

バグ間相互作用を考慮したソフトウェア信頼度成長曲線

堀田 裕史†

富山短期大学†

1 はじめに

デバッグの過程で、バグが別のバグの存在を隠す場合がある。前方のバグで変数に不正な値がセットされ、後方のバグがその不正な値に対し不正な処理をしても、前方のバグのため存在がわからない等である。このような状況をバグ間相互作用と名付け、モデル化を試みる。

2 モデル化

2.1 バグ間相互作用とダイアグラム

ソフトウェア内のバグの箇所をバグサイトと呼ぶ。モジュール分割、相互作用の個性などは考慮しない。バグ間相互作用を図 1 のように模式化する。

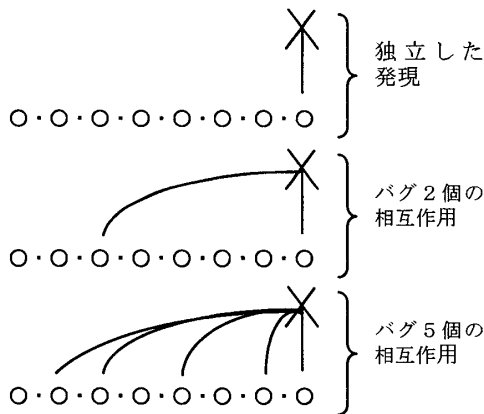


図 1 バグ間相互作用のダイアグラム

2.2 バグサイト毎のバグ存在確率の時間変化

各バグサイトのバグ存在確率を $f_n(t)$ とする。バグサイト数 (初期バグ数) を N 、バグサイト 1 個当たりの単位時間バグ検出率を $d(t)$ とする。 α_n を「バグ検出率の実効係数」と呼ぶこととし、次式で定義する。 α_n の分母は n 番目のバグと $1 \sim (n-1)$ 番目のバグとの相互作用を含むバグの全発現率を表している。 γ_k は k 個のバグ相互作用の強さの程度を表現する定数とする。

$$\frac{df_n(t)}{dt} = -\alpha_n d(t) f_n(t) \quad n = 1, \dots, N$$

$$\alpha_n = \frac{\text{(独立したバグの発現率)}}{\text{(バグ間相互作用を含む全バグの発現率)}} = \frac{d(t) f_n(t)}{\left\{ 1 + \sum_{k=2}^{n-1} \gamma_k \left(\sum_{i_1 < i_2 < \dots < i_k} \prod_{\mu=1}^k f_{i_\mu}(t) \right) \right\} d(t) f_n(t)}$$

以後、 $\gamma_k = \beta^{k-1}$ とし、 β でバグ間相互作用の強さをパラメータ化する。

$$\alpha_n = \frac{1}{\prod_{i=1}^{n-1} [1 + \beta f_i(t)]}$$

$$\frac{df_n(t)}{dt} = -\frac{d(t)}{\prod_{i=1}^{n-1} [1 + \beta f_i(t)]} f_n(t)$$

$$f_n(t) = \frac{(1 + \beta)^{n-1} \exp(-D(t))}{1 + \{(1 + \beta)^{n-1} - 1\} \exp(-D(t))}$$

ここに、 $D(t) = \int_{s=0}^t d(s) ds$

2.3 残留バグ数の時間変化

残留バグ数の期待値を $F(t)$ とする。バグサイトに関する総和を積分で近似する。

$$f_n(t) = \frac{(1 + \beta)^{n-1} \exp(-D(t))}{1 + \{(1 + \beta)^{n-1} - 1\} \exp(-D(t))}$$

$$F(t) = \sum_{n=1}^N f_n(t) \approx \int_{x=1}^{N+1} dx \frac{(1 + \beta)^{x-1} \exp(-D(t))}{1 + \{(1 + \beta)^{x-1} - 1\} \exp(-D(t))}$$

$$F(t) \approx \frac{1}{\log(1 + \beta)} \log[1 + \{(1 + \beta)^N - 1\} \exp(-D(t))]$$

2.4 信頼度成長曲線

信頼度成長曲線を、 $Y(t)$ とする。

$$Y(t) = N - F(x) \quad \text{より、}$$

$$Y(t) \approx \frac{1}{\log(1 + \beta)} \log \left[\frac{(1 + \beta)^N}{1 + \{(1 + \beta)^N - 1\} \exp(-D(t))} \right]$$

$t \rightarrow 0$ のとき、 $Y(t) \rightarrow 0$ ($D(t) = \int_{s=0}^t d(s) ds$ より)

$t \rightarrow \infty$ のとき、 $Y(t) \rightarrow N$

3 結果：ケース I

バグ検出率一定を仮定する。 $d(t) = a$ 、 $D(t) = at$ (a は定数) とした計算例を、ケース I とする。

3.1 バグサイト別のバグ存在確率

A Proposal of the Software Reliability Growth Curve Considering the Effect of the Interactions between Bugs in Software

† Toyama College, 444 Gankaiji, Toyama City, Japan. 930-0192

- (1) 最初のバクサイトは exponential decay で、2 番目以降のバクサイトは S 字曲線である。
 (2) 変曲点は $t_n = \log\{(1+\beta)^{n-1} - 1\} / a$; $n > 1$

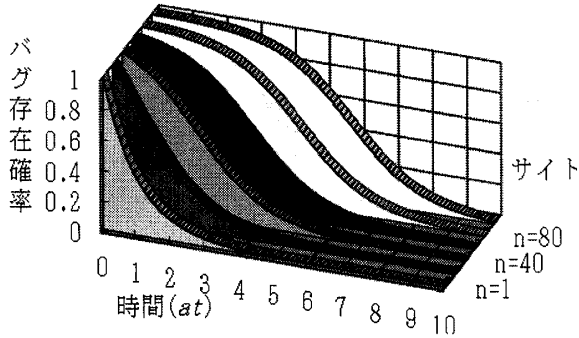


図 2 ケース I : サイト別バグ存在確率 $\beta = 0.06$

3.2 信頼度成長曲線

- (1) S 字曲線ではない(変曲点はない)。
 (2) バグ間の結合 (β) が大きいほど、直線状の変化の期間が長く続くのが特徴である。

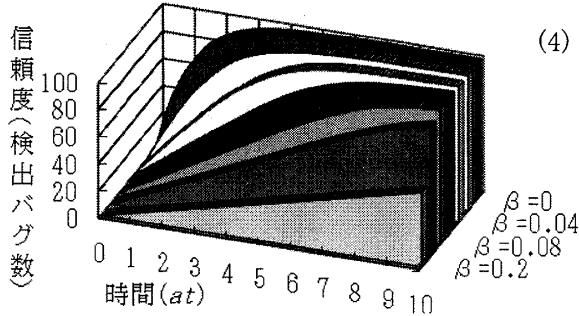


図 3 ケース I : 信頼度成長曲線

4 結果 : ケース II

デバッグ開始からのデバッグ作業の学習効果を考慮し、バク検出率の増加を仮定する。

$d(t) = b^2t / (1+bt)$, $D(t) = bt - \log(1+bt)$ (b は定数) とした計算例を、ケース II として示す。

4.1 バクサイト別のバグ存在確率

- (1) 全てのバクサイトで、S 字曲線。
 (2) 変曲点を t_n として、 $t_1 = 1/b$

$$\frac{bt_n - 1}{(bt_n)^2 + 1} e^{bt_n} = \log\{(1+\beta)^{n-1} - 1\} ; n > 1$$

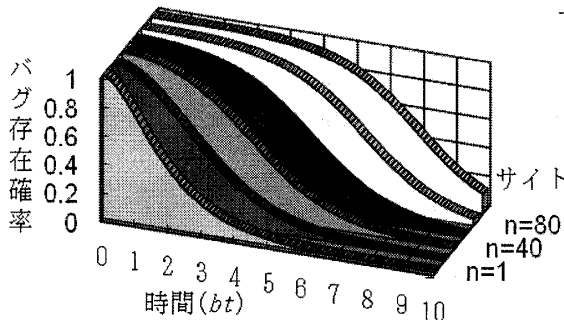


図 4 ケース II : サイト別バグ存在確率 $\beta = 0.06$

4.2 信頼度成長曲線

- (1) S 字曲線である。
 (2) 変曲点 t は、 $e^{bt}(bt-1) = (1+\beta)^N - 1$
 (3) ケース I と同様、バグ間の結合 (β) が大きいほど、直線状の変化の期間が長く続く特徴がみられる。

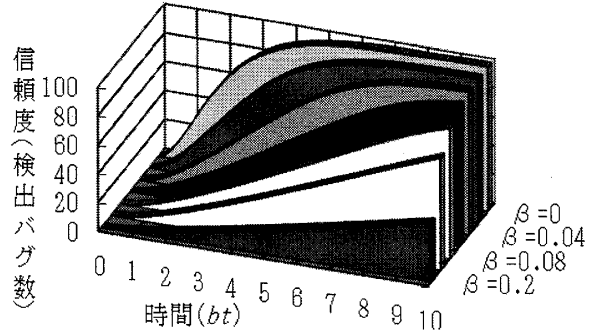


図 5 ケース II : 信頼度成長曲線

5 実効デバッグ範囲

$$F(t) \approx \frac{1}{\log(1+\beta)} \log[1 + \{(1+\beta)^N - 1\} \exp(-D(t))] \quad \text{から,}$$

$$\mu = \log(1+\beta) \text{ として, } \frac{dF(t)}{dt} \approx -\frac{d(t)}{\mu} [1 - \exp(-\mu F(t))]$$

(A) $\mu F(t) \gg 1$ のとき, $\frac{dF(t)}{dt} \approx -\frac{d(t)}{\mu}$

(B) $\mu F(t) \ll 1$ のとき, $\frac{dF(t)}{dt} \approx -d(t)F(t)$

(A) の場合、残留バグ数減少率から、 $1/\mu$ 個のバグを検出していることに相当する。換言すると、「実効デバッグ範囲」としては $1/\mu$ 個のバグが対象といえる。バク間相互作用のため「実効デバッグ範囲」より後方は遮蔽されて、事実上デバッグが及ばないと考えられる。図 3 及び 5 で、 β が大きい場合に現れる長い直線状の部分はこの状態に相当すると考えられる。

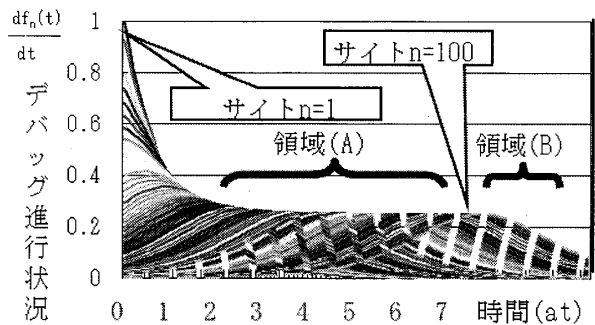


図 6 サイト別デバッグ進行状況 (ケース I $\beta = 0.06$)