

舰炮武器系统精度匹配性^{*}

孙世岩^a, 张根鹏^b, 文云峰^a, 郑 鹏^a

(海军工程大学 a. 电子工程学院; b. 训练部, 武汉 430033)

摘要:在给定系统总体精度水平的情况下,如何合理分配舰炮武器系统各分系统精度是系统设计必须面对的问题.通过设计均匀试验表、射击效力仿真和回归分析等技术途径,建立了舰炮武器系统各分系统精度和射击效力之间的数学模型,采用非线性规划方法,可获得系统最优精度匹配.以小口径舰炮武器系统精度匹配问题为例,通过仿真计算,实现传感器跟踪误差与弹丸散布误差的最优匹配.

关键词:舰炮武器系统;精度匹配;均匀设计

中图分类号: T412. + 7; TP391; N945

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0707(2009)02 - 0007 - 03

精度匹配,即依据系统总精度要求来确定各分系统乃至各组成单元的误差大小,在便于工程设计的同时,使系统效能达到最大^[1].在舰炮武器系统设计中,存在诸多引起系统综合误差的因素^[2-3].其中,由于目标的高速、机动,同时还有气流扰动带来的系统噪声,使得舰炮对目标的精确跟踪瞄准比较困难.此时一味追求舰炮本身射击精度的提高意义并不大.对目标精确跟踪瞄准的另一关键因素是传感器测量精度,传感器测量误差的数字特征包括数学期望和均方差,当武器系统其他精度较低时,不对传感器观测误差提出过高要求.综上所述,传感器测量误差数学期望(系统误差)与武器系统其他精度之间存在最优匹配关系.本文中结合均匀试验设计和计算机仿真,提出了一种误差均方差参数最优匹配的方法.以小口径舰炮武器系统精度匹配问题为例,通过仿真计算,实现传感器跟踪误差与弹丸散布误差的最优匹配.

1 问题描述

建立武器系统精度分配问题的非线性规划模型,可表述为目标函数

$$\max f(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (1)$$

约束条件:

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k) &\leq R_{\max}; \\ x_1 &\geq x_{1\min}, x_2 \geq x_{2\min}, \dots, x_n \geq x_{n\min}; \\ m_1 &\leq m_{1\min}, m_2 \leq m_{2\min}, \dots, m_k \leq m_{k\min}; \end{aligned}$$

其中: x_1, x_2, \dots, x_n 分别代表传感器观测误差、火控解算误差、跟踪瞄准误差、弹丸散布误差的均方差, $n=4$; m_1, m_2, \dots, m_k 分别代表传感器观测误差、火控解算误差的数学期

望, $k=2$.

$f(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k)$ 为目标函数,若取目标函数为毁伤概率 H , 记为

$$H(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k) = f(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (2)$$

$f(x_1, x_2, \dots, x_n, m_1, m_2, \dots, m_k)$ 为约束函数, R_{\max} 为上限,若取约束函数为误差综合,则:

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \quad R_{1\max} \quad (3)$$

$$f_2(m_1, m_2, \dots, m_n) = m_1 + m_2 + \dots + m_k \quad R_{2\max} \quad (4)$$

同时,武器系统各环节误差均方差和数学期望还应该满足相应的误差下限 $x_{1\min}, x_{2\min}, \dots, x_{n\min}, m_{1\min}, m_{2\min}, \dots, m_{k\min}$.

式(2)为非线性函数,采用解析方法求解会带来2个问题:推导误差传播和精度分配的解析公式比较繁琐,容易出错;对非线性模型,线性化时会引入模型误差,且这种误差并非在任何情况下都可忽略.本文中针对这些问题,借助计算机仿真结合试验设计的思想,提出了直接进行数值求解的方法.

2 精度优化匹配模型

预设一个误差均方差参数域,通过仿真试验获取误差均方差参数和舰炮全航路毁伤概率之间的一组关系数据,并通过回归分析的方法求出二者的解析关系,采用数学规划方法,重新规划误差均方差参数并予以确认.

2.1 均匀试验设计

1) 误差均方差参数域预设.各种误差在高低、方向和距离上的均方差为 $H_i, z_i, d_i, i=1, 2, 3, 4$, 假设各个误差

* 收稿日期:2008-10-25

基金项目:国防预研基金项目.

作者简介:孙世岩(1979—),男,辽宁丹东人,博士,讲师,主要从事决策分析与武器系统优化研究.

的均方差比值相等,即为

$$\frac{m_{11}}{d_1} = \frac{m_{12}}{d_2} = \frac{m_{13}}{d_3} = \frac{m_{14}}{d_4} = \frac{m_{21}}{d_1} = \frac{m_{22}}{d_2} = \frac{m_{23}}{d_3} = \frac{m_{24}}{d_4} = \dots \quad (5)$$

各个误差在高低、方向和距离上的数学期望为 m_{ij} , m_{ji} , m_{di} , $i = 1, 2$, 假设各个误差的数学期望比值相等,即为

$$\frac{m_{11}}{m_{12}} = \frac{m_{21}}{m_{22}} = \frac{m_{d1}}{m_{d2}} \quad (6)$$

当只考虑传感器观测误差和弹丸散布误差时,预设误差均方差参数域,其中传感器观测误差: $1.5 \text{ mrad} \leq m_{11} \leq 3 \text{ mrad}$, $1.5 \text{ mrad} \leq m_{12} \leq 3 \text{ mrad}$; 弹丸散布误差: $1.5 \text{ mrad} \leq m_{H1} \leq 3 \text{ mrad}$.

2) 试验设计和仿真. 下面按均匀设计方法^[4]规划了一组 3 因素、13 水平的试验,见表 1.

在编写射击效力仿真程序^[5]的基础上,根据设计的均匀试验表,分别仿真 13 条航路,下面是按表 1 顺序得到的蒙特卡罗仿真试验结果: 0.65, 0.68, 0.75, 0.69, 0.63, 0.57, 0.65, 0.69, 0.78, 0.70, 0.62, 0.54, 0.91.

2.2 回归分析

有了仿真结果后,采用逐步回归分析方法编写回归分析模型和模型校验结果.

1) 最优拟合模型. 得到的最优拟合模型分无二次项模型和有二次项模型.

无二次项模型为

$$y = 0 + 1 m_{11} + 2 m_{12} + 3 m_{H1} = 0.9317 - 0.0469 m_{11} - 0.0317 m_{12} + (-0.0419) m_{H1} \quad (7)$$

有二次项模型为

$$y = 0 + 1 m_{11} + 2 m_{12} + 3 m_{H1} + 1 m_{11}^2 + 2 m_{12}^2 + 3 m_{H1}^2 + 1 m_{11} m_{12} + 2 m_{11} m_{H1} + 3 m_{12} m_{H1} = 0.91 - 0.0095 m_{11} - 0.167 m_{12} - 0.212 m_{H1} + 0.0403 m_{11}^2 + 0.1271 m_{12}^2 + 0.0767 m_{H1}^2 + 0.0318 m_{11} m_{12} - 0.1195 m_{11} m_{H1} - 0.1565 m_{12} m_{H1} \quad (8)$$

2) 仿真模型校验. 表 2 为通过回归分析计算程序得到的无二次项模型和有二次项模型的拟合误差特征对照. 见表 2 各项指标对比可以看出,有二次项的非线性模型好于无二次项的线性模型,故选择式(8)表示的最优拟合模型.

表 1 均匀试验设计表

序号	m_{11}	m_{12}	m_{H1}
1	1.0	3.5	3.0
2	1.5	1.0	3.5
3	2.0	1.5	1.0
4	2.5	2.0	1.5
5	3.0	2.5	2.0
6	3.5	3.0	2.5
7	1.0	3.5	3.0
8	1.5	1.0	3.5
9	2.0	1.5	1.0
10	2.5	2.0	1.5
11	3.0	2.5	2.0
12	3.5	3.0	2.5
13	0	0	0

表 2 拟合误差对照

序号	计算结果		Residual error		Standard error	
	无二次项	有二次项	无二次项	有二次项	无二次项	有二次项
1	0.6482	0.6495	-0.0018	-0.0005	0.0011	0.0010
2	0.6832	0.6845	0.0032	0.0045	0.0000	0.0000
3	0.7485	0.7648	-0.0015	0.0148	0.0045	0.0070
4	0.6883	0.6947	-0.0017	0.0047	0.0000	0.0002
5	0.6281	0.6245	-0.0019	-0.0055	0.0029	0.0032
6	0.5678	0.5542	-0.0022	-0.0158	0.0129	0.0161
7	0.6482	0.6495	-0.0018	-0.0005	0.0011	0.0010
8	0.6832	0.6845	-0.0068	-0.0055	0.0000	0.0000
9	0.7485	0.7648	-0.0315	-0.0152	0.0045	0.0070
10	0.6883	0.6947	-0.0117	-0.0053	0.0000	0.0002
11	0.6281	0.6245	0.0081	0.0045	0.0029	0.0032
12	0.5678	0.5542	0.0278	0.0142	0.0129	0.0161
13	0.9317	0.9100	0.0217	0.0045	0.0626	0.0524

2.3 数学规划

非线性规划的目标函数为有二次项的最优拟合模型,见式(8)。当弹丸散布误差 $m_H = 3 \text{ mrad}$;约束条件为:传感器观测误差

$$2.0 \text{ mrad} \leq m_H \leq 4 \text{ mrad}, 1.0 \text{ mrad} \leq m_{mH} \leq 4 \text{ mrad}$$

建立优化模型为

$$\begin{cases} \max y(m_H, m_{mH}) \\ \text{s. t. } 2.0 \text{ mrad} \leq m_H \leq 4 \text{ mrad} \\ 1.0 \text{ mrad} \leq m_{mH} \leq 4 \text{ mrad} \end{cases} \quad (9)$$

计算结果为

$$m_H = 2.0 \text{ mrad}; m_{mH} = 2.3 \text{ mrad}$$

此时的误差参数使毁伤概率 H 获得极大值,即为所求。

综上,精度匹配的基本步骤具体说明如下:

分析问题,确定设计变量因素和水平,确定优化变量;

选用合适的回归均匀试验设计表;

实施试验,获得试验结果;

进行回归分析,得到回归模型,并进行方差分析;

对回归模型进行寻优;

对优化的结果还需要进行一次验证试验;

如果验证试验满足所提的性能指标要求,即得到最优设计解,否则,重新设定问题域,重复上述迭代过程。

3 结束语

本文中建立的基于仿真试验和均匀设计的系统精度匹配分析模型,是一种结合均匀试验优化设计和计算机仿真,获得最优匹配误差均方差参数的技术途径,方法实用、有效,可以为新型舰炮武器系统各分系统的精度匹配提供理论依据。但由于在射击效力仿真时没有考虑诸如目标机动特性以及飞行时的各种干扰影响,方法所得结果偏理想,进一步研究的方向应该在充分考虑各种可能因素的情况下,进行仿真建模和仿真模型的 VV&A 研究。

参考文献:

- [1] 邱志明. 舰炮武器系统优化配置研究[J]. 舰载武器, 2002(3): 1 - 3.
- [2] 郭勇, 邱志明. 用 PROMETHEE 方法解决舰炮武器系统方案选优问题[J]. 兵工学报, 1999, 20(2): 97 - 101.
- [3] 邱志明. 舰炮武器系统分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [4] 徐中儒. 回归分析与试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [5] 邢昌凤, 李敏勇, 吴玲. 舰载武器系统效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

(上接第 6 页)因素,同时降低直流偏置电压对于引信的电
源设计也是有利的。储能电容对脉冲性能的影响如图 6。

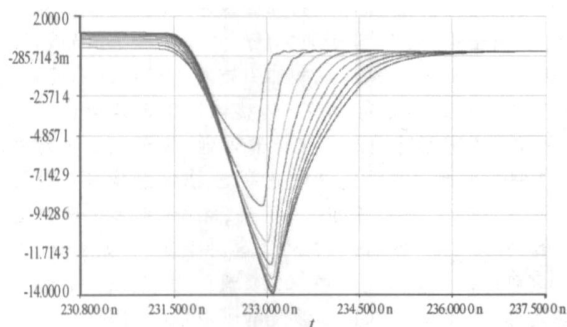


图 6 储能电容扫描仿真试验结果

从图 6 中可以看出,输出脉冲受 C 的影响比较复杂,不是单一的增加或者减小,其中脉冲宽度受 C 的影响较大,且随着 C 的增加而有较大的增加。脉冲峰值在 C 较小时随着 C 的增加而较快地增加,但到了一定数值(在一定的仿真条件下,当 $C = 8.3 \text{ pf}$ 开始减小)以后反而缓慢减小。以上分析表明: C 既不能太大,也不能太小,需要根据峰值和脉宽具体要求来优化。

4 结束语

深入分析了 UWB 近炸引信对脉冲源器件的约束,得出利用固态开关作为引信脉冲源核心器件是必然选择的结论。基于此结论,选择射频双极型结晶体管(RFBJT)为核心器件,对脉冲源进行了仿真设计,分别得到了主要设计参数直流偏置电压和储能电容如何影响输出脉冲峰值以及全底宽的重要结果,对后续脉冲源模块样机的研究奠定了基础,指明了方向。

参考文献:

- [1] 谈大伟. 冲激引信超窄脉冲源的研究[J]. 制导与引信, 2004, 25(3): 22 - 275.
- [2] Han J G, Nguyen C. A new ultra-wideband, Ultra-short monocycle pulse generator with reduced ringing[J]. IEEE Microwave Wireless Compon Lett, 2002, 12(6): 206 - 210.
- [3] Taylor D. Introduction to ultra-wideband radar systems[M]. [S. l.]: CRC Press, 1995.
- [4] Win M Z, Scholtz R A. Impulse radio: How it works[J]. IEEE Communications Letters, 1998, 2(2): 36 - 38.
- [5] John M. A review of short pulse generator technology[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2000, 28(1): 102 - 108.
- [6] 樊孝明, 郑继禹, 林基明. 基于 RFBJT 的超宽带极窄脉冲发生器的设计[J]. 电讯技术, 2005(5): 61 - 64.