Received date:2016-01-15;Revised date:2016-03-15
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61471099);国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2015AA01A705);民航安全能力建设项目(TMSA1510);高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(博导类)(20130185110005)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61471099);The National High-tech R&D Program of China(863 Program)(2015AA01A705);The Civil Aviation Safety Capacity Build Project(TMSA1510);The Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China(20130185110005)

** 通信作者:ys.cheng@163.com Corresponding author:ys.cheng@163.com

1 引言

仪表着陆系统 (Instrument Landing System, ILS) 是应用最广泛的飞机精密进近和着陆引导系统, 由提供航向引导的航向信标 (Localizer, LOC) 和提供垂直引导的下滑信标 (Glideslope, GS) 确定下滑轨迹^[1-2]。为了确保它们的频率在其频率保护服务区 (Frequency Protected Service Volume, FPSV) 中不受干扰, 需要对 ILS 台站的间距进行限制^[3-5]。由于 LOC 的 FPSV 覆盖区涵盖了相关联的 GS 的 FPSV, 故通常只考虑 LOC 的保护间距即可。LOC 的保护间距包含 LOC/LOC 同频、LOC/LOC 邻频、LOC/甚高频全向信标 (Very High Frequency Omnidirectional Range, VOR) 邻频等情况。其中, LOC/LOC 同频场景下要求的保护间距最大, 是本文的研究对象。

目前, 美国联邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA) 已有规范对 LOC 保护距离进行了规定, 并提出了查表和算法两种方法^[8]。其中, 查表法较为直观, 但数据较为保守, 具有较大的冗余; 算法的精度高于查表法, 但文献^[8]中 LOC/LOC 站间距曲线图不包含所有场景的数据, 不能直接得到任意场景下的站间距。

针对上述表格法和算法确定站间距的不足, 本文提出一种新的综合计算方法, 通过天线辐射角度和天线方向图确定同频 LOC 的几种典型场景。对每种场景, 首先利用 LOC/LOC 站间距曲线图拟合得到满足干扰保护比需求的保护间距函数, 然后根据几何函数确定 LOC/LOC 站间空间间距, 最后利用保护间距和空间间距的关系确定同频 LOC 的最小保护距离。计算表明, 相比于 FAA 规定的相对保守的保护距离, 本文所提计算方法可在满足干扰保护要求的前提下, 获得更加精确的同频 LOC 台站间距离, 该距离小于 FAA 规定的站间距离, 从而可有效提高 LOC 系统的频率利用效率。

2 同频 LOC 模型

2.1 同频干扰保护比

为确保同频 LOC 安全工作, 接收机处的期望信号功率与干扰信号功率的比值应满足信号干扰比 (Desired to Undesired, D/U) 要求^[9], 特别地, 需要在其 FPSV 的关键点提供 D/U 的保护。

在实际计算中, 通常利用 D/U 值得到等效信号

比 (Equivalent Signal Ratio, ESR), 进而通过查表得到保护间距^[8]。ESR 是由期望信号和干扰信号的功率与天线增益差异引入的与 D/U 的差值, 计算方法如下^[7]:

$$ESR = D/U - P_D + P_U - A_D + A_U + G_U - G_D \tag{1}$$

式中: P_D 和 P_U 分别为期望信号载波功率 (dBW) 与干扰信号载波功率 (dBW); A_D 和 A_U 分别为期望发射机天线增益 (dBi) 与干扰发射机天线增益 (dBi); G_D 和 G_U 分别为期望发射机在考察位置相对于主瓣天线增益的相对天线增益 (dBi) 与干扰发射机相对天线增益 (dBi)^[8]。如图 1 所示, 设 A 为期望 LOC 台站, B 为干扰 LOC 台站, 期望发射机的考察位置即是 B 台站位置, 干扰发射机的考察位置即是 A 台站位置; 关键点为相对于 A 台站的 FPSV 场强最弱, 同时相对于 B 台站的 FPSV 距离最近的点; G_D 由 A 台站到临界点的连线与 A 台站天线波束主瓣的夹角决定, G_U 由 B 台站到临界点的连线与 B 台站天线波束主瓣的夹角 θ 决定。

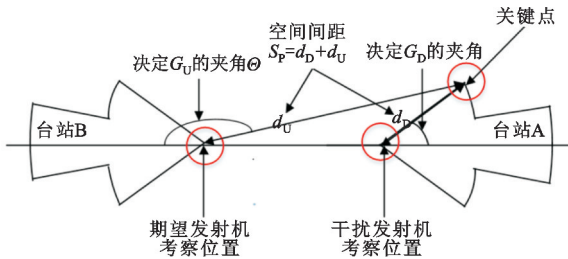


图 1 同频 LOC 模型
Fig. 1 Cochannel LOC model

G_D 和 G_U 可通过天线方向图得到。以常用的 LOC 标准 V 环天线 (Standard V-Ring Antenna) 为例^[8], G_D 和 G_U 如图 2 所示。

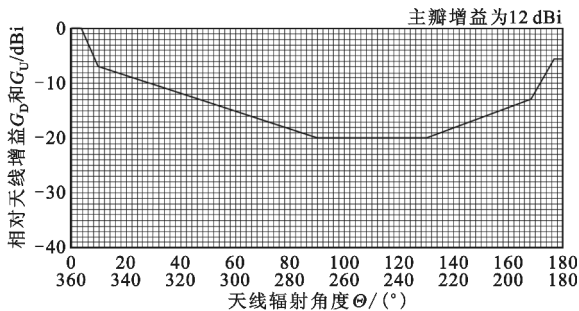


图 2 天线辐射角度 θ 和相关天线增益曲线图
Fig. 2 Antenna radiation angle θ and relative antenna gain curve

为了便于后续计算, 将 G_U 与角度 θ 的关系利用天线方向图进行拟合。针对图 2 中的相对天线增益曲线, 可分段拟合如表 1 所示。

表 1 相对天线增益曲线拟合函数

Tab.1 The fitting function of relative antenna gain curve	
$\theta/(^{\circ})$	G_U/dBi
0 ~ 2	0
2 ~ 10	$-\frac{5}{8}\times\theta+\frac{5}{4}$
10 ~ 90	$(-\frac{7}{39})\times\theta-\frac{150}{39}$
90 ~ 130	-20
130 ~ 170	$\frac{1}{2}\times\theta-95$
170 ~ 177	$\frac{3}{4}\times\theta-139$
177 ~ 180	-6.5

计算 ESR 时, D/U 和 G_D 的数值是确定的, 只需考虑 G_U 的数值。利用上述 G_U 与角度 θ 的关系, 即可通过式(1)得到 ESR 与 θ 的函数关系。

2.2 保护距离与场景划分

定义 S_D 是通过文献[8]中的需求保护间距曲线和对应的 ESR 值得到的同频需求保护间距。同频需求保护间距即是可以建立同频 LOC 台站的间距, 在同频需求保护间距之外, 不需要考虑同频干扰的问题。

定义 S_p 为干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站间的空间间距。如图 1 所示, 空间间距为干扰 LOC 台站到期望 LOC 台站关键点的间距 d_U 与期望 LOC 台站到关键点的间距 d_D 的和^[8]:

$$S_p=d_U+d_D。(2)$$

如前文所述, 需求保护距离 S_D 可由 ESR 得到, 而 ESR 与图 2 中的 θ 有关。由图 1 可知, 空间间距 S_p 可基于几何关系由 θ 计算得到。显然, 当空间间距 S_p 变化时, θ 的值也随之改变, 进而导致需求保护间距 S_D 的值发生变化。由于需求保护间距 S_D 决定了同频 LOC 能正常工作的最小间距, 最小保护间距即是能满足 S_D 要求的 S_p 的最小值。因此, 确定最小保护间距的核心是图 1 中的角度 θ 。

同频 LOC 场景中, 干扰 LOC 台站可能位于期望 LOC 台站的任何方向^[6], 需要根据天线方向图确定典型场景进行分析。以图 2 中 LOC 台站的天线方向图为例, $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 曲线单调递减, $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 曲线单调递增, 故天线辐射强度在 0° 、 90° 、 180° 时分别处于最大、最小值, 具有代表性; 并且在实际 LOC 台站建设中多处于正向、反向、平行正向和平行反向等方位, 故只考虑正向、反向、平行正向和平行反向 4 种典型同频 LOC 场景, 如图 3 所示。根据式(2), 下面给出对应 4 类场景下的 θ 与 S_p 的函数, 场景中的台站功率均为 13 dBW, 天线增益均为 12 dBi。

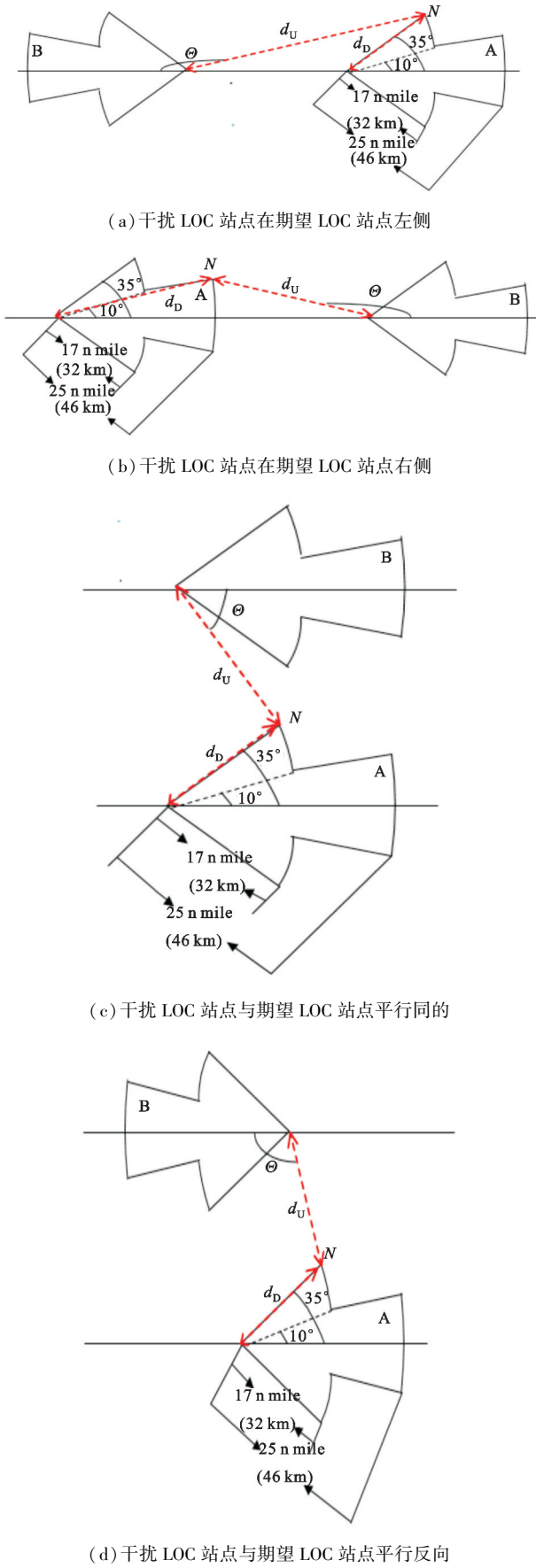


图 3 同频 LOC 场景

Fig.3 The typical scenarios of cochannel LOC stations

场景 1:干扰 LOC 台站在期望 LOC 台站左侧,如图 3(a)所示。图中,A 为期望 LOC 台站,其前方的扇形区域为其信号的覆盖区域,在方位角 $\pm 10^\circ$ 的覆盖区内,引导间距不小于 25 n mile(46.3 km),在方位 $\pm 10^\circ \sim 35^\circ$ 的覆盖区内,引导间距不小于 17 n mile(31.5 km)^[1];B 为干扰 LOC 台站; N 为期望 LOC 台站覆盖区域的关键点;如前所述, θ 为关键点与 B 台站的连线和 B 台站主瓣所形成的夹角。此时有

$$\theta = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{17 \times \sin 35^\circ}{S_p - 17}\right)。$$

(3)

场景 2:干扰 LOC 台站在期望 LOC 台站右侧,如图 3(b)所示。此时有

$$\theta = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{25 \times \sin 10^\circ}{S_p - 25}\right)。$$

(4)

场景 3:干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站平行同向,如图 3(c)所示。此时有

$$\theta = \arccos\left(\frac{17 \times \cos 35^\circ}{S_p - 17}\right)。$$

(5)

场景 4:干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站平行反向,如图 3(d)所示。此时有

$$\theta = 180^\circ - \arccos\left(\frac{17 \times \cos 35^\circ}{S_p - 17}\right)。$$

(6)

针对上述所有场景,我们的目标是在干扰 LOC 台站 B 对期望 LOC 台站 A 的同频干扰满足需求保护间距要求 S_d 的前提下,计算最小的空间间距 S_p 。

3 计算方法

3.1 需求保护间距 S_d

为了便于后续计算,将文献[8]中给出的需求保护间距曲线图中距地高度1 905 m,引导间距分别为17 n mile和25 n mile的点全都提取出来,分别得到距地高度1 905 m、引导间距17 n mile和引导间距25 n mile的 ESR 与需求保护间距之间的曲线图(在实际场景中,当 ESR 小于0 dBi时,对应需求保护间距数值很小,可以忽略,所以舍弃 ESR 小于 0 的部分数值)。为了便于计算,将曲线进行拟合^[10],分别得到引导间距17 n mile和引导间距25 n mile的 ESR 与需求保护间距 S_d 之间的函数关系式如下:

(1)引导间距17 n mile的 ESR 与需求保护间距 S_d 的二阶拟合函数为

$$S_d = \frac{32}{945} \times ESR^2 + \frac{1057}{945} \times ESR + \frac{6820}{189}。$$

(7)

(2)引导间距 25 n mile 的 ESR 与需求保护间

距 S_d 的二阶拟合函数为

$$S_d = \frac{11}{450} \times ESR^2 + \frac{817}{450} \times ESR + \frac{11878}{225}。$$

(8)

计算表明,17 n mile的二阶拟合函数的归一化均方误差(Normalized Mean Square Error, NMSE)数值0.038 7,25 n mile的二阶拟合函数的 NMSE 数值为0.025 4。ESR 与需求保护间距之间的实际曲线和拟合曲线如图 4 所示,可以看出实际曲线和拟合曲线吻合很好,在后续的计算中直接采用拟合曲线。

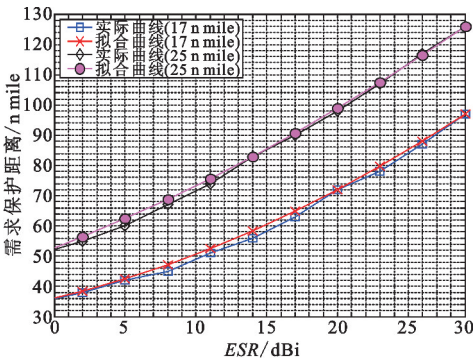


图 4 ESR 与需求保护间距之间的实际数值和拟合曲线(17 n mile 和 25 n mile)

Fig. 4 The practical values and the corresponding fitting curve of required protection distance with respect to ESR

3.2 空间距离 S_p

干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站间的空间间距 S_p 可通过计算 d_u 得到。基本方法是:利用式(3)~(6)得到的 θ 与 S_p 的函数关系,根据 θ 与 ESR 的对应关系,得到与 ESR 对应的 S_p 值。以场景 1 为例,当 ESR 为+13 dBi时,由式(1)可得到此时 G_u 为-20 dBi,由图 2 可得此时 θ 值为 $90^\circ \sim 130^\circ$,通过式(3)可计算得到此时 S_p 的值为27~30 n mile。4 种场景下的 ESR 与 S_p 间的关系如表 2~5 所示。

表 2 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 对应表(场景 1)

Tab. 2 ESR and corresponding cochannel LOC space distance(Scenario 1)

ESR/dBi	S_p /n mile
+13	27 ~ 30
+14	32
+17	33
+20	64
+23	87
+26	157
+26.5	204→∞

表 3 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 对应表(场景 2)

Tab. 3 ESR and corresponding cochannel LOC space distance(Scenario 2)

ESR/dBi	S_p /n mile
+8	30 ~ 31
+11	33
+14	40
+17	53
+20	75
+21	87
+21.5	108→∞

表 4 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 对应表(场景 3)

Tab. 4 ESR and corresponding cochannel LOC space distance(Scenario 3)

ESR/dBi	S_p /n mile
+13	+ ∞
+14	151
+17	55
+20	37
+23	34
+26	32
+29	32

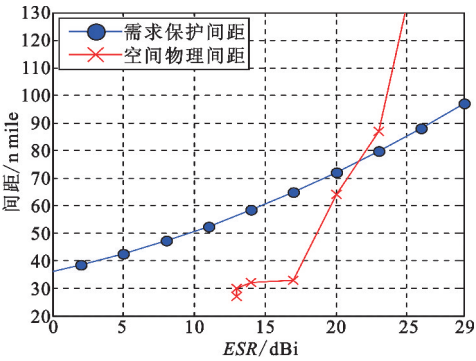
表 5 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 对应表(场景 4)

Tab. 5 ESR and corresponding cochannel LOC space distance(Scenario 4)

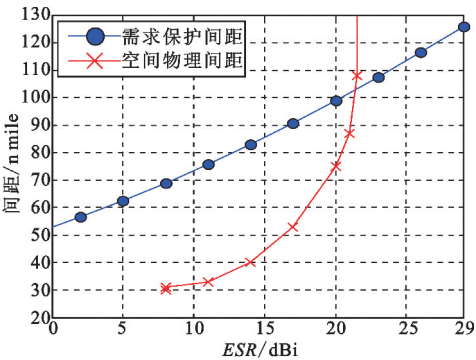
ESR/dBi	S_p /n mile
+13	39→∞
+14	37
+17	34
+20	32
+23	32
+26	31
+26.5	31→17

利用表 2 ~ 5 可分别得到 4 种场景的 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 的曲线。

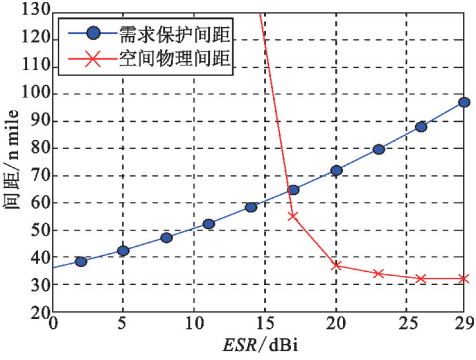
在已知 ESR 与需求保护间距 S_D 的曲线图和 ESR 与同频 LOC 空间间距 S_p 的曲线图之后,可将 4 种场景的需求保护间距 S_D 曲线和同频 LOC 空间间距 S_p 的曲线绘制于同一图内进行比较,如图 5 所示。



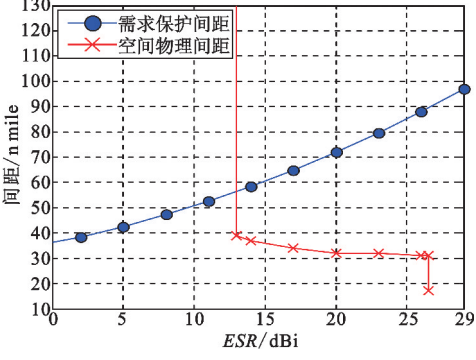
(a)场景 1



(b)场景 2



(c)场景 3



(d)场景 4

图 5 ESR 与需求保护间距和空间间距曲线图
Fig. 5 ESR,required protection distance and space distance curves

3.3 最小保护距离计算

在干扰 LOC 台站 B 对期望 LOC 台站 A 的同频干扰满足要求的前提下,最小空间间距 S_{p_min} 为 4

种场景下需求保护间距 S_D 和同频 LOC 空间间距 S_p 相等时的值。由于空间间距与 ESR 之间的函数关系难以得到解析的表达式,本文采用迭代的数值方法计算最小间距,下面介绍基本计算方法。

首先,由图 5 得到 S_D 和 S_p 相等时 S_p 值的范围 (S_{p_1}, S_{p_2}) , 并确定 S_p 在该范围内的单调性,取该范围的平均值 S_{p_mid} 。根据不同的场景,将该平均值代入式(3)~(6),可求得对应的角度 θ ;

其次,根据获得的 θ 值,代入表 1,可计算出此时 G_U 的值;

第三,将 G_U 代入式(1)即可得到 ESR 的值。通过 ESR 与需求保护间距函数式(7)或式(8),可得到此时需求的保护间距 S_{D_mid} ;

第四,将 S_{D_mid} 与空间间距 S_{p_mid} 进行比较:

(1)如果 S_{p_mid} 与 S_{D_mid} 恰好相等, S_{p_mid} 就是最小间距 S_{p_min} ;

(2)若 S_{p_mid} 大于 S_{D_mid} ,在空间间距 S_p 曲线单调递增的情况下,用 S_{p_mid} 替换边界值 S_{p_2} ,在空间间距曲线单调递减的情况下,用 S_{p_mid} 替换边界值 S_{p_1} ;

(3)若 S_{p_mid} 小于 S_{D_mid} ,在空间间距 S_p 曲线单调递增的情况下,用 S_{p_mid} 替换边界值 S_{p_1} ,在空间间距曲线单调递减的情况下,用 S_{p_mid} 替换边界值 S_{p_2} ;

(4)缩小 S_{p_min} 的范围,并进行迭代运算。由于精度问题, S_{p_mid} 和 S_{D_mid} 并不一定能取到相等值,故当最终得到的 S_{p_mid} 与 S_{D_mid} 之间的差值小于误差 ε ,即可认为此时的 S_{p_mid} 为满足同频干扰保护的最小间距 S_{p_min} 。

4 最小保护距离计算实例

采用上一节的计算方法,对第 2 节中给出的 4 种场景进行计算得到 4 种典型场景下的空间间距,如表 6 所示,计算时误差 $\varepsilon=0.001$ 。

表 6 同频 LOC 保护间距

Tab. 6 The protection distance of cochannel LOC		
同频 LOC 模型	最小保护间距/ n mile	FAA 保守保护间距/ n mile
干扰 LOC 台站在期望 LOC 台站左侧(场景 1)	78	97
干扰 LOC 台站在期望 LOC 台站右侧(场景 2)	98	135
干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站平行同向(场景 3)	63	124
干扰 LOC 台站与期望 LOC 台站平行反向(场景 4)	57	124

从表 6 可以发现:不同场景下计算得到的最小保护间距均小于由 FAA 给出的保守保护间距;处于同一水平线的同频 LOC 的保护距离要远远大于平行的同频 LOC 的最小保护距离;在相同情况下,同向的同频 LOC 的保护距离要大于反向的同频 LOC 的最小保护距离。这是因为:由图 2,处于同一水平线时,LOC 天线增益要远大于平行时的增益;同时,LOC 天线正向的增益也强于反向的增益。较大的天线增益导致期望 LOC 台站与期望干扰 LOC 台站之间更易产生干扰,故需要更远的保护距离。

5 结束语

本文提出了一种更精确的同频 LOC 站间距计算方法,利用同频 LOC 的天线方向图和天线辐射角度确定同频场景,并利用拟合的方式将 LOC 站间曲线转化为满足干扰保护比需求的保护间距函数。进一步,由不同场景中的 LOC 台站频率保护区、关键点和天线辐射角度的几何关系确定了 LOC 空间间距,利用保护间距与空间间距的相互关系确定同频 LOC 最小保护间距。具体实例验证结果表明,与 FAA 所规定的站间距相比,计算得到的同频 LOC 最小保护间距在满足干扰保护要求的前提下,数值更加小,从而可进一步提高 LOC 系统的频率利用效率。

需要说明的是,与本文分析中采用的典型场景相比,在一般场景的计算中,由于台站方位角和朝向的不确定,故首先需要由干扰台站到期望台站覆盖区域边界的最近点确定关键点的位置,并将台站方位角和朝向加入到关键点到干扰 LOC 台站主瓣夹角的计算中,最终确定干扰发射机相对天线增益,即可采用本文的方法计算最小间距。

参考文献:

[1] 王世锦,王湛. 机载雷达与通信导航设备[M]. 北京: 科学出版社,2009.
WANG Shijin, WANG Zhan. Airborne radar and communication navigation equipment [M]. Beijing: Science Press,2009. (in Chinese)

[2] 马存宝. 民机通信导航与雷达[M]. 西安:西北工业大学出版社,2004:365-374.
MA Cunbao. Civil aircraft navigation and radar communication [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnic University Press,2004:365-374. (in Chinese)

[3] 陈康. 仪表着陆系统航向信标的分析与研究[J]. 信息通信,2011(6):9-11.

- CHEN Kang. Research and analysis on the ground course beacon subsystem of ILS[J]. Information & Communications, 2011(6):9-1. (in Chinese)
- [4] MH/T 4006. 1-1998, 航空无线电导航设备[S]. MH/T 4006. 1-1998, Aeronautical radio navigation aids[S]. (in Chinese)
- [5] ICAO International Standards and Recommendation Practices Annex 10, Aeronautical Telecommunications Volume 1; Radios Navigation Aids Sixth Edition[S].
- [6] CCAR-123-2004-98TM, 平行跑道同时仪表运行管理规定[S]. CCAR-123-2004-98TM, Regulations for the management of parallel tracks instrument operation simultaneously[S]. (in Chinese)
- [7] 陈亚青, 罗亮, 詹建明. 窄距平行跑道运行新技术探讨[J]. 中国民用航空, 2013, 12(12):39-40. CHEN Yaqing, LUO Liang, ZHAN Jianming. Discussion on the new technology of the narrow range parallel track[J]. China Civil Aviation, 2013, 12(12):39-40. (in Chinese)
- [8] FAA order 6050. 32b, Spectrum management regulations and procedures manual[S].
- [9] 中国民用航空总局政策法规司. 附件 10[G]//国际民用航空条约汇编. 北京:中国民航出版社, 2005. Civil Aviation Administration of China. APPENDIX 10[G]//International Civil Aviation Convention. Beijing: China Civil Aviation Press, 2005. (in Chinese)
- [10] 石振东. 误差和曲线拟合[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2010. SHI Zhendong. Error and curve fitting[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2010. (in Chinese)

作者简介:



程延松(1970—),男,河南鲁山人,2000 年于四川大学获理学博士学位,现为中国民用航空局第二研究所高级工程师,主要从事航空通信导航监视技术等领域的研究工作;

CHENG Yansong was born in Lushan, Henan Province, in 1970. He received the Ph. D. degree from Sichuan University in 2000.

He is now a senior engineer. His research concerns aviation communication, navigation and surveillance technology.

Email:ys.cheng@163.com

李锐(1968—),女,四川成都人,1999 年于中国科学院成都计算机应用研究所获工学硕士学位,现为中国民用航空局第二研究所高级工程师,主要从事航空通信导航监视技术等领域的研究工作;

LI Rui was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1968. She received the M. S. degree from Chengdu Institute of Computer Application, Chinese Academy of Sciences in 1999. She is now a senior engineer. Her research concerns aviation communication, navigation and surveillance technology.

周自力(1971—),男,重庆人,1993 年于上海交通大学获双学士学位,现为中国民用航空局第二研究所高级工程师,主要从事航空通信导航监视技术研究工作;

ZHOU Zili was born in Chongqing, in 1971. He received the dual B. S. degree from Shanghai Jiaotong University in 1993. He is now a senior engineer. His research concerns aviation communication, navigation and surveillance technology.

李黎(1994—),男,重庆人,2016 年于电子科技大学获学士学位,现为电子科技大学通信抗干扰重点实验室硕士研究生,主要从事无线通信算法及其实现的研究工作;

LI Li was born in Chongqing, in 1994. He received the B. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2016. He is now a graduate student. His research concerns wireless communication algorithm and its implementation.

王建强(1977—),男,山西沁县人,2001 年于四川大学获工学学士学位,现为中国民用航空局第二研究所工程师,主要从事计算机应用、航空无线电导航频率工程等方面的研究;

WANG Jianqiang was born in Qinxian, Shanxi Province, in 1977. He received the B. S. degree from Sichuan University in 2001. He is now an engineer. His research concerns computer application, aeronautical navigational aid frequency engineering.

王军(1974—),男,四川人,2009 年于电子科技大学获工学博士学位,现为电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室教授、博士生导师,主要从事无线与移动通信技术方面的研究。

WANG Jun was born in Sichuan Province, in 1974. He received the Ph. D. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2009. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research interests include signal processing for wireless communications, air-to-ground communication systems, and cognitive radio.