相同支单元和联系统可靠性评定算法程序实现

王 旭　陈景鹏　金 星

（解放军装备指挥技术学院　北京　101416）

摘要：随着军事装备现代化发展，技术含量提高，系统可靠性分析、评价问题日益重要。系统可靠性评定是根据系统结构特征建立相应的数学模型，通过适当的算法来实现。针对系统模型为和联并且支单元相同的情况，将用 C 语言编程实现 Bayes 方法和经典方法评定系统可靠性，算出相应近似下限，实现可靠性工程方法在实际问题中的应用。

关键词：可靠性评定　和联系统　支单元　中心单元

0　前言

和联系统广泛出现于通信、控制等领域，是指系统的规定任务由 n 个不能互相取代的支任务组成，其第 i 个（$i=1,2,\ldots,n$）支任务由相应的支路单元 B_i 及中心单元 C 配合完成[1]。结构如图 1 所示。

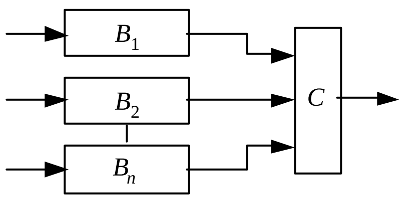

图 1　和联系统示意图

相同支单元和联系统一般包括三种情况：①相同二项支单元与二项中心单元和联系统；② 相同二项支单元与指数中心单元和联系统；③ 相同指数支单元与指数中心单元和联系统。它们的算法相似，以下以相同二项支单元与指数中心单元和联系统为例进行说明。

1　Bayes 方法求解系统的近似下限[1,2]

计算所需的系统试验基本数据包括：指数中心单元的失效次数 z_c；指数中心单元的等效任务数 ς_c；二项支单元的成功次数 s_1；二项支单元的试验次数 n_1；及评定的置信水平 ã。

取先验参数：s_{01} =0.5961185917，n_{01} =0.8430389971，z_{0c} =0.2610987503，ς_{0c} =0.3608679124。

将$(s_{01}+s_1, n_{01}+n_1)$，$(z_{0c}+z_c, \varsigma_{0c}+\varsigma_c)$分别代替$(s_1,n_1)$，$(z_c,\varsigma_c)$代入下述公式求和联系统可靠性的一阶矩 ì、二阶矩 í

$$\begin{cases} m = s_1/n_1 \cdot \left(\dfrac{h_c}{h_c+1}\right)^{z_c} \\ n = \dfrac{s_1(s_1+1)}{n_1(n_1+1)}\left(\dfrac{h_c}{h_c+2}\right)^{z_c} \end{cases}$$

1.1　转化为等效成败型

依据以下公式将参数转化为等效成功次数 s；等效失败次数 f 。

$$\begin{cases} s = m(m-n)/(n-m^2)-0.5 \\ f = (s+0.5)(1-m)/m-0.5 \end{cases}$$

通过求解 â 函数 $I_{\tilde{R}_L}(s+0.5, f+0.5)=1-g$ 的反函数，得到系统可靠性的 Bayes 第一近似下限 $\tilde{R}_L$ 。

程序根据所取先验参数及输入参数，以 C 语言实现函数(ì ,í)=BFunc(z_c, ς_c, s_1, n_1)求得该和联系统的一阶矩、二阶矩。

通过函数(s, f)=BsfFunc(ì , í)得到等效成败型的成功次数 s 和失败次数 f。再调用 $\hat{a}$ 分布函数 I 的反函数，计算 $\tilde{R}_L$ =BR1Func(s, f, $\tilde{a}$)，得到该系统可靠性的 Bayes 第一近似下限。

1.2 转化为等效指数型

取先验参数：ς_0=0.3608679122, z_0=0.5221975004。

依据以下公式将参数转化为等效的等效任务数 h 和等效的失效次数 z

$$\begin{cases} c = -\ln ì / \ln(ì / í) \\ \varsigma = \dfrac{3-c}{2(c-1)-0.335(c-1)^3} - \varsigma_0 \\ z = -\ln ì \Big/ \ln\left(\dfrac{\varsigma+\varsigma_0+1}{\varsigma+\varsigma_0}\right) - z_0 \end{cases}$$

通过求解 $\tilde{A}$ 函数 $I_{-(h+h_0)\ln \bar{R}_L}(z+z_0)$ 的反函数，得到系统可靠性的 Bayes 第二近似下限 $\bar{R}_L$ 。

同样，程序首先调用函数(ì ,í)=BFunc(z_c, ς_c, s_1, n_1)计算和联系统的一阶矩、二阶矩。然后程序以函数(ς,z)=BçzFunc(ì ,í)计算等效指数型的等效任务数 ς 和失效次数 z，再调用 $\tilde{A}$ 分布函数 I 的反函数计算 $\bar{R}_L$ =BR2Func(ς, z, $\tilde{a}$)，得到该系统可靠性的 Bayes 第二近似下限。

依据和联系统类型通过函数 DFunc( ) = (0,1)选择处理函数：DFunc( ) = 0，表示求解类型为相同二项支单元与指数中心单元和联系统的第一近似下限；DFunc( ) = 1，表示求解类型为相同二项支单元与指数中心单元和联系统的第二近似下限。程序流程图如图 2 所示。

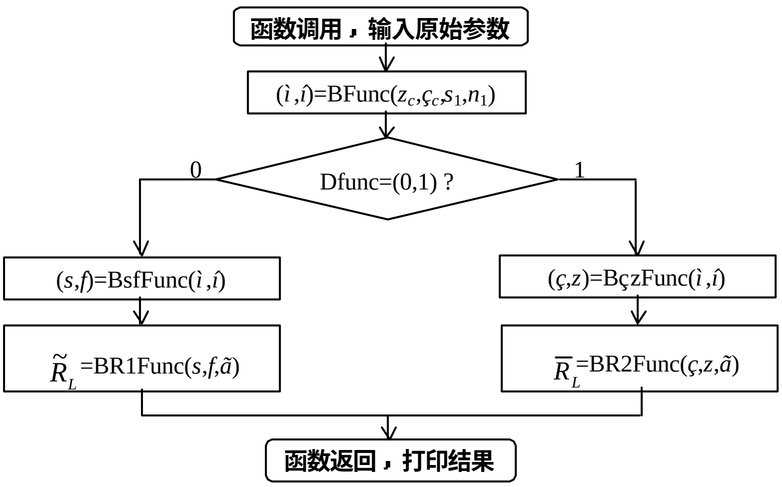

图 2 Bayes 方法程序流程图

2 以经典方法求解系统的近似下限[1,2]

首先判断原始样本参数：①若：f_1=z_c=0,则 f=z=0,n=ς=min(n_1, ς_c)，(f_1 为二项支单元的失败次数，f_1=n_1-z_1)，应用公式：$R_L = [2(1-g)]^{\frac{1}{n}}$ 直接求得系统的经典近似下限；②若：f_1=0, z_c≠0 时，且 s_1＜ς_c,

将(z_c, ς_c)压缩为$(z_c s_1/\varsigma_c, s_1)$ ；③若：$f_1 \neq 0$, $z_c=0$ 时，且 $\varsigma_c < s_1$，将(s_1, n_1)压缩为$(\varsigma_c, n_1\varsigma_c/s_1)$。

然后，对于未满足判断条件的原始样本参数或满足条件并已经按条件完成相应变换的样本参数，应用下述公式计算样本参数的均值 $\hat{R}$、方差 $\hat{D}$

$$\begin{cases} \hat{R} = \dfrac{s_1}{n_1} e^{-z_c/h_c} \\ \hat{D} = \hat{R}^2 \left(\dfrac{f_1}{n_1 s_1} + \dfrac{z_c}{h_c^2} \right) \end{cases}$$

2.1 转化为等效成败型

依据以下公式将参数转化为等效成功次数 s ；等效失败次数 f 。

$$\begin{cases} s = \hat{R}^2 (1-\hat{R}) / \hat{D} \\ f = \hat{R}(1-\hat{R})^2 / \hat{D} \end{cases}$$

通过求解 $\hat{a}$ 函数和$0.5 I_{\tilde{R}_L}(s+1, f) + 0.5 I_{\tilde{R}_L}(s, f+1) = 1-g$ 的反函数（即分位数计算）得到系统可靠性的经典第一近似下限 $\tilde{R}_L$ 。

2.2 转化为等效指数型

依据以下公式将参数转化为等效的等效任务数 ς 和等效的失效次数 z

$$\begin{cases} h = -\hat{R}^2 \ln \hat{R} / \hat{D} \\ z = -h \ln \hat{R} \end{cases}$$

通过求解 $\tilde{A}$ 函数和：$0.5 I_{-h \ln \overline{R}_L}(z+1) + 0.5 I_{-h \ln \overline{R}_L}(z) = g$ 的反函数（即分位数计算）得到系统可靠性的经典第二近似下限 $\overline{R}_L$ 。

应用 C 语言，编程实现对输入原始数据的判断，程序首先以函数 CdtDFunc(s_1, n_1, z_c, ς_c)=(0,1,2)对传入的原始参数作出判断：① 若满足条件 $f_1=z_c=0$，则函数返回 0，调用函数 CRFunc(n, $\tilde{a}$)，根据公式 $R_L = [2(1-g)]^{\frac{1}{n}}$ 计算出系统的经典近似下限；② 若满足条件 $f_1=0$，$z_c \neq 0$，则函数返回结果 1，调用压缩变换函数 TranFunc(s_1, n_1, z_c, ς_c, cl)($cl=1$，为参数类型判别参数)，根据参数的压缩变换公式实现相应参数的压缩变换； ③若满足条件 $f_1 \neq 0$，$z_c=0$，则函数返回结果 2，同样调用函数 TranFunc(s_1, n_1, z_c, ς_c, cl)($cl=2$)，实现对参数的压缩变换。

程序通过函数 RDFunc( )求出系统的 $\hat{R}$， $\hat{D}$ 的值，然后调用选择处理函数参数 DFunc( )= (0,1)，返回值为 0，则应用函数(s, f)=CsfFunc($\hat{R}$, $\hat{D}$)得到等效成败型的成功次数 s 和失败次数 f，再调用 $\hat{a}$ 分布函数 I 的反函数，计算 $\tilde{R}_L$ =CR1Func(s, f, $\tilde{a}$)，得到该系统可靠性的经典第一近似下限；返回值为 1，则通过函数(ς, z)=CçzFunc($\hat{R}$, $\hat{D}$)得到等效指数型的等效任务数 ς 和等效失效次数 z。再调用 $\tilde{A}$ 分布函数 I 的反函数，计算 $\overline{R}_L$ =CR2Func(ς, z, $\tilde{a}$)，得到该系统可靠性的经典第二近似下限。程序流程图如图 3 所示。

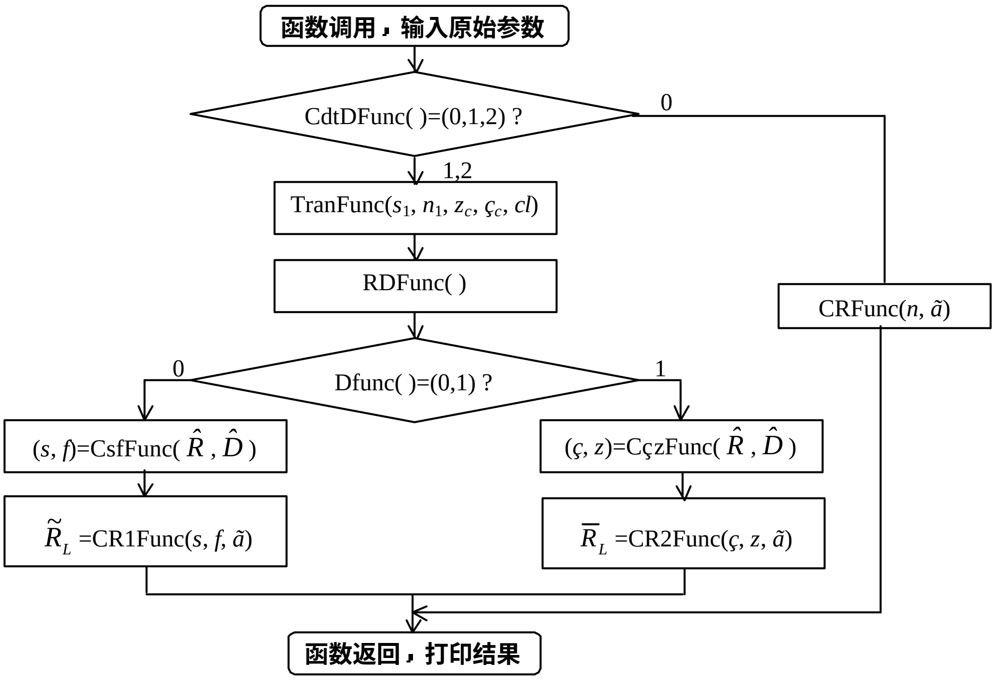

图 3　经典方法程序流程图

3　实例分析

相同的二项支单元的试验数据为$(s_1,n_1)=(19,20)$，**指数中心单元的试验数据为**$(z_c,ç_c)=(2,30)$，**求** $\tilde{a}$ ＝0.90 **时，和联系统的可靠性下限**[2]。

解:

(1)Bayes **方法**

可算得

$ì$ =0.8737487367,　$í$ =0.7674240186.

s=22.800044,　　f=2.866712,　　$\tilde{R}_L$ =0.788007,

$ç$=24. 054898,　　z=2.840043,　　$\overline{R}_L$ =0.787928.

(2)**经典方法**

可算得

$\hat{R}$ ＝0.8887316358,　$\hat{D}$ =3.833745345×10^{-3} .

s =22.923964,　　f =2.870059,　　$\tilde{R}_L$ =0.785220,

$ç$=24.302594,　　z =2.866733,　　$\overline{R}_L$ =0.783850.

由结果可见，无论是 Bayes **方法，还是经典方法，系统可靠性评定结果基本一致，可选取其中之一为评定结果。**

4 结论

应用计算机实现对装备系统的可靠性评定是一项有意义的工作，本文仅就系统可靠性评定中一个小问题做了一点尝试，期望能得到各位专家的批评指正。

参 考 文 献

1 周源泉，翁朝曦．可靠性评定．北京：科学技术出版社，1990
2 周源泉，质量可靠性增长与评定方法．北京：北京航空航天大学出版社，1997

作者简介：王 旭：男，1978 年 2 月出生，北京市人。国防科技大学本科毕业，解放军装备指挥技术学院助理工程师。
陈景鹏：男，1972 年 5 月出生，黑龙江省大庆市人。哈尔滨工业大学获硕士学位，解放军装备指挥技术学院讲师。
金 星：男，1962 年 10 月出生，吉林省龙井市人。解放军装备指挥技术学院副教授，博士，硕士导师，机械工程学会高级会员。研究方向为安全可靠性与故障诊断。

联系人： 王旭
联系地址：北京 3380 信箱 86 号 101416
联系电话：010_66364129
传真： 010_66364129