

靶弹突防有源干扰机应用及其 STK 仿真研究

张伟军¹, 洪 闯¹, 关宝财², 刘海斌¹, 陈永涛¹, 顾 飞¹

(1. 中国人民解放军 95821 部队, 甘肃 酒泉 732750;

2. 中国人民解放军 93145 部队, 广东 深圳 518000)

摘要: 有源干扰机是靶弹突防系统的重要组成部分, 如何应用好干扰机对于试验突防场景构建的成败起到十分关键的作用, 有必要深入研究; 在对突防有源干扰机工作过程与原理进行归纳总结的基础上, 分析了与干扰机应用紧密相关的释放时刻、释放角度和释放速度等靶弹发射诸元, 采用了卫星工具包 STK 对包含 1 枚靶弹 1 枚导弹和 2 个有源干扰机的场景进行了仿真, 仿真分析时间在加速模式下可缩减至 1 分钟以内; 利用仿真结果对靶弹发射诸元和干扰机参数的合理性进行了验证, 从而为反导试验任务中突防场景构建提供技术支持, 具有良好的实用价值。

关键词: 有源干扰机; 靶弹突防; STK; 仿真分析; 技术支持

Research on Application and STK Simulation of Penetrating Active Jammer for Target Missile

ZHANG Weijun¹, HONG Chuang¹, GUAN Baocai², LIU Haibin¹, CHEN Yongtao¹, GU Fei¹

(1. Chinese People's Liberation Army Unit 95821, Jiuquan 732750, China;

2. Chinese People's Liberation Army Unit 93145, Shenzhen 518000, China)

Abstract: Active jammer is an important part of target missile penetration system. How to apply jammer well plays a key role in the success or failure of test penetration scene construction, so it is necessary to study it deeply. On the basis of summarizing the working process and principle of the penetration active jammer, the release time, release angle and release speed are closely related to the application of jammer, the target missile launch data are analyzed. Including one target missile, one missile and two source jammers, the scene is simulated by using satellite toolkit STK. Simulation time can be reduced to less than 1 minute in the acceleration mode; The simulation results are used to verify the rationality of the target projectile launch data and jammer parameters, so as to provide the technical support for the construction of penetration scene in the anti-missile test mission, which has good practical value.

Keywords: active jammer; target missile penetration; STK; simulation analysis; technical support

0 引言

在靶场进行反导武器系统试验时, 需要基于靶弹平台的突防系统来模拟构建弹道导弹突防场景, 以考核和评估反导武器系统在干扰条件下的反导性能。有源干扰机是靶弹突防系统中的重要组成部分, 它能通过干扰反导武器系统中的雷达, 缩短其发现导弹的距离或者破坏其识别系统, 使反导武器系统来不及反应, 从而使攻击弹头顺利突防而攻击预定的目标。目前靶场对有源干扰机的应用还缺乏深入研究, 主要是因为存在以下问题: 1) 反导试验中靶弹的射程远, 地域跨度大, 需要对伴随式干扰机干扰效果分析的区域大; 2) 反导试验中靶弹飞行诸元, 如干扰机释放时刻、释放角度和释放速度等因素, 对干扰效果影响较大, 需要分析的因素多, 且直观显示干扰效果较难; 3) 反导试验中干扰机的参数, 如开机时间、干扰功率等参数设置, 对干扰效果影响较大, 需要分析的参数多, 计算量大;

4) 电磁态势可视化难度大, 如雷达威力范围、干扰机干扰波束、雷达与干扰机相互作用等动态变化的电磁态势展示难。

为解决以上问题, 有必要开展针对性理论研究, 并采用行之有效的可视化仿真手段, 从而为干扰机的应用提供支持。经过比较分析, 由美国 Analytical Graphics 公司 (AGI) 开发的卫星工具包 STK 成为仿真手段的首选, 原因是: STK 能方便添加雷达、导弹等对象, 并能进行相应的轨迹与姿态等参数设置, 能快速建立相应的试验场景, 可提供可视化的二维和三维仿真态势, 并给出精确的分析结果, 能适用于反导武器系统试验任务仿真推演的需要。

本文从有源干扰机结构和工作机理研究与分析入手, 重点从干扰机释放时刻、释放角度和释放速度等靶弹飞行诸元方面进行分析, 并将 STK 用于反导试验突防场景的干扰机应用仿真之中, 用于验证分析靶弹飞行诸元与干扰机参数调整情况, 从而为反导试验任务中突防场景模拟构建

收稿日期:2021-08-17; 修回日期:2021-10-25。

作者简介:张伟军(1972-),男,湖南长沙人,博士,高级工程师,主要从事微波自动测量技术、靶标与电子对抗技术等方向的研究。

引用格式:张伟军,洪 闯,关宝财,等. 靶弹突防有源干扰机应用及其 STK 仿真研究[J]. 计算机测量与控制,2022,30(3):133-138.

提供技术支撑。

1 突防有源干扰机结构及工作机理

1.1 突防有源干扰机结构

突防有源干扰机主要由接收天线、微波组件、变频组件、数字组件、放大器、发射天线、电池和二次电源组件等组成,其结构示意图如图 1 所示,除此之外,还包括天线罩、壳体、后端盖、稳定裙、防隔热层等结构件。

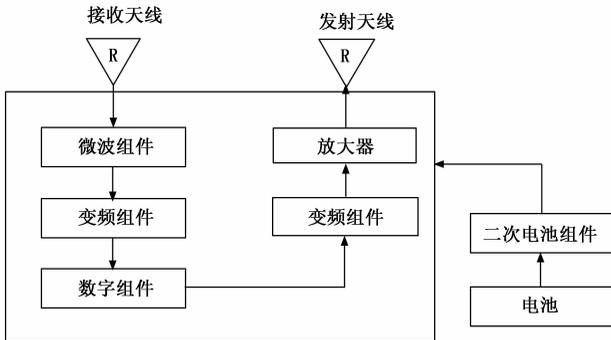


图 1 干扰机结构示意图

1.2 工作过程与原理

突防有源干扰机的工作过程与一般的干扰机不同,但其工作原理基本相同,具体为:在靶弹初始飞行过程中,有源干扰机通过拔销器销轴与释放机构锁紧;在释放前,弹上控制系统激活干扰装置热电池,并通过修正舱气瓶对干扰机组合件贮气箱充气;释放指令发出后,拔销器拔起,有源干扰机在贮气箱高压气体作用下以一定的轴向速度和旋转速度释放出筒。释放后,行程开关由压紧状态变为释放状态,有源干扰机由此获得零时启动信号,有源干扰机开始计时,同时干扰机自毁解保。到达装订的开机时刻后有源干扰机开机工作,接收天线接收到雷达辐射信号后,经微波组件限幅度、放大、滤波后,送至变频组件进行下变频,经下变频的信号经数字组件进行 AD 采样,经数字信道化接收机完成高精度测频及参数测量,经数字射频存储 DRFM 单元生成压制、欺骗干扰信号,经过变频组件上变频和放大器放大后,由发射天线辐射,对被干扰雷达实施干扰;到达装订的自毁时刻,根据装订时序干扰机完成电自毁。

1.3 主要工作特点

突防有源干扰机主要在靶弹弹道中段使用,其主要特点是:1) 通过伴飞方式实施主瓣干扰。通过释放机构释放后,能以一定分离速度和一定的姿态角与头舱组合体分离,被释放的干扰机依靠惯性与弹头一同在空间伴飞,能够对雷达实施主瓣干扰,在要求功率较小的情况下,能起到良好的干扰效果;2) 使用方式灵活。一枚弹道靶弹可携带多个不同工作频段的有源干扰机;干扰机释放时刻灵活,可在过弹道最高点后释放,也可在升弧段释放;单个干扰机在不同弹道飞行段可施放不同样式、不同强度的干扰;多个干扰机之间可具备协同侦察、协同干扰的功能;3) 有效

辐射功率 ERP 有限,信号持续时间短。由于弹上干扰机的体积和重量受限,电池容量也有限,ERP 一般不超过百瓦量级,干扰持续时间为几百秒量级。为达到较好的干扰效果,有源干扰机的释放时间和干扰时间能事先装订;4) 干扰波束覆盖区域大。为了使干扰机动态飞行过程中,方便形成对雷达的干扰,干扰机天线波束很宽,一般可达 $120^\circ \times 120^\circ$,干扰波束覆盖区域很大,能对处于干扰频段范围的一个或多个雷达进行干扰;5) 干扰样式多。干扰样式包括宽带阻塞噪声干扰、窄带瞄准噪声干扰、转发干扰、多假目标干扰、间断干扰和组合干扰等。

1.4 主要工作诸元与参数

突防有源干扰机在应用时,在考虑以上主要特点的基础上,可根据试验方案对干扰机的参数进行针对性设置,干扰参数包括干扰中心频率、干扰带宽、干扰样式、有效辐射功率、干扰启动时间等,这些参数影响对制导雷达的干扰效果。此外,需要重点关注干扰机释放时刻、释放角度和释放速度等靶弹发射诸元,这些发射诸元决定了靶弹与干扰机两者在空间飞行时的相对位置关系,影响干扰机对弹头的掩护效果。下面主要对上述靶弹发射诸元进行分析。

1.4.1 释放时刻

突防有源干扰机的释放时刻选择在靶弹进入弹道中段后,尽可能提前释放,主要考虑是:1) 靶弹头部由于采用隐身措施 RCS 较小,在雷达波束向靶弹头照射时,不容易被雷达截获,而释放干扰机时靶弹需要转动调姿,而调姿后靶弹侧向和尾部 RCS 一般较大,容易被雷达截获与跟踪。因此尽早释放干扰机,能减小靶弹被雷达截获的概率;2) 突防有源干扰机以金属结构件为主体,对雷达入射波具有较强的散射作用,其 RCS 一般大于弹头 RCS,尽早释放,能发挥干扰机的诱饵作用。

1.4.2 释放角度和释放速度

当突防有源干扰机释放时刻确定后,需要根据靶弹的仿真弹道数据,以及干扰机投放角度、分离速度进行计算与分析,以达成以下目的:1) 使干扰机与弹头的位置保持在合理的区间内,处于制导雷达同一跟踪波束内;2) 使干扰机位于弹头的前方,确保干扰机能对雷达实施有效干扰。在使用 1 枚靶弹、1 个伴随式有源干扰机突防包含单部制导雷达的 1 个防空反导火力单元时,典型的攻防武器位置几何关系如图 2 所示。

在制导雷达对弹头进行跟踪时,一方面干扰机与弹头应同处于一个雷达波束内,使得制导雷达观测弹头时,干扰机能够从制导雷达主瓣方向进行干扰,否则,干扰机只能从制导雷达旁瓣方向实施干扰,干扰功率会损失一个雷达天线主瓣增益与旁瓣增益的差值,导致干扰效果变差。另一方面,干扰机天线主波束宽度 β 应当能够覆盖地面制导雷达分布区域 (DF 段),否则,从干扰机旁瓣到达制导雷达的干扰功率将有较大损失,为干扰机天线主瓣增益与旁瓣增益的差值。

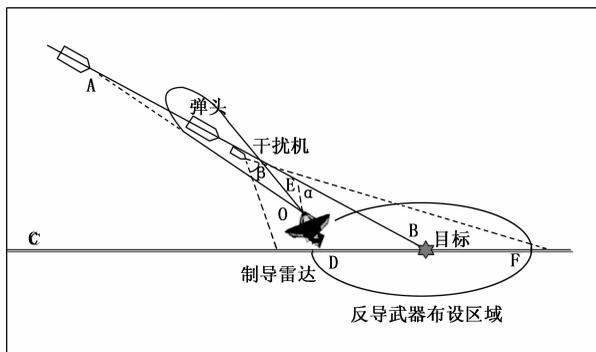


图 2 典型的攻防武器位置几何关系

由于现代干扰机一般采用数字射频存储技术, 在对雷达信号变频、采样、存储、调制与转发过程存在一定延时, 因此为对制导雷达进行有效干扰, 需要通过空间来换取时间的方式, 干扰机要位于弹头前方, 其目的是使弹头的回波信号处于干扰信号中, 即两者距离应当处于干扰机的掩护距离范围之内。在干扰机采用窄带瞄准噪声、多假目标等干扰时, 这一要求十分有必要, 能使干扰信号在时域上覆盖弹头回波信号所在区域, 以达到良好的干扰效果。

1.5 干扰效果评估指标

突防有源干扰机对雷达产生的干扰主要分为欺骗干扰和压制干扰。对于欺骗干扰的干扰效果评估, 一般利用概率论方法和模糊综合评估方法来评估; 对于压制干扰, 一般采用功率准则进行压制干扰效果评估, 可采用压制系数、干信比等指标来评估。本文主要采用干信比指标来评估突防干扰机对雷达的干扰效果。

根据制导雷达和干扰机的主要工作参数, 以及干扰机运动轨迹数据、雷达所在的大地坐标, 可获得制导干信比随时间的变化规律。

根据雷达方程可知, 制导雷达接收到的弹头回波信号为:

$$P_{recs} = \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

式中, R 为雷达与弹头之间的距离; P_t 为发射脉冲峰值功率; G_t 为发射天线增益; G_r 为接收天线增益; λ 为雷达工作波长; σ 为弹头雷达散射截面积。

此处公式忽略了雷达馈线损耗、大气对雷达信号的衰减。

通过对公式 (1) 进行分析, 可知制导雷达接收到的弹头回波信号与雷达的有效辐射功率 ERP, 接收天线的增益, 弹头 RCS, 雷达与弹头之间的距离等因素有关。

根据干扰方程可知, 制导雷达接收到的干扰信号为:

$$P_{recj} = \frac{P_{ij} G_{ij} G_r \lambda^2}{(4\pi R_j)^2 L_p} \quad (2)$$

式中, R_j 为干扰装置与雷达之间的距离; P_{ij} 为干扰装置发射脉冲峰值功率; G_{ij} 为干扰装置发射天线增益; G_r 为雷达接收天线增益; λ 为雷达工作波长; L_p 为极化损耗, 干扰装置天线的极化形式为圆极化, 雷达天线极化形式为垂直

极化, 极化损耗为 3 dB。

此处公式忽略了干扰装置馈线损耗、大气对干扰信号的衰减。

通过对公式 (2) 进行分析, 可知制导雷达接收到的干扰信号与干扰装置的 ERP, 雷达接收天线增益, 干扰装置与雷达之间的距离, 雷达工作频率等因素有关。

考虑到干扰机的干扰带宽 B_j 与雷达接收机带宽 B_r , 可得到制导雷达干信比为:

$$JSR = \frac{4\pi R^4 P_{ij} G_{ij} B_r}{P_t G_t \sigma R_j^2 L_p B_j} \approx \frac{4\pi R^2 P_{ij} G_{ij} B_r}{P_t G_t \sigma L_p B_j} \quad (3)$$

通过对公式 (3) 进行分析, 可知干信比与雷达的有效辐射功率 ERP、接收机带宽, 干扰机的 ERP、干扰带宽, 靶弹的雷达散射截面积, 雷达与靶弹之间的距离等因素有关。

2 仿真分析

为了对有源干扰机释放时刻、释放角度、释放速度等靶弹发射诸元以及干扰机相关参数的合理性进行验证, 我们采用 STK 来进行仿真分析。

2.1 场景构建

以典型的反导试验场景为例: 试验中利用反导武器系统发射 1 枚导弹来拦截 1 枚靶弹, 与靶弹伴飞的有源干扰机为 2 个, 在利用 STK 构建相应的场景时, 需要确定靶弹弹道和干扰机飞行轨迹和姿态。

2.1.1 靶弹弹道和干扰机飞行轨迹的确定

靶弹弹道和干扰机飞行轨迹的确定, 可在对象属性的 Route 中导入外部星历数据 .e 文件, 此时 Propagator 选择 stkExternal 模式。本文采用 EphemerisLLA TimePos 生成轨迹文件, 其数据格式依次为: 相对于场景历元起始时刻的时间增量、大地纬度、经度和目标海拔高度。具体的轨迹文件格式如图 3 所示。

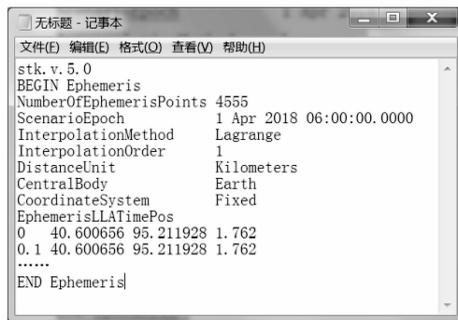


图 3 利用位置数据建立的轨迹文件

2.1.2 靶弹弹道和干扰机飞行姿态的确定

靶弹弹道和干扰机飞行姿态的确定, 可在对象属性的 Attitude 中导入外部姿态数据 .a 文件。本文采用 AttitudeTimeYPRAngles 生成姿态文件, 其数据格式依次为: 相对于场景历元起始时刻的时间增量、偏航角、俯仰角、滚动角。具体的姿态文件格式如图 4 所示。

利用靶弹弹道仿真数据, 并根据 2 个干扰机在某一释

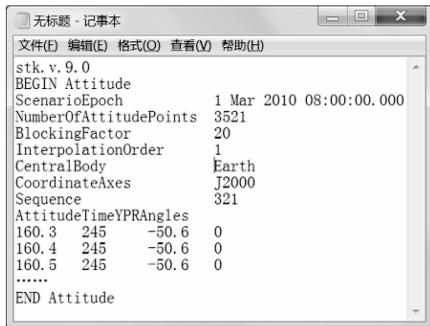


图 4 利用 YPR 建立的姿态文件

放时刻、释放角度和释放速度等靶弹发射诸元计算相应干扰机位置的数据，结合制导雷达阵地、靶弹发射阵地、靶弹弹道、干扰机飞行轨迹、制导雷达波束扫描方式和波束宽度等信息，建立的反导试验场景，如图 5 所示。

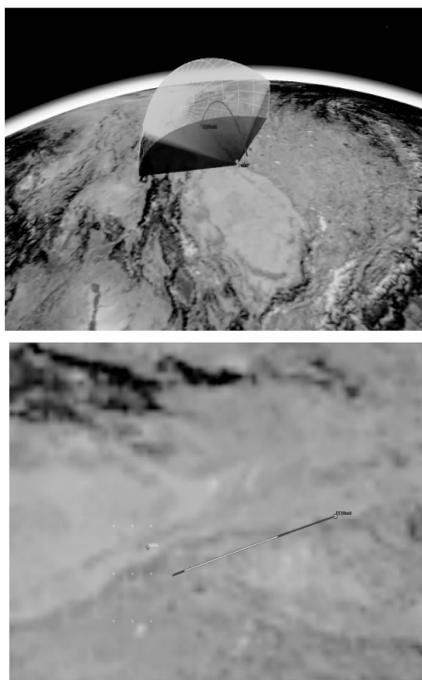


图 5 反导试验场景构建 (3D、2D)

2.2 仿真流程

仿真的具体流程为：1) 依据反导试验大纲，编辑与设置反导区域场景，并对参与试验的制导雷达部署位置、雷达波束形状、波束宽度、扫描方式等参数进行设置，导入靶弹弹道数据和姿态数据；2) 设置干扰机的波束形状、波束宽度、延时开机时间等参数，根据释放时刻、释放角度、释放速度等靶弹发射诸元，计算干扰机飞行轨迹数据以及姿态数据并导入；3) 启动场景仿真，执行推演干扰机突防过程，分析干扰效果，判断与干扰机应用相关的发射诸元与参数是否满足要求，是则结束，否则重新修订步骤 2) 中的发射诸元和参数，重新进行仿真推演，直至结果满足试验要求。仿真流程如图 6 所示。

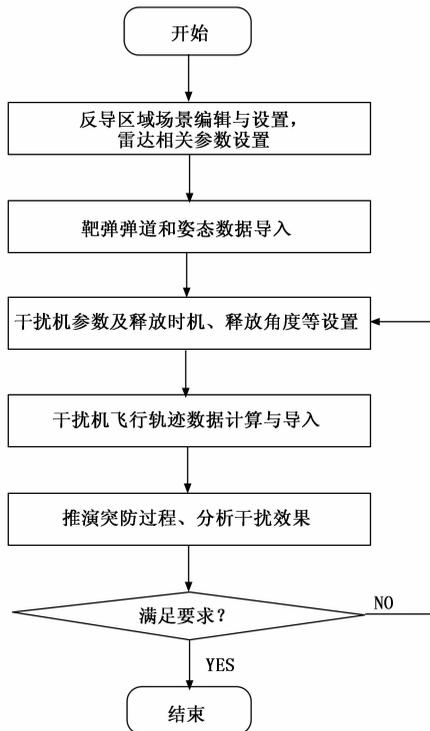


图 6 仿真流程

2.3 仿真结果

2.3.1 干扰机与靶弹动态分离

通过赋予不同时刻靶弹与干扰机的飞行轨迹与飞行姿态数据，随着 STK 仿真时间的推进，能方便观察干扰机与靶弹动态分离的情况。

2.3.2 干扰机的波束覆盖范围

通过赋予干扰机一定的波束宽度，当干扰机与靶弹分离后，随着 STK 仿真时间的推进，能方便观察 2 个干扰机波束覆盖区域，以及相对于制导雷达的位置关系，如图 7 所示。图 7 上显示的是某一时刻 2 个干扰机在空间某一位置的立体辐射波束，图 7 下显示的是 2 个干扰机波束与地面相交部分的投影，可观察到 2 个干扰机波束共同覆盖区域较大。根据图 7 可从三维与二维角度方便观察干扰机的波束覆盖范围情况，以及是否覆盖制导雷达所在位置。

2.3.3 雷达受干扰时间及干扰机对应位置

通过使用 STK 的 Access 工具，能方便分析干扰机对雷达的干扰时间，以及干扰机对应的方位、俯仰和斜距等信息，信息能以图形或报表两种形式呈现。以 1 个干扰机为例，干扰机对制导雷达的干扰时间如图 8 所示，从图中可见干扰机对雷达的干扰时间约 4 min，该干扰时间满足试验方案要求。制导雷达受到干扰时，不同时刻干扰机所在的方位角、俯仰角和斜距如图 9 所示。由于制导雷达与干扰机飞行轨迹不在同一方位，因此当干扰机距离雷达越来越近，两者方位角越来越大，在考虑干扰机姿态有变化的情况下，俯仰角也呈越来越小的趋势，这与试验场景部署情况相符。

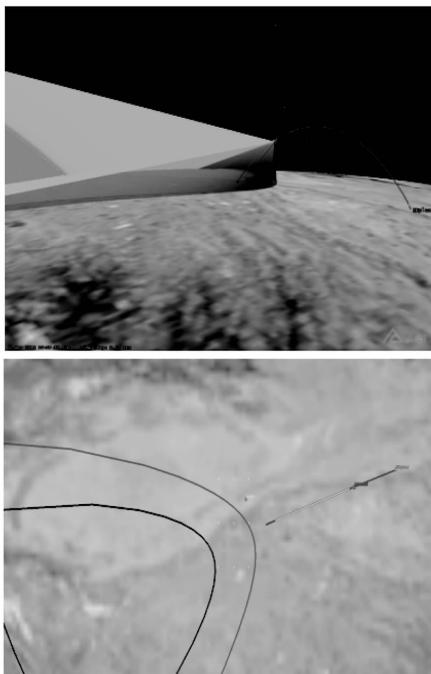


图 7 2 个干扰机的波束覆盖范围

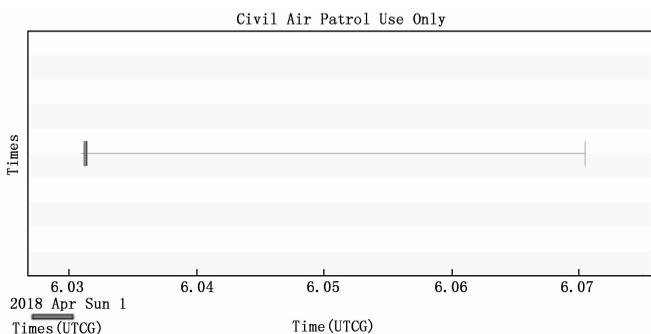


图 8 干扰机对制导雷达的干扰时间

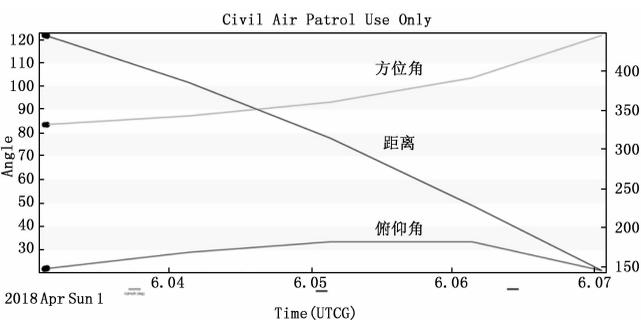


图 9 制导雷达受到干扰时干扰机所在的方位、俯仰和斜距

2.3.4 制导雷达干信比随时间的变化规律

根据弹头的位置仿真数据, 可得到不同时刻弹头与制导雷达的斜距 R , 通过公式 (3) 进行计算, 可得到制导雷达干信比随相对 T_0 时间的变化, 如图 10 所示。从图中可观察到: 随着目标、干扰机与制导雷达的距离越来越近,

即相对 T_0 时间的越来越长, 雷达接收到的目标回波信号的增长速度比雷达接收到的干扰信号的增长速度要快, 因此其干信比越来越小。在 $T_0 + 210.207$ s, 干信比为 31.24 dB; 在 $T_0 + 419.477$ s, 干信比为 22.22 dB。

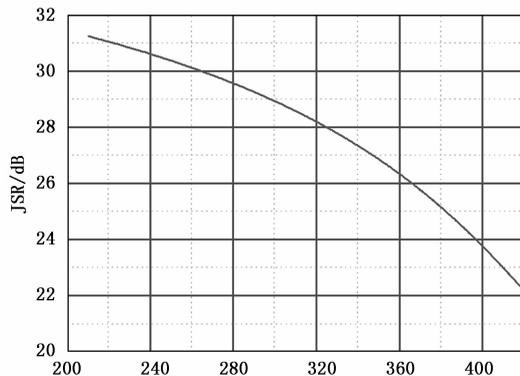


图 10 制导雷达干信比随相对 T_0 时间的变化

仿真结果表明: 1) 此次干扰机释放时刻、释放角度和释放速度等靶弹发射诸元, 以及波束宽度、干扰持续时间等干扰机参数, 设置合理, 能满足对制导雷达的时间、空间覆盖要求; 2) 干扰机的有效辐射功率、干扰带宽等参数, 设置合理, 能满足对制导雷达有效压制的干信比要求。

通过仿真, 重点解决了以下问题: 1) 直观获得了在靶弹不同发射诸元和干扰机不同参数情况下, 干扰机不同时刻的干扰波束覆盖区域、覆盖制导雷达等情况; 2) 方便获得干扰机在大区域突防过程中, 对制导雷达形成干扰时干扰机的空间位置信息、对制导雷达的干扰时间段、干信比变化情况等信息; 3) 获得了干扰机突防条件下反导试验的可视化场景与电磁态势, 如靶弹飞行场景、干扰机干扰释放场景、靶弹与干扰机在空间相对运动场景、干扰机干扰波束变化场景、干扰机对制导雷达干扰场景等, 以上问题的解决为反导试验顺利进行奠定了一定的技术基础。

3 结束语

有源干扰机在弹道靶弹突防场景的构建中具有十分重要的作用与地位, 需要较为全面的研究靶弹发射诸元和干扰机参数设置等方面的合理性, 使用 STK 为相关研究提供了良好的仿真途径。本文首先对干扰机释放时刻、释放角度和释放速度等靶弹发射诸元的要求做了理论上的分析, 然后根据某一典型的靶弹发射诸元计算干扰机的轨迹与姿态等数据, 并利用 STK 进行了 1 靶 1 弹 2 干扰机的试验场景构建, 干扰机与靶弹分离、干扰机对制导雷达干扰等动态推演, 反导试验场景与电磁态势可视化等仿真。仿真结果表明: 利用 STK 仿真手段, 有利于验证与优化弹道靶弹突防场景的靶弹发射诸元和干扰机参数, 能为反导试验突防场景的构建提供技术支撑, 具有良好的实用价值。

参考文献:

[1] 陈方予, 薛晓强, 郭冬子, 等. 弹道导弹突防干扰装置工程应用技术 [J]. 航天电子对抗, 2016, 32 (5): 33 - 35.

- [2] 陆伟宁. 弹道导弹攻防对抗技术 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007.
- [3] 周一宇. 电子对抗原理与技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [4] 廖平. 导弹突防中的电子对抗技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [5] 李志强, 吴曦. 基于信息体系对抗 STK 基础仿真应用 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2014.
- [6] 张友益. 雷达对抗及反对抗作战能力评估与验证 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2019.
- [7] 罗辉. 基于数据优先级的雷达目标跟踪偏差补偿方法 [J], 计算机测量与控制, 2020, 28 (6), 222-225.
- [8] 徐鹏, 刘东青, 王振华, 等. STK 的雷达对抗干扰动态参数建模仿真分析 [J]. 现代防御技术, 2019, 47 (1): 105-109.
- [9] 黄鹤. 基于 STK 的制导雷达拦截仿真 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6 (3): 267-270.
- [10] 唐玲, 陶小鱼. 基于 STK 的靶机测控通信链路建模仿真 [J]. 通信技术, 2017, 50 (11): 2478-2480.
- [11] 袁可亮. 弹道导弹突防中的电磁威胁分析及对策 [J]. 航船

电子对抗, 2013, 36 (2): 33-34.

- [12] 陈方予, 赵蕾, 李明, 等. TBM 探测拦截导弹可行性分析 [J]. 航天电子对抗, 2009, 25 (4): 1-4.
- [13] 黎晓春. 伴飞干扰对制导雷达突防对抗效果仿真分析 [J]. 航天电子对抗, 2017, 33 (6): 19-22.
- [14] 李宏, 牟能文, 郭雷. 弹道导弹突防中的相参干扰 [J]. 航天电子对抗, 2015, 31 (2): 1-4.
- [15] 陈晗, 陈方予, 左宇飞, 等. 制导雷达抗干扰能力提升对弹载雷达干扰技术影响研究 [J]. 2021, 37 (2): 42-45.
- [16] 胡海涛, 姜凯, 李佩林. 基于弹载干扰机的部分采样转发切片式干扰方法 [J]. 探测与控制学报, 2019, 41 (2): 125-130.
- [17] 王峰. 转发式弹载干扰机对抗技术研究 [J]. 中国电子科学学报, 2012, 7 (4): 423-425.
- [18] 谢道成. 弹道导弹突防措施建模与仿真研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2008.
- [19] 贺俊. 基于 STK 的可视化雷情仿真与融合研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019, 5.
- [20] 李刚. 基于 STK 的综合态势显示与控制系统的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2019.

(上接第 119 页)

将新的服务器平台应用于物联网的应用开发, 简化了物联网应用开发的复杂性, 加快了物联网应用的开发效率, 提高了应用的可维护性、可升级性和可扩展性。

对于未来发展而言, 首先智能控制系统是需要进行不断完善的, 随着各种家用空调的发售, 它可以与更多空调设备相关联, 进而满足更多使用者的不同需求。人们使用 WIFI 技术既帮助人们不再烦恼于复杂的布线, 又帮助人们节约了布线空间^[19-20]。

参考文献:

- [1] 高丽英. 融合网联车辆的智能家居协同监控系统 [J]. 电子技术应用, 2018, 44 (1): 60-64.
- [2] 帅晨, 王长坤, 胡慧, 等. 基于 TC35 的智能远程空调控制系统 [J]. 测控技术, 2015 (2): 69-72.
- [3] 赵亭. 基于 GSM 的智能空调控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015 (7): 2427-2428, 2437.
- [4] 王茹, 陶泽炎. 基于模糊前馈解耦的变风量空调控制方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (2): 450-453, 456.
- [5] 刘泽良. 物联网技术下基于 Arduino 的智能公交系统模型设计 [J]. 实验技术与管理, 2014 (31): 140-143.
- [6] 徐军, 杨帆, 朴金宁, 等. 室内环境参数远程监测系统设计与实现 [J], 电子技术应用, 2018, 44 (2): 48-51.
- [7] 刘晓剑. 基于 Onenet 的物联网监控系统 [D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [8] GUO Z M, LI S J, ZHANG J. Research on control method of VRV air conditioner based on fuzzy PID feedforward control [J]. Computer measurement and control, 2020, 28 (12): 65-69.

- [9] 邹恩, 霍庆, 黄浩扬, 等. 基于 GSM 网络的中央空调智能群控节能系统 [J]. 自动化与仪, 2015, 30 (6): 34-37.
- [10] 范兴隆. ESP8266 在智能家居监控系统中的应用 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2016, 16 (9): 52-56.
- [11] 朱月振. 基于 Arduino 的智能空调控制系统的设计与实现 [D]. 天津: 南开大学, 2014.
- [12] 龙巧玲, 牛德雄, 林利云. 基于 OneNET 云平台与物联网 MQTT 协议的智慧节能控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (7): 127-130.
- [13] WANG P, WANG Y. Design of smart home center control System based on Iot platform [J]. Computer measurement and control, 2020, 28 (11): 79-83.
- [14] 张萍. 基于 OneNET 云平台的智能空调控制系统 [J]. 计算机系统应用, 2019, 28 (12): 118-122.
- [15] 黄罡, 刘让哲, 张颖. 面向云一端融合的移动互联网应用运行平台 [J]. 中国科学: 信息科学, 2013 (1): 24-44.
- [16] MO T P, HU J B, ZHAO P S. Design and implementation of smart home system based on Android [J]. Automation & instrumentation, 2015, 30 (1): 33-36.
- [17] CAI H J, ZHAI S, CAI M. Design of GSM smart home control system based on STM32 [J]. Automation technology and application, 2013, 32 (8): 37-40.
- [18] 陈慕君, 张剑锋, 李春雨. 一种云平台智能家居系统设计与实现 [J] 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3392-3395.
- [19] 王朝华, 陈德艳, 黄国宏, 童怀. 基于 Android 的智能家居系统的研究与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 22 (6): 225-228.
- [20] 张红琴, 夏婷. 基于物联网的智能家居系统设计 [J]. 物联网技术, 2013 (7): 62-64.