

雷达探测空间目标效能仿真系统设计与实现

张俊华^{1,2}, 杨根³, 徐青²

(1. 解放军信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002; 2. 解放军信息工程大学测绘学院, 郑州 450052;
3. 解放军信息工程大学理学院, 郑州 450001)

摘要: 空间目标的日益增多给观测太空和发射卫星都带来了很大难度, 因此有必要利用一定的手段对空间目标进行探测, 而雷达探测具有独特的优势。以 VC++ 和 STK 为主要工具, 开发针对低轨卫星和空间碎片的雷达探测效能仿真系统。该系统能够方便快捷地从雷达对空间目标的探测能力、雷达空域内同时存在的目标数目和雷达对目标观测弧段长度等 3 个方面分析雷达探测空间目标的效能。

关键词: 雷达探测; 空间目标; 效能分析; 系统设计

Design and Realization of Radar Efficiency Simulation System for Detecting Space Target

ZHANG Jun-hua^{1,2}, YANG Gen³, XU Qing²

(1. College of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002;
2. College of Surveying & Mapping, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450052;
3. College of Science, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450001)

【Abstract】 More and more space targets in the sky make it difficult to observe the celestial bodies and launching satellites. It is necessary to detect space target. Radar has its unique advantages during detecting space target. Based on VC++ and STK, radar efficiency simulation system for detecting space target, including low-orbit satellite and space debris, is explored. Efficiency, including detection capacity, space target number in radar detecting range in five minutes and duration of radar detection space target, can be analyzed quickly based on radar efficiency simulation system for detecting space target.

【Key words】 radar detecting; space target; efficiency analysis; system design

1 概述

随着人类航天活动的不断增加, 卫星、空间站、航天飞机、空间碎片和弹道导弹等空间目标越来越多。发射升空的卫星和航天器在空间科学方面做出了巨大的贡献, 也为人类的生活等方面服务带来了很大的便利。然而, 航天事业的迅猛发展使空间环境日益严峻。截止到 2008 年 3 月, SSN 编目的空间目标总数为 12 889 个, 其中约 94% 的目标为空间碎片。大量的碎片对价值昂贵的载人飞船和卫星存在很大的威胁。

对包括大量空间碎片在内的空间目标进行跟踪、探测与监视是夺取未来空间或“制天权”的重要手段, 也是各航天大国重点发展的航天技术之一。

目前主要是运用雷达探测、光电观测和无线电侦测等手段对空间目标进行监视。与其他手段相比, 雷达具有独特的优势, 可以全天时、全天候地探测, 实现多目标探测和跟踪, 因此受到了各国的高度重视^[1-2]。

作为航天任务仿真软件的代表, STK 具备可视化程度高、软件模块功能完善、模型精确可靠、使用方便等特点。本文以 VC++ 和 STK(Satellite Tool Kit) 为主要工具建立了针对卫星和空间碎片的雷达探测效能仿真系统。系统采用 VC++ 开发系统界面, 建立空间目标的数据库系统, 利用 STK/Connect 模块将 VC++ 与 STK 进行连接, 从雷达对空间目标的探测能力、雷达空域内同时存在的目标数目和雷达对目标观测弧段长度 3 个方面进行分析, 为雷达探测空间目标的工作模式的

设定和能量的分配提供了相应的技术支持。

2 系统设计与构成

2.1 系统设计

雷达对空间目标探测效能仿真系统要求对空间目标进行实时的预报, 通过空间目标进出雷达空域的信息进行分析。系统涉及到 VC++ 与 STK 的连接、空间目标位置的实时计算、雷达探测模型的构建、空间目标数据库的建立、仿真数据的处理与分析等几个方面, 是一个多方面的综合系统, 其结构如图 1 所示。

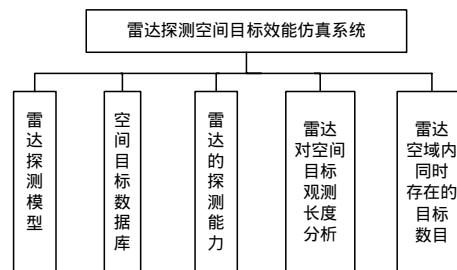


图 1 雷达探测空间目标效能仿真系统的结构

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA703434)

作者简介: 张俊华(1976 -), 女, 博士研究生, 主研方向: 空间目标探测与识别; 杨根, 讲师; 徐青, 教授、博士生导师

收稿日期: 2009-06-19 **E-mail:** 1976zhangjunhua@sina.com

该仿真系统程序开发采用 VC++ 编程实现，通过 STK/Connect 模块把 VC 和 STK 进行连接，对于仿真模型的建立，雷达对空间目标的搜索、截获与跟踪过程仿真均由 VC++ 控制 STK 完成，仿真数据的分析由 VC 编制的函数完成。

系统通过 VC++ 界面进行操作，根据需要可以任意添加、删除、修改空间目标的基本信息，可对已有的空间目标信息进行查询。

基于 STK 的强大显示功能可对数据库中的卫星和空间碎片进行二维和三维的显示，并能够实时展现雷达对空间目标的搜索、探测和跟踪过程。

利用 STK 的 Access 分析模块对雷达探测空间目标的效能进行仿真分析。

2.2 系统构成

2.2.1 VC++ 与 STK 的连接

STK 是由美国 AGI 公司开发，在航天工业领域领先的商业化分析软件。STK 可以快速方便地分析复杂的陆、海、空、天任务，并提供易于理解的图表和文本形式的分析结果，用于确定最佳解决方案。STK 的基本功能和基本模块详见文献[3]。

STK/Connect 模块是一个非常重要的模块，它提供用户在客户机/服务器环境下与 STK 连接的功能，通过接收用户经连接模块传发的指令来控制 STK 的运行。使用 TCP/IP 或 UNIX Domain Socket 在第三方应用软件与 STK 之间传输数据(包括实时数据传输)，为其他应用程序提供了一个向 STK 发送消息和接收数据的通信工具。使用 STK/Connect 时，只需要提供连接名和端口以便 STK 进行数据通信。STK/Connect 指令可以用单一函数发送并返回任何所期望的数据。通过 STK/Connect 对 STK 的连接如图 2 所示。

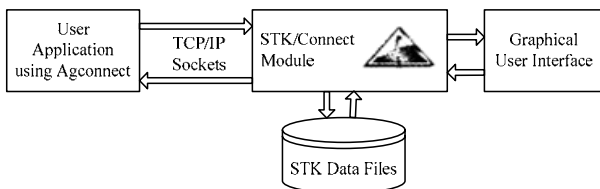


图 2 通过 STK/Connect 与 STK 的连接

雷达探测空间目标效能仿真系统利用 STK/Connect 模块完成 VC++ 与 STK 平台之间的有效连接，并建立基于 STK 平台的雷达探测空间目标的模型。

2.2.2 空间目标数据库

空间目标数据库的建立方便用户对空间目标的基本信息和进出雷达空域信息的操作。利用 VC++ 建立空间目标的信息数据库，主要包括目标编号、目标名称、所属国家、历元时刻、目标轨道六参数以及目标进出雷达空域的时间信息。卫星轨道六参数指轨道平面倾角 i 、升交点赤经 Ω 、轨道椭圆长半轴 a 、轨道椭圆偏心率 e 、近地点幅角 ω 、平近点角 M ，通过这 6 个参数来确定目标的空间位置。空间目标进出雷达空域的时间信息主要是通过 VC++ 控制 STK，利用 STK 的 Access 功能来完成。

2.2.3 雷达探测空间目标效能分析

STK/Connect 把 VC++ 和 STK 连接起来，利用 VC++ 访问 STK，通过发送指令可在 STK 中建立雷达探测空间目标模型，并读取数据库中空间目标的相应参数，利用 MSGP4 轨道预报器对空间目标的位置进行计算，显示雷达对空间目标

探测的情形。

本系统主要从雷达探测能力系数、雷达探测空间目标弧段长度和雷达空域内同时存在的空间目标数目来分析雷达探测空间目标的效能。

其中，雷达探测能力系数的计算方法如下：

在一定的搜索屏设置模式下，以天为单位统计过雷达空域的所有空间目标数目(记为 m_1)，同时统计出能被雷达发现的空间目标数目(记为 m_2)， k 为雷达探测能力系数：

$$k = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1)$$

雷达探测空间目标弧段长度是指在条件仿真中定义的搜索、跟踪空域内，从搜索屏发现开始时刻至出域时刻间的时间，雷达空域内同时存在的空间目标数目，即在 5 min 内同时被雷达探测和跟踪的空间目标数目。

3 仿真系统的实现过程与结果

采用 Visual C++ 6.0 作为软件开发工具，基于 VC++ 与 STK 的连接，开发出雷达对空间目标的搜索、探测和跟踪能力仿真与分析软件。

3.1 雷达探测模型的构建

雷达探测模型必须要满足以下要求：

(1)由目标卫星初始的轨道参数可以进行轨道递推，并且递推精度要满足预报的精度要求。

(2)由目标卫星相对于雷达的位置判断必须满足监视的要求。

3.1.1 卫星的空间位置计算

卫星的空间位置仿真是雷达监视模型的基础，其精度直接影响预报时间和目标卫星俯仰角和方位角的精度，卫星空间位置的获取主要有以下 2 种方法^[4]：

(1)由初始时刻 t_0 卫星的 6 个轨道根数 $(a, e, i, \Omega, \omega, M)$ ，考虑地球引力、日月引力、大气阻力和太阳辐射压力等摄动的影响，进行数值积分就可以获得精度较高的卫星位置坐标。若只考虑上述 4 种摄动力的影响，在惯性坐标系中卫星的运动方程为

$$\ddot{r} = a_E + a_{NE} + a_S + a_L + a_A + a_{SF} \quad (2)$$

其中， a_E 为地球中心引力加速度； a_{NE} 为地球非球形部分产生的摄动加速度； a_S 为太阳引力摄动加速度； a_L 为月球引力摄动加速度； a_A 为大气阻力摄动加速度； a_{SF} 为太阳辐射压力摄动加速度。

该方法的缺点是必须给出精确初值；而且地球引力场模型和大气模型分别决定了非球形摄动加速度和大气阻力摄动加速度的计算非常复杂，运算速度慢。

(2)根据北美防空联合司令部(North American Air Defense command, NORAD)在网上发布和更新的 2 行轨道根数(Two Line Element, TLE)，使用 SGP(Simplified General Propagator)或 SDP(Simplified Deep Propagator)轨道递推可以获得精确的轨道预测，其优点是计算速度快。

本文仿真所用的卫星数据是北美防空联合司令部(NORAD)于 2008 年 2 月 14 日更新的卫星轨道数据。通过对卫星轨道参数的分析可知，99% 卫星轨道高度均大于 500 km。

根据卫星数据的特点和对以上 2 种方法的分析，本文以 STK(Satellite Tool Kit)为平台，采用了方法(2)对卫星的空间位置进行递推和计算。

3.1.2 基于 STK 的雷达探测模型

通过对空间目标探测雷达指标的研究以及对雷达搜索、

探测和跟踪空间目标过程的分析,将探测雷达的探测空域(包括方位角、俯仰角和探测距离)、扫描波束、扫描方式以及对目标的搜索、截获和跟踪等工作方式^[5]与 STK 平台中的有关功能相对应,利用 STK 平台的 Sensor 模块的有关功能建立了探测雷达对空间目标的侦察监视模型,实现探测雷达实际工作方式与 STK 模型之间的有效转换。所建立的模型如图 3 所示。

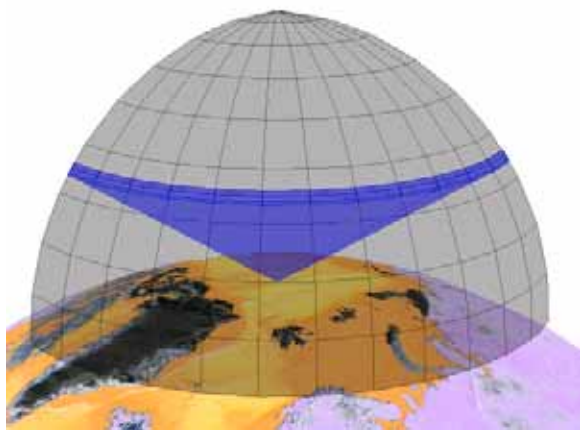


图 3 雷达空间监视模型示意图

3.2 空间目标数据库的建立

基于美国航空航天局 2008 年 2 月 14 日提供的 1 500 km 以下在轨运行的低轨空间目标,利用 VC++建立了包含有卫星名称、官方名称、国际编号、所有者、任务类型、轨道历元、轨道高度、轨道倾角、升交点赤经、偏心率、近地点幅角、平近点角等参数的开放式数据库。

该数据库的数据可以直接导入到 STK 中,作为添加空间目标的一种有效途径。

通过本系统,用户可以在数据库中进行卫星基本信息、碎片基本信息、卫星统计数据、碎片统计数据等信息的查询。其中,统计分析查询模块在应用程序中是通过在用户窗口中统计查询子窗口来完成的,用户可以方便、直观地从列表中了解系统已有的统计数据,并通过点击相应项获得统计结果。

3.3 仿真数据处理与分析

通过 VC++调用 STK 的仿真功能,产生出需要的仿真数据。

结合空间目标数据库提供的空间目标基本信息和 VC++与 STK 共同产生的空间目标进出探测雷达空域的信息,本系统可以对雷达探测空间目标的仿真数据进行处理与分析,这里主要分析了雷达探测空间目标能力、雷达探测空间目标弧段长度(图 4)和雷达空域内同时存在空间目标数目(图 5),并以图示的形式给出了直观的统计结果。该结果可为空间目标探测雷达更好地分配能量、合理设定工作时间和工作方式提供依据。



图 4 雷达探测空间目标弧段长度分析结果

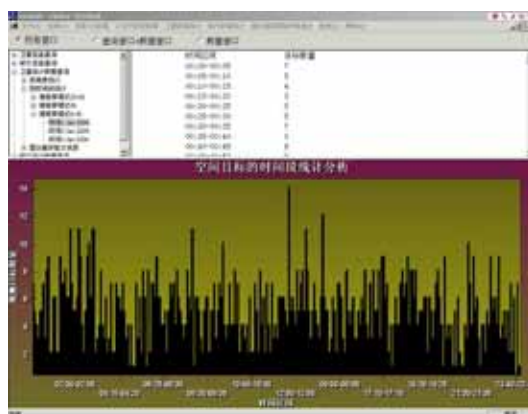


图 5 雷达空域内同时存在空间目标数目分析结果

4 结束语

本文通过 STK/Connect 模块将 VC++和 STK 进行有效连接,在此基础上开发了雷达探测空间目标的效能仿真系统。该系统能够从雷达对空间目标的探测能力、雷达空域内同时存在的目标数目和雷达对目标观测弧段长度 3 个方面来分析雷达探测空间目标的效能,并能够提供直观的统计分析结果,为后期雷达系统的研制提供相应的技术支持。

参考文献

- [1] 李颖,张占月,方秀花.空间目标监视系统发展现状及展望[J].国际太空,2004,16(6):28-32.
- [2] 陈萍.空间目标探测与识别[J].雷达与探测技术动态,2005,1(8):7-15.
- [3] 杨颖,王琦.STK在计算机仿真中的应用[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [4] 韩蕾,陈磊,周伯昭.SGP4/SDP4模型用于空间碎片轨道预测的精度分析[J].中国空间科学技术,2004,24(4):65-71.
- [5] 张光义.相控阵雷达系统[M].北京:国防工业出版社,1994.

编辑 任吉慧

(上接第 238 页)

- [3] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York, USA: Springer-Verlag, 1995.
- [4] Huang N E, Shen Zhen. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-stationary Time Series Analysis[J]. Proceedings of the Royal Society, 1998, 454(1971): 903-995.

- [5] 李凌均,张周锁,何正嘉.基于支持向量数据描述的机械故障诊断研究[J].西安交通大学学报,2003,37(9):910-913.
- [6] 胡劲松,杨世锡,吴昭同,等.基于 EMD 和 HT 的旋转机械振动信号时频分析[J].振动、测试与诊断,2004,24(2):106-107.
- [7] 王琦,汪同庆,叶庆卫.轻轨锚固螺杆振动信号 EMD 处理研究[J].振动与冲击,2008,27(6):178-181.

编辑 顾逸斐

