

С. В. Знаменский

Показатели эффективности расписания резервного копирования

Аннотация. Сохранение устаревшей информации является основой как для расследования происшествий, так и для возврата компьютерной системы в прежнее состояние. Полное сохранение всех версий любой информации требует необоснованно растущих затрат на запоминающие устройства и на организацию доступа. Расписания резервного копирования и уничтожения ненужных копий обещают экономию.

Вводятся показатели для оценки эффективности расписаний резервного копирования и уничтожения ненужных копий, оцениваются их возможные значения и сравниваются с показателями рекомендованных расписаний.

В результате выдвигается гипотеза о возможности многократного повышения эффективности расписаний резервного копирования.

Ключевые слова и фразы: резервное копирование, показатели эффективности, восстановление системы, расписание, оценки качества.

Введение

Снижение затрат на хранение информации [1] сопровождается ростом объёмов текущей информации. Высвобождение места для новой информации приводит к тому, что устаревшая информация часто оказывается недоступной.

Восстановление компьютерной системы, пришедшей в неработоспособное состояние, состоит из устранения физических поломок оборудования и восстановления сохранённого состояния информации.

Для этой цели производится резервное копирование информации. Поскольку ошибка в данных, приводящая к краху системы, может быть замечена не сразу, одновременно должно храниться несколько резервных копий данных системы.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

При поломке, вызванной хакерским вторжением, сохранение прошлых состояний системы позволяет уточнить источник, характер и возможные масштабы повреждений и организовать не только восстановление системы, но и предупреждение рецидивов.

При длительной работе над кодом и другими документами потребность в доступе к старым версиям настолько высока, что привела к отдельному классу популярного программного обеспечения — системам управления версиями.

Разрабатываются файловые системы, сохраняющие историю изменений и позволяющие восстанавливать прежние состояния, некоторые из них (CDP-continuous data protecting) сохраняют все без исключения изменения.

Все перечисленные ситуации роднят общие особенности:

- Сохранение всех версий требует места и усложняет доступ.
- Актуальность версий со временем снижается.
- Старые версии со временем приходится удалять.
- Невозможно предсказать, когда и какая именно из старых версий потребуется в будущем.

Проблема резервного копирования сложна и рассматривалась в разных аспектах в многочисленных публикациях и патентах последних лет. Удивительно, что среди них не удалось обнаружить ни одной публикации об оптимизации различной продолжительности существования сохранённых изменений. Практически всегда проблема бездумно возлагается на администратора — либо как, например, в [2] предполагается, что все изменения хранятся одинаковое время, либо администратору предлагается вручную изменять индивидуальный срок для версии.

Отсюда следует, что такой способ повышения эффективности использования памяти для хранения резервных копий не является общеизвестным. По всей видимости, задача такой оптимизации ставится впервые даже в простейшем описанном ниже варианте.

1. Формальная модель

Будем считать, что изменяется и сохраняется неделимая система (например, один файл или одна база данных). Создание и удаление резервных копий происходит по некоторому расписанию.

1.1. Расписание

Будем считать, что в определённые моменты времени делаются снимки системы (резервные копии) и каждая из них сохраняется в течение некоторого времени. Рассмотрим множество $V = \{[t_1, t_2] \subset \mathbb{R}\}$ отрезков временной оси. Определим расписание $S \subset V$ как множество отрезков $s = [s_1, s_2] \in S$, представляющих отдельные снимки (версии). Каждый отрезок $s \in S$ однозначно идентифицируется моментом s_1 , в который сделан снимок. Правый конец отрезка s_2 означает момент уничтожения снимка.

В каждый момент времени t имеется подмножество

$$S_1(t) = \{s_1 \mid t \in s \in S\}$$

снимков. Обозначим $\Delta(S, t) \subset V$ множество всех отрезков, образованных соседними точками множества $S_1(t)$. Эти отрезки образованы моментами соседних сохранившихся в момент t снимков. Иными словами, концы такого отрезка $[s_1, s'_1]$ лежат в $S_1(t)$, но его внутренность (s_1, s'_1) не пересекается с $S_1(t)$.

Зафиксируем границы $E_{\min} > 0$ и

$$E_{\max} = \max_{t \in s} (s_2 - t) > E_{\min}$$

продолжительности времени от снятия копии до её возможного использования.

В зависимости от системы, нижняя граница $E_{\min}$ может равняться либо длительности карантина (промежутка времени, в течение которого все изменения в информации сохраняются), либо времени технической задержки от момента снимка до его возможного использования, например, равняться шагу дискретизации времени. Верхняя граница $E_{\max}$ — это максимальная продолжительность хранения снимков, в теории, например, бесконечность.

Перспективой прошлого D назовём пару функций $D_i : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}$ с условием $D_1(t) < D_2(t) < t$, сопоставляющих каждому моменту времени интервал прошлого $D(t) = (D_1(t), D_2(t))$. Удобно для каждого $t \in \mathbb{R}$ выделять одну или несколько перспектив прошлого. Например,

$$D^0(t) = [t - E_{\max}, t - E_{\min}].$$

Перспективу прошлого D будем называть более узкой, чем перспектива D' , если в каждый момент времени $D(t) \subset D'(t)$.

1.2. Показатели

Основные качества расписания — доступность старых данных и экономность хранения — могут характеризоваться разнообразно.

Попытаемся выделить достаточно простые, но адекватные показатели.

1.2.1. Доступность старых данных

Простейшим показателем доступности данных является *максимальный интервал* резервных копий $\mathcal{A}(S)$, т.е. наибольшая разница между временем искомого снимка и временем ближайшего сохранённого не позже. Она равна наибольшему интервалу времени между соседними сохранившимися снимками:

$$\mathcal{A}(S, D) = \max_{\substack{t \in \mathbb{R} \\ [s_1, s'_1] \in \Delta(S, t)}} (s_1 - s'_1).$$

Здесь и далее (s_1, s'_1) — это числовой интервал с концами s_1 и s'_1 .

Максимальный интервал разумно использовать лишь в кратковременных перспективах, когда можно пренебречь ослаблением интереса к устаревающим версиям. Привычное удаление старых данных этому противоречит.

Удобно учитывать снижение актуальности версий со временем простой формулой, основанной на обратной соразмерности возрасту.

Отставанием расписания S в перспективе D назовём величину

$$\mathcal{R}(S, D) = \max_{\substack{t \in \mathbb{R} \\ t_1, t_2 \in D(t) \\ [t_1, t_2] \in \Delta(S, t)}} \frac{t_2 - t_1}{t - t_2}.$$

Эта характеристика относительная: масштабирование времени на неё не влияет. Если, например, нам интересен момент x дней назад, то отставание, равное y , обеспечивает наличие снимка, который, если и старше раньше желаемого, то не более, чем на xy минут. Поэтому и используется термин *отставание*: если часы отстают на секунду в сутки, то за неделю они отстанут на семь секунд.

1.2.2. Экономность использования памяти

Экономность расписания можно оценивать средним количеством хранимых снимков за длительный промежуток времени. Однако выяснение близости такой оценки к оптимальной является трудной нерешённой задачей. Поэтому мы ограничимся более простыми критериями.

Назовём *неравномерностью* расписания S в перспективе D величину

$$\mathcal{A}_\Delta(S, D) = \max_{\substack{t \in \mathbb{R} \\ t_1, t_2 \in D(t) \\ [t_1, t_2] \in \Delta(S, t)}} \frac{\mathcal{A}(S, D)}{t_2 - t_1} - 1.$$

В частности, неравномерность равна нулю, если сохранившиеся снимки сделаны через равные промежутки времени. Если же, например, из четырёх снимков подряд второй или третий удалить прежде, то максимальный интервал сохранения возрастёт вдвое, а неравномерность станет равна единице.

Неравномерность имеет относительный аналог, учитывающий снижение актуальности версий со временем.

Назовём *несоразмерностью* расписания S в перспективе D величину

$$\mathcal{B}(S, D) = \max_{\substack{t \in \mathbb{R} \\ t_1, t_2 \in D(t) \\ [t_1, t_2] \in \Delta(S, t)}} \frac{\mathcal{R}(S, D)(t - t_2)}{t_2 - t_1} - 1.$$

Несоразмерность равна нулю в том и только в том случае, если отставание одинаково в любой области. Иными словами, это означает, что интервалы между сохранившимися снимками пропорциональны сроку хранения. Если один из такого набора снимков (не крайний) удалить, то отставание возрастёт примерно в два раза, а несоразмерность более чем на единицу.

Нулевая несоразмерность может возникнуть лишь на мгновение. Однако чем выше несоразмерность, тем меньшую перспективу охватывает то же количество снимков с тем же отставанием. Для уменьшения несоразмерности приходится частично удалять снимки.

Выясним, намного ли удаление снимков способно понизить несоразмерность.

2. Несоразмерность, вызванная удалением снимков

ТЕОРЕМА 2.1 (Оценка несоразмерности). *Пусть для расписания S в перспективе D удаляется снимок, а какой-нибудь более ранний и какой-нибудь более поздний на некоторое время остаются. Тогда $\mathcal{B}(S, D) \geq \sqrt{1 + \mathcal{R}(S, D)}$, причём оценка точна.*

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Пусть $t_1 < t_2 < t_3$ — моменты последовательных снимков, средний из которых удаляется. В момент $t' > t$ после удаления снимка t_2 пусть $I = [s_1, s'_1]$ — тот отрезок из $\Delta(S, t')$, который содержит $[t_1, t_3]$. Тогда

$$\mathcal{R}(S, D) \geq \frac{s'_1 - s_1}{t - s'_1} \geq \frac{t_3 - t_1}{t' - t_3}.$$

Предельный переход в неравенстве даёт $\mathcal{R}(S, D) \geq \frac{t_3 - t_1}{t - t_3}$.

Нам понадобится вспомогательное неравенство:

ЛЕММА 2.2. *Пусть $t_1 < t_2 < t_3 < t$ — вещественные числа и*

$$\mu = \min \left(\frac{t_2 - t_1}{t - t_2}, \frac{t_3 - t_2}{t - t_3} \right).$$

Тогда

$$(1) \quad \frac{t_3 - t_1}{t - t_3} \geq 2\mu + \mu^2,$$

причём равенство достигается при

$$\frac{t_2 - t_1}{t - t_2} = \frac{t_3 - t_2}{t - t_3}.$$

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Линейной заменой $y = \frac{x-t}{t_3}$ общий случай сводится к частному $t = 0$, $t_3 = -1$. Обозначим $a = \frac{t_3 - t_2}{t - t_3}$ и $b = \frac{t_2 - t_1}{t - t_2}$. Получаем $\mu = \min(a, b)$, $t_2 = -1 - a$,

$$t_1 = t_2 - b(1 + a) = -(1 + a)(1 + b),$$

и, соответственно,

$$\frac{t_3 - t_1}{t - t_3} = a + ab + b \geq \mu + \mu^2 + \mu.$$

Условие превращения в равенство теперь очевидно. $\square$

Решая квадратичное неравенство (1), получаем

$$\mu \leq \sqrt{1 + \frac{t_3 - t_1}{t - t_3}} - 1 \leq \sqrt{1 + \mathcal{R}(S, D)} - 1.$$

Пусть $i \in \{1, 2\}$ такое, что $\mu = \frac{t_{i+1} - t_i}{t - t_{i+1}}$. Тогда

$$\begin{aligned} \mathcal{B}(S, D) &\geq \frac{\mathcal{R}(S, D)(t - t_{i+1})}{(t_{i+1} - t_i)} - 1 \\ &\geq \frac{\mathcal{R}(S, D)}{\sqrt{1 + \mathcal{R}(S, D)} - 1} - 1 \\ &= \sqrt{1 + \mathcal{R}(S, D)}. \end{aligned}$$

Равенство в лемме показывает, что равенство в теореме достигается если, например, снимков всего три. $\square$

Мы показали, что относительная несоразмерность не просто неизбежно присутствует, но всегда больше 1, и лишь при частых снимках (малом отставании) может быть приближена к 1.

3. Примеры и обсуждение

Обычно для реляционных СУБД используется резервное копирование через заданный в конфигурации интервал времени, и все эти резервные копии хранятся в течение заданного длительного периода.

3.1. Равномерное расписание

По умолчанию в [3] указаны интервал между снимками 60 мин и срок хранения 30 дней. Это означает недоступность более давних чем месяц данных при ничтожном отставании данных трёхнедельной и более давности ($\mathcal{R}(S, D_1) = 0.002$). Это при перспективе вчерашнего дня $\mathcal{R}(S, D_2) > 0.04$. Высокие отставание и несоразмерность в перспективе от вчерашних суток до месяца $\mathcal{R}(S, D_3) > 0.04$ и $\mathcal{B}(S, D_3) > 20$ показывают, что основное место в хранилище отводится на хранение наименее ценной информации. Соразмерное удаление старой информации позволило бы с тем же относительным отставанием и объёмом хранения хранить данные в десятки раз дольше.

Более соразмерный подход используется грамотными системными администраторами.

3.2. Кусочно равномерное расписание

С незапамятных времён с малосущественными вариациями приводится в руководствах системных администраторов (см, например, [4]) следующая рекомендация.

Данные сохраняются ежедневно и хранятся в течение недели. Еженедельно из них выделяется недельная копия, хранящаяся в течение последующего месяца, ежемесячная, хранящаяся в течение последующего года и ежегодная, хранящаяся в течение последующего десятилетия.

Таким образом, предлагается набор перспектив, в каждой из которых снимки распределены равномерно.

В общей перспективе от двух недель до десяти лет (диапазон 200 против 30 предыдущего примера) несоразмерность близка к 12. При этом отставание близко к единице (например, в начале года доступными за позапрошлый год могут оказаться только данные, близкие к новогодним праздникам).

4. Выводы

Выделены абсолютные и относительные показатели, позволяющие оценивать эффективность управления временем жизни резервных копий.

Относительные показатели — *отставание* и *несоразмерность* — учитывают снижение актуальности со временем. Для них найдена точная оценка, обусловленная удалением снимков (версий).

Выявлена несоразмерность общепринятых рекомендаций, более чем на порядок превышающая теоретически возможную.

Поставлена задача поиска расписания с несоразмерностью, близкой к предельно возможной. Ожидается, что соразмерное расписание удаления старой информации способно обеспечить многократное снижение отставания при одновременной экономии требуемых для хранения резервных копий ресурсов памяти.

Список литературы

- [1] Beagrie N., Chruszcz J., Lavoie B. Keeping research data safe : A cost model and guidance for uk universities. Salsbury, UK : Charles Beagrie Limited, 2008. — 67 p., <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/publications/keepingresearchdatasafe0408.pdf>. ↑↑

- [2] Frisch A. *System Backup: Methodologies, Algorithms and Efficiency Models* // Handbook of Network and System Administration / ed. Bergstra J., Burgess M. — Amsterdam : Elsevier, 2007, p. 1028 ↑[\[\]](#)
- [3] Stuns D., Buterbaugh T., Bryla B. Осп: Oracle 10g Administration II Study Guide : Exam 1z0-043 : John Wiley & Sons, 2006. — 752 p. ↑[3.1](#)
- [4] Ciampa M. Security+ Guide to Network Security Fundamentals. 2nd ed. Boston, MA : Course Technology press, 2008. — 509 p. ↑[3.2](#)

Рекомендовал к публикации

к.т.н. С. А. Амелъкин

Об авторе:



Сергей Витальевич Знаменский

Автор критерия разрешимости уравнений свёртки в пространстве функций, голоморфных на множестве, понятий выпуклости в направлении и $\mathbb{C}$ -выпуклости, русификации Т_ЕX для журналов Отделения математики РАН, графического пакета `mfpic3d` и нового подхода к построению информационных систем.

e-mail:

svz@latex.pereslavl.ru

Образец ссылки на эту публикацию:

С. В. Знаменский. Показатели эффективности расписания резервного копирования // Программные системы: теория и приложения : электрон. научн. журн. 2012. Т. 3, № 2(11), с. 51–60.

URL:

http://psta.psiras.ru/read/psta2012_2_51-60.pdf

S. V. Znamenskij. *Performance indicators for scheduling destruction.*

ABSTRACT. The preservation of outdated information is the basis both for the investigation of accidents, and for reversion of computer system to its previous stable state. Full retention of all versions of any information requires the unreasonably large storage place. Some known schedules for backup and destruction promise resource savings.

The effectiveness indicators are introduced for scheduling destruction of unnecessary copies. Their possible indicators values are described. The recommended schedules are evaluated with indicators.

As a result, the following hypothesis is proposed: much more rhythmic scheduling destruction may be found for greater efficiency. (in Russian)

Key Words and Phrases: backup, performance indicators, system restore, schedule, quality assessment.