

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.11.008

基于 Bootstrap 法的机载浮标搜潜系统作战效能指标分析

许爱强¹, 盛沛¹, 刘长捷², 谭勳¹

(1. 海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001; 2. 空军航空大学基础部, 长春 130022)

摘要: 为解决试验样本量较少导致评估精度较低的问题, 引入 Bootstrap 方法对机载浮标搜潜系统部分指标进行评估。介绍对于成败型指标的目标发现率评估步骤, 并对一定环境下的潜艇目标发现率、浮标信号有效接收距离和某分机灵敏度这 3 项有代表性的指标进行仿真。分析结果说明该方法确实能够提高评估精度。

关键词: Bootstrap 方法; 小样本; 机载浮标搜潜系统

中图分类号: TJ67 **文献标志码:** A

Index Analysis of Submarine Reconnaissance Efficiency of Air-Borne Buoy Submarine Reconnaissance System Based on Bootstrap Method

Xu Aiqiang¹, Sheng Pei¹, Liu Changjie², Tan Xu¹

(1. Dept. of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Dept. of Basic Theories, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to solve the trouble that the precision is too low because of the lack of the swatch, the Bootstrap method is used to evaluate some of the parameters of the air-borne buoy submarine reconnaissance system. The evaluation steps of aim-discovering rate for success or lost index is introduced. Three kinds of typical index such as the aim-discovering rate, available incept distance of buoy signal and certain extension sensitivity progress emulated. The result shows that the method can improves the emulation precision.

Keywords: Bootstrap method; small sample; air-borne buoy submarine reconnaissance system

0 引言

随着我海军逐渐从浅海走向深海, 以及周边势力对我海军的威胁日渐增强, 海军所面临的海洋作战环境日益复杂。反潜直升机作为现代航空反潜作战的一种重要平台, 在我海军的遂行各种反潜作战中发挥着越来越重要的作用。机载浮标搜潜系统作为反潜直升机的基本设备之一, 可对潜艇的活动构成较大的威胁。因此, 对机载浮标搜潜系统的作战效能进行合理评估就显得尤为必要。

对于搜潜系统, 目前国内比较热门的研究方向多在战术领域, 如浮标的最佳布放位置、浮标阵形对作战效能的影响等, 在自主研制航空反潜器材方面还处于起步阶段, 不仅现有已列装的装备没有完备的性能指标体系, 而且没有科学的指标测量和计算方法, 导致其效能评估十分困难。

潜艇目标发现率是有效衡量搜潜系统战斗使用效能的一个重要指标。在一定条件下, 成功发现目标的次数除以总测试次数就是系统在给定条件下对目标的发现率, 这只是搜潜系统识别率的一个点估计值, 无法给出系统发现率的变动范围和相应的置信度。在统计学中, 一般采用置信区间代替点估计^[1]。因此, 笔者以潜艇目标发现率这一重要的

成败型指标为例, 简要探讨其计算方法。

在搜潜系统评估的实施过程中, 可信的测试数据来源于一系列的外场试验, 但是外场试验的成本高并且数据采集过程受到很多外界条件的限制, 比如需要直升机部队、潜艇部队等众多单位相互配合, 尤其是潜艇部队的协调难度很大, 因此, 在对该类指标进行评估时, 试验样本量不会很大。怎样在样本量较少的情况下对该类指标进行合理的、有效的评估, 即如何采用科学的小样本分析方法提高机载浮标搜潜系统潜艇目标发现率的评估精度, 是笔者所要解决的首要问题。

1 Bootstrap 方法介绍

目前对小样本的分析方法有很多, 其中一种基于再抽样的 Bootstrap 方法, 是由 Efron 教授提出的一种统计分析方法, 其特点是直接利用样本数据, 借助计算机技术进行统计推断。再抽样过程通常也称为计算机增强型统计推断过程^[2], 可以不依赖于某些经典统计推断假设(如抽样分布的正态性)而用来计算检验统计量的 P 值或置信区间的上、下限^[3]。在许多情况下, 样本的分布无法准确给出, 如果只依靠假设来对其统计量进行推断, 那么得出的

收稿日期: 2011-07-24; 修回日期: 2011-08-20

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140A25070208JB1402)

作者简介: 许爱强(1963—), 男, 山东人, 教授, 博士生导师, 从事军用装备自动检测技术研究。

结论便不可靠甚至可能出现错误。此时，利用自助法进行统计推断便不失为一种可选方法^[4]。

设有子样 X_1, X_2, \dots, X_n , $X_i \sim F(x)$, $\theta = \theta(F)$ 为总体分布未知数，由 X_1, X_2, \dots, X_n 作抽样分布函数 F_n , $\hat{\theta} = \hat{\theta}(F_n)$ 为 θ 的估计。记

$$T_n = \hat{\theta}(F_n) - \theta(F)$$

从 F_n 中重新抽样，获得再生子样 $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ ，由 X^* 作抽样分布，记作 F_n^* ，于是由 X^* 又可做出 θ 的估计 $\hat{\theta}(F_n^*)$ ，记

$$R_n^* = \hat{\theta}(F_n^*) - \hat{\theta}(F_n)$$

R_n^* 为 T_n 的自助统计量，以 R_n^* 的分布去近似 T_n 的分布，这是 Bootstrap 方法的中心思想^[1]。

在母体分布未知的情况下，对母体分布的最好猜测是由数据提供的，因此该方法首先假设观察值便是母体。由原始数据经过有返还的随机抽样获得的与原始数据集含量相等的样本称为自助样本。如果将由原始数据计算得到的统计量称为观察统计量，那么由自助样本计算所得的统计量可称为自助统计量。Bootstrap 方法的关键就在于自助统计量与观察统计量之间的关系就相当于观察统计量与真值之间的关系。也就是说，通过对自助统计量的研究就可以了解观察统计量与真值的偏离情况。举例来说，假定原始数据有 n 个，获得自助样本的具体步骤如下：

- 1) 将 n 个原始数据分别写在 n 张纸签上，放入盒中混匀；
- 2) 抽取一个纸签，记录其上的数据，然后将纸签放回，混匀；
- 3) 重复步骤 0，直到记录 n 个数据，便得到一个自助样本；
- 4) 将步骤 0 和步骤 3 重复 B 次便可得到 B 个自助样本。

需要说明的是，由于计算机速率已不是制约算法的主要因素，因此，自助样本的数值可根据实际情况适当放大，一般 B 的取值为 1 000~100 000。

2 基于 Bootstrap 方法的机载浮标搜潜系统 潜艇目标发现率评估步骤

若经过试验获得的原始观察值有 n 个，其中成功发现潜艇的次数为 X ，则潜艇识别率的观察统计量为 $p = \frac{X}{n}$ 。对上节所述步骤得到的 B 个自助样本

进行类似计算，可得到各自助样本的自助统计量，设为 $p^{*i} (i=1, 2, \dots, B)$ 。对 $p^{*i} (i=1, 2, \dots, B)$ 进行计算，可得到统计量的点估计值，利用百分位数法^[5]可得到一定置信度下的置信区间。

若将正确发现潜艇记为 1，未发现记为 0。则算法示意图如图 1。

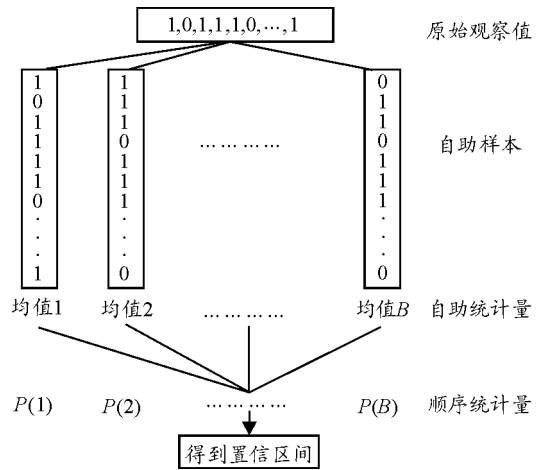


图 1 Bootstrap 算法原理示意图

具体步骤如下：

- 1) 对 n 个原始观察值进行有返还的随机抽样，获得 B 个自助样本： $x_j = (X_{ij}) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, B)$ ；
- 2) 对每个自助样本进行计算，求得自助统计量
$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} (j=1, 2, \dots, B)$$
；
- 3) 将自助样本按照自助统计量大小重新排序得到顺序统计量 $p_j^* (j=1, 2, \dots, B)$ ；
- 4) 将该顺序统计量在两端的 $\frac{\alpha}{2}B$ 处截断^[5]，其

中 $1-\alpha$ 为置信度，则区间 $\left(P_{\frac{\alpha}{2}B}^*, P_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)B}^* \right)$ 即为置信度为 $1-\alpha$ 的置信区间。

3 仿真结果

利用前述方法，对某型机载浮标搜潜系统在一定环境下的潜艇目标发现率、浮标信号有效接收距离以及某分机灵敏度 3 项有代表性的指标进行评估，样本量在 200~300。利用 matlab 计算，其中对于潜艇目标发现率的主要代码如下，其它类似：

```
Xstar=bootrsp(X,1000);
hatmul=mean(Xstar);
hatmusorted=sort(hatmul);
```