

DSVSS T^2 控制图经济设计模型

陈鹏, 张斌*, 陈秀

南京信息工程大学数学与统计学院, 江苏 南京

Email: nuistchenpeng@163.com, *zhangbin861@163.com

收稿日期: 2021年5月21日; 录用日期: 2021年6月9日; 发布日期: 2021年6月25日

摘要

本文针对多元正态总体均值向量偏移问题, 将双抽样策略与可变样本容量控制图相结合, 构建了双抽样可变样本容量 T^2 控制图(DSVSS T^2 图)。根据过程的实际运行状态, 构建了马尔可夫链转移概率矩阵。综合考虑过程正常和异常两种状态下的运行成本、误报警损失、抽样成本及维修费用, 结合Lorenzen-Vance经济模型, 提出DSVSS T^2 控制图的经济设计模型并分析了均值向量变化对决策变量的影响。

关键词

双抽样, 可变样本容量, 马尔可夫链, 经济优化

Economic Design Optimization of DSVSS T^2 Control Chart

Peng Chen, Bin Zhang*, Xiu Chen

College of Mathematics and Statistics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu

Email: nuistchenpeng@163.com, *zhangbin861@163.com

Received: May 21st, 2021; accepted: Jun. 9th, 2021; published: Jun. 25th, 2021

Abstract

Aiming at the problem of mean vector shift of multivariate normal population, this paper combines double sampling strategy with variable sample size control chart, and constructs double sampling variable sample size control chart (DSVSS T^2 chart). According to the actual running state of the process, the Markov chain transition probability matrix is constructed. Considering the operation cost, false alarm loss, sampling cost and maintenance cost of normal and abnormal process, based

*通讯作者。

on Lorenzen-Vance economic model, an economic design model of DSVSS T^2 control chart is proposed, and the influence of mean vector change on decision variables is analyzed.

Keywords

Double Sampling, Variable Sampling Interval, Markov Chain, Economic Design

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对于一个复杂产品, 通常包含两个或两个以上质量特性, 且质量特性之间存在相关关系, 采用单变量控制图对每个质量特性分别进行监控往往并不适合[1]。同时监控多个质量特性的控制方案能够准确反映生产状态, 及时发现过程异常。Hotelling (1947)第一次提出多变量 T^2 控制图, 可以有效监测多质量特性的生产过程中发生的偏移[2]。

传统 T^2 控制图的参数(抽样间隔 h , 样本容量 n , 控制限 k)都是确定的, 这类控制图统称为静态 FSR 控制图。静态 FSR 控制图对过程较小的偏移不敏感, 难以满足精益的生产环境需求。基于此, Reynolds (1988)首次提出可变抽样间隔(VSI)控制图[3]。随后, 变采样间隔(VSI)、变样本容量(VSS)、变样本量和采样间隔(VSSI)、变参数(VP)等四种自适应监控方案得到了广泛研究。Aparisi (2001)将自适应方案加入多变量控制图, 研究了可变采样间隔(VSI) T^2 控制图[4]。Faraz (2009)提出了可变样本容量(VSS) T^2 控制图[5]。Mahadik and Shirke (2011)构建了联合可变样本容量和可变抽样区间(VSSI)的 T^2 控制图[6]。Saniga (2015)研究了变参数(VP) T^2 控制图, 并将其性能与其他自适应 T^2 图进行了比较[7]。

Daudin (1992)将双抽样思想加入到控制图中, 即通过两阶段抽样来监控过程, 并与传统的控制图进行对比, 发现其表现出更好的统计特性, 能够减少抽样数量, 提高监测效率[8]。Carot (2002)将双抽样和可变样本间隔相结合, 提出 DSVSI \bar{x} 控制图[9]。PH Lee (2012)构建了 DSVSI \bar{x} 控制图的经济优化方法[10]。Mehdi Katebi (2020)将双抽样和自适应方案同时应用于多元控制图, 提出了 DSVSSI T^2 控制图, 将所提出的 T^2 控制图与现有的标准 T^2 控制图和其他自适应多变量 T^2 图进行比较, 发现 DSVSSI T^2 图能更快地检测平均向量中小到中等的偏移[10]。

自适应控制图可变抽样间隔在实际生产中往往难以操控, 使用 DSVSS 控制图, 可以降低质量检测人员的操控难度。在过程出现异常时, 样本量的扩大能够获得更多的过程信息。万强(2020)基于计件数据, 提出双抽样可变样本间隔 np 图的经济设计方法[11]。本文将双抽样可变样本容量的思想应用于多质量特性计量数据的过程监控中, 提出多质量特性的 DSVSS T^2 控制图, 构建了 DSVSS T^2 控制图的经济优化模型。

2. 双抽样可变样本容量 T^2 控制图

本文首先将多质量特性的抽样过程分为两个阶段, 包含三种不同的检测水平。第一阶段采用两种检测水平, 即小样本检测水平和正常样本检测水平; 第二阶段采用大样本检测水平。两个阶段如图 1 所示。

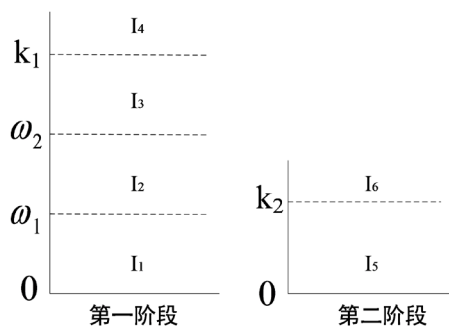


Figure 1. The two phases of DSVSS T^2 control chart
 图 1. DSVSS T^2 控制图两个阶段

现假定生产过程有 p 个需要监控的质量特性, X_1, X_2, \dots, X_p , 质量特性向量 $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ 服从 p 维正态分布, 均值向量 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$, 协方差为 Σ 。抽取容量为 n 的样本, 计算每个样本的样本均值 $\bar{X}_i = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_p)$, 计算样本统计量 T^2 , $T^2 = n(\bar{X}_i - \mu_0)' \Sigma (\bar{X}_i - \mu_0)$, 其中 μ_0 为过程受控状态下的均值向量, 若计算的 T^2 超出控制限, 则过程被标记为失控。

DSVSS T^2 控制图具有 (n_1, n_2, n_3) , (ω_1, ω_2) , (k_1, k_2) , h 八个设计参数, 其中 n_1, n_2 分别表示一阶段抽样的小样本容量和正常样本容量, n_3 表示二阶段抽样的样本容量, $n_1 < n_2 < n_3$; ω_1 为扩大抽样样本容量的警告限, ω_2 为进入二阶段抽样的警告限, $\omega_1 < \omega_2$; k_1, k_2 分别表示两个阶段的控制限, $k_2 < k_1$ 。 h 为固定抽样间隔。为方便描述, 现记: $I_1 = (0, \omega_1)$, $I_2 = (\omega_1, \omega_2)$, $I_3 = (\omega_2, k_1)$, $I_4 = (k_1, \infty)$, $I_5 = (0, k_2)$, $I_6 = (k_2, \infty)$ 。操作步骤如下:

步骤一: 抽取样本量为 n_1 的小样本, 计算样本统计量 T_{11}^2 , 进入步骤二。

- 步骤二: 1) 样本统计量 T_{11}^2 落在 I_1 , 则过程受控, 返回步骤一。
- 2) 样本统计量 T_{11}^2 落在 I_2 , 则过程受控, 进入步骤三。
- 3) 样本统计量 T_{11}^2 落在 I_3 , 则过程受控, 进入步骤五。
- 4) 样本统计量 T_{11}^2 落在 I_4 , 则认为过程失控, 应立即寻找失控原因。

步骤三: 抽取样本量为 n_2 的大样本, 计算样本统计量 T_{12}^2 , 进入步骤四。

- 步骤四: 1) 样本统计量 T_{12}^2 落在 I_1 , 则过程受控, 返回步骤一。
- 2) 样本统计量 T_{12}^2 落在 I_2 , 则过程受控, 返回步骤三。
- 3) 样本统计量 T_{12}^2 落在 I_3 , 则过程受控, 进入步骤五。
- 4) 样本统计量 T_{12}^2 落在 I_4 , 则认为过程失控, 应立即寻找失控原因。

步骤五: 进入二次抽样阶段, 立即抽取样本量为 n_3 的样本, 计算样本统计量 T_2^2 , 进入步骤六。

- 步骤六: 1) 样本统计量 T_2^2 落在 I_5 , 则过程受控, 返回步骤三。
- 2) 样本统计量 T_2^2 落在 I_6 , 则认为过程失控, 应立即寻找失控原因。

其中 $T_{11}^2 = n_1(\bar{X}_1 - \mu_0)' \Sigma (\bar{X}_1 - \mu_0)$, $\bar{X}_1 = \sum_{i=1}^{n_1} X_i$; $T_{12}^2 = n_2(\bar{X}_2 - \mu_0)' \Sigma (\bar{X}_2 - \mu_0)$, $\bar{X}_2 = \sum_{i=1}^{n_2} X_i$;

$T_2^2 = n_3(\bar{X}_3 - \mu_0)' \Sigma (\bar{X}_3 - \mu_0)$, $\bar{X}_3 = \sum_{i=1}^{n_3} X_i$ 。

3. 转移概率矩阵

马尔可夫链作为一种随机过程, 在控制图的相关领域中, 常用来预测控制图各个状态的转移概率, 利用状态转移矩阵去计算控制图的统计指标, 从而对控制图进行统计和经济优化。基于本文的双抽样可

变样本容量 T^2 控制图, 为简单起见, 假设 μ_0 和 Σ 已知, 则 T^2 服从自由度为 p 的中心卡方分布。若过程出现异常, 均值发生偏移, T^2 服从非中心参数为 η 的非中心卡方分布。现将第一阶段的样本统计量 T_{11}^2 和 T_{12}^2 统称为 T_1^2 , 则可将过程分为以下四种状态:

状态一: $T_1^2 \in I_1$

状态二: $T_1^2 \in I_2$

状态三: $T_1^2 \in I_3 \cap T_2^2 \in I_5$

状态四: $T_1^2 \in I_4, T_1^2 \in I_3 \cap T_2^2 \in I_6$

其中状态四为吸收态, 马尔可夫链转移矩阵 P 如下:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

其中 P_{ij} 为状态 i 转移到状态 j 的概率, 因此

$$P_{11} = P(T_1^2 \in I_1 | n_1; h) = P(T_1^2 \leq w_1) = F(w_1, p, \eta = n_1 \delta^2)$$

$$P_{12} = P(T_1^2 \in I_2 | n_1; h) = P(w_1 \leq T_1^2 \leq w_2) = F(w_2, p, \eta = n_1 \delta^2) - F(w_1, p, \eta = n_1 \delta^2)$$

$$\begin{aligned} P_{13} &= P(T_1^2 \in I_3 \& T_2^2 \in I_5 | n_1; h) = P(w_2 \leq T_1^2 \leq k_1) \times P(T_2^2 \leq k_2) \\ &= [F(k_1, p, \eta = n_1 \delta^2) - F(w_2, p, \eta = n_1 \delta^2)] \times F(k_2, p, \eta = n_3 \delta^2) \end{aligned}$$

$$P_{14} = 1 - \sum_{i=1}^3 P_{1i}$$

$$P_{21} = P_{31} = P(T_1^2 \in I_1 | n_2; h) = P(T_1^2 \leq w_1) = F(w_1, p, \eta = n_2 \delta^2)$$

$$P_{22} = P_{32} = P(T_1^2 \in I_2 | n_2; h) = P(w_1 \leq T_1^2 \leq w_2) = F(w_2, p, \eta = n_2 \delta^2) - F(w_1, p, \eta = n_2 \delta^2)$$

$$\begin{aligned} P_{23} = P_{33} &= P(T_1^2 \in I_3 \& T_2^2 \in I_5 | n_2; h) = P(w_2 \leq T_1^2 \leq k_1) \times P(T_2^2 \leq k_2) \\ &= [F(k_1, p, \eta = n_2 \delta^2) - F(w_2, p, \eta = n_2 \delta^2)] \times F(k_2, p, \eta = n_3 \delta^2) \end{aligned}$$

$$P_{24} = P_{34} = 1 - \sum_{i=1}^3 P_{2i} = 1 - \sum_{i=1}^3 P_{3i}$$

其中 $F(x, p, \eta)$ 为非中心卡方分布的累计概率分布函数, p 为自由度, 即需要监控的质量特征的个数, η 为非中心参数, 计算公式为 $\eta = n\delta^2$, 其中 δ 为多变量均值向量漂移量。

4. 统计指标计算

统计指标常用来测评控制图的性能表现。主要有受控状态下过程平均运行链长 ARL_0 , 平均周期时间 ATS_0 以及一个控制周期的平均抽样数 ANI_0 和失控状态下平均周期时间 ATS_1 以及一个控制周期的平均抽样数 ANI_1 , 计算公式分别如下:

$$ARL_0 = b'(I - Q_0)^{-1} l$$

$$ATS_0 = b'(I - Q_0)^{-1} h_0$$

$$ANI_0 = b'(I - Q_0)^{-1} N$$

$$ATS_1 = b'(I - Q_1)^{-1} h_0$$

$$ANI_1 = b'(I - Q_1)^{-1} N$$

其中 $b' = (b_1, b_2, b_3)$ 为初始状态概率矩阵, 为避免在过程开始就出现异常, 一般设 $b' = (0, 1, 0)$; I 为 3×3 单位矩阵; Q_0 为多变量均值不发生漂移时 ($\delta = 0$) 转移概率矩阵 P 删除吸收态后的 3×3 矩阵, Q_1 为多变量均值发生漂移时 ($\delta > 0$) 转移概率矩阵 P 删除吸收态后的 3×3 矩阵; $l' = (1, 1, 1)$; h 为取样间隔, 由于该控制图采样间隔固定, 则取样间隔向量 $h'_0 = (h, h, h)$; N 为取样个数向量, 则 $N' = (n_1, n_2, n_3)$ 。

5. 经济模型构建

为方便该控制图经济成本的计算, 现假设如下:

- 控制图从受控状态开始运行;
- 控制图受控时间服从均值为 $1/\lambda$ 的指数分布;
- 控制图发生警报后, 便停止运行, 查找异常原因并完全维修;
- 二次抽样间隔为 0。

本文采用 Lorenzen-Vance 经济模型[11], 首先计算控制图的单个过程周期时间 $E(T)$ 。其中包括受控时间 x , 其服从均值为 $1/\lambda$ 的指数分布; 失控时间 $AATS$, 由 ATS_1 减去过程漂移与之前最后一次抽样之间的

的时间期望值 τ , 因为受控时间 x 服从均值为 $1/\lambda$ 的指数分布, $\tau = E(x|0 < x < h) = \frac{1 - e^{-\lambda h}(\lambda h + 1)}{\lambda(1 - e^{-\lambda h})}$,

$AATS = ATS_1 - \tau$; 查找过程异常并完全维修的时间 ε , 是一个常量, 则有

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + AATS + \varepsilon$$

将控制图从开始运行至报警记为一个运行周期, 则控制图在一个运行周期内的成本, 主要由五个部分组成:

1) 受控状态下的过程成本

记受控状态下单位时间成本为 c_1 , 因为受控时间服从均值为 $1/\lambda$ 的指数分布, 则受控状态下的过程成本为 c_1/λ 。

2) 失控状态下的过程成本

记失控状态下的单位时间成本为 c_2 , 失控时间为 $AATS$, 则失控状态下的过程成本为 $c_2 \times AATS$ 。

3) 误报警成本

记寻找一个误报警的成本为 c_3 , 受控状态下的期望抽样次数为 s , 受控下的平均抽样次数等于过程开始到过程均值发生偏移前最后一次抽样的时间长度除以平均抽样间隔, 由于抽样间隔固定, 则

$$s = \frac{1/\lambda - \tau}{E(h)} = \frac{1/\lambda - \tau}{h}, \text{ 误报警的概率为 } 1/ARL_0, \text{ 则误报警成本为 } \frac{c_3 s}{ARL_0}。$$

4) 抽样和检测成本

记一次抽样检测的固定成本为 c_4 , 则单个过程周期抽样检测的固定成本为 $c_4(s + AATS/h)$; 单个样品检测成本为 c_5 , 受控状态下, 平均周期时间和平均抽样数分别为 ATS_0 和 ANI_0 , 则受控状态下的平均单位时间抽样数为 $\frac{ANI_0}{ATS_0}$, 当受控时间服从均值为 $1/\lambda$ 的指数分布时, 受控状态下的样本抽样与检测成

本为 $c_5 \times 1/\lambda \times \frac{ANI_0}{ATS_0}$ ；失控状态下，平均周期时间和平均抽样数分别为 ATS_1 和 ANI_1 ，则失控状态下的平均单位时间抽样数为 $\frac{ANI_1}{ATS_1}$ ，失控时间为 $AATS$ ，失控状态下的样本抽样与检测成本为 $c_5 \times AATS \times \frac{ANI_1}{ATS_1}$ ；

则抽样和检测的总成本为 $c_4 \left(s + \frac{AATS}{h} \right) + c_5 \left(1/\lambda \times \frac{ANI_0}{ATS_0} + AATS \times \frac{ANI_1}{ATS_1} \right)$ 。

5) 查找异常原因并完全维修的成本

记寻找异常原因并完全维修所需成本为 c_6 ，为一个常量。

综上，一个运行周期内的总成本 $E(C)$ 为：

$$E(C) = \frac{c_1}{\lambda} + c_2 \times AATS + \frac{c_3 s}{ARL_0} + c_4 \left(s + \frac{AATS}{h} \right) + c_5 \left(1/\lambda \times \frac{ANI_0}{ATS_0} + AATS \times \frac{ANI_1}{ATS_1} \right) + c_6$$

则单位时间的运行成本函数 $E(A) = \frac{E(C)}{E(T)}$ ，该控制图的经济优化模型的目标函数为：

$$\begin{aligned} \min \quad & E(A) \\ \text{s.t.} \quad & 0 < n_1 < n_2 < n_3 \leq n_{\max} \\ & n_1, n_2, n_3 \in N^+ \\ & 0 < k_2 < k_1 \\ & 0 < w_l < w_n < k_1 \end{aligned}$$

优化目标是确定控制图参数 $(w_1, w_2, k_1, k_2, n_1, n_2, n_3, h)$ 使得该控制图单位时间的运行成本最小。

6. 数值计算

假定某生产过程需要同时监控的质量特性有 3 个，即 $p=3$ 。系统异常运行时仅导致均值发生偏移，多变量均值向量偏移量 $\delta=0.9$ 。系统受控状态下的运行时间服从均值为 $1/\lambda=100$ 的指数分布。本文的模型参数初始值参照 Lorenzen 和 Vance [12] 在其文献中的设定值，即受控状态下单位时间成本 $c_1=114.24$ ，失控状态下的单位时间成本 $c_2=949.2$ ，寻找一个误报警的成本 $c_3=977.4$ ，一次抽样检测的固定成本 $c_4=2$ ，单个样品成本 $c_5=4.22$ ，寻找异常原因并完全维修所需成本 $c_6=1086$ ，查找过程异常并完全维修的时间 $\varepsilon=5/60$ 。将上述数据代入运行成本函数 $E(A) = \frac{E(C)}{E(T)}$ ，利用 MATLAB 遗传算法工具箱，得

到 8 个决策变量 $(n_1, n_2, n_3, h, w_1, w_2, k_1, k_2)$ 和单位时间运行成本 $E(A)$ 的最优解如表 1 所示。

Table 1. Optimal decision variables and objective function values

表 1. 最优决策变量及目标函数值

n_1	n_2	n_3	h	w_1	w_2	k_1	k_2	$E(A)$
2	5	22	1.929	2.453	4.304	23.386	10.188	163.266

7. 灵敏度分析

为了研究均值向量漂移对决策变量及目标函数的影响，在上节基础之上进行灵敏度分析，如表 2 所示。

Table 2. The influence of mean vector drift on decision variables
表 2. 均值向量漂移量 δ 对决策变量的影响

δ	n_1	n_2	n_3	h	w_1	w_2	k_1	k_2	$E(A)$
0.5	2	5	29	4.518	0.892	0.919	18.872	6.698	199.260
1	2	5	19	1.800	3.016	4.653	22.376	10.597	158.253
1.5	2	5	12	1.632	5.579	6.279	22.925	12.605	144.245
2	2	5	8	1.607	8.217	8.286	23.623	13.607	139.608

由表 2 可知随着漂移量 δ 的增大, 第一阶段抽样的样本容量 n_1 , n_2 不变, 第二阶段抽样的样本容量 n_3 减小, 抽样间隔 h 减小, 警戒限 w_1 , w_2 增加, 控制限 k_1 , k_2 增加, 单位时间运行成本 $E(A)$ 减小, 说明对于 DSVSS T^2 控制图而言, 当生产过程均值向量发生微小偏移时单位时间成本较高, 这是因为尽管自适应控制图对微小偏移的反应足够及时, 能有效避免过程异常时的生产损失, 但当微小偏移发生时, 需要抽取更多的样本去获得生产过程的信息, 抽样成本将会增加, 单位时间成本将增加。

8. 结论

本文提出的 DSVSS T^2 控制图可以同时监控多个关键质量特性, 将双抽样(DS)策略和可变样本容量(VSS)联合, 提高了控制图在检测平均向量中位移的灵敏度且易于操控。利用马尔可夫链方法导出控制图统计指标的计算公式并构建单位时间成本模型, 提出双抽样可变样本容量(DSVSS) T^2 控制图的优化设计方法。灵敏度分析表明随着均值向量漂移量递增, 一阶段抽样样本量不变, 二阶段抽样样本量递减, 控制图的抽样间隔递减, 警戒限和控制限递增, 单位时间成本递减。

参考文献

- [1] Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G. (2012) Introduction to Linear Regression Analysis. John Wiley & Sons, Hoboken.
- [2] Hotelling, H. (1947) Multivariate Quality Control, Illustrated by the Air Testing of Sample Bombsights. In: Eisenhart, C., Hastay, M.W. and Wallis, W.A., Eds., *Techniques of Statistical Analysis*, McGraw Hill, New York, 111-184.
- [3] Reynolds, M.R., Amin, R.W., Arnold, J.C., et al. (1988) Charts with Variable Sampling Intervals. *Technometrics*, **30**, 181-192. <https://doi.org/10.1080/00401706.1988.10488366>
- [4] Aparisi, F. and Haro, C.L. (2001) Hotelling's T^2 Control Chart with Variable Sampling Intervals. *International Journal of Production Research*, **39**, 3127-3140. <https://doi.org/10.1080/00207540110054597>
- [5] Faraz, A. and Moghadam, M.B. (2009) Hotelling's T^2 Control Chart with Two Adaptive Sample Sizes. *Quality & Quantity*, **43**, 903-913. <https://doi.org/10.1007/s11135-008-9167-x>
- [6] Mahadik, S.B. and Shirke, D.T. (2011) A Special Variable Sample Size and Sampling Interval Hotelling's T^2 Chart. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **53**, 379-384. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2819-8>
- [7] Seif, A., Faraz, A. and Saniga, E. (2015) Economic Statistical Design of the VP T^2 Control Charts for Monitoring a Process under Non-Normality. *International Journal of Production Research*, **53**, 4218-4230. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.986298>
- [8] Daudin, J.J. (1992) Double Sampling X Charts. *Journal of Quality Technology*, **24**, 78-87. <https://doi.org/10.1080/00224065.1992.12015231>
- [9] González-Martínez, C., Becerra, M., Cháfer, M., et al. (2002) Influence of Substituting Milk Powder for Whey Powder on Yoghurt Quality. *Trends in Food Science & Technology*, **13**, 334-340. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00160-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00160-7)
- [10] Katebi, M. and Moghadam, M.B. (2020) A Double Sampling Multivariate T^2 Control Chart with Variable Sample Size and Variable Sampling Interval. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, **8**, 1-18.

<https://doi.org/10.1080/03610918.2020.1716246>

- [11] 万强. 基于经济设计的双抽样可变抽样间隔 np 控制图[J]. 统计与决策, 2019, 35(17): 71-74.
- [12] Lorenzen, T.J. and Vance, L.C. (1986) The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach. *Technometrics*, **28**, 3-10. <https://doi.org/10.1080/00401706.1986.10488092>