

非故障 HDD の差し替えによる予防安全的 RAID システム に関する一検討

日大生産工 (学部) ○ 古川慧史
日大生産工 新井雅之

1.はじめに

近年、長期のデータ保存及びデータ損失対策として RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) による冗長化が注目を集めている[1][2]. しかし、RAIDシステムの信頼性を低下させる要因として、RAIDを構成するHDDの経年劣化が挙げられる[2]. 本稿では経年劣化による RAIDシステムの故障率の推移と、非故障HDDを周期的に差し替える予防安全的RAIDについて検討し、その有効性を評価する.

2.RAID

RAIDは複数のHDDを組み合わせることで、冗長性を確保する仕組みである. 本研究で用いる RAID6は、データを各HDDに分散して書き込む際、パリティと呼ばれる冗長コードを2重に生成し同時に書き込む. HDDが破損した場合、パリティを用いることでデータを復元することが可能であり、単一故障、2重故障まで耐えることが出来る.

3.予防安全的RAID

3.1 HDDの経年劣化モデル

従来、HDDの寿命は初期故障期、偶発故障期、摩耗故障期の3通りの故障期間に分かれ劣化が進行していく、バスタブ型と言われるモデルが一般的に考えられていた. しかし、先行研究[2]から、1年目までのHDD運用による故障は2年目以降と比べ極端に少なく、初期故障期はほとんど無いという結果が得られた. 本稿では図1に示す通り、初期故障期は除外し、1年目は劣化が進行しておらず低い故障率である λ_1 の偶発故障期、2年目以降は経年劣化により故障率が高くなる λ_2 の摩耗故障期の2通りの故障期のみを故障モデルを採用している.

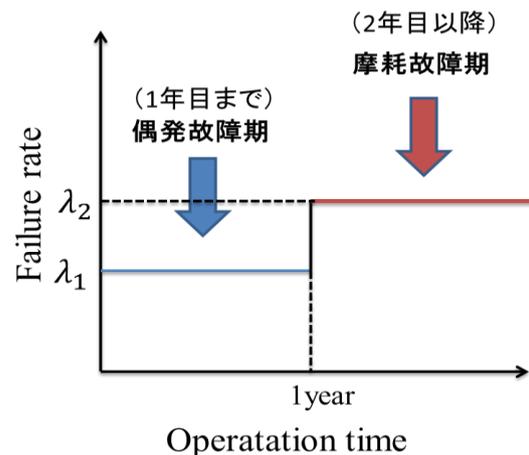


図1：本研究における HDD の故障モデル

3.2 非故障 HDD 差し替え手法

前節で表示した経年劣化モデルに基づき、1年毎に HDD を差し替える予防安全的 RAID について提案する. 提案手法では HDD の劣化が進行する前 (1年毎) に差し替えを行い、故障率を偶発故障期 λ_1 に抑え、経年劣化による故障率上昇リスクを回避し、RAID システムの信頼性向上を図る. また手法の詳細として HDD 差し替えによるコスト面の増加を考慮し、RAID を構成する HDD 全ての差し替えのみでなく、一部の差し替えも行うものとする.

4.シミュレーションによる評価

HDD 総数 64 台で構成した RAID6 システムを対象としてシミュレーションを行った. 修理日数 s は 1 日から 5 日までに設定した. 運用年数 t は 10 年とした. また HDD を 1 年目まで運用した場合における故障率 $\lambda_1 = 0.05$,

Note on Preventive Safety RAID System by Replacement of Non-Faulty HDDs

Satoshi Furukawa and Masayuki Arai

経年劣化を考慮した2年目以降の運用における故障率 $\lambda_2 = 0.1$ とし、1年毎にそれぞれ HDD の差し替え台数 $r = 16, 32, 48, 64$ 台ずつ差し替えを行った場合と、1台も差し替えを行わなかった場合 ($r = 0$) とを比較し、1通りの条件に対して、100回の試行を繰り返し10年後に故障している確率と MTDDL (Mean Time To Data Loss) を求めた。MTDDL は $D(r, s)$ で表す。

図4には HDD の差し替えを行わなかった場合の累積故障数と故障日との分布を示す。図5には各 HDD の差し替えを行った場合と、行わなかった場合の修理日数に対する MTDDL を示している。

図4より、故障回数の総数71回における内、1年目以内の故障回数は2回であるのに対して、2年目以降における故障回数は69回と経年劣化の影響が大きく見られた。

図5より、共通な点として修理日数が増加するにつれて故障率も比例して増加傾向にあるのが見られる。また1日目、2日目までの故障率には大きな差は見られないが、修理にかかる日数が3日以降になると、差し替え台数が少ないものほど著しく故障頻度が増加している。以下には3日目以降における結果を $D(r, s)$ 式を用いて表す。

$D(64, 3) = 0.03, D(48, 3) = 0.03,$
 $D(32, 3) = 0.03, D(16, 3) = 0.08,$
 $D(0, 3) = 0.12,$ となり4日目時点では、
 $D(64, 4) = 0.02, D(48, 4) = 0.02,$
 $D(32, 4) = 0.03, D(16, 4) = 0.10,$
 $D(0, 4) = 0.17,$ となった。5日目時点では、
 $D(64, 5) = 0.04, D(48, 5) = 0.04,$
 $D(32, 5) = 0.09, D(16, 5) = 0.16,$
 $D(0, 5) = 0.37$ という結果になった。

上記の結果から、64台全てを差し替えた場合と差し替えが0台のものとを比較した場合の故障率の差は、修理から3日目の時点で0.09、4日目時点で0.15、5日目時点で0.33。半数の32台と0台を比較した場合、3日目時点で0.09、4日目時点で0.14、5日目時点で0.28となった。64台と48台の差し替えに関しては大きな差は見られないが、差し替え台数が増えれば増えるほど、故障率は低下し信頼性が向上することが結果より伺える。また16台の差し替えと差し替えなしの0台とでも故障率の差に大きな開きがあることから、非故障 HDD の差し替えは信頼性の向上に有効

であると考えられる。

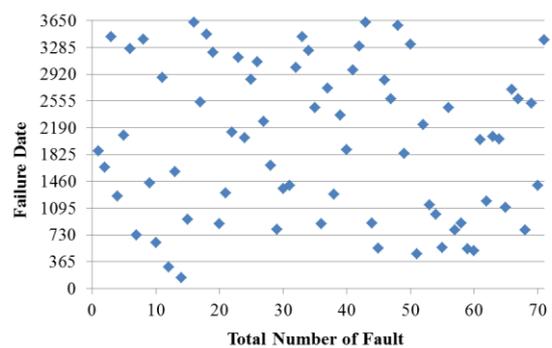


図4. 経年劣化運用における故障日分布 (replace 0)

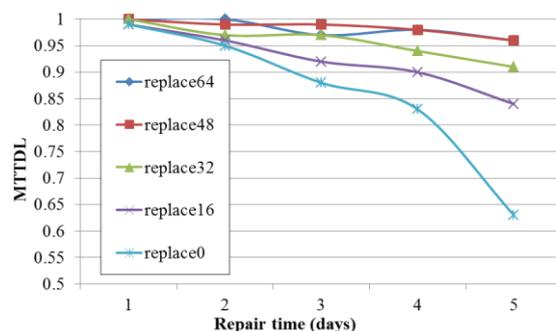


図5. 提案手法における MTDDL

5.まとめ

本研究では RAID6 を対象とした、非故障 HDD の差し替えによる信頼性の評価・比較を行った。結果として HDD を経年劣化が進行する前に差し替えることで高信頼化を可能にすることが示された。今後は信頼性だけではなく、差し替えによるコスト面の増加を考慮した、高信頼性と低コストを実現できる最良の差し替え台数を調査していく予定である。

参考文献

- [1] J. -F. Paris, S. J. T. Schwarz, D. D. E. Long, A. Amer. "Protecting RAID Arrays Against Unexpectedly High Disk Failure Rates" 2014 IEEE 20th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, pp 68-75, Nov. 2014.
- [2] B. Schroder, G. A. Gibson, "Disk Failures in the World: What Does an MTTF of 1,000,000 Hours Meant to You," 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies, pp 14-16, Feb. 2007.