

6-2-2020

## Modeling and Simulation of Target Searching and Scanning Program for Millimeter Wave Seeker

Gen Wang

*No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China;*

Wang Dong

*No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China;*

Yang Kai

*No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China;*

Ma Fei

*No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Modeling and Simulation of Target Searching and Scanning Program for Millimeter Wave Seeker

### Abstract

**Abstract:** The method of modeling and simulation of the target searching and scanning program for millimeter wave seeker with tiny instantaneous field of view was studied. *The mathematical model of instantaneous catch field and searching catch field was established.* Two common target searching and scanning programs were introduced. The searching catch field under different programs was achieved by simulation. The study result can provide reference for the design and inspection of target searching and scanning program of the seeker.

### Keywords

seeker, searching and scanning, catch field, modeling and simulation

### Recommended Citation

Wang Gen, Wang Dong, Yang Kai, Ma Fei. Modeling and Simulation of Target Searching and Scanning Program for Millimeter Wave Seeker[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(9): 2059-2064.

## 毫米波导引头搜索扫描方案建模与仿真

王根, 王冬, 杨凯, 马菲

(中国兵器工业第 203 研究所, 西安 710065)

**摘要:** 研究了具有极小瞬时视场的毫米波导引头搜索扫描方案的建模和仿真方法。建立了瞬时捕获域和搜索捕获域的数学模型, 介绍了 2 种常见的搜索扫描方案, 仿真得到了不同情况下的搜索捕获域。研究成果对于导引头搜索扫描方案的设计和验证具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 导引头; 搜索扫描; 捕获域; 仿真建模

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 09-2059-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201709024

### Modeling and Simulation of Target Searching and Scanning Program for Millimeter Wave Seeker

Wang Gen, Wang Dong, Yang Kai, Ma Fei

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The method of modeling and simulation of the target searching and scanning program for millimeter wave seeker with tiny instantaneous field of view was studied. The mathematical model of instantaneous catch field and searching catch field was established. Two common target searching and scanning programs were introduced. The searching catch field under different programs was achieved by simulation. The study result can provide reference for the design and inspection of target searching and scanning program of the seeker.

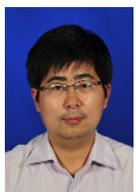
**Keywords:** seeker; searching and scanning; catch field; modeling and simulation

## 引言

通常情况下自寻的导弹经过初始发射段和中制导段的飞行后, 必然会导致导引头解锁搜索截获目标时刻存在指向角误差。对于波束较宽瞬时视场较大的导引头, 解锁后其视场很有可能直接覆盖指向角误差范围, 或者仅使用简单的搜索扫描方法可以快速捕获目标。而对于波束较窄的导引头, 虽然在目标跟踪和识别上能提供高精度、高分辨率,

并且能提高系统的隐蔽性和抗干扰性。但是, 窄波束同时会导致导引头瞬时视场较小, 造成导引头在同样的指向角误差范围下, 对目标的探测捕获更为困难, 且存在跟踪不稳定甚至丢失目标的问题。所以, 对于瞬时视场只有  $4^\circ$  左右, 甚至低于  $2^\circ$  视场的极小瞬时视场导引头, 就必须采取合适的搜索扫描方法才有可能快速准确的捕获目标。

毫米波通常是指频率位于 30~300 GHz 的无线电波(波长为 1~10 mm), 其介于微波和红外之间, 兼有红外和微波波段的优点。与微波相比, 毫米波部件体积小、重量轻、结构紧凑, 便于弹载使用; 与激光、红外相比, 虽然没有后者的分辨率高, 但它具有穿透烟、灰尘和雾的能力, 能够适应恶劣气象、复杂的战场环境条件, 因此毫米波成为空地导



收稿日期: 2017-05-04 修回日期: 2017-07-10;  
作者简介: 王根(1980-), 男, 江苏海安, 硕士, 研究方向为导弹控制系统设计与仿真; 王冬(1989-), 男, 陕西西安, 硕士, 研究方向为导弹制导控制系统设计; 杨凯(1979-), 男, 陕西西安, 硕士, 研究方向为导弹控制系统设计。

<http://www.china-simulation.com>

• 2059 •

弹的优选制导技术,但是毫米波导引头视场一般较小,所以需要提出合理的目标搜索扫描方式,提高导弹在中末制导交班时的目标截获概率。

目前,空地导弹上装备以及在研的毫米波导引头多为主动、双模或三模复合制导模式。以下为国外已经装备部队的毫米波导引头:

1) 美国休斯(Hughes)公司研制的黄蜂空地导弹,其采用 94 GHz 主动/被动雷达复合制导系统。该系统具有在严重地物杂波环境下发现、区别目标和选择攻击不同目标的能力;

2) 美国 AH-64D“阿帕奇”武装直升机装备的“长弓海尔法”导弹,导引头工作频段为 35 GHz。导引头利用机械扫描天线进行快速扫描,锁定目标后进行圆锥扫描测角,并跟踪目标。导弹可以对动目标实现发射前锁定,对静止目标进行发射前或发射后锁定;

3) 英国 MBDA 公司研制的双模“硫磺石”导弹采用毫米波主动雷达导引头(94 GHz)。导引头有一部机械扫描天线,在锁定目标后采用圆锥扫描。导弹可以在发射前或发射后锁定目标。

4) 美国的先进反辐射导弹(AARGM),加装了主动毫米波制导雷达(大于 40 GHz),导弹接近目标时,毫米波雷达启动搜索模式,对目标区进行搜索,发现雷达天线强回波信号,随即予以跟踪并控制 AARGM 命中目标。

本文主要研究导引头搜索扫描方案的建模与仿真方法,为导引头搜索扫描方案的研究提供思路和评估方法。

## 1 导引头搜索捕获域模型的建立

导引头的核心任务是保持对目标的自动连续跟踪测量,输出导弹制导与控制信息。但在其跟踪测量目标之前,应完成搜索和截获任务。

导引头对目标截获的过程中,总是在给定的空域(方位、俯仰、距离和速度等)范围内进行搜索,目的是使目标进入导引头视场内并驻留所需的时间。当导引头的检测分辨单元(天线波束、距离波

门、速度门等)搜索到目标并且目标回波能量超过导引头设定的检测门限时,称目标被“截获”。

图 1 所示为对地攻击时在铅垂面内的搜索角度关系示意图。导引头框架角  $\xi$  与天线电轴角  $\theta_g$  之间的关系为  $\xi = \vartheta - \theta_g$ 。其中  $\vartheta$  为导弹俯仰角,  $2\phi_r$  为导引头俯仰视场角,  $OD$  为天线电轴。

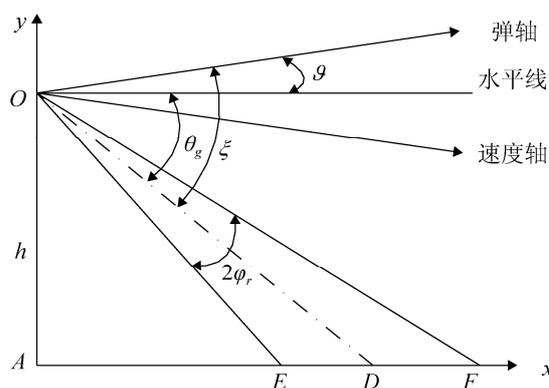


图 1 铅垂面内搜索角度关系示意图  
Fig. 1 Search angle relation in vertical plane

导引头对目标扫描截获过程如图 2 所示,其中  $O$  为导引头所在位置,  $OC$  为当前时刻导引头天线电轴指向,  $OBC$  为导引头天线电轴的扫描平面,  $ABC$  为地平面,椭圆  $EFGH$  为导引头瞬时视场在地平面的投影,即导引头的瞬时捕获域,在导引头对目标进行搜索的过程中,瞬时捕获域组成的集合即为导引头的搜索捕获域。

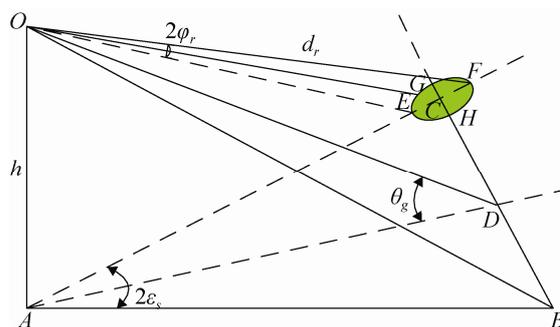


图 2 导引头方位扫描示意图  
Fig. 2 Seeker orientation scanning

采用椭圆瞬时捕获域长轴  $L_a$ 、短轴  $L_b$  及搜索捕获域宽度  $W_b$  这 3 个参数来描述导引头捕获域。本文只讨论瞬时捕获域为椭圆的情况,由几何关系

可知, 导引头搜索捕获域模型由式(1)~(6)描述:

$$L_a = L_1 - L_2 \quad (1)$$

$$L_1 = \frac{h}{\tan[\arctan(\tan \theta_g \cos \varepsilon_s) - \phi_r]} \quad (2)$$

$$L_2 = \frac{h}{\tan[\arctan(\tan \theta_g \cos \varepsilon_s) + \phi_r]} \quad (3)$$

$$W_b = L_b + L_{BC} \quad (4)$$

$$L_b = 2h \tan \phi_r \sqrt{\frac{1}{\tan^2 \theta_g} + \frac{\tan^2 \varepsilon_s}{\tan^2 \theta_g} + 1} \quad (5)$$

$$L_{BC} = 2 \frac{h \tan \varepsilon_s}{\tan \theta_g} \quad (6)$$

式中:  $h$  为弹道高度;  $\varepsilon_s$  为方位扫描角;  $\theta_g$  为导引头下视角。

根据图 2 所示, 当  $OF$  恰好等于导引头的有效作用距离时, 导引头的瞬时捕获域最大, 此时对应的下视角  $\theta_g$  为最优的。所以由导弹的平飞高度  $h$  和方位扫描角  $\varepsilon_s$  可以计算出最优的下视角, 如式(7)所示, 式中,  $dr$  为导引头的有效作用距离。

$$\theta_g = \arctan[\tan(\arcsin \frac{h}{dr} + \phi_r) / \cos \varepsilon_s] \quad (7)$$

## 2 搜索扫描方案及仿真策略分析

通常情况下对地攻击时导引头搜索扫描过程中俯仰框架下视有以下 2 种模式:

(1) 固定下视角, 导引头天线俯仰方向指向目标可能出现的前方位置(发射点和目标位置之间的某一位置)且保持该下视角固定, 随着弹目距离逐渐接近, 导引头天线在俯仰方向上总会有指向目标的时刻。

(2) 凝视, 导引头天线俯仰方向始终指向目标可能出现的精确位置(机载火控雷达或光电载荷在导弹击发前探测的目标位置)。

偏航方向一般按照固定的角速度进行一定角度范围的匀速扫描运动。俯仰固定下视角和偏航方向匀速扫描形成“固定下视角推扫”方案; 俯仰凝视和偏航方向匀速扫描形成“凝视扫描”方案。

式(4)~(6)对导引头的搜索捕获域宽度的描述存在一定的近似, 本文将在前述模型的基础上, 采

用仿真的方式绘制导引头的搜索捕获域。仿真结果可以直观地描述搜索捕获域的形状, 方便地研究影响搜索捕获域和目标在导引头视场内驻留时间的因素。仿真的方案为每经过  $\Delta t$  时间通过导引头的瞬时捕获域模型计算椭圆的长轴和短轴生成一个导引头的瞬时捕获域椭圆, 通过扫描方案确定椭圆的中心位置和旋转角度, 椭圆组成的集合即为搜索捕获域的范围。目标在导引头视线内的驻留时间也是确定导引头搜索扫描方案的一个重要指标, 可以判断每个  $\Delta t$  时间生成的椭圆与目标的关系, 若目标在椭圆内(即目标在导引头视场内), 置状态位为 1; 若目标在椭圆外, 置状态位为 0。即可得到搜索扫描过程中, 导引头瞬时视场和目标的位置关系, 进而为导引头搜索扫描方案的评估和选择提供依据。

## 3 导引头搜索扫描方案仿真

### 3.1 “固定下视角推扫”方案仿真

导引头有效作用距离  $dr$  设为 2 km, 导弹速度  $V=300$  m/s, 平飞高度  $h=150$  m, 导引头视场角  $\phi_r = \pm 2^\circ$ , 偏航方向扫描角  $\varepsilon_s=5^\circ$ , 计算得到的最佳下视角为  $6.3^\circ$ , 扫描角速度分别为  $10^\circ/\text{s}$  和  $20^\circ/\text{s}$ 。目标点坐标(3 000, 0)。按照该条件进行“固定下视角推扫”方案的仿真。

图 3、图 4 为“固定下视角推扫”方案下不同扫描角速度的搜索捕获域示意图。图中的椭圆为各时刻的瞬时捕获域, 椭圆组成的集合为搜索捕获域。根据仿真条件结合式(1)~(6)计算可得, 最大瞬时捕获域椭圆对应的长轴和短轴分别为  $L_a=975$  m,  $L_b=96$  m。搜索捕获域宽度  $W_b=334$  m。仿真得到的搜索捕获域宽度为当扫描角速度为  $10^\circ/\text{s}$  时, 搜索捕获域宽度 310 m; 当扫描角速度为  $20^\circ/\text{s}$  时, 搜索捕获域宽度 342 m。在一定的扫描角速度范围内, 扫描角速度越大, 仿真得到的搜索捕获域宽度越大。但实际确定导引头的扫描角速度时, 还需要综合考虑目标在导引头视场内的驻留时间。图 5 是在  $10^\circ/\text{s}$  角速度搜索时, 目标入视场状态曲线。

目标在导引头视线内, 状态位为 1, 目标在导引头视线外, 状态位为 0, 从曲线中可以看出目标入视场的次数和在视场内的驻留时间。

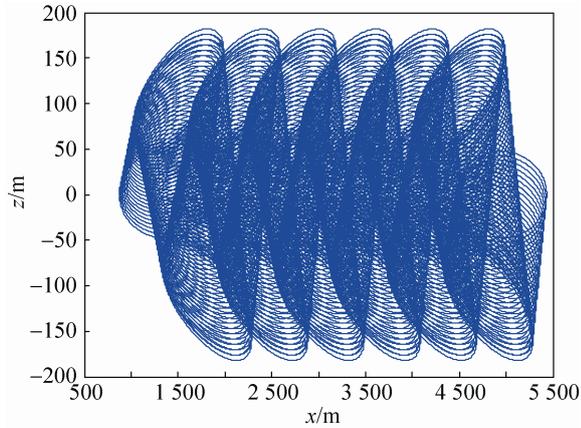


图3 10°/s 角速度搜索捕获域

Fig. 3 10°/s angular velocity search capture domain

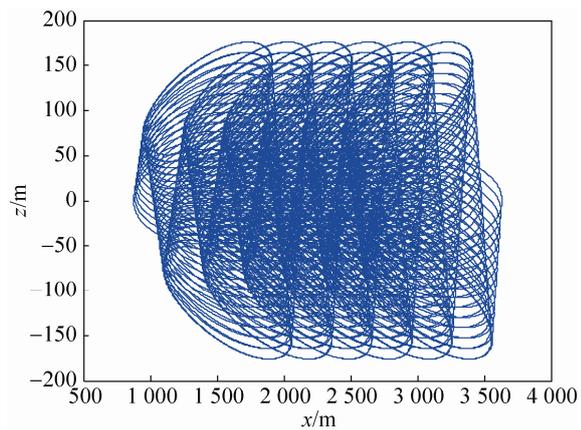


图4 20°/s 角速度搜索捕获域

Fig. 4 20°/s angular velocity search capture domain

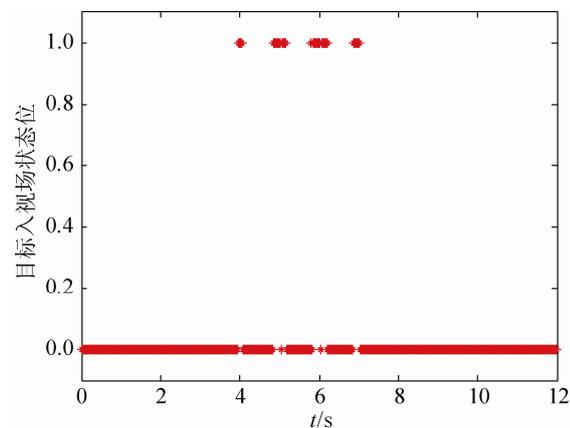


图5 10°/s 角速度搜索目标入视场情况

Fig. 5 10°/s angular velocity search target entering the field of view

### 3.2 “凝视扫描”方案仿真

导引头启动扫描时刻导弹和目标在水平面上的距离设置为 2 000 m, 导弹平飞高度  $h=150$  m。假设导引头作用距离较大, 能够始终保持瞬时捕获域为椭圆。导弹速度  $V=300$  m/s, 导引头视场角  $\varphi_r = \pm 2^\circ$ , 偏航方向扫描角  $\varepsilon_s = 5^\circ$ , 扫描角速度分别为  $10^\circ/\text{s}$  和  $20^\circ/\text{s}$ 。按照该条件进行“凝视扫描”方案的仿真。

图 6、图 7 为“凝视扫描”方案下不同扫描角速度的搜索捕获域示意图。图中的椭圆为各时刻的瞬时捕获域, 椭圆组成的集合为搜索捕获域。仿真结果可见, 随着弹目水平方向距离接近, 导引头瞬时捕获域椭圆越来越小。搜索宽度也越来越小, 即导引头的扫描区域不会超出第一个扫描周期内导引头扫过的地面范围。考虑到导引头的作用距离, 使用“凝视扫描”方案能够得到的扫描范围将十分有限。但在发射坐标系  $X$  方向导引头始终指向目标可能出现的精确位置, 同样可以保证导引头对目标的可靠截获。图 8 是在  $10^\circ/\text{s}$  角速度搜索时, 目标入视场状态曲线。

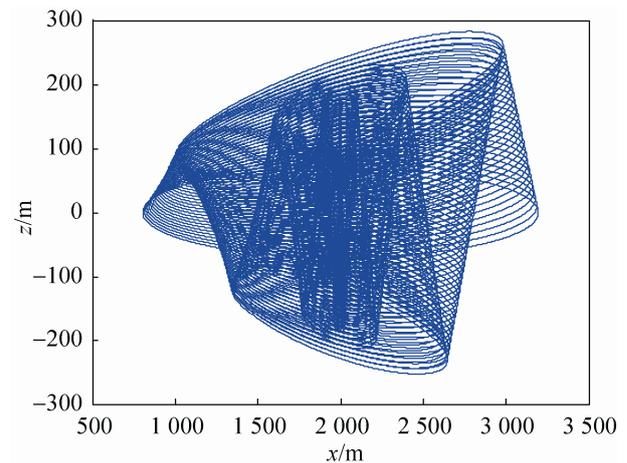


图6 10°/s 角速度搜索捕获域

Fig. 6 10°/s angular velocity search capture domain

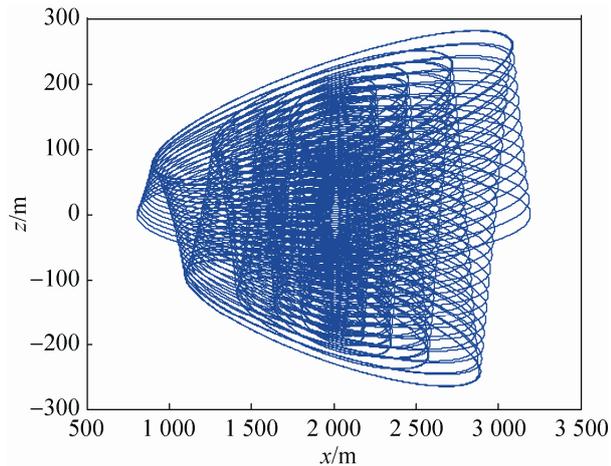


图 7 20°/s 角速度搜索捕获域

Fig. 7 20°/s angular velocity search capture domain

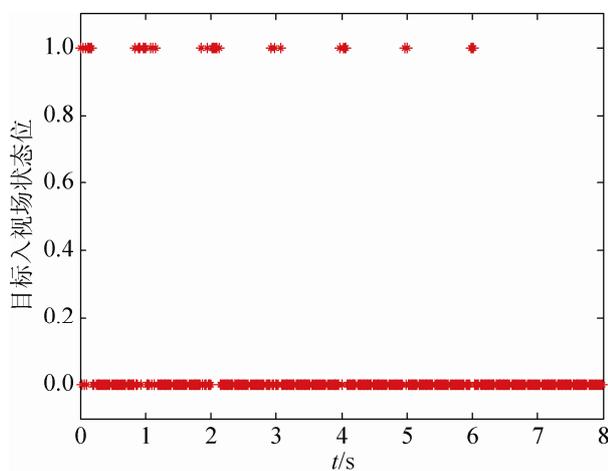


图 8 10°/s 角速度搜索目标入视场情况

Fig. 8 10°/s angular velocity search target entering field of view

通过建模与仿真分析可见,在相同的导引头作用距离内,“固定下视角推扫”方案由于瞬时捕获域较为固定,合理设计弹道高度、下视角及扫描规律后,目标进入导引头视场的次数将固定,且搜索捕获域范围大,当存在目标位置测量误差以及中制导误差、导弹位置测量误差时,仍然可以以较高的概率截获目标;“凝视扫描”方案由于瞬时捕获域随着弹目距离的减小而逐步减小,由于测量误差或目标运动,可能导致目标不在导引头捕获域内,导致导引头无法截获目标。但“凝视扫描”方案的优点在于当各种误差较小时,目标进入导引头视场的次数多且在导引头视场中的驻留时间长。

对于发射后截获的武器系统作战模式,在目标进入导引头有效作用距离时,根据武器系统各分系统的精度指标及中制导误差,通过本文提出的建模仿真方法的分析计算,可以得到导引头截获目标的概率。“截获”就是目标落入导引头波束或波门,并且回波能量超过检测门限,即“检测”到目标。目标落入导引头波束和回波能量超过门限被检测均是以概率统计来描述的,称为落入概率和检测概率,所以“截获”也以概率统计来描述,称为截获概率。在假定落入概率和检测概率互相独立的情况下,截获概率为落入概率与检测概率的乘积。

为比较导引头搜索扫描方案的优缺点,除了截获概率之外还需要确定其他评价搜索扫描方案优劣的准则和条件。本文的研究重点在于搜索扫描的建模与仿真的通用方法,对于评价准则只做简要的概述。在评价搜索扫描方案优劣的时候,主要考虑以下几点评价准则: a)目标落入概率大; b)目标落入视场所需时间短; c)目标在视场内驻留时间长; d)导引头框架角运动简单易工程实现; e)搜索视场的重叠率和漏扫率小。

## 4 结论

本文通过建立瞬时捕获域和搜索捕获域的数学模型并结合两种扫描方案进行仿真阐明了导引头搜索扫描方案的建模和仿真方法。实际确定导引头的搜索扫描方案时需要在该方法仿真的基础上综合考虑各种误差作用下的搜索捕获域范围和目标在导引头视场内的驻留时间来评估导引头能截获目标的概率。导引头扫描方案的设计是以提供最大目标落入概率和最小搜索时间为目标,受导引头和机载传感器性能、导弹飞行速度和高度、地形起伏等多种约束。当导引头视场较小,弹目位置散布较大时,还可以考虑采用二维扫描方案,即导引头波束中心在俯仰和方位两个方向上运动的方式。本文的研究成果对于导引头搜索扫描方案的设计、验证和评估具有一定的借鉴意义。

(下转第 2072 页)