

命中精度 Bayes 推断中基于 P 值的 验前可信度建模

刘琦^{1,2}, 李旭¹, 张安扬²

(1. 湖南涉外经济学院 管理学院, 长沙 410205;

2. 国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘 要: 在对散布参数验前可信度的定义与必要性进行分析的基础上,给出了给定散布参数(方差)的 P 值计算模型,构建了一维散布分析时验前分布可信度的 P 值模型,给出了验前 P 值与验前可信度的定义,并对其变动情况进行了阐述,给出了验前分布的拒绝条件.对二维散布分析条件下的验前可信度分析,分别构建了验前 P 值的独立求解模型和集成求解模型.并从 0.05, 0.2, 0.4 区分的数据区间,给出了验前分布选择的原则和要求.基于案例比较可见,验前可信度能较为显著地完成验前分布的差异化比较,相对现有的仅对验前可信度的定性说明,基于 P 值的验前可信度建模与计算,不仅能完成验前可信度的量化计算,而且能从概率的角度对验前分布选择的正确性进行假设检验.

关 键 词: 航空航天装备; 验前可信度; Bayes 方法; 命中精度; P 值; 散布参数

中图分类号: V19; O212.8

文献标志码: A

Modeling for prior distribution's reliability based on P value in Bayes inference of hit accuracy analysis

LIU Qi^{1,2}, LI Xu¹, ZHANG An-yang²

(1. School of Management,

Hunan International Economics University, Changsha 410205, China;

2. College of Information System and Management,

National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Based on the analysis of the concept and necessity of prior reliability for dispersion parameter's prior distribution, the P value calculating model for given dispersion parameter (variance) was presented, the prior distribution's reliability calculating model for one-dimensional dispersion parameter was constructed, and the concepts of prior P value and prior reliability were presented. The variation of prior reliability was described, and the reject rule of prior distribution was given. To the analysis of prior reliability for two-dimensional dispersion parameter, the independent solution model and integrated solution model for prior P value were carried out respectively. And with the interval divided by 0.05, 0.2 and 0.4, the principle and requirement of prior distribution selection was presented. From cases comparison result, it was easy to see that prior reliability can be easy to complete the difference comparison of prior distributions, and compared with traditional method only

收稿日期: 2015-04-21

基金项目: 国家自然科学基金(70971133)

作者简介: 刘琦(1974—),男,副教授、硕士生导师,博士,主要从事装备试验与评价研究.

引用格式: 刘琦,李旭,张安扬.命中精度 Bayes 推断中基于 P 值的验前可信度建模[J].航空动力学报,2017,32(1):75-81. LIU Qi, LI Xu, ZHANG Anyang. Modeling for prior distribution's reliability based on P value in Bayes inference of hit accuracy analysis[J]. Journal of Aerospace Power, 2017, 32(1): 75-81.

could describe prior reliability from qualitative view, the P value model not only calculated the numeric of prior reliability, but also could complete the correctness hypothesis test of prior distribution form probability view.

Key words: aerospace equipment; prior distribution's reliability; Bayes method; hit accuracy; P value; dispersion parameter

在装备试验与评价^[1-2]中,装备的命中精度(也称为射击精度)分析是一项关键的分析内容.对于命中精度^[3]的分析,包括位置参数和散布参数两个方面.从统计学^[4]的角度,位置参数主要研究落点的位置特征,即落点在坐标轴上的平均位置,对应于概率分布的均值;散布参数主要研究落点之间的离散特征,即落点对瞄准点或位置参数的偏移程度,对应于概率分布的方差或标准差分析.

随着装备发展的集成化、复杂化,并且由于费用、环境条件等的限制,一些装备的精度现场试验呈现出小子样的特点,此时综合利用装备的相关试验信息,结合现场试验数据,基于 Bayes 方法^[5-7]完成装备相关参数的分析,已成为装备试验与评价的一个重要研究方向.如 DAI Zhihui 等^[8]对小子样条件下高可靠性防护系统的 Bayes 估计方法进行了研究,选择 Weibull 分布作为装备的失效分布,在可靠性估计中,基于蒙特卡罗仿真分析给出了参数的验前分布,并给出了参数的验后估计. HUANG Jingde^[9]基于 Bayes 方法对引导武器的可靠性评估方法进行了论述,分析了制导武器系统开发中软件环境可靠性评估的小子样问题,给出了求解方案. Chiodo 等^[10]在对电力系统组件可用时间的估计中,建立了部件寿命和谐波电压之间的逆幂律模型,并基于 Bayes 方法给出了模型的参数估计. 张文杰等^[11]针对小子样成败型产品可靠性评估问题,引入了混合验前分布构造方法,并与传统 Bayes 方法进行了对比分析,验证了该方法的有效性.在装备精度分析方面,傅惠民^[12]通过综合分析导弹仿真结果与靶场试验数据,建立了导弹命中精度的整体推断模型. 张金槐^[13]以 Bayes 方法为基础,对小子样条件下单发命中概率的表示与估计方法进行了论述. HU Zhaohui 等^[14]对 Bayes 方法在导弹命中精度估计中的应用技术进行了论述,对导弹研发阶段试验安排进行了规划,并基于层次 Bayes 法给出了参数的点估计和区间估计. 王国玉^[15]对正态分布方差的 Bayes 估计与检验方法进行了推导. 张堃^[16]对飞行器落点密集度的 Bayes 序贯检验分析方法

进行了建模与分析. 刘玉文等^[17]在对武器系统的射击精度分析中,以仿真信息为验前信息,构建了武器系统射击精度的 Bayes 鉴定模型. 王国平^[18]对射击精度评估中 Bayes 方法的验前信息获取、可信度分析等方面进行了论述. 邵宗战等^[19]在火箭助飞鱼雷的入水点精度分析中,对利用 Bayes 点估计方法,融合各种验前信息完成入水点精度评定的方法和过程进行了阐述. 曹玉坤等^[20]在某型系列弹密集度评定中,给出了基于混合倒伽玛分布的 Bayes 区间估计方法.

从现有 Bayes 方法研究与应用分析方面看,在现场试验小子样条件下,综合利用相关信息,基于 Bayes 方法完成参数的评估与检验已是装备试验与评价的一个重要方面.但在 Bayes 方法的应用中,仍然存在如下问题:对验前分布可信性的检验与分析不够重视,对其可信性的度量与分析方法研究较少.这就导致了 Bayes 方法应用不够科学、合理,使得 Bayes 的可信性受到某些质疑,限制了 Bayes 方法的应用范围.有鉴于此,本文结合散布参数的分析,对验前可信度进行建模与分析.

1 基本假设与必要性

在命中精度分析中,记试验中 X, Y 方向上的瞄准点分别为 μ_X 和 μ_Y ,综合记为 (μ_X, μ_Y) ,试验中 X, Y 方向上的落点试验数据为 (x_i, y_i) ,其中 $i=1, 2, \dots, n$. 设横向(X 方向)落点 X 服从正态分布 $N(\mu_X, \sigma_X^2)$,纵向(Y 方向)落点 Y 服从正态分布 $N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$,假设 X 与 Y 相互独立,并且在本文的分析中,不考虑系统性偏差, σ_X^2 为 X 方向上的落点散布, σ_Y^2 为 Y 方向上的落点散布. 在 Bayes 分析中,记 σ_X^2, σ_Y^2 的验前分布分别为 $\pi(\sigma_X^2), \pi(\sigma_Y^2)$.

当 $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 = \sigma^2$ 时,可以证明,命中点的随机变量 (X, Y) 具有圆散布^[12],取

$$r^2 = (X - \mu_X)^2 + (Y - \mu_Y)^2 \quad (1)$$

则 r 服从瑞利分布(Rayleigh distribution)^[21],其分布密度函数为

$$f(r) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma^2} r e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} & r \geq 0 \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (2)$$

由随机变量函数的分布^[4]的计算公式,推导可得 r^2 的分布密度函数为

$$f(r^2) = \begin{cases} \frac{1}{2\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} & r \geq 0 \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (3)$$

即 r^2 服从参数为 $2\sigma^2$ 的指数分布^[12]. 在分析中,记 σ^2 的验前分布为 $\pi(\sigma^2)$.

在 Bayes 分析中,验前可信度指验前信息准确地描述待估计参数的分布的程度^[21-22].

在对参数的 Bayes 分析中,当前的研究主要集中于对验前分布的确定,对验前可信度计算的研究偏弱. 在 Bayes 方法应用中,不考虑验前信息的可信度,就可能导致对参数的估计不科学、不准确,甚至出现明显不切合实际的情况,下面通过一个案例来说明该问题.

例 1 设某装备在某次精度试验中,得到现场试验结果 (x_i, y_i) 为 $(51, -62), (-48, 37), (-12, -18), (5, -23), (-16, 6)$, (单位: m). 设在对 X 方向的散布分析中,一方面是通过仿真信息、专家信息等进行分析,得出 σ_X^2 的验前分布为 $N(1250, 10\,000)$ (记为验前分布 1); 一方面是借鉴理论与国外类似产品的试验信息,得出 σ_X^2 的验前分布为 $N(400, 4\,900)$ (记为验前分布 2).

从两个验前分布本身看,两者之间的差距还是较大的,运用 Bayes 方法进行参数估计,可得针对两个验前分布的 σ_X^2 的 Bayes 估计分别为 1258.9 和 454.9.

从估计的情况看,两种估计结果差异还是较大的,这主要是因为两种验前分布本身的差异较大,而且现场试验的数据量较小所导致的. 两种估计差异大,必然有一种验前分布的选择不合理、不科学. 为了科学、合理地完成参数估计与检验,就必须要对验前分布的可信度进行分析.

2 一维验前可信度 P 值模型

在假设检验中, P 值是一个非常重要的概念,

$$P_{v, \sigma_X^2} = \begin{cases} 2P\left[\frac{(n-1)S^2}{\sigma_X^2} \leq \frac{(n-1)s^2}{\sigma_X^2} \middle| \sigma_X^2\right] & \frac{(n-1)s^2}{\sigma_X^2} \leq \chi_{n-1, 0.5}^2 \\ 2P\left[\frac{(n-1)S^2}{\sigma_X^2} > \frac{(n-1)s^2}{\sigma_X^2} \middle| \sigma_X^2\right] & \frac{(n-1)s^2}{\sigma_X^2} > \chi_{n-1, 0.5}^2 \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中 $\chi_{n-1, 0.5}^2$ 为自由度为 $n-1$ 的卡方分布的 0.5 分位数,下标 v 表示 P 的值(value).

例 2 以例 1 中 X 方向的数据为例,计算 s^2 的 P 值. 根据式(7),计算可得不同 σ_X^2 取值下 s^2 的 P 值. 图 1 给出了 s^2 的 P 值随 σ_X^2 的变化情况,

多数统计教材专著中都对其有专门的介绍. 如马林等^[23]将 P 值定义为:当原假设成立时,出现目前状况或对原假设更不利状况,即对备择假设更有利状况的概率.《剑桥统计学词典》^[24]将 P 值解释为:当零假设正确时观测数据(或表现出远远偏离零假设的数据)出现的概率.武小悦等^[25]将 P 值定义为:在原假设为真的条件下,检验统计量的值大于等于(或小于等于)其计算值的概率.可见 P 值为:当原假设为真时所得到的样本观察结果或更极端结果出现的概率.

从 P 值的定义可见:在原假设为真时, P 值应是一个较大的概率值;在原假设不成立的条件下, P 值应是一个非常小的概率值. 等价于:当 P 值非常小时,可以做出拒绝原假设的决策. 基于该思想,本文引入 P 值来衡量验前分布的可信度,并给出基于 P 值的验前可信度计算模型.

2.1 给定方差下的 P 值模型

在此仅对 X 方向的试验数据进行分析,对 Y 方向的数据分析方法相同. 根据第 1 节的假设,记样本 $X_1, \dots, X_n$ 的观测值为 $x_1, \dots, x_n$, 不考虑系

统性偏差,取 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 记

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5)$$

则根据正态分布的相关性质,若总体 X 服从正态分布 $N(\mu_X, \sigma_X^2)$, 则有^[2, 25]

$$\frac{(n-1)S^2}{\sigma_X^2} \sim \chi^2(n-1) \quad (6)$$

其中 $\chi^2(n-1)$ 是自由度为 $n-1$ 的卡方分布.

对于任意给定的方差 σ_X^2 , 根据正态分布假设检验中 P 值的计算方法,当“ $x_1, \dots, x_n$ 是从总体 $N(\mu_X, \sigma_X^2)$ 中抽样得到的样本观测值”的假设成立时, s^2 的 P 值为

表 1 给出了不同 σ_X^2 条件下 s^2 的部分 P 值的计算结果.

从图 1 和表 1 可见:随着 σ_X^2 的增加, s^2 的 P 值是先增后减的. 说明随着 σ_X^2 的变化,现场试验中出现 s^2 这样的试验结果的概率不是一成不变

的.从式(7)的计算过程,以及例 2 的数值分析结果,可得如下结论.

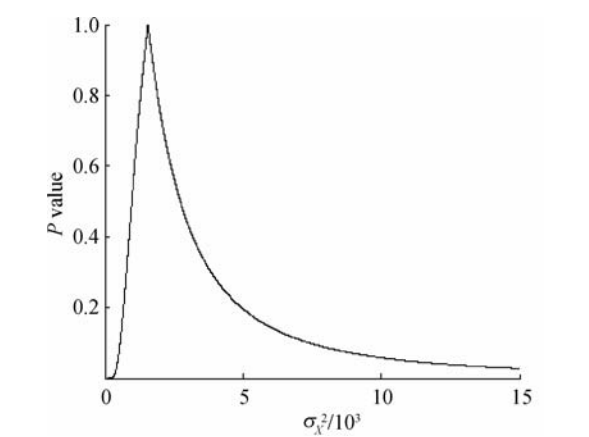


图 1 s^2 的 P 值随 σ_X^2 的变化曲线
Fig. 1 Curve of P value of s^2 with different σ_X^2

表 1 不同 σ_X^2 值对应的 s^2 的 P 值			
Table 1 P values of s^2 with different σ_X^2			
σ_X^2	P 值	σ_X^2	P 值
500	0.0656	2000	0.7552
750	0.2718	2250	0.6506
1000	0.5252	2500	0.5653
1250	0.7592	2750	0.4951
1500	0.9558	3000	0.4368
1750	0.8843	3250	0.3880

- 1) P_{v,σ_X^2} 越大,说明在给定方差 σ_X^2 的条件下,现场试验结果 s^2 出现的概率越大,说明 σ_X^2 越能接近实际地描述命中精度的实际情况.
- 2) P_{v,σ_X^2} 越小,说明在给定方差 σ_X^2 的条件下,现场试验结果 s^2 出现的概率越小,说明 σ_X^2 越难以准确地描述命中精度的实际情况.当 P_{v,σ_X^2} 小到一定程度时,如 $P_{v,\sigma_X^2} < 0.05$ 时,根据假设检验的“小概率事件原理”^[4, 25-26],可认为现有的 σ_X^2 已不能描述现有案例分析中命中精度分析的实际情况.
- 根据上述分析结论,这就要求:在选择 σ_X^2 的验前分布时,要科学、客观地选择恰当的验前分布,准确地界定 σ_X^2 的分布形式、定义域等.

2.2 验前 P 值的计算

在 Bayes 方法中,将未知变量 σ_X^2 当作随机变量,并假定其有验前分布.在本文中,假定 σ_X^2 的验前分布为 $\pi(\sigma_X^2)$. 在给定 σ_X^2 的验前分布的条件

下,基于验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 的现场试验数据 s^2 的 P 值可由式(8)计算.

$$P_{v,X} = E(P_{v,\sigma_X^2}) = \int_{\sigma_X^2 \in \Sigma} P_{v,\sigma_X^2} \pi(\sigma_X^2) d\sigma_X^2 \quad (8)$$

式(8)中 Σ 为 σ_X^2 的定义域.

由式(8)计算得到的 $P_{v,X}$ 称为验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 的 P 值,简称为验前 P 值.根据上述计算过程,可见 $P_{v,X}$ 能较为准确、合理地描述验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 的可信度情况,结合前述验前可信度的定义,称验前 P 值 $P_{v,X}$ 为验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 的可信度,即验前可信度.

由验前 P 值的计算原理,可见:验前 P 值是在考虑参数 σ_X^2 的所有可能取值的基础上,现场命中精度试验结果 s^2 出现的可能性.以此为基础,可得出如下结论:

- 1) $P_{v,X}$ 越大,说明精度试验结果 s^2 出现的平均概率越大,从一个侧面说明验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 越能较为准确地描述散布参数 σ_X^2 的实际情况,即 $\pi(\sigma_X^2)$ 的可信度越高.
- 2) $P_{v,X}$ 越小,说明精度试验结果 s^2 出现的平均概率越小,从另一个侧面说明验前分布 $\pi(\sigma_X^2)$ 越难以准确地描述散布参数 σ_X^2 的实际情况,即 $\pi(\sigma_X^2)$ 的可信度较低.当 $P_{v,X}$ 非常小,如 $P_{v,X} \leq \alpha$ 时(α 为假设检验中的显著性水平,如 $\alpha = 0.05$),从“小概率事件原理”的角度,可以认为 $\pi(\sigma_X^2)$ 已不能用于描述本装备 σ_X^2 的实际情况,需要重新确定 σ_X^2 的验前分布.

例 3 在例 1、例 2 的基础上,两种验前分布的图形如图 2 所示.

根据式(8),利用数值算法,可得两个验前分布的验前 P 值分别为:0.7561 和 0.0276. 比较可见,验前分布 2 的 P 值较小,从图 2 可见,该验前分布主要集中于 400 周围,而从试验结果来看

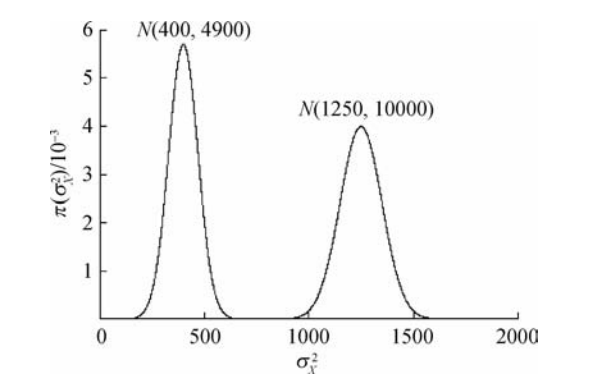


图 2 σ_X^2 的验前分布
Fig. 2 Prior distributions of σ_X^2

$s^2=1312.5$,说明该验前分布非常有可能高估了该装备的射击散布.而第 1 个验前分布的 P 值较大,说明该验前分布还是比较可信的,并且从数值上看,该验前分布主要集中于 1250 左右,与实际试验结果的 1312.5 比较接近.

3 二维验前可信度 P 值模型

根据第 1 节的假设与相关结论,在分析 X,Y 两个方向上的试验数据 (x_i,y_i) 时,由于假定 X,Y 两个方向上的散布相互独立,因此可建立如下的两种模型完成验前 P 值的计算.

3.1 验前 P 值的独立求解模型

验前 P 值的独立求解模型是分别针对 X,Y 两个方向上的落点散布 σ_X^2,σ_Y^2 的验前分布 $\pi(\sigma_X^2),\pi(\sigma_Y^2)$,利用式(8)计算其验前 P 值,记两个方向上的验前 P 值分别为 $P_{v,X},P_{v,Y}$,然后采用下式计算二维验前 P 值

$$P_v = \min\{P_{v,X},P_{v,Y}\} \tag{9}$$

之所以采用最小值而不采用其他值,是因为假定两个验前分布相互独立,两个方向上的试验数据相互独立.选择最小值有利于确定哪个验前分布的选择科学合理,有利于验前分布的选择与修订.

从上述计算过程,可见 P_v 度量了验前分布 $\pi(\sigma_X^2),\pi(\sigma_Y^2)$,同时准确描述 σ_X^2,σ_Y^2 实际取值的程度,因此,用 P_v 来度量验前分布 $\pi(\sigma_X^2),\pi(\sigma_Y^2)$ 的可信度是可行的.所以,可定义 P_v 为验前分布 $\pi(\sigma_X^2),\pi(\sigma_Y^2)$ 的可信度.

对于例 1 的数据,计算可得 Y 方向上的方差 $s^2=1345.5$.若进一步采用正态分布 $N(1250,10000)$ 和 $N(400,4900)$ 作为 σ_Y^2 的验前分布,利用式(8),采用数值算法计算可得 $P_{v,Y}$ 分别为 0.7296 和 0.0243.

根据式(9)计算,可得两个验前分布的验前 P 值分别为

$$P_{v1} = \min\{0.7561,0.7296\} = 0.7296$$

$$P_{v2} = \min\{0.0276,0.0243\} = 0.0243$$

可见验前分布 $N(400,4900)$ 的可信度较低,是不适合作为 σ_X^2,σ_Y^2 的验前分布的.而从现有试验数据可见 $N(1250,10000)$ 的可信度较高,现有的证据不能拒绝采用其作为验前分布.

3.2 验前 P 值的集成求解模型

验前 P 值的集成求解模型是基于式(2)、式(3)的推导结果,利用式(3)所示的指数分布,对

σ^2 验前 P 值进行分析.

记 X,Y 两个方向上试验落点的样本为 $(X_i,Y_i),i=1,2,\cdots,n$.并取

$$R_i^2 = (X_i - \mu_X)^2 + (Y_i - \mu_Y)^2 \tag{10}$$

由式(3),可知 R_i^2 服从参数为 $2\sigma^2$ 的指数分布.取

$$R_i^2 = \sum_{i=1}^n R_i^2 \tag{11}$$

由指数分布相关性质,可证明

$$\frac{R_i^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(2n) \tag{12}$$

即统计量 $\frac{R_i^2}{\sigma^2}$ 服从自由度为 $2n$ 的卡方分布.

对于第 1 节的试验数据 (x_i,y_i) ,取

$$r_i^2 = \sum_{i=1}^n [(x_i - \mu_X)^2 + (y_i - \mu_Y)^2] \tag{13}$$

类似于式(7)的计算过程,可给出如下的在给定 σ^2 下 r_i^2 的 P 值

$$P_{v,\sigma^2} = \begin{cases} 2P\left(\frac{R_i^2}{\sigma^2} \leq \frac{r_i^2}{\sigma^2} \middle| \sigma^2\right) & \frac{r_i^2}{\sigma^2} \leq \chi_{2n,0.5}^2 \\ 2P\left(\frac{R_i^2}{\sigma^2} > \frac{r_i^2}{\sigma^2} \middle| \sigma^2\right) & \frac{r_i^2}{\sigma^2} > \chi_{2n,0.5}^2 \end{cases} \tag{14}$$

对式(14)的解释、分析与式(7)类似,在此不再赘述.

给定 σ^2 验前分布 $\pi(\sigma^2)$ 时,与式(8)类似,可定义如下的 $\pi(\sigma^2)$ 的验前 P 值:

$$P_v = E(P_{v,\sigma^2}) = \int_{\sigma^2 \in \Sigma} P_{v,\sigma^2} \pi(\sigma^2) d\sigma^2 \tag{15}$$

对 $\pi(\sigma^2)$ 的验前 P 值 P_v 的分析,与对式(8) $P_{v,X}$ 的分析类似,在此不再赘述.

从上述计算过程,可见 P_v 度量了验前分布 $\pi(\sigma^2)$ 能准确描述 σ^2 实际取值的程度,用 P_v 来度量 $\pi(\sigma^2)$ 的可信度是可行、合理的.结合前述可信度的定义,称验前 P 值 P_v 为验前分布 $\pi(\sigma^2)$ 的可信度.

例 4 在例 1 的基础上,假定瞄准点 $(\mu_X,\mu_Y)=(0,0),\sigma_X^2=\sigma_Y^2=\sigma^2,\sigma^2$ 的验前分布为 $N(1250,10000)$ 或 $N(400,4900)$.

由现场试验数据,可得 $r_i^2=10632$,两个验前分布的验前 P 值分别为:0.8288 和 0.0126.

比较两种方法验前 P 值的计算结果,可见第 1 个验前分布的可信度均优于第 2 个验前分布,而从实际的数据分析情况,可见第 2 个验前分布明显有高估命中散布的趋势.两种验前可信度方法计算结果出现差异,是因为两者计算采用的方

法不同,对方差计算的假设不同,如式(5)是基于样本均值计算方差,而式(13)是基于瞄准点计算样本方差,导致对方差的估计有一定差异,进一步对验前 P 值的计算有一定的影响。

4 结 论

以装备试验评价中装备命中精度分析中的散布分析为背景,对 Bayes 方法应用中,验前信息可信度的需求与基于 P 值的验前可信度计算方法进行了阐述,并通过示例分析说明了该方法的计算与应用过程。在方法的应用中需注意以下方面:

1) 论文仅给出了验前 P 值的计算模型和计算公式,由于涉及到积分、求分位数等运算,难以运用解析的方法计算,在实际的方法应用中,需要编制数值算法程序,完成验前 P 值的计算。

2) 验前 P 值是基于现场试验数据,对验前分布的可信度进行计算的一种算法、模型。模型的计算结果从一个侧面说明验前分布的可信程度。当验前 P 值较小时,要对验前分布的来源、机理等进行分析,确保现有的验前分布能描述散布的实际情况,避免剔除可信的验前分布的情况。综合第2,3节验前可信度的建模与计算过程,针对不同的验前可信度,建议采用下述规则完成对验前分布的筛选与分析:① 当 $P_v \geq 0.4$ 时,建议直接采用该验前分布进行 Bayes 分析。 $P_v \geq 0.4$ 从另一方面说明现有验前分布和现场试验数据的一致性较高,所以此时建议采用该验前分布进行命中精度的统计推断。② 当 $0.2 \leq P_v < 0.4$ 时,建议先对验前分布进行背景分析,在确定验前分布的来源可靠、计算过程准确的条件下,再应用其进行命中精度的统计推断。③ 当 $0.05 \leq P_v < 0.2$ 时,建议对验前分布进行背景分析,进一步核实其正确性,并对现场试验数据进行分析,确定其正确性。确保两者无误的条件下,再进行参数的 Bayes 分析。④ 当 P_v (或 $P_{v,x}$) 非常小,如 $P_v \leq 0.05$ 时,可以认为验前分布 $\pi(\sigma^2)$ 已难以准确描述装备命中精度的实际情况,此时,需要重新计算或者选择验前分布。

3) 本文仅对命中精度散布分析时验前可信度进行分析,构建了一维、二维条件下的验前 P 值模型,同样的原理可用于对其他参数的分析,如分析命中精度分析中的位置参数 μ_X, μ_Y 等。

参考文献:

[1] 常显奇,程永生. 常规武器装备试验学[M]. 北京:国防工

业出版社,2007.

- [2] 武小悦,刘琦. 装备试验与评价[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [3] 郭锡福. 远程火炮武器系统射击精度分析[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [4] 陈希孺. 概率论与数理统计[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2009.
- [5] Hoff P D. A first course in Bayesian statistical methods [M]. New York:Springer,2009.
- [6] Hamada M S, Wilson A G, Reese C S, et al. Bayesian reliability[M]. New York:Springer Science,2008.
- [7] Koch K R. Introduction to Bayesian statistics[M]. 2nd ed. Berlin:Springer-Verlag Berlin Heidelberg,2007.
- [8] DAI Zhihui, WANG Zengping, JIAO Yanjun. Bayes monte-carlo assessment method of protection systems reliability based on small failure sample data[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014, 29(4): 1841-1848.
- [9] HUANG Jingde. Study of guided weapon reliability assessment model based on Bayes method[C]//26th International Conference on Electrical Contacts. Beijing: the Institution of Engineering and Technology, 2012: 449-451.
- [10] Chiodo E, Mazzanti G. Bayes parametric estimation of insulation reliability under distorted voltage[C]// International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. Ischia, Italian: IEEE, 2014: 1116-1121.
- [11] 张文杰,杨华波,张士峰. 基于 Bayes 混合验前分布的成败型产品可靠性评估[J]. 兵工学报, 2016, 37(3): 505-511. ZHANG Wenjie, YANG Huabo, ZHANG Shifeng. Reliability assessment for device with only safe-or-failure pattern based on Bayesian hyprid prior approach[J]. Acta Armamentarii, 2016, 37(3): 505-511. (in Chinese)
- [12] 傅惠民. 导弹命中精度整体推断方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(10): 1141-1145. FU Huimin. Integral inference method for missile hit accuracy[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(10): 1141-1145. (in Chinese)
- [13] 张金槐. 正态总体下分布参数的 Bayes 序贯估计[J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(2): 95-100. ZHANG Jinhuai. Bayes sequential estimation of the parameter for normal sample[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2002, 24(2): 95-100. (in Chinese)
- [14] HU Zhaohui, LUO Jixun. Research on bayesian evaluation method of missile hit accuracy [C] // 4th International Symposium on Computational Intelligence and Design. Hangzhou: IEEE, 2011: 114-117.
- [15] 王国玉. 电子系统小子样试验理论方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.
- [16] 张堃. Bayes 序贯检验方法[J]. 装备指挥技术学院学报, 1998, 9(4): 89-95. ZHANG Kun. Bayesian sequential testing method [J]. Journal of the Academy of Equipment Command and

Technology,1998,9(4):89-95. (in Chinese)

[17] 刘玉文,马建华,薛晓中,等. Bayes 法鉴定武器系统射击精度研究[J]. 南京理工大学学报:自然科学版,2005,29(4):407-410.

LIU Yuwen, MA Jianhua, XUE Xiaozhong, et al. Firing accuracy evaluation with Bayes for weapon systems[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science,2005,29(4):407-410. (in Chinese)

[18] 王国平. 验前信息在射击精度评估中的应用[J]. 现代防御技术,2006,34(1):16-18.

WANG Guoping. Prior information and its application in firing accuracy assessment[J]. Modern Defence Technology,2006,34(1):16-18. (in Chinese)

[19] 邵宗战,侯代文,房毅. 火箭助飞鱼雷入水点精度 Bayes 点估计评定方法[J]. 四川兵工学报,2013,34(7):4-6.

SHAO Zongzhan, HOU Daiwen, FANG Yi. Point estimation assessment method of water entry accuracy for rocket-assisted torpedo[J]. Journal of Sichuan Ordnance,2013,34(7):4-6. (in Chinese)

[20] 曹玉坤,刘云南,张金. 基于混合倒伽玛分布的 Bayes 区间估计方法在密集度评定中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报,2014,28(3):56-59.

CAO Yukun, LIU Yunnan, ZHANG Jin. Application of Bayes interval estimation method based on mixed inverse Gamma distribution in dispersion assessment[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering,2014,28(3):56-59. (in Chinese)

[21] 张金槐,刘琦,冯静. Bayes 试验分析方法[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2007.

[22] 刘琦,武小悦. Bayes 方法应用中验前分布选择的一致性与可信性原则[J]. 系统工程与电子技术,2010,32(11):2356-2359.

LIU Qi, WU Xiaoyue. Study on the principles of consistency and reliability for prior distributions selection in Bayesian method application[J]. Systems Engineering and Electronics,2010,32(11):2356-2359. (in Chinese)

[23] 马林,何桢. 六西格玛管理[M]. 2 版. 北京:中国人民大学出版社,2007.

[24] Everitt B S, Skrandal A. The Cambridge dictionary of statistics[M]. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press,2010.

[25] 武小悦,刘琦. 应用统计学[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2009.

[26] Li X R, Li X B. Common fallacies in applying hypothesis testing[C]//11th International Conference on Information Fusion. Cologne, German:IEEE,2008:1-8.

(编辑:陈 越)