1996年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

障害の大きさを考慮した ソフトウェアの信頼性実証試験に関する連続型モデル

01204874　流通科学大学情報学部　＊　澤田　清　SAWADA Kiyoshi
01204194　三道　弘明　SANDOH Hiroaki

1. はじめに

信頼性実証試験 [1]（Reliability Demonstration Testing）は，ハードウェア製品の開発段階終了後，そのハードウェアに目標とする信頼性が十分に実現されているかどうかの実証・確認を目的として考案された．ソフトウェアの品質保証の方法が問題となっている今日，ソフトウェア製品に対してもこのような信頼性実証試験を実施することは，信頼性という意味での品質向上に貢献すると考えられる．

このような考え方に基づき，筆者らは，これまで，生産システムの制御ソフトウェアや計算機のＯＳのように，時間に関して連続的に用いられるソフトウェアに対して，信頼性実証試験の適用を試みた [2],[3]．そこでは，ハードウェアに対して提案されてきた方法と同様に，統計的検定論の考え方に基づき生産者リスクと消費者リスクの値を指定する方法を用いた．しかし，これまでの信頼性実証試験は，試験期間中に生起するソフトウェア障害の回数のみに基づくものであり，ソフトウェア障害の大きさは考慮していなかった．本研究では，ソフトウェア障害の大きさが何らかの方法で定量的に評価しうるものと仮定し，障害の大きさを考慮した信頼性実証試験方法について考案する．

2. 障害回数に基づく信頼性実証試験

ここでは，これまでに提案してきた障害回数のみに注目した信頼性実証試験方法を概観する．この方法は，対象ソフトウェアに対して t 時間の試験を行い，試験期間中に生起したソフトウェア障害回数が s 以下ならばそのソフトウェアを合格，$s+1$ 以上ならば不合格とするというものである．このとき，$t(t>0)$，$s(s=0,1,2,\cdots)$ の値を次のように決定すればよい．

ここで，ソフトウェアの生産者がその開発を受注したときのソフトウェアの平均ソフトウェア障害時間間隔 MTBSF に対する契約の値，および消費者が受け入れ可能な MTBSF の下限値をそれぞれθ_0，θ_1と書くこととする（$\theta_0 \geq \theta_1$）．

ここでは，次のように仮定する．

(i) ソフトウェア障害時間間隔は平均θの指数分布に従う．

(ii) 試験中に発生したソフトウェア障害に対するバグの検出・修正は，試験終了後にまとめて実施する．すなわち，MTBSF は試験の間は変化しない．

(iii) θ_0，θ_1は試験開始時点での MTBSF に対する値を表す．

このとき，生産者リスク，消費者リスクはそれぞれ

$$Pr[R|\theta=\theta_0] \;=\; 1-\sum_{i=0}^{s}\frac{(t/\theta_0)^i}{i!}e^{-t/\theta_0} \qquad (1)$$

$$Pr[A|\theta=\theta_1] \;=\; \sum_{i=0}^{s}\frac{(t/\theta_1)^i}{i!}e^{-t/\theta_1} \qquad (2)$$

となる．ただし，R，A はそれぞれ，対象ソフトウェアを不合格および合格と判定することを表す．このとき，障害回数に基づく信頼性実証試験の設計は，式 (1)，(2) の左辺の値をそれぞれα，βと指定し，それを t，s に関して解けばよい．

3. 障害の大きさを考慮した信頼性実証試験

3.1 問題の設定

ここでは，ソフトウェア障害の大きさを考慮した信頼性実証試験方法について考察する．すなわ

ち，対象ソフトウェアに対して t 時間の試験を実施し，試験期間中に生起したソフトウェア障害の大きさの総和が d 未満ならば合格，d 以上であれば不合格とする．この場合の決定変数は，$t(t>0)$ と $d(d\geq 0)$ である．

3.2 障害の大きさが一般分布の場合

ここでも，2.と同様の記号と仮定を前提とする．さらに，k番目に生起するソフトウェア障害の大きさ $X_k(k=1,2,\cdots)$ が，それぞれ独立で同一の確率分布 $F(x)$ に従うものとする．また，試験期間中の障害の総和を Dと書くこととする．

このとき，生産者リスクおよび消費者リスクは，各々次のようになる．

$$
\begin{aligned}
&Pr[R|\theta=\theta_0]\\
&= Pr[D\geq d|\theta=\theta_0]\\
&= \sum_{i=1}^{\infty} Pr\left[\sum_{k=1}^{i} X_k \geq d\right]\frac{(t/\theta_0)^i}{i!}e^{-t/\theta_0}\\
&= \sum_{i=1}^{\infty}\left[1-F^{(i)}(d)\right]\frac{(t/\theta_0)^i}{i!}e^{-t/\theta_0} \qquad (3)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&Pr[A|\theta=\theta_1]\\
&= Pr[D< d|\theta=\theta_1]\\
&= e^{-t/\theta_1}+\sum_{i=1}^{\infty} Pr\left[\sum_{k=1}^{i} X_k < d\right]\frac{(t/\theta_1)^i}{i!}e^{-t/\theta_1}\\
&= e^{-t/\theta_1}+\sum_{i=1}^{\infty} F^{(i)}(d)\frac{(t/\theta_1)^i}{i!}e^{-t/\theta_1} \qquad (4)
\end{aligned}
$$

ただし，

$$F^{(i)}(d) = \int_0^d F^{(i-1)}(d-x)dF(x) \qquad (5)$$

$$F^{(1)}(d) = F(d) \qquad (6)$$

とする．従って，障害の大きさを考慮した信頼性実証試験は，式(3)，(4)の左辺の値をそれぞれα，βと指定することによって得られる連立方程式を t，d に関して解くことにより設計可能である．

3.3 障害の大きさが指数分布の場合

3.2では，障害の大きさを一般分布として定式化した．ここでは，障害の大きさが平均μの指数分布に従う場合を考える．このとき，生産者リスクおよび消費者リスクは，それぞれ，式(3)，(4)より，

$$
\begin{aligned}
&Pr[R|\theta=\theta_0]\\
&= \sum_{i=1}^{\infty}\left[\sum_{k=0}^{i-1}\frac{(d/\mu)^k}{k!}e^{-d/\mu}\right]\frac{(t/\theta_0)^i}{i!}e^{-t/\theta_0} \qquad (7)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&Pr[A|\theta=\theta_1]\\
&= e^{-t/\theta_1}\\
&\quad +\sum_{i=1}^{\infty}\left[\sum_{k=i}^{\infty}\frac{(d/\mu)^k}{k!}e^{-d/\mu}\right]\frac{(t/\theta_1)^i}{i!}e^{-t/\theta_1} \qquad (8)
\end{aligned}
$$

となる．この場合，θ_0，θ_1，μ，α，βの値を与えることにより，t，d を求めることができる．

ここでは，紙数の関係上数値例は割愛することとし，当日報告させて頂く．

文献

[1] N.R. Mann, R.E. Schafer and N.D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, John Wiley, New York (1974).

[2] 三道弘明, 澤田　清, “ソフトウェアに対するゼロ障害型信頼性実証試験に関する研究,” 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J73–A, No.3, pp.564–569 (1990).

[3] H. Sandoh, “Reliability demonstration testing for software,” *IEEE Trans. Reliability*, Vol.R–40, No.1, pp.117–119 (1991).