



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109443108 B

(45) 授权公告日 2021.01.05

(21) 申请号 201811504827.0

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2018.12.10

G06F 17/10 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109443108 A

审查员 冯义威

(43) 申请公布日 2019.03.08

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

专利权人 北京华航无线电测量研究所

(72) 发明人 杨明 李伟 陆凌云 马萍
刘荷明

(74) 专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权
代理有限公司 23211

代理人 孙莉莉

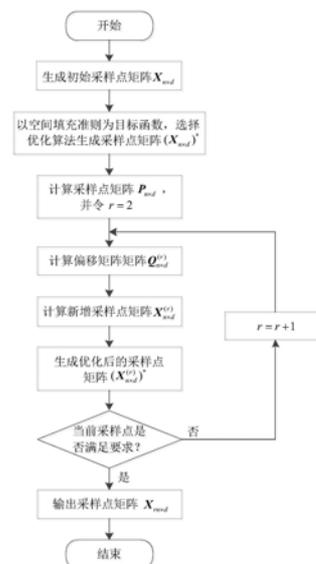
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法

(57) 摘要

本发明提出了一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,包括生成初始采样点矩阵、生成优化后的采样点矩阵、计算 $X_{n \times d}$ 服从 $U(0,1)$ 分布时对应的的采样点矩阵、计算偏移矩阵、计算新增采样点矩阵、生成优化后的采样点矩阵和判断序贯设计是否终止。本发明在不破坏原始OLHS样本的结构和保证良好的空间填充性基础上,以原始OLHS样本大小的整数倍增加新的采样点,提高了采样效率。



1. 一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一、生成导弹打击移动目标的五个输入变量的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$:其中五个变量为导弹的初始速度 v_0 、弹道倾角 θ 、弹道偏角 ψ 、视线高低角速率噪声 \mathcal{E}_{λ_0} 和视线方位角速率噪声 \mathcal{E}_{λ_r} ,根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$, $j=1,2,\dots,d$,利用中点LHS生成导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$,其中 n 为样本大小, d 为变量维数, n,d 均为自然数;

步骤二、对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化,生成优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$:选择优化算法和空间填充准则,以空间填充准则为优化目标函数,采用相应的优化算法对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化,生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$;

步骤三、计算导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 服从 $U(0,1)$ 分布时对应的采样点矩阵 $P_{n \times d}$:根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$,计算 $p_{ij}=F_j(x_{ij})$,得到采样点矩阵 $P_{n \times d}=(p_{ij})_{n \times d}$,并令层数 $r=2$;

步骤四、计算优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$ 的偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$:偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $q_{ij}^{(r)}$ 的计算公式为

$$q_{ij}^{(r)} = \frac{q^{(0)} + (-1)^{r-1} \phi(r) / 2^{t+1}}{n},$$

$$\text{其中 } \phi(r) = \begin{cases} (-1)^r \times \gamma(r) \times (2^t - 1), & 2^t \leq r \leq 2^{t+1} \\ 2 \times r - 2^{t+1} - 3, & 2^t + 1 < r \leq 3 \times 2^{t-1} \\ 2^{t+2} - 2 \times r - 1, & 3 \times 2^{t-1} < r \leq 2^{t+1} - 1 \end{cases}, \quad \gamma(r) = \begin{cases} 2 \times \lceil s_{ij} - 0.5 \rceil - 1, & r = 2^t \\ \gamma(r-1), & r = 2^t + 1 \end{cases},$$

$t = \lceil \log_2(r+1) - 1 \rceil$, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整, s_{ij} 为 $[0,1]$ 之间的随机数, $q^{(0)}=0.5$;由此得到偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}=(q_{ij}^{(r)})_{n \times d}$;

步骤五、计算导弹打击移动目标的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$:新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $x_{ij}^{(r)}$ 计算公式为 $x_{ij}^{(r)}=F_j^{-1}(p_{ij}^{(r)})$,其中 $p_{ij}^{(r)}=p_{ij}+q_{ij}^{(r)}$;由此得到新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}=(x_{ij}^{(r)})_{n \times d}$;

步骤六、生成导弹打击移动目标的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$:选择优化算法和空间填充准则,以空间填充准则为优化目标函数,对新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 进行优化,生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$,并加入所有采样点中,得到总采样点矩阵 $X_{rn \times d}$;

步骤七、判断序贯设计是否终止:根据序贯设计终止准则判断采样点是否满足终止条件,若满足终止条件,则序贯设计结束,输出所得采样点矩阵 $X_{rn \times d}$;若不满足终止条件,则 $r=r+1$,转至步骤四继续下一次迭代。

2. 根据权利要求1所述一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,其特征在于:所述优化算法为遗传算法、微粒群算法、模拟退火算法、columnwise-pairwise算法或ESE算法;所述空间填充准则包括基于距离的、基于均匀性的和基于熵的准则。

3. 根据权利要求1或2所述一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,其特征在
于:步骤六中,得到新增后的总采样点矩阵具体形式为

$$\mathbf{X}_{m \times d} = \begin{bmatrix} (\mathbf{X}_{n \times d})^* \\ (\mathbf{X}_{n \times d}^{(2)})^* \\ \vdots \\ (\mathbf{X}_{n \times d}^{(r)})^* \end{bmatrix}。$$

4. 根据权利要求1或2所述一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,其特征在
于:所述序贯设计终止准则为采样点个数或由采样点拟合出的元模型精度。

一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于工程优化设计技术领域,特别是涉及一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法。

背景技术

[0002] 当今社会,计算机技术的飞速发展有力地促进了仿真技术的发展。由于仿真技术在应用上的经济性、安全性、可重复性、无破坏性等优点,它被广泛应用于航空航天、电力、化工、核能、通信等领域,并取得了良好的应用效果。随着仿真技术的广泛应用,仿真对象越来越复杂化,单次仿真耗时长,即昂贵仿真。例如,福特摩托公司的破产模型的单次仿真需要36到160个小时。对该仿真系统进行性能/效能评估、分析与优化时,对其工作效率的要求更高,期望利用尽可能少的实验点(样本)获取更加科学可靠的实验结果。此时,设计科学合理的仿真实验显得尤为重要。拉丁超立方采样(Latin hypercube sampling,LHS)作为一种多维分层采样方法,因其具有良好的空间填充性(space-filling)而备受青睐。然而在实际应用中,人们期望所采取的样本在某空间填充性准则方面达到最优。因此,一些研究致力于基于某空间填充准则下的LHS,即优化拉丁超立方采样(optimal Latin hypercube sampling,OLHS)。

[0003] OLHS在满足LHS的基本结构下,通过优化算法寻找一组样本,使得该样本在某空间填充准则下达到最优。OLHS的两大核心内容是空间填充准则和优化算法。空间填充准则可以从距离、均匀性和熵等三个方面进行度量。其中,基于距离的准则有Maximin准则、Minimax准则、 Φ_p 准则和最小生成树准则等,基于均匀性的准则包括星 L_p -偏差、中心 L_2 -偏差(CL_2)、环绕 L_2 -偏差(WL_2)以及改良的 L_2 -偏差(ML_2)等。而常见的优化算法有遗传算法、微粒群算法、模拟退火算法、columnwise-pairwise算法以及改进的随机进化算法(enhanced stochastic evolutionary,ESE)等。目前,很多文献将不同的空间填充准则和优化算法组合起来,寻找不同情况下最优的LHS样本。

[0004] 在使用OLHS设计仿真实验时,样本大小的选择会影响仿真结果获取的时间以及准确性,这对于要求快速获取仿真结果的情形特别是昂贵仿真来说至关重要。在实际应用中往往根据专家经验确定样本大小。然而,在专家经验匮乏的情况下,该如何选择合适的OLHS样本大小是一大难题。为解决该问题,引入序贯设计的思想设计实验,即样本容量预先不固定,每步实验由上一步实验结果决定是否增加新的采样点,直至满足实验要求。对于OLHS的序贯设计,在不删除已有的采样点并保证LHS基本结构的情况下,已有的方法存在两方面的矛盾:新增样本的空间填充性与增加样本的灵活性。其中,扩展样本的灵活性是指在序贯地增加采样点的过程中,每次能够增加较少的采样点并能保证LHS基本结构。

发明内容

[0005] 本发明为了解决现有的技术问题,而提出一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法。针对OLHS的序贯设计问题,在保留原始OLHS样本的基础上,以原始OLHS样本大小

的整数倍增加新的采样点,保证扩展后的样本不仅满足LHS的分层特性,而且具有良好的空间填充性,提高了采样效率。

[0006] 本发明的目的通过以下技术方案实现:一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤一、生成导弹打击移动目标的五个输入变量的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$:其中五个输入变量为导弹的初始速度 v_0 、弹道倾角 θ 、弹道偏角 ψ 、视线高低角速率噪声 ε_{λ_d} 和视线方位角速率噪声 ε_{λ_r} ,根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$, $j=1,2,\dots,d$,利用中点LHS生成导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$,其中 n 为样本大小, d 为变量维数, n 、 d 均为自然数;

[0008] 步骤二、对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化,生成优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$:选择优化算法和空间填充准则,以空间填充准则为优化目标函数,采用相应的优化算法对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化,生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$;

[0009] 步骤三、计算导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 服从 $U(0,1)$ 分布时对应的采样点矩阵 $P_{n \times d}$:根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$,计算 $p_{ij}=F_j(x_{ij})$,得到采样点矩阵 $P_{n \times d}=(p_{ij})_{n \times d}$,并令层数 $r=2$;

[0010] 步骤四、计算优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$ 的偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$:偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $q_{ij}^{(r)}$ 的计算公式为

$$[0011] \quad q_{ij}^{(r)} = \frac{q^{(0)} + (-1)^{r-1} \phi(r) / 2^{t+1}}{n},$$

$$[0012] \quad \text{其中 } \phi(r) = \begin{cases} (-1)^r \times \gamma(r) \times (2^t - 1), & 2^t \leq r \leq 2^t + 1 \\ 2 \times r - 2^{t+1} - 3, & 2^t + 1 < r \leq 3 \times 2^{t-1} \\ 2^{t+2} - 2 \times r - 1, & 3 \times 2^{t-1} < r \leq 2^{t+1} - 1 \end{cases}, \quad \gamma(r) = \begin{cases} 2 \times \lceil s_{ij} - 0.5 \rceil - 1, & r = 2^t \\ \gamma(r-1), & r = 2^t + 1 \end{cases},$$

[0013] $t = \lceil \log_2(r+1) - 1 \rceil$, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整, s_{ij} 为 $[0,1]$ 之间的随机数, $q^{(0)}=0.5$;由此得到偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)} = (q_{ij}^{(r)})_{n \times d}$;

[0014] 步骤五、计算导弹打击移动目标的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$:新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $x_{ij}^{(r)}$ 计算公式为 $x_{ij}^{(r)} = F_j^{-1}(p_{ij}^{(r)})$,其中 $p_{ij}^{(r)} = p_{ij} + q_{ij}^{(r)}$;由此得到新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)} = (x_{ij}^{(r)})_{n \times d}$;

[0015] 步骤六、生成导弹打击移动目标的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$:选择优化算法和空间填充准则,以空间填充准则为优化目标函数,对新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 进行优化,生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$,并加入所有采样点中,得到总采样点矩阵 $X_{rn \times d}$;

[0016] 步骤七、判断序贯设计是否终止:根据序贯设计终止准则判断采样点是否满足终止条件,若满足终止条件,则序贯设计结束,输出所得采样点矩阵 $X_{rn \times d}$;若不满足终止条件,

则 $r=r+1$,转至步骤四继续下一次迭代。

[0017] 进一步地,所述优化算法为遗传算法、微粒群算法、模拟退火算法、columnwise-pairwise算法或ESE算法;所述空间填充准则包括基于距离的、基于均匀性的和基于熵的准则。

[0018] 进一步地,步骤六中,得到新增后的总采样点矩阵具体形式为

$$[0019] \quad \mathbf{X}_{m \times d} = \begin{bmatrix} (\mathbf{X}_{n \times d})^* \\ (\mathbf{X}_{n \times d}^{(2)})^* \\ \vdots \\ (\mathbf{X}_{n \times d}^{(r)})^* \end{bmatrix}。$$

[0020] 进一步地,所述序贯实验设计终止准则为采样点个数或由采样点拟合出的元模型精度。

[0021] 本发明提供了一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,使得新生成的采样点和原始采样点仍能构成一个LHS;针对OLHS的序贯设计问题,本发明在不破坏原始OLHS样本的结构和保证良好的空间填充性基础上,以原始OLHS样本大小的整数倍增加新的采样点,提高了采样效率;本发明中优化算法和空间填充准则不仅仅局限于某一种,普遍适应于一般的优化算法和空间填充准则;本发明要求所有变量均为数值连续型,但变量的分布函数可以是任意分布形式,如均匀分布、正态分布、指数正态分布等;本发明序贯设计终止准则可以由用户设定,如采样点个数,或由采样点拟合出的元模型精度等;本发明为仿真评估、分析、优化等工作中涉及到的采样方式提供一种新的途径。

附图说明

[0022] 图1为本发明提出的一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法流程示意图;

[0023] 图2为实施例中变量维数为2、样本大小为5的LHS采样点空间分布示意图;

[0024] 图3为实施例中对图2中采样点经优化后的空间分布示意图;

[0025] 图4为实施例中经1次序贯设计,其所有采样点空间分布示意图;

[0026] 图5为实施例中初始采样点经优化后的空间分布示意图;

[0027] 图6为实施例中对图5经9次序贯设计,其所有采样点空间分布示意图;

[0028] 图7为实施例中脱靶量均值的均方根误差变化趋势示意图。

具体实施方式

[0029] 下面将结合本发明实施例中的附图对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 结合图1,本发明提出一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,假设初始样本大小为 n ,变量维数为 d ,新增采样点后的样本相当于初始样本的倍数为 r ,其中 n 、 d 、 r 均为自然数;变量 X_j , $j=1, 2, \dots, d$ 的累积分布函数 $F_j(\cdot)$ 。具体步骤如下:

[0031] 步骤一、生成导弹打击移动目标的五个输入变量的初始采样点矩阵 $\mathbf{X}_{n \times d}$:其中五个

变量为导弹的初始速度 v_0 、弹道倾角 θ 、弹道偏角 ψ 、视线高低角速率噪声 ε_{λ_d} 和视线方位角速率噪声 ε_{λ_r} ，根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$ ，利用中点LHS生成导弹打击移动目标输入变量的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ ；

[0032] 步骤二、对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化，生成优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$ ：选择优化算法和空间填充准则，以空间填充准则为优化目标函数，采用相应的优化算法对导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 进行优化，生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$ ；

[0033] 步骤三、计算导弹打击移动目标输入的初始采样点矩阵 $X_{n \times d}$ 服从 $U(0, 1)$ 分布时对应的采样点矩阵 $P_{n \times d}$ ：根据各变量的累积分布函数 $F_j(\cdot)$ ，计算 $p_{ij} = F_j(x_{ij})$ ，得到采样点矩阵 $P_{n \times d} = (p_{ij})_{n \times d}$ ，并令层数 $r=2$ ；

[0034] 步骤四、计算优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d})^*$ 的偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$ ：偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $q_{ij}^{(r)}$ 的计算公式为 $q_{ij}^{(r)} = \frac{q^{(0)} + (-1)^{r-1} \phi(r)}{2^{t+1}}$ ，其中

$$\phi(r) = \begin{cases} (-1)^r \times \gamma(r) \times (2^t - 1), & 2^t \leq r \leq 2^t + 1 \\ 2 \times r - 2^{t+1} - 3, & 2^t + 1 < r \leq 3 \times 2^{t-1} \\ 2^{t+2} - 2 \times r - 1, & 3 \times 2^{t-1} < r \leq 2^{t+1} - 1 \end{cases},$$

$$\gamma(r) = \begin{cases} 2 \times \lceil s_{ij} - 0.5 \rceil - 1, & r = 2^t \\ \gamma(r-1), & r = 2^t + 1 \end{cases}, \quad t = \lceil \log_2(r+1) - 1 \rceil, \quad \lceil \cdot \rceil \text{为向上取整}, \quad s_{ij} \text{为} [0, 1] \text{之间的随机}$$

数， $q^{(0)} = 0.5$ ；由此得到偏移矩阵 $Q_{n \times d}^{(r)} = (q_{ij}^{(r)})_{n \times d}$ ；

[0035] 步骤五、计算导弹打击移动目标的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ ：新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 的矩阵元素 $x_{ij}^{(r)}$ 计算公式为 $x_{ij}^{(r)} = F_j^{-1}(p_{ij}^{(r)})$ ，其中 $p_{ij}^{(r)} = p_{ij} + q_{ij}^{(r)}$ ；由此得到新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)} = (x_{ij}^{(r)})_{n \times d}$ ；

[0036] 步骤六、生成导弹打击移动目标仿真的五个输入变量的新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 优化后的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$ ：参考步骤二，对新增采样点矩阵 $X_{n \times d}^{(r)}$ 进行优化，生成新的采样点矩阵 $(X_{n \times d}^{(r)})^*$ ，并加入所有采样点中，则新增后的总采样点矩阵 $X_{m \times d} = \begin{bmatrix} (X_{n \times d})^* \\ (X_{n \times d}^{(2)})^* \\ \vdots \\ (X_{n \times d}^{(r)})^* \end{bmatrix}$ ；

[0037] 步骤七、判断序贯设计是否终止：根据序贯设计终止准则判断采样点是否满足终止条件，若满足终止条件，则序贯设计结束，输出所得采样点矩阵 $X_{rn \times d}$ ；若不满足终止条件，则 $r=r+1$ ，转至步骤四继续下一次迭代。

[0038] 步骤二中的优化算法泛指目前存在的一类智能优化算法，如遗传算法、微粒群算法、模拟退火算法、columnwise-pairwise算法以及ESE算法等；空间填充准则包括基于距离的、基于均匀性的和基于熵的等方面的准则。

[0039] 步骤七中的序贯设计停止准则可以由用户设定,如采样点个数,或由采样点拟合出的元模型精度等。

[0040] 为评估本发明方法的性能及应用,验证方法的有效性,并使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚明白,下面结合具体实施例,并参照附图2-图7,对本发明进一步详细说明。

[0041] 以变量维数 $d=2$ 为例,其中 $x_1 \in [-3, 3]$ 、 $x_2 \in [-2, 2]$ 服从均匀分布,相应的累积分布函数 $F_1(x_1)$ 、 $F_2(x_2)$ 分别为 $F_1(x_1) = \frac{x_1+3}{6}$, $-3 \leq x_1 \leq 3$ 、 $F_2(x_2) = \frac{x_2+2}{4}$, $-2 \leq x_2 \leq 2$ 。

[0042] 假定初始样本大小 $n=5$,优化算法选ESE,优化准则选 CL_2 准则。具体步骤如下:

[0043] 步骤一、生成初始采样点矩阵 $X_{5 \times 2}$:根据变量 x_1 、 x_2 的累积分布函数,生成初始样本,其采样点分布如图2所示,初始采样点矩阵

$$[0044] \quad X_{5 \times 2} = \begin{bmatrix} 2.4 & -1.6 \\ 0 & 1.6 \\ -1.2 & 0 \\ 1.2 & 0.8 \\ -2.4 & -0.8 \end{bmatrix}$$

[0045] 步骤二、生成优化后的采样点矩阵 $(X_{5 \times 2})^*$:利用ESE算法及 CL_2 准则对初始采样点矩阵 $X_{5 \times 2}$ 进行优化,如图3所示,新的采样点矩阵为

$$[0046] \quad (X_{5 \times 2})^* = \begin{bmatrix} -1.2 & -0.8 \\ 0 & 1.6 \\ -2.4 & 0 \\ 1.2 & -1.6 \\ 2.4 & 0.8 \end{bmatrix}$$

[0047] 步骤三、计算 $X_{5 \times 2}$ 服从 $U(0, 1)$ 分布时对应的采样点矩阵 $P_{5 \times 2}$:由公式 $p_{ij} = F_j(x_{ij})$ 求得采样点矩阵

$$[0048] \quad P_{5 \times 2} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 \\ 0.5 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 \\ 0.7 & 0.1 \\ 0.9 & 0.7 \end{bmatrix}$$

[0049] 并令 $r=2$;

[0050] 步骤四、计算偏移矩阵 $Q_{5 \times 2}^{(2)}$:根据偏移矩阵计算公式,求得偏移矩阵

$$[0051] \quad Q_{5 \times 2}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.05 \\ 0.05 & 0.05 \\ 0.05 & -0.05 \\ -0.05 & -0.05 \\ 0.05 & 0.05 \end{bmatrix}$$

[0052] 步骤五、计算新增采样点矩阵 $\mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)}$: 由公式 $x_{ij}^{(r)} = F_j^{-1}(p_{ij}^{(r)})$ 求得新增采样点矩阵

$$[0053] \quad \mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)} = \begin{bmatrix} -0.9 & -0.6 \\ 0.3 & 1.8 \\ -2.1 & -0.2 \\ 0.9 & -1.8 \\ 2.7 & 1 \end{bmatrix}$$

[0054] 步骤六、生成优化后的采样点矩阵 $(\mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)})^*$: 利用ESE算法和CL₂准则对新增采样点矩阵 $\mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)}$ 进行优化, 优化后的采样点分布如图4所示; 图中的圆点即为新增的采样点, 相应的新增采样点矩阵为

$$[0055] \quad (\mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)})^* = \begin{bmatrix} -0.9 & -1.8 \\ 0.9 & 1.8 \\ -2.1 & 1 \\ 0.3 & -0.2 \\ 2.7 & -0.6 \end{bmatrix}$$

[0056] 此时, 新增后的总采样点矩阵为

$$[0057] \quad \mathbf{X}_{10 \times 2} = \begin{bmatrix} (\mathbf{X}_{5 \times 2})^* \\ (\mathbf{X}_{5 \times 2}^{(2)})^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.2 & -0.8 \\ 0 & 1.6 \\ -2.4 & 0 \\ 1.2 & -1.6 \\ 2.4 & 0.8 \\ -0.9 & -1.8 \\ 0.9 & 1.8 \\ -2.1 & 1 \\ 0.3 & -0.2 \\ 2.7 & -0.6 \end{bmatrix}$$

[0058] 步骤七、判断序贯设计是否终止: 根据序贯设计终止准则判断采样点是否满足终止条件, 若满足终止条件, 则序贯设计结束, 输出所得采样点矩阵 $\mathbf{X}_{rn \times d}$; 若不满足终止条件, 则 $r=r+1$, 转至步骤四继续下一次迭代。

[0059] 以某导弹打击移动目标为例, 通过计算脱靶量统计特性(均值)的均方根误差 (root mean square error, RMSE), 反映序贯设计方法的应用效果。

[0060] 选取导弹的初始速度 v_0 、弹道倾角 θ 、弹道偏角 ψ 、视线高低角速率噪声 ε_{λ_d} 和视线方位角速率噪声 ε_{λ_r} 等五个变量, 研究其在相应的取值区间内变化时脱靶量的变化情况。其中, $v_0 \in [650, 700]$ 、 $\theta \in [45, 50]$ 、 $\psi \in [-50, -45]$ 、 $\varepsilon_{\lambda_d} \in [-0.001, 0.001]$ 、 $\varepsilon_{\lambda_r} \in [-0.001, 0.001]$ 服从均匀分布。

[0061] 假定初始样本大小 $n=100$, 优化算法选ESE, 优化准则选ML₂准则, 重复运行次数为50。大致步骤如下:

[0062] 第一阶段,根据变量的取值范围生成初始样本,并对其进行优化,得到优化后的初始采样点分布,其中 v_0 和 θ 的采样点分布如图5所示;

[0063] 第二阶段,根据序贯设计方法增加新的采样点,经过9次序贯扩展,得到总采样点,其中 v_0 和 θ 的采样点分布如图6所示。

[0064] 在对初始采样点进行序贯扩展过程中,脱靶量均值的均方根误差变化趋势如图7所示。由该图可知,本发明方法能够有效地降低脱靶量统计特性的均方根误差,避免过采样问题,从而提高其采样效率。

[0065] 以上对本发明所提供的一种用于导弹打击移动目标的序贯实验设计方法,进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

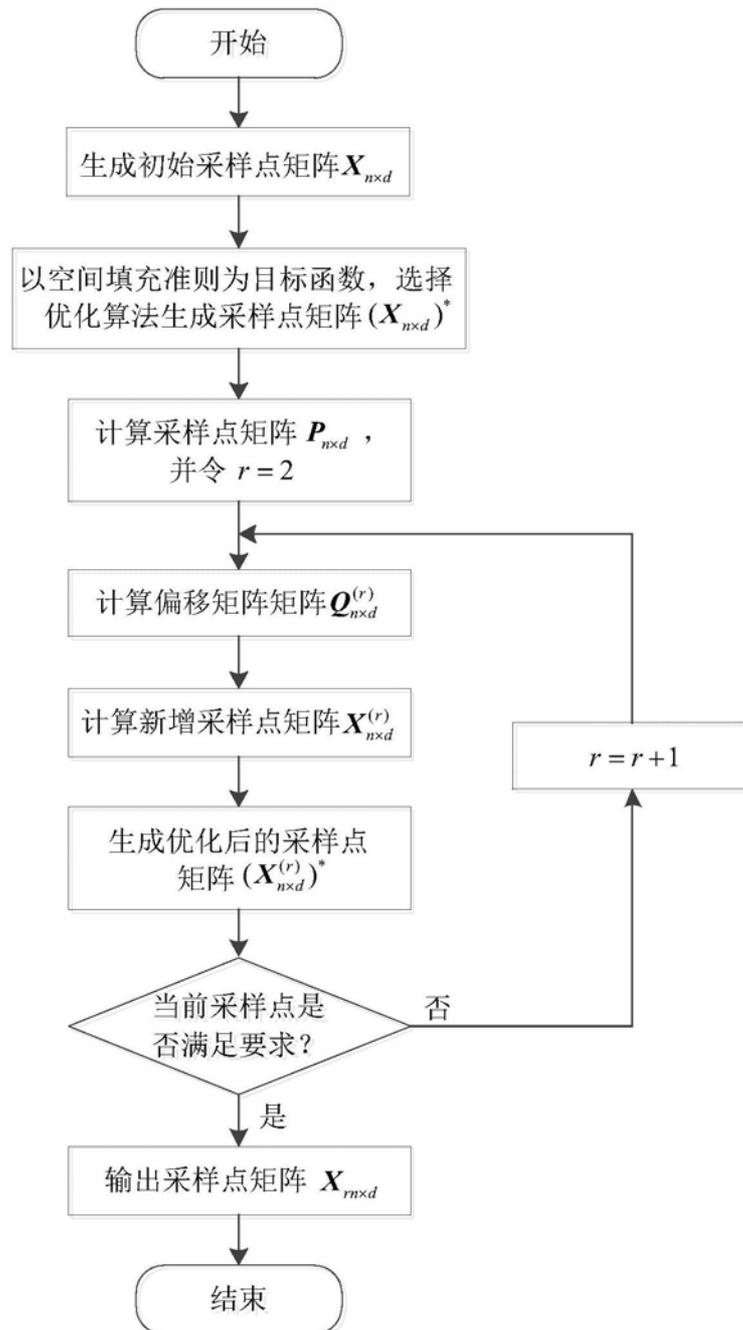


图1

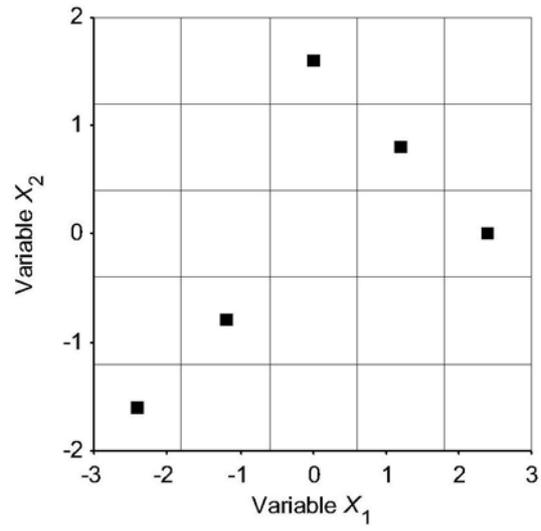


图2

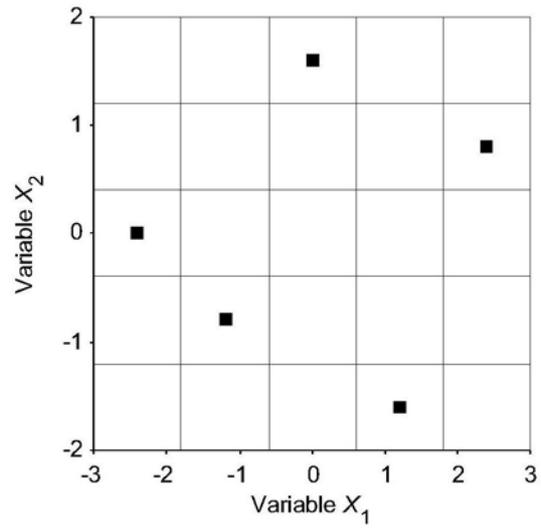


图3

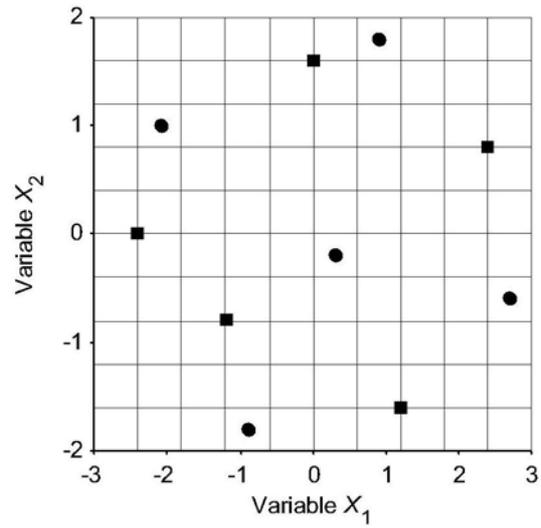


图4

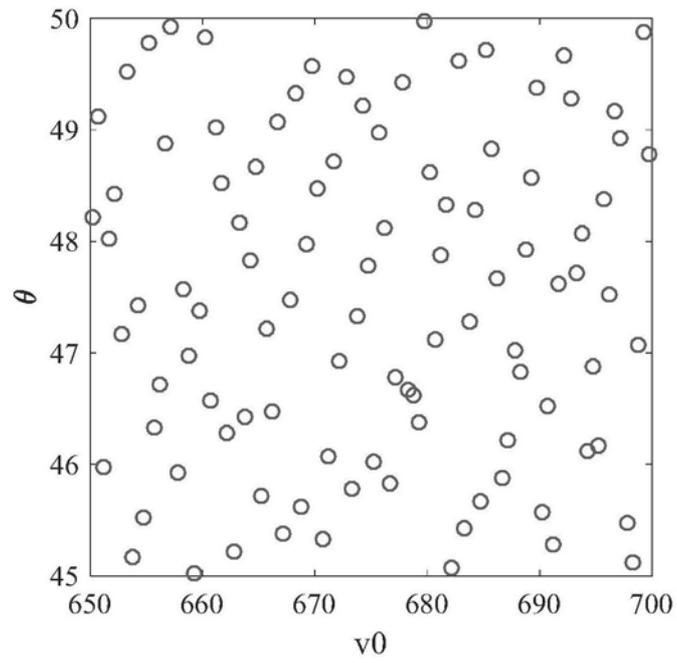


图5

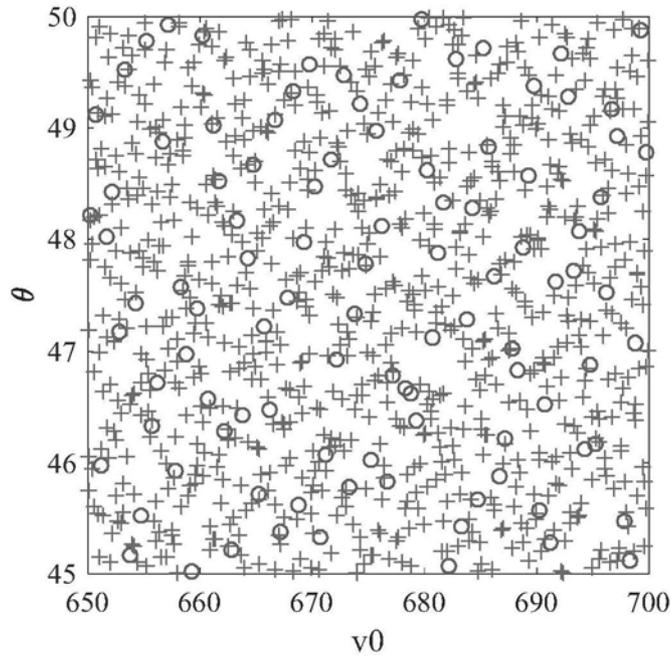


图6

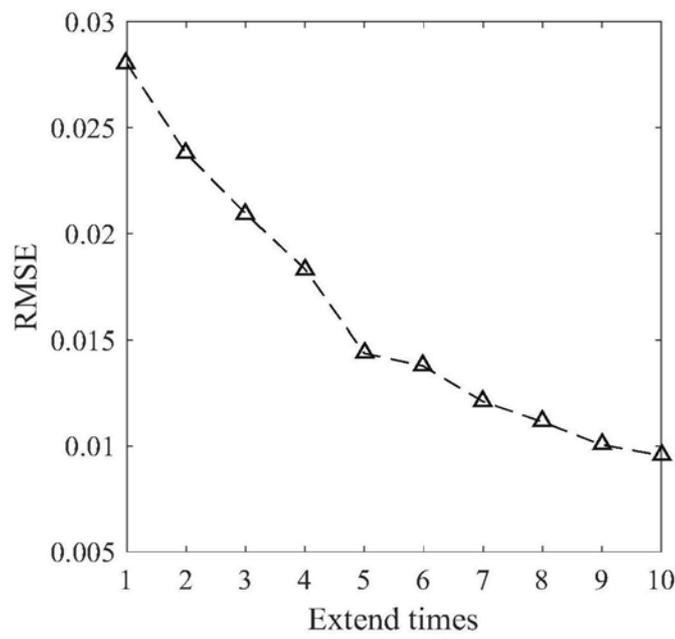


图7