

基于模型化设计的进近着陆系统多径效应仿真

戴传金, 赵修斌, 许进, 李颖路

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:基于模型化设计的进近着陆系统多径效应仿真是利用准确的电磁散射算法模型来建立机场复杂环境的散射体模型库,通过不同特性散射体(几何尺寸、物理特性等)调用各自有效的算法模型的方法,实现了进近着陆系统开阔场多径效应仿真,并结合IPO算法模型对停靠飞机的多径效应进行了仿真,仿真结果证明了基于模型化设计的进近着陆系统的多径效应仿真方案的有效性。

关键词:进近着陆系统;多径效应;算法模型;仿真;模型库

中图分类号: TP282 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)06-0032-04

在无线电进近着陆系统中,机载接收机接收到的信号不仅包含来自无线电信标台辐射的直达信号,还包括电波照射到散射体后引起的反射信号和绕射信号,即所谓的多径信号^[1-3]。这类问题被称为无线电进近着陆系统的多径效应问题。在扩建或新建机场时,应该提前分析各种各样的建筑物和散射体对进近着陆引导系统(如仪表着陆系统)的多径效应影响,如高大的吊车,机棚或停靠的飞机对系统产生多径影响,因此进行进近着陆系统的多径问题的建模仿真是很有必要的^[4-5]。而且应用计算机建模仿真预测多径环境下进近着陆系统引导能力的变化的方法也已经得到认可,是在现代条件下花费最经济,风险相对较小,可靠性较高一种方式。

1 进近着陆系统多径效应问题

在进近着陆系统信道中,电波传播方式除了直射波之外,还需要考虑传播路径中各种障碍物和高大建筑及物体所引起的散射波(散射波=反射波+绕射波)。进近着陆的飞机在某进近场点接收信号的电波,除了直达波外,还有沿弯曲跑道爬行波的反射波、高大建筑物的镜面反射波和停靠飞机的绕射波等。在单一反射体和障碍物的情况下,假设直达波场强为 E^0 ,反射波场强为 E^r ,绕射波场强为 E^d ,则机载接收机的接收的总的辐射场强 E 可表示为

$$E = E^0 + E^r + E^d \quad (1)$$

其中,当场源是点源时,远场区的直达波场强可以表示为

$$E^0 = E(\theta) e^{-jk \cdot r} / r \quad (2)$$

反射波场强用下式表示:

$$E^r = \bar{R} \cdot E_i(R) \cdot A_r(s) \cdot e^{-jks} \quad (3)$$

上式中 R 为反射系数; $A_r(s)$ 是扩散因子描述射线能量的扩散。

绕射波场强表示为

$$E^d = \bar{D} \cdot E_i(D) \cdot A_d(s) \cdot e^{-jks} \quad (4)$$

上式中 \bar{D} 是绕射系数,它的计算是比较复杂的; $A_d(s)$ 是描述空间衰减的扩散因子。

收稿日期:2006-05-22

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:戴传金(1982-),男,安徽砀县人,硕士生,主要从事军用无线电导航

赵修斌(1965-),男,湖北天门人,教授,主要从事无线电导航及信道环境仿真研究。

显然, E' 和 E^d 构成了进近着陆系统的多径散射场。

实际进近着陆系统信道中, 由高大物体和建筑而构成的散射体很多, 所以接收机所接收到的信号场是由多个路径传播的电波所合成的, 这些来自不同路径的信号将因为传播路径上的散射体特性的不同而在接收点具有不同的计算方法, 有些信号通过镜面反射形成镜像信号与直达信号相叠加, 而有些信号则通过尖点或尖形劈的绕射与直达信号叠加, 因此在接收点将对接收信号形成多径散射场, 从而使发射天线辐射方向性图畸变。

2 进近着陆系统多径仿真

机场空间的绝大部分散射物体, 如吊车, 机棚和停靠的飞机等, 都会使着陆系统在未指定的方式下工作。每一个着陆系统都有一个的特定的系统参数, 如米波仪表着陆是调制度差 DDM (Difference of Depth Modulation) 和分米波仪表着陆系统为可听度系数 KPC 等。这些系统参数受到多径散射的影响而失真, 使得进近飞机不能够准确的获取方位和下滑信息。因此, 分析散射体的多路径散射必须是进近着陆系统多径仿真的一部分, 常用的散射算法必须植入到系统仿真之中。

2.1 仿真算法与建模

系统仿真的一个非常重要的方面就是对实际问题数学建模过程, 下面是几种典型算法模型。

1) 电流积分算法模型(物理光学法 - PO, 改进的物理光学法 - IPO)

基于电流积分的数值算法是指物理光学法和它衍生的其它算法。它假定电大尺寸的面结构物体和平面波入射, 对入射场在物体表面感应的电流进行积分, 不考虑电磁耦合。对于一些问题, 比如天线的建模计算, 计算结果确实很完美, 但不能就想当然的认定了它的通用性。这类方法的特点很明显, 主要表现在: ①精确的有限元分割; ②边缘电流的引入(和 PTD - 物理绕射理论相似); ③阴影区电流的考虑(Fock 电流的应用); ④遮蔽效应的考虑。然而, 由于电流积分模型需要通过建立大量的网格剖分来计算边界, 所以对计算机的处理能力和内存空间要求比较大, 对于过大尺寸的物体不能计算。

2) 射线追迹类算法模型(几何光学法/几何绕射理论/一致绕射理论(GO/GTD/UTD))

这一类广泛应用的有效方法是射线追迹算法(GO/GTD/UTD 和它的衍生算法), 这种算法是典型的高频近似算法, 主要基本思想是分析由于不同类型的反射和绕射造成的电磁散射问题。它不受物体尺寸的限制, 可用来分析各种电大尺寸的物体。

3) 起伏地形电波类的传播模型(抛物线方程 - PE 算法模型)

这类算法模型首先是处理无线电波的衍射问题而提出的, 是对标量波动方程作近似处理后得到的。假设场的能量沿轴向方向是为对称轴所构成的锥形域传播, 这种假设为数值计算带来了极大的方便。因为 PE 算法可以通过空间场的递推方法求解, 这比直接求解椭圆型波动方程节约更多的计算机资源。PE 算法可以解决大部分形状和材质的地面上的波的传播问题。同时, PE 算法也适应于限制区的计算。因此, 理论上讲 PE 算法可以解决弯曲跑道的绝大部分问题。

2.2 系统仿真方案

对于散射体的算法模型, 可以通过建立常用的散射体模型库, 通过定义描述散射体特征参数如尺寸、材质等生成各个散射体对象, 根据波源和场点进行射线寻迹和电磁场的计算, 给出场点的散射场强。虽然进近着陆系统仿真中涉及的任务繁多, 但可将这些任务按照功能可简单的划分成几个仿真模块, 如图 1 所示。仿真过程中, 模块间需要相互的一些状态信息, 用来执行控制、处理或数据显示等功能。仿真开始后, 随着仿真场点的推进, 进近着陆信号在不同的模块节点流动, 直到仿真结束。

1) 主控模块: 主控模块又称决策模块, 其在系统中相当于一个指挥协调中心, 实施仿真策略, 是仿真控制的核心。其主要任务可以概括为按照散射体的实际情况协调安排算法模型的选取活动, 以实现误差范围内的进近着陆状态评估。因此主控模块的主要功能包括以下几个方面: ①按照着陆场状态生成飞机进近着陆事件, 即确定在仿真跨度内是否调用模型函数库, 查询并调用何种算法模型为最有效, 值得注意的是, 主控

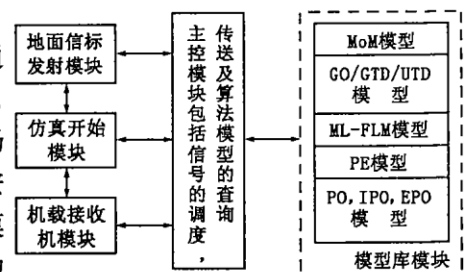


图1 进近着陆系统仿真模块图

模块生成的飞行检验计划需要在仿真过程中生成进近着陆事件来满足飞行检验任务要求;②接收从其它模块过来的信号;③根据各类何种算法模型建立的规则,把满足算法模型要求的散射体信息送到相应的算法模块;④保证执行飞行检测任务的飞机进近着陆系统的机载设备所需的信息送至机载接收机模块;⑤显示变化曲线,如方向性图、DDM曲线及KPC曲线等,评估多径仿真结果,并决定是否执行再次计算。

2)模型库模块:模型库模块相当于进近着陆事件的散射算法执行模块。根据散射体类型的不同,修改着陆状态,并在计算完成后,释放散射体类型并送回到决策模块。模型库模块在查询散射体算法模型是否有效时,系统采用根据已知的散射体分布的位置函数及相关参数,使用电磁场算法仿真产生电磁散射事件。

3)机载接收机模块:机载接收机模块相当于一个进近着陆事件引导实现执行模块。依照着陆系统的信号体制仿真飞机读取导航参量的过程。按照不同散射算法模型生成进近场点的多径着陆信号,通过机载接收机模块仿真出多径环境下的导航参量,如DDM,KPC等,并将进近场点的导航参量变化数据送回到主控模块,通过主控模块显示出来。

4)地面信标发射模块:地面信标发射模块用于生成信标发射的电磁波信号。它主要用来模拟发射信标的天线方向图,然后向主控模块提供所需要的空间某一点的电磁波信号,包括幅度、相位、电场强度方向、电磁波传播方向。

此外,为了优化仿真建立一个仿真初始化模块,初始化系统状态。建立模型的时候,只需要将各个模块连接起来建立理想状态下(不存在多径散射)飞机进近着陆过程模型,设置系统精度和容差,进行仿真试验,统计试验数据并显示评估指标结果。

2.3 仿真流程

仿真的整个实现流程是比较复杂的,首先由主控模块生成地面发射信标对象和散射体对象,这两个对象在整个仿真过程中是一直存在且不发生变化的;然后生成机载接收机对象,在仿真过程中它的位置属性是不断变化的,因为它要模拟的是进近着陆的飞机。当机载接收机沿某确定航线进近时,进近场点的上多径散射仿真流程如下:

1)初始化:①置仿真场点起始位置距跑道着陆端口 r_0 ,终点位置距端口 r_f ,仿真步长为 Δr ;②置系统初始状态 $\mathcal{E}(r, \theta) = C$, (θ 是航向角)。跑道着陆端口处的导航参量满足系统要求,如分米波仪表着陆系统,在跑道着陆端口处左右105 m处要求 $KPC = 33.33\%$;③置散射体初始状态 $\Gamma(\bar{R}, \bar{D}) = 0$,仿真开始前散射体的反射和绕射特性归零。其中 \bar{R} 、 \bar{D} 分别是绕射系数和反射系数。

2)系统仿真变量即距跑道端口的距离 $Distance = r_0$ 。

3)如果 $Distance \leq r_f$,根据逻辑算法及各类算法模型的优先顺序,确定在仿真进近场 $[Distance, Distance + \Delta r]$ 距离段内场点所有散射路径的场强序 $E_i, i = 1, 2, \dots, N$ 。并执行。否则转至5)。

4) $Distance = Distance + \Delta r$;转3)。

5)仿真结束。

3 应用实例和仿真结果

某机场按照规定对配备的分米波仪表着陆系统进行定期飞行检验,在做航道结构检验时,发现检验飞机在距离跑道端口3~7 km之间表盘指示的偏移电流忽上忽下强烈抖动,超出了误差范围。经分析机场跑道周围的环境,判定停靠在跑道一侧的值班飞机是比较明显的障碍物,可能由于飞机的多径散射造成了可听度系数(RAD)质量变差。

机场跑道长2500 m,航向信标配置在距离跑道着陆端480 m处,飞机位于跑道主着陆右侧距离跑道中线150 m处,据航向信标1500 m,与跑道成 45° 角。其中飞机尺寸:机长21.94 m,翼展14.70 m,

根据前面给出的具体数据生成停靠在机场跑道一侧的飞机的散射模型之后,通过逻辑算法调用模型库里的IPO算法模型,建立坐标系。坐标系建立之后,进行航向对准飞行检验的模拟仿真,即飞机沿跑道中心线按 3° 下滑角下滑,从跑道主着陆端口到距离主着陆端10 km,每10 m采样一个数据。得到的仿真结果如图2所示。在图中可以清楚地看到在距离跑道端口大约3.8 km到6 km的范围内,偏移电流强烈抖动,超出了容许的误差范围,这与实际飞行的结果是吻合的。

偏移电流的强烈抖动是由于多径信号的散射引起的相位误差造成的,而要消除这种误差就只有消除或者降低散射的多径信号的能量,从散射方面来说就是要降低停靠飞机引起的在场点处的反射波和绕射波的强度。将此飞机转移到距离跑道较远处,应该可以达到消除散射波或者降低散射波强度的目的,因此假想将飞机移到跑道一侧 500 m 处,而后再次生成飞机进近着陆事件,修正散射体参数 \bar{R}, \bar{D} , 进行航向对准飞行检验的模拟仿真,得到如图 3 所示仿真结果。

多径效应问题对于进近着陆系统环境影响十分严重,而随着机场及其附近环境的愈来愈复杂,这种多径效应现象有逐渐加剧的趋势。基于模型化设计的进近着陆系统多径环境仿真是分析机场复杂电波环境中散射体对进近着陆系统性能影响的一种很有效的方法,它的灵活性,经济性是实际校飞所无法实现的。

参考文献:

- [1] Gerhard Greving. Status and Capabilities of Advanced Computer Based Analysis and Simulations for ATC - Navigation and Radar Systems - Examples and Results [A]. Proceedings of the 5th International Symposium on Electronics in the Air Transport Industry [C]. SEATI 2006.
- [2] Gerhard Greving. Advanced Numerical System Simulations for Nav aids and Surveillance Radar - The Verification Problem [A]. 13th IFIS [C]. Montreal/Canada; 2004, 173 - 186.
- [3] Hassan M, El - Sallabi, Pertti Vainikainen. A New Heuristic UTD Diffraction Coefficient for Prediction of Radio Wave Propagation [A]. The 57th IEEE. Semiannual [C]. 2003, 783 - 787.
- [4] 赵修斌, 王永生. 基于 GTD 的进近着陆系统多径效应仿真 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(8): 1864 - 1866.
- [5] 赵修斌, 王永生. 进近着陆系统电磁环境仿真研究 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(2): 11 - 14.

(编辑: 门向生)

Simulations for the Multi - path Effect of the Approaching Landing System Based on the Modelling Design

DAI Chuan - jin, ZHAO Xiu - bin, XU Jin, LI Yin - lu

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the instruction of the multi - path effect of the approaching landing system, the construction of the scatter model database for the complex environment on the airports was completely demonstrated. According to the principle of electromagnetic scattering algorithm, different scatters select different models. On the other hand, the aircraft diffraction and reflection are simulated correctly. The result indicates that the calculation coincides with the measured result, and the proposal in system simulations is feasible.

Key words: approaching landing system; multi - path effect; algorithm model; simulation; model database

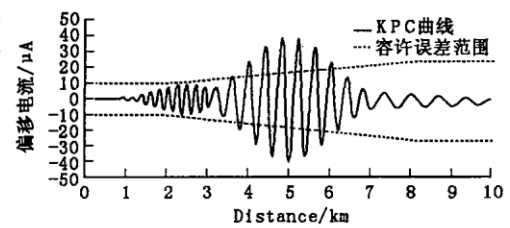


图2 多路径散射下的分米波仪
表着陆系统 KPC 仿真图

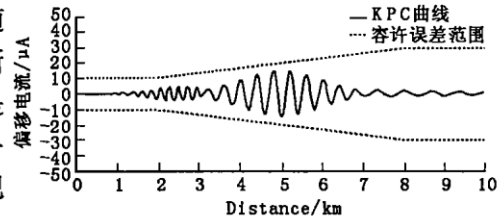


图3 停靠在飞机跑道一侧
500 m 时的仿真图