

某型导弹导引头定向扫描技术

吴文超¹, 黄长强¹, 王志军², 宋磊¹, 李望西¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 95703 部队, 云南 陆良 655600)

摘要:针对某型导弹导引头瞬时视场角较小的缺点,提出了定向扫描技术。对S形、Z形和分行螺旋式3种扫描图形进行了对比研究,在综合分析扫描周期和发现概率的基础上,选取了分行螺旋式扫描作为导引头的定向扫描方式;建立了角度预定回路的数学模型,并设计了模糊PID双模控制器;对角度预定回路的控制方法进行了仿真分析,并建立了导引头模糊PID双模控制的数学模型。模型仿真结果表明:模糊PID双模控制器具有超调量小、稳态精度高、响应时间短的优点,满足了系统要求,实现了导引头的定向扫描控制。

关键词:定向扫描;导引头;模糊PID;瞬时视场

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.03.007

中图分类号: TJ765.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)03-0030-05

某型导弹导引头的瞬时视场角较小,载机目标指示误差容易超出瞬时视场角,导致导引头不能有效地发现并截获目标,使载机失去发射导弹的机会。目前研究导引头定向扫描控制的文献并不多,文献[1-4]仅对导引头伺服系统的控制方法进行了分析,并没有涉及到导引头定向扫描技术;文献[5]对定向扫描的要求、可行性和扫描方法进行了分析,但对定向扫描方式的评价指标和控制方法并没有研究。因此,在前人研究的基础上,本文对某型导弹导引头的定向扫描控制技术进行了探讨。

1 定向扫描方式的确定

对某型导弹导引头作以下假设:①导引头为理想探测器,忽略导弹与目标距离对导引头截获概率的影响,导引头瞬时视场的中心和边缘发现目标的概率相等;②只要目标出现在导引头瞬时视场中,导引头就能截获目标即发现就截获;③导引头瞬时视场为圆形,半径为 β 即视场角为 2β (单位度),需扫描的搜索视场为 $2\Omega \times 2\Omega$ 的矩形视场,且 $\Omega > \beta$, (Ω, β 的示意图1);④扫描时重叠系数保持均匀相同,即行与行之间距离相等;⑤导引头位标器从一个角度位置到达另一角度位置是无惯性和震荡的理想响应过程。

定向扫描技术的关键是选取扫描图形并确定搜索视场的大小。但盲目地扩大搜索视场会造成扫描周期变长,导致发现概率降低。因此,要从扫描周期和发现概率上综合选取扫描图形并确定搜索视场的大小。

1.1 扫描周期的求解

扫描图形的样式有多种,但考虑到导引头的惯性、实现方式等因素,本文仅对S形、Z和分行螺旋式3种扫描图形进行对比分析,3种图形的示意图见图1^[1-2]。扫描角速度一定时,对固定大小的扫描空域完成扫描,扫描图形的选取应遵循扫描周期 T 、重叠系数尽可能的小,而发现概率尽可能的大。

收稿日期:2009-05-20

基金项目:国家“863”计划资助项目(2008AAXX50703)

作者简介:吴文超(1980-),男,山东胶南人,博士生,主要从事机载精确制导武器技术研究;

E-mail:12345678songlei@163.com

黄长强(1961-),男,江苏如东人,教授,博士生导师,主要从事机载精确制导武器和无人机总体设计研究。

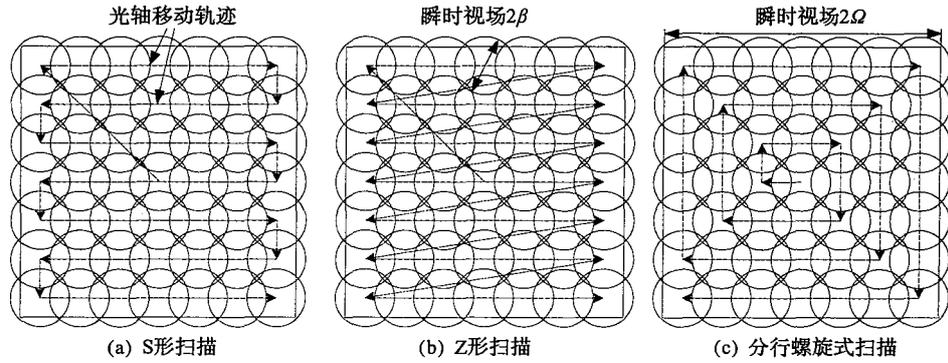


图1 3种典型的扫描图形

Fig.1 Three typical scan graphics

当扫描角速度一定时,扫描周期 T 正比于导引头所经过的角度 Φ 的总和。角度 Φ 的计算公式为:

$$\Phi_a = \left(2m + \sqrt{2} - \frac{2 + \sqrt{2}}{m}\right)\Omega \quad (1)$$

$$\Phi_b = (2m + \sqrt{2})\left(1 - \frac{1}{m}\right)\Omega + 2(m-1)\sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2}\Omega \quad (2)$$

$$\Phi_c = \begin{cases} 2\left(m - \frac{1}{m}\right)\Omega, & m \text{ 为奇数;} \\ \left(2m + \frac{\sqrt{2}-2}{m}\right)\Omega, & m \text{ 为偶数;} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $m = \text{ceil}(\sqrt{2}\Omega/\beta)$, ceil 为进一取整运算符号。

扫描周期 T 的计算公式为:

$$T_* = \Phi_* / \omega + m^2 T_j \quad (4)$$

式中: * 为 a、b 或 c; T_j 为导引头对搜索视场内有无目标进行判断的时间,这里取 $T_j = 0.15 \text{ s}$; ω 为导引头搜索目标的角速度值,这里取 $\omega = 25^\circ/\text{s}$ 。

由上述模型可得 3 种图形扫描周期的仿真结果,见图 2。可以看出,扫描周期 $T_b > T_a > T_c$; 在相关区域出现了扫描周期的向上跳变,原因在于在这些位置上扫描行数开始增加,因而对扫描周期有较为剧烈的影响。

1.2 发现概率的求解

假设目标指示误差在方位和俯仰通道上相纯正独立,均服从 $N(0,1)$ 分布,则二维概率密度分布函数为:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \exp(-x^2 + y^2/2) \quad (5)$$

式中 x, y 分别为方位和俯仰通道上的角度偏差。

设导引头光轴位于第 i 个扫描点发现目标的概率为 g_i , 其计算公式为:

$$g_i = \iint_{S_i} f(x, y) dx dy = \int_{x_i-\beta}^{x_i+\beta} dx \int_{y_i-\sqrt{\beta^2-(x-x_i)^2}}^{y_i+\sqrt{\beta^2-(x-x_i)^2}} f(x, y) dy \quad (6)$$

式中: S_i 为导引头光轴位于第 i 个扫描点时瞬时视场所覆盖的面积; x_i 和 y_i 为位于第 i 个扫描点时瞬时视场中心的坐标; $i \in 1, 2, \dots, m^2$ 。

若各个扫描点之间相互独立,则光轴移动 n 个扫描点的发现概率 P_n 为:

$$P_n = 1 - (1 - g_1)(1 - g_2) \cdots (1 - g_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - g_i) \quad (7)$$

根据扫描周期和发现概率的求解模型,可以得出 3 种扫描图形的发现概率随时间变化的曲线。图 3 是扫描行数分别为 3 行和 4 行,搜索视场分别为 4.2426° 和 5.6568° 3 种扫描方式对目标发现概率的仿真图。

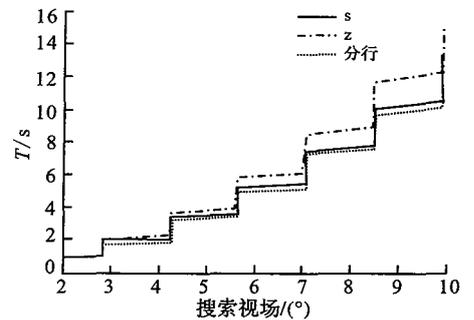


图2 扫描周期仿真结果

Fig.2 Simulation results of scan period

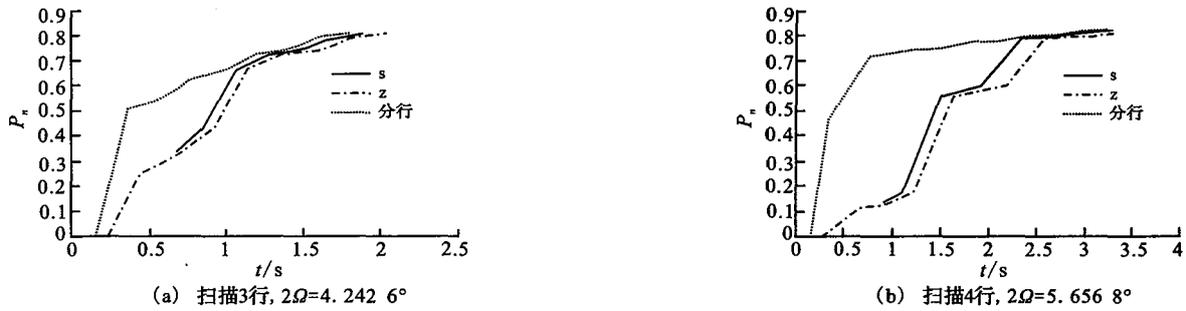


图3 发现概率仿真结果

Fig.3 Simulation results of detection probability

可以看出,虽然最终经过各自的扫描周期后发现概率相同,但S形扫描和Z形扫描开始对目标的发现概率明显小于分行螺旋式扫描的发现概率。

由上述分析可知,分行螺旋式扫描具有发现概率上升快、扫描周期短、扫描控制方式易于实现的优点,因此该型导弹导引头采用分行螺旋式扫描并确定搜索视场角为5.656 8°,扫描4行。

2 定向扫描智能控制

2.1 角度预定回路建模

鉴于定向扫描技术是依托角度预定回路来实现的,因此本文主要建立了导引头角度预定回路的数学模型。导引头伺服系统分为方位和俯仰2个通道,在原理上2个通道上是相同的^[3-4],下面仅以方位通道为例进行建模。

1) 伺服放大器模型可视为一个比例环节 K_1 。

2) 电机和负载模型。电枢回路电压平衡方程: $U(t) = Ldi(t)/dt + Ri(t) + K_e\omega(t)$; 电磁转矩方程: $M(t) = K_m i(t)$; 电机轴上转矩平衡方程: $Jd\omega(t)/dt = M(t)$ 。式中: K_e 为电机的反电动势系数, K_m 为电动机转矩系数,当二者均采用国际单位时,数值相等; L 和 R 分别为电枢回路的电感和电阻; $i(t)$ 为电枢电流; $\omega(t)$ 为电机转速; $M(t)$ 为电枢电流产生的电磁转矩。

3) 角度传感器模型等价于一个比例环节 K_2 。

2.2 模糊PID双模控制器设计

红外导引头预定回路的响应必须既快速又准确,同时由于导引头的工作环境比较恶劣,这就要求导引头控制系统应具有很强的抗干扰能力^[6]。因此,本文引入模糊PID双模控制器对导引头控制系统进行校正,以改善整个控制系统的性能。模糊PID双模控制即在误差 E 小于一定阈值时采用常规PID控制,而大于此阈值时采用模糊PID控制。它由一个常规PID控制器和一个二维模糊控制器相并联而成。这种方法只需计算一个参数,具有运算量小,易于实现的优点^[7-8]。

对误差量 E 、误差变化量 E_c 及控制量 U 的模糊集及其论域范围定义如下^[9-11]: E 、 E_c 和 U 的模糊集均为 $\{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$ 。 E 的论域范围为 $\{-15, 15\}$; E_c 的论域范围为 $\{-30, 30\}$; U 的论域范围为 $\{-10, 10\}$, 常规PID控制器的参数为 $K_p = 50, K_i = 0.001, K_d = 0.9$ 。输入 E 、 E_c 和输出电压 U 均采用三角形隶属度函数,见图4。

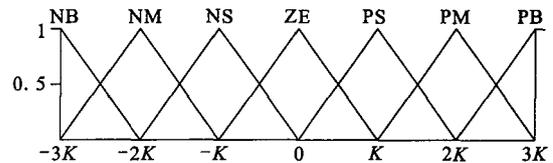


图4 三角形隶属度函数

Fig.4 Triangle - shape grade of membership function

设定模糊规则见表1。反模糊化采用重心法,其实质是加权平均。

2.3 角度预定回路控制方法分析

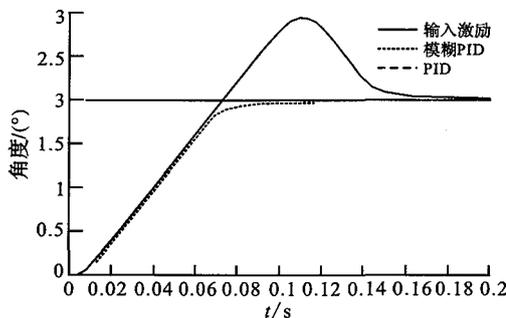
要使角度预定回路受控到达目标指示角度位置,可采用以下2种方式:直接输出目标指示角度值,此方法是考察系统对阶跃输入信号的响应状况;采用慢变化的角度信号输出,当角度增加到指定角度后保持数值不变,此方法是考察系统对斜坡输入信号的响应情况^[12]。

选取2个输入数值,分别考察系统对阶跃输入信号和斜坡输入信号的响应情况,仿真结果见图5。由仿真结果可以看出,因信号输入方式和输入数值不同,采用常规PID和模糊PID中的任一种方式系统都不会取得较好的控制效果。

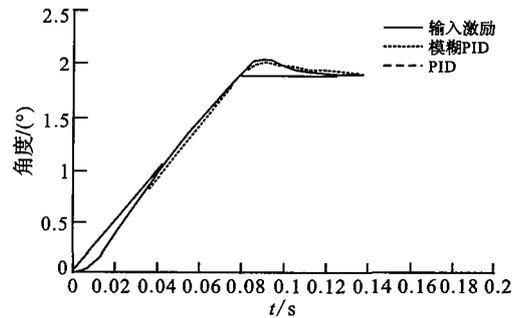
表1 模糊规则表

Tab.1 Fuzzy regulation

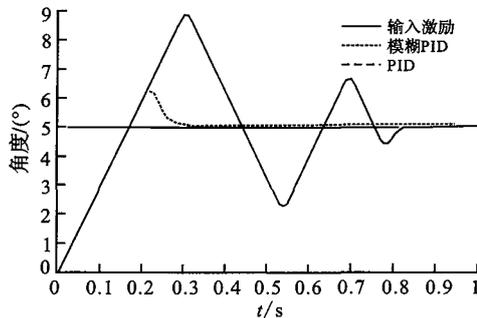
E_c	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB



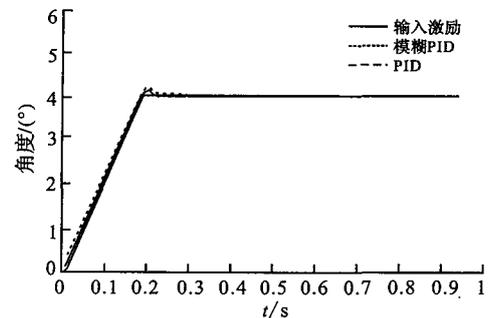
(a) 输入为阶跃信号,rin=2



(b) 输入为斜坡信号,rin=2



(c) 输入为阶跃信号,rin=5



(d) 输入为斜坡信号,rin=5

图5 分别采用阶跃信号和斜坡信号输入的仿真结果

Fig.5 Simulation results of step signal and ramp signal input

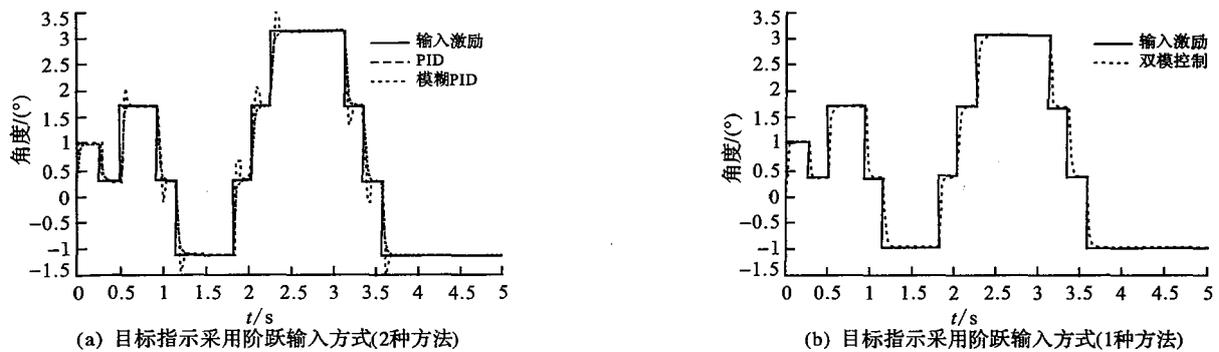
为了获得系统响应的最佳性能,在目标指示工作状态时,采用如下信号输入方式和控制响应方案:

1) 在目标指示工作状态:当角度误差绝对值 $|E| > 2.7$ 时,目标指示角度的输入方式选择斜坡输入方式;当 $|E| \leq 2.7$ 时,目标指示角度的输入方式采用阶跃输入方式;当角度误差绝对值 $|e|$ 满足 $1 < |E| \leq 2.7$ 时,采用模糊PID控制;而当满足 $0 < |E| \leq 1$ 或 $|E| > 2.7$ 时,采用常规PID控制。

2) 在定向扫描工作状态时,由于光轴每次移动 1.4142° ,所以始终采用阶跃输入和模糊PID控制响应方式。

3 仿真分析

利用所建立的数学模型对导引头工作状态进行仿真分析。角度预定回路具体参数设置为: $K_1 = 50; K_2 = 1; K_e = K_m = 0.25; L = 0.0035; R = 8; J = 0.0065$ 。导引头开始时工作在目标指示状态,然后转入定向扫描状态,目标指示采用阶跃输入方式,目标指示角为 1° ,分别采用PID控制、模糊PID控制和模糊PID双模控制进行仿真对比,仿真结果见图6。

图6 目标指示角度为 1° 仿真结果Fig. 6 The model of angle - scheduled loop (angle = 1°)

由仿真图形可以看出:模糊PID双模控制在目标指示工作状态采用常规PID控制而在定向扫描状态时采用模糊PID控制,符合设计要求。从响应性能来看,采用模糊PID双模控制明显减少了系统超调量,改善了系统动态响应性能。

4 结束语

本文立足现有机载搜索瞄准系统的目标指示精度,利用模糊PID双模控制实现了某型导弹导引头的分行螺旋式扫描。仿真结果表明,基于模糊PID双模控制的分行螺旋式扫描技术具有较好的动态响应性能,弥补了导弹瞬时视场角较小的缺点,较好地提高了导弹的发现概率,对提高导弹的作战效能具有一定的军事意义。

参考文献:

- [1] 叶明甫. 红外导引头模糊控制设计[J]. 上海航天, 2004, 9(1): 44 - 47.
YE Mingpu. Application of Fuzzy Logic Control in Design of Infrared Seeker System [J]. Aerospace Shanghai, 2004, 9(1): 44 - 47. (in Chinese)
- [2] 王健, 曹秉刚, 王昆, 等. 基于模糊PID控制的导引头角跟踪系统[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6): 1330 - 1332.
WANG Jian, CAO Binggang, WANG Kun, et al. A Seeker - angle - tracking System on Fuzzy PID [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(6): 1330 - 1332. (in Chinese)
- [3] 周立钢, 张聘义, 胡海权, 等. 一种低成本导引头伺服控制系统设计及仿真[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(增刊2): 358 - 362.
ZHOU Ligang, ZHANG Pinyi, HU Haiquan, et al. Design and Simulation of Low Cost Infrared Seeker Serve System [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(S2): 358 - 362. (in Chinese)
- [4] 耿峰, 祝小平. 精确制导武器红外成像导引头控制系统研究[J]. 宇航学报, 2007, 28(3): 535 - 538
GEN Feng, ZHU Xiaoping. The Research of Accuracy Guidance Weapon Infrared Imaging Seeker Control System [J]. Journal of Astronautics, 2007, 28(3): 535 - 538. (in Chinese)
- [5] 杨乐, 陈少华, 卿建军. 红外导引头定向扫描方式研究[J]. 红外技术, 2004, 26(5): 72 - 74.
YANG Le, CHEN Shaohua, QING Jianjun. Research on Beamed Scan Mode of Infrared Guide Seeker [J]. Infrared Technology, 2004, 26(5): 72 - 74. (in Chinese)
- [6] Mendel J M. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial [C] // Proc of the IEEE Special Issue on Fuzzy Logic in Engineering Applications. NY: IEEE Press, 1995: 345 - 377.
- [7] Tang K S. An Optimal Fuzzy PID Controller [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001, 48(4): 757 - 765.
- [8] 张明. 智能PID控制的仿真研究与工程应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
ZHANG Ming. Simulation and Engineering Application of Intelligent PID Control [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005. (in Chinese)
- [9] Petrov Michail, Ganchev Ivan. Fuzzy PID Control of Nonlinear Plants [C] // First International IEEE Symposium Intelligent Systems. NY: IEEE Press, 2002: 30 - 35.
- [10] Wang L X. Stable Adaptive Fuzzy Control of Nonlinear Systems [C] // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. NY: IEEE Press, 1993: 146 - 155.

- [8] Zhanxian Xu, Lidu Kong, Weigan Lin. et al. Microwave Characteristic Simulation Research for A Kind of Novel Electromagnetic Structure[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008, 19(1): 52 - 57.
- [9] 何景彦, 吴广宁, 高波, 等. 采用介质损耗表征聚酰亚胺薄膜老化特征的研究[J]. 绝缘材料, 2007, 40(1): 69 - 74.
HE Jingyan, WU Guangning, GAO Bo, et al. Study on Aging of Polyimide Film Based on Dielectric Loss[J]. Insulating Materials, 2007, 40(1): 69 - 74. (in Chinese)
- [10] 方丙炎, 韩思厚, 王俭秋, 等. 老化时间对涂层性能的影响[J]. 航空材料学报, 2003, 23(3): 33 - 37.
FANG Bingyan, HAN Sihou, WANG Jianqiu, et al. Effect of Aging time on the Performance of Coating[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2003, 23(3): 33 - 37. (in Chinese)

(编辑:田新华)

Electromagnetic Performance of Coating Ferrite Medium Parameter Variation on A Conductor Disc

XU Zhan - xian, KONG Li - du

(First Aviation Institute of Air Force, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: This paper discusses the problem that the cracks the coating of aircraft result in the variation of the medium performance index and thus affect the stealthy performance of aircraft. By using Ansoft Designer based on MOM and resolution methods, the calculation and analysis of radar X - band frequency wave high frequency electromagnetic characteristics are done when the medium parameter variation caused by cracks appear on the coating sinter ferrite stealthy layer of a perfect conductor disc base. By using V polarization wave incidence and H polarization wave incidence in calculation and analyses, the result shows that the infection is obvious on the stealthy electromagnetic performance because of the coating sinter Ferrite medium performance variation caused by cracks in 8 - 12 GHz.

Key words: stealth; medium performance variation; electromagnetic characteristic; ferrite

(上接第34页)

- [11] Lee C C. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller [C]//IEEE Transactions on SMC. NY: IEEE Press, 1990: 404 - 434.
- [12] 杨晓英, 崔得东. 红外成像导引头角跟踪系统仿真分析[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(1): 49 - 51.
YANG Xiaoying, CUI Dedong. Simulation Analysis of the Angle Tracking System for Infrared Imaging Seeker [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(1): 49 - 51. (in Chinese)

(编辑:田新华)

Research on Beamed Scan Technology for A Missile Seeker

WU Wen - chao¹, HUANG Chang - qiang¹, WANG Zhi - jun², SONG Lei¹, LI Wang - xi¹

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi' an 710038, China; 2. Unit 95703, Luliang 655600, Yunan, China)

Abstract: A beamed scan technology is proposed for small IFOV of a missile seeker. Three typical scan graphics of S figure, Z figure and line - by - line helix scan are researched in a contrast way. Based on the synthetic analysis of scan period and detection probability, line - by - line helix scan is chosen as the beamed scan mode. A mathematical model of angle - scheduled loop is established and a dual - module fuzzy PID controller is designed. The angle - scheduled loop is simulated to effectively control the seeker. A mathematic model of dual - model controller of Fuzzy - PID is established. Finally, when target - indicating angle is at 1°, system simulation is conducted with step input. The results show that the dual - module fuzzy PID controller has the advantage of small over shoot, high static accuracy and short response time, which meet the requirements of the system and realize beamed scan control.

Key words: beamed scan; seeker; fuzzy PID; IFOV