

媒体障害の回復機構における古文書コピー生成について

愛知工業大学情報通信工学科 福本 聡
愛知工業大学経営工学科 中川 暉夫

1. まえがき

コンピュータシステムでは、データの損傷に備えて定期的に二次記憶媒体のバックアップコピーが生成される [1]. このコピーは、古文書コピー (Archive Copy) と呼ばれ、複数世代に渡って保管されるのが一般的である. 操作ミス等によるデータの損傷は、それが発生してからかなりの時間が経過した後に発見されることが多く、最新のコピーだけでは効果的なファイル回復が期待できないからである [2]. 本稿では、こうした古文書コピーによるファイル回復機構について解析する.

古文書コピーの生成は、広い意味でのチェックポイントのひとつと考えることができる. しかし、通常のチェックポイントによる回復機構と、古文書コピーによるそれとの間にはいくつかの重要な相違点がある. まず、通常のチェックポイントによる回復では、復帰すべき一貫性ある状態が障害の発生する直前の状態であることを前提としている. そのために、障害発生時には最新のチェックポイントの状態の写しだけが用いられ、2世代以前のチェックポイントでの写しは意味がない. 一方、古文書コピーによる回復では、復帰すべき一貫性のある状態はフォールトが潜在し始める直前の状態であり、障害の発生直前の状態とは異なる. 取得された2世代以前の写しは、何れも復帰すべき状態への回復操作の基点として有効である. 次に、チェックポイントの頻度は、通常、チェックポイントオーバーヘッドと回復処理オーバーヘッドとのトレードオフによって最適化される. これに対して、古文書コピーの生成頻度の設定では、コピー生成オーバーヘッドは無視することができる. 多くの古文書コピーは、1日毎や1週間毎などの間隔で、通常処理に影響しないオフラインで生成されるためである.

本稿では、これらの特徴を考慮して、古文書コピーによるファイル回復機構の定量的な評価モデルを提案する. 古文書コピーの有効世代数とフォールトの潜在期間とのふたつのパラメータを用いて回復処理オーバーヘッドを記述し、これを最小とするコピー生成頻度について考察する.

2. モデルの記述

本研究で解析する回復機構の評価モデルを図1に

示す. 本稿ではモデルの本質を明確にするため、状態は定常状態に限定し、更にいくつかの単純化を行う.

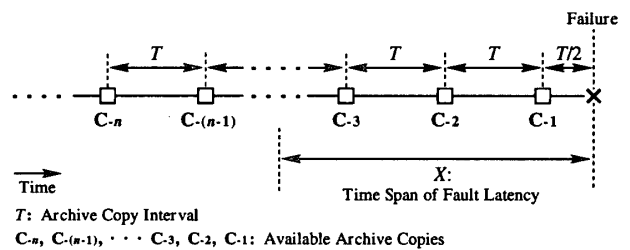


図1: n 世代の有効な古文書コピーを持つ障害回復のモデル.

まず、古文書コピーの生成時間間隔を一定値 T とし、有効世代数は n 世代とする. また、古文書コピーの生成に伴うオーバーヘッドは無視する. このことは、通常のチェックポイントの評価モデルと本稿のモデルとの重要な相違点である. 通常のチェックポイントの評価モデルでは、チェックポイントオーバーヘッドと回復処理オーバーヘッドのふたつをあわせて評価する必要があるが、古文書コピーの評価モデルでは回復処理オーバーヘッドだけを評価すればよい.

障害はコピー生成間隔中の任意の時点で発生するが、ここでは近似的に、間隔の中点で発生するものとする. 評価量を期待値で議論する場合には十分よい近似が得られるためである.

フォールトの潜在期間、すなわち、フォールトが生じてから実際の障害の発生までの時間間隔を確率変数 X で表す. これは、回復操作の観点から言えば、システムの状態がさかのぼらなければならない時間間隔でもある. 障害が発生した時点から見た X の値は通常ランダムであり、典型的には短く稀に長いのが現状であるから、 X の分布関数として平均 $1/\mu$ の指数分布 $F(x) = Pr\{X \leq x\} = 1 - e^{-\mu x}$ を仮定する.

回復処理の実行においては、オーバーヘッドが最小となるように基点とする古文書コピーおよび回復技

法を決める。そのとき、目的とする状態までのロールフォワードオーバーヘッドおよびロールバックオーバーヘッドの見積りが必要になるが、ここではそれらのオーバーヘッドが通常処理時間と同等な場合を想定する。すなわち、時間間隔 τ に対するロールフォワードオーバーヘッド $h_f(\tau)$ およびロールバックオーバーヘッド $h_b(\tau)$ を $h_f(\tau) = h_b(\tau) = \tau$ とする。更に、全ての古文書コピーの状態よりも古い状態に復帰するときは、最も古い古文書コピーの世代からロールバックを行うものとし、システムの稼働初期からのロールフォワードは考えない。

3. 回復処理オーバーヘッドの期待値

古文書コピーの有効世代数を n としたとき、ロールバックオーバーヘッドおよびロールフォワードオーバーヘッド等に関する上記の前提から、フォールトの潜在期間 X に対する回復処理オーバーヘッドは、次のように与えられる。

$n = 1$ のとき、

$$r(X) = \begin{cases} X & 0 \leq X < T/4 \\ T/2 - X & T/4 \leq X < T/2 \\ X - T/2 & T/2 \leq X < \infty \end{cases} \quad (1)$$

$n \geq 2$ ($1 \leq k \leq n-1$) のとき、

$$r(X) = \begin{cases} X & 0 \leq X < T/4 \\ T/2 - X & T/4 \leq X < T/2 \\ X - (k - \frac{1}{2})T & (k - \frac{1}{2})T \leq X < kT \\ (k + \frac{1}{2})T - X & kT \leq X < (k + \frac{1}{2})T \\ X - (n - \frac{1}{2})T & (n - \frac{1}{2})T \leq X < \infty \end{cases} \quad (2)$$

式(1), (2), (3) から回復処理オーバーヘッドの期待値はコピー生成間隔 T の関数として得られ、

$$\begin{aligned} R(T) &= E[r(X)] = \int_0^{\infty} r(x) dF(x) \\ &= \frac{1}{\mu} - \frac{2}{\mu} e^{-\mu T/4} + \frac{2}{\mu} e^{-\mu T/2} \\ &\quad - \frac{2}{\mu} \frac{e^{-\mu T} - e^{-3\mu T/2}}{1 - e^{-\mu T}} \\ &\quad + \frac{2}{\mu} \frac{e^{-n\mu T} - e^{-(n+\frac{1}{2})\mu T}}{1 - e^{-\mu T}} \end{aligned} \quad (3)$$

となる[15]。更に上式を T で微分することによって、導関数 $R'(T)$ を得ることができる。 $R(0) = 1/\mu$, $R(\infty) = 1/\mu$, $\lim_{T \rightarrow 0} R'(T) = 1/2 - n < 0$ であることから、 $R(T)$ は極小値を持つ。図2は、フォールトの潜在期間の平均値が $1/\mu = 100$ [時間], $n = 1, 2, 4, 10, 20, 100$ [世代]であるとき、回復処理オー

バヘッドの期待値 $R(T)$ を示している。何れの場合も、 $R(T)$ を最小にする最適なコピー生成間隔 T^* が存在することがわかる。古文書コピーの有効世代数 n が大きいほど最適なコピー生成間隔 T^* は小さく、 $R(T^*)$ も小さくなり、我々の直観と一致する。

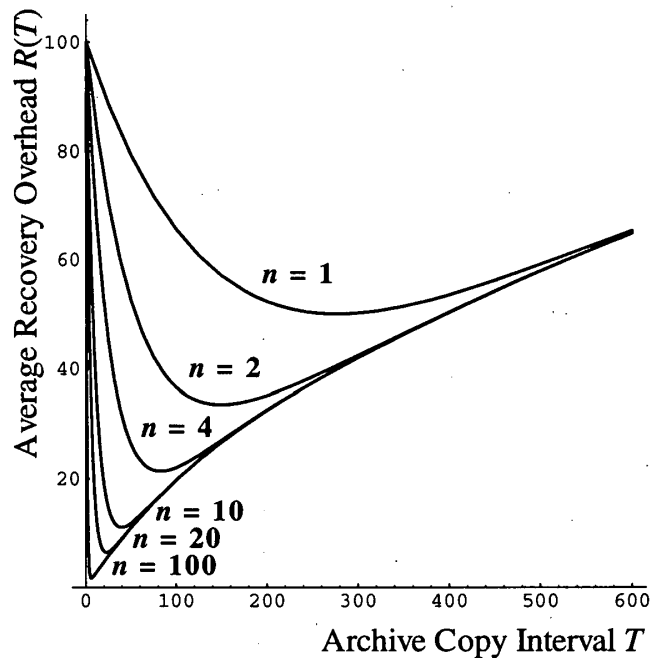


図2: 回復処理オーバーヘッドの期待値 ($m = 0.01$).

式(5)の $R'(T)$ を改めて $x = \mu T$ の関数 $R'(x)$ と考えれば、ひとつの古文書コピー有効世代数 n に対してひとつの $R'(x)$ が決まる。従って、 n の値毎に非線形方程式 $R'(x^*) = 0$ を満たす x^* を求めておくと、パラメータ μ に対して $R(T)$ を最小にするコピー生成間隔が $T^* = x^*/\mu$ としてただちに与えられる。

参考文献

- [1] T. Haerder and A. Reuter, "Principles of Transaction -Oriented Database Recovery," *Comput. Surv.*, vol. 15, no. 4, pp. 287-317, Dec. 1983.
- [2] 星野友彦, "立ちほだかる信頼性の壁~パソコン大量導入の危機(前編)~", *日経コンピュータ* 5月29日号, pp. 70-81, 1995.