

GIẢI PHÁP TĂNG TỐC ĐỘ TRUY XUẤT ĐĨA CỨNG BẰNG RAID 0 KẾT HỢP RAM CACHE

Trần Công Cẩn*, Huỳnh Thị Kim Chi
Trường Đại học Khánh Hòa

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 02/6/2025

Ngày phản biện: 05/6/2025

Ngày duyệt đăng: 09/8/2025

*Tác giả chính:

trancongcans@ukh.edu.vn

DOI:

<https://doi.org/10.70879/bACIfZ5PY>

Title:

Solution to increase hard disk access speed by RAID 0 combined with RAM Cache.

Từ khóa:

Tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng, RAID, RAM Cache, Hiệu suất lưu trữ, Máy trạm, CrystalDiskMark.

Keywords:

Increase hard disk access speed, RAID, RAM Cache, Storage Performance, Workstation, CrystalDiskMark.

TÓM TẮT: *Qua quá trình phát triển, các bản phát hành nâng cấp hệ điều hành và các phần mềm ứng dụng trên nền tảng Microsoft Windows có dung lượng cài đặt ngày càng lớn, nhu cầu biên tập các tập tin video chất lượng cao (chuẩn Full HD hay chuẩn 4K) có dung lượng lớn phục vụ giải trí và quảng cáo ngày càng tăng, ... đã đặt ra yêu cầu tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng để góp phần giúp phần mềm thực thi nhanh hơn. Để giải quyết yêu cầu này, chúng tôi đề xuất giải pháp tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng máy tính bằng cách kết hợp kỹ thuật tạo RAID 0 và dùng phần mềm Primo Cache sử dụng một phần bộ nhớ RAM làm vùng nhớ đệm cho thao tác truy xuất dữ liệu của hệ thống. Kết quả thực nghiệm trên máy tính laptop dùng đĩa cứng loại SSD PCIe Gen 4 cho tốc độ đọc tuần tự lên đến 26.365MB/s (cao hơn loại SSD PCIe Gen 5 và gần bằng loại SSD PCIe Gen 6), tốc độ ghi tuần tự lên đến 50.259MB/s (gấp 3,6 lần loại SSD PCIe Gen 6), giúp cho việc khởi động máy tính, thực thi phần mềm và thao tác sao chép tập tin dung lượng lớn nhanh hơn.*

ABSTRACT: *Through the development process, upgraded releases of operating systems and application software on the Microsoft Windows platform have increasingly large installation capacities, the need to edit high-quality video files (Full HD or 4K standard) with large capacity for entertainment and advertising is increasing, ... has created a requirement to increase the speed of hard disk access to help the software execute faster. To solve this problem, we propose a solution to increase computer hard disk access speed by combining RAID 0 creation techniques and using Primo Cache software to use part of the RAM as a cache for system data retrieval operations. Experimental results on laptops using PCIe Gen 4 SSD hard drives achieved sequential read speeds of up to 26,365MB/s (higher than PCIe Gen 5 SSDs and close to PCIe Gen 6 SSDs), sequential write speeds of up to 50,259MB/s (3.6 times faster than PCIe Gen 6 SSDs), helping to boot the computer, execute software and copy large files faster.*

1. Giới thiệu vấn đề nghiên cứu

Tốc độ thực thi chương trình trên máy tính phụ thuộc cơ bản vào năng lực của bộ vi xử lý, tốc độ truy xuất RAM và đĩa cứng. Để tăng tốc độ thực thi chương trình trên máy tính, việc nâng cấp bộ vi xử lý, RAM và đĩa cứng lên công nghệ mới tốt hơn không phải lúc nào cũng khả thi và hiệu quả về mặt đầu tư. Về mặt kỹ thuật, những nâng cấp này phụ thuộc đặc tính kỹ thuật của mainboard.

Để thực thi chương trình trên máy tính, hệ thống nạp chương trình máy tính và dữ liệu cần xử lý từ đĩa cứng vào bộ nhớ RAM và có thể cần ghi kết quả xử lý vào đĩa cứng. Dung lượng chương

trình máy tính và dữ liệu cần xử lý ngày càng lớn dẫn đến tốc độ thực thi chương trình bị giảm. Vì vậy, các giải pháp tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng góp phần tăng tốc độ thực thi chương trình máy tính. Từ đó thúc đẩy phát triển các giải pháp lưu trữ ngày càng tiên tiến

hơn nhằm tăng tốc độ truy xuất và dung lượng lưu trữ của đĩa cứng.

SSD (*Solid State Drive*) là loại đĩa cứng có tốc độ truy xuất cao nhất hiện nay. Công nghệ mới nhất là SSD PCIe Gen 6, đã có sản phẩm Micron 9650 SSD cho tốc độ đọc tuần tự lên đến 28.000MB/s và tốc độ ghi tuần tự lên đến 14.000MB/s, dùng cho các trung tâm dữ liệu. Công nghệ SSD PCIe Gen 5 có tốc độ đọc dữ liệu lên đến 15.000MB/s, đã có sản phẩm trên thị trường nhưng chưa phổ biến, thường dùng cho máy tính để bàn (*desktop*) vì cần nhiều không gian cho yêu cầu tản nhiệt. Công nghệ SSD PCIe Gen 4 có tốc độ đọc dữ liệu lên đến 7500MB/s, phổ biến trên các máy tính sản xuất từ năm 2022. Ngoài ra, trên thị trường còn có đĩa cứng công nghệ SSD PCIe Gen 3, SSD mSATA, SSD SATA,... có tốc độ truy xuất chậm hơn SSD PCIe Gen 4, chủ yếu dùng cho máy tính sản xuất trước năm 2022.

Với máy tính đang sử dụng, mainboard của nó xác định loại đĩa cứng phù hợp. Vì vậy, cần có giải pháp tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng lớn hơn tốc độ truy xuất mà nhà sản xuất công bố cho đĩa cứng vật lý. Đáp ứng yêu cầu này, hiện nay đã có giải pháp dùng RAID (*Redundant Arrays of Independent Disks*) và giải pháp dùng RAM Cache.

Giải pháp dùng RAID: kết hợp nhiều đĩa cứng vật lý đơn lẻ thành một hệ thống đĩa cứng vật lý có tốc độ truy xuất lớn hơn, được sử dụng phổ biến trong hệ thống máy chủ (*server*) và dòng máy trạm (*workstation*).

Giải pháp dùng RAM Cache: dùng phần mềm tạo vùng nhớ đệm trên bộ nhớ RAM dùng cho thao tác truy xuất đĩa cứng vật lý, điển hình là giải pháp “*The RAM Enhanced Disk Cache Project (REDCAP)*” [2] triển khai trong nhân của hệ điều hành mã nguồn mở Linux cho phép giảm thời gian tải dữ liệu lên tới 80%, phần mềm thương mại Primo Cache [4] được nhà sản xuất công bố thử nghiệm trên loại đĩa từ quay bằng mô tơ cơ học cho phép tăng tốc độ đọc/ghi tuần tự hơn 70 lần và tăng tốc độ đọc/ghi ngẫu nhiên 4KB hơn 500 lần.

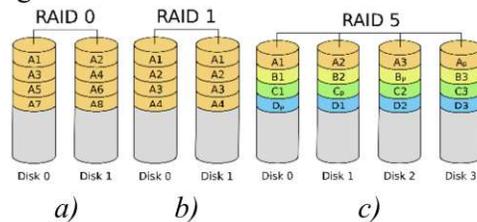
Đối với giải pháp dùng RAM Cache, tốc độ truy xuất đĩa cứng phụ thuộc vào tốc độ truy xuất của đĩa cứng vật lý. Trong khi đó, giải pháp dùng RAID cho phép tạo ra một hệ thống đĩa cứng vật lý có tốc độ truy xuất lớn hơn tốc độ truy xuất một đĩa cứng vật lý đơn

lẻ. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nghiên cứu và thực nghiệm việc kết hợp giải pháp dùng RAID với giải pháp dùng RAM Cache, từ đó thúc đẩy chúng tôi nghiên cứu và thực nghiệm việc áp dụng đồng thời 2 giải pháp này để tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng bằng kỹ thuật tạo RAID

RAID là kỹ thuật cho phép ghép nhiều đĩa cứng vật lý thành một hệ thống đĩa cứng với mục đích tăng tốc độ truy xuất hoặc tăng sự an toàn của dữ liệu chứa trên hệ thống đĩa hoặc kết hợp cả hai yếu tố này. Ban đầu, kỹ thuật RAID được sử dụng cho các máy chủ (*server*). Để tạo RAID cho các đĩa cứng, mainboard máy tính phải có RAID Controller hoặc cho phép gắn thêm RAID Card để có RAID Controller. Hiện nay, kỹ thuật RAID được sử dụng phổ biến cho các dòng máy tính trạm (*workstation*) và thường cho phép tạo các loại RAID 0, RAID 1 và RAID 5. Khi ghi dữ liệu, RAID Controller chia dữ liệu thành các khối (*block*) có kích thước bằng nhau: A1, A2, A3, ... và ghi theo thứ tự trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Cơ chế ghi dữ liệu của a) RAID 0, b) RAID 1 và c) RAID 5.

RAID 0: Cần có ít nhất 2 đĩa cứng vật lý, cho phép tăng tốc độ truy xuất và dung lượng lưu trữ, mất toàn bộ dữ liệu khi hỏng một đĩa cứng vật lý, cần quan tâm sao lưu dữ liệu thường xuyên để đảm bảo an toàn dữ liệu.

RAID 1: Cần có ít nhất 2 đĩa cứng vật lý, không tăng tốc độ truy xuất và dung lượng lưu trữ, không mất dữ liệu khi hỏng một đĩa cứng vật lý.

RAID 5: Cần có ít nhất 3 đĩa cứng vật lý, cho phép tăng tốc độ truy xuất và dung lượng lưu trữ. Khi ghi dữ liệu, RAID Controller sinh thêm các khối dữ liệu phân chia chẵn lẻ (*parity*) Ap, Bp, Cp, Dp, ... và ghi phân bổ đều trên các đĩa cứng vật lý, giúp lấy lại dữ liệu nếu không may một đĩa cứng vật lý bất kỳ bị hỏng. Việc này tạo thêm dữ liệu cần ghi

vào đĩa cứng, làm tăng thời gian xử lý và ghi dữ liệu của RAID Controller.

Trong các loại RAID nêu trên, RAID 1 không hỗ trợ tăng tốc độ truy xuất nên không được đề xuất áp dụng. RAID 5 cho phép tăng tốc độ truy xuất nhưng yêu cầu có tối thiểu 3 đĩa cứng, phù hợp máy tính workstation loại desktop hoặc loại laptop ngoại hình lớn có đủ không gian lắp đặt nhiều đĩa cứng. Khi tạo RAID có cùng số lượng đĩa cứng vật lý, RAID 0 cho phép tăng tốc độ truy xuất cao hơn RAID 5, do không phải tạo và ghi các khối dữ liệu parity. Đối với RAID 0, RAID Controller cần có thời gian thực hiện phân chia dữ liệu thành các khối và điều phối việc ghi, đọc các khối dữ liệu đã phân chia trên các đĩa cứng vật lý, nên tốc độ truy xuất qua RAID 0 nhỏ hơn tổng tốc độ truy xuất của các đĩa cứng tham gia cấu hình RAID 0.

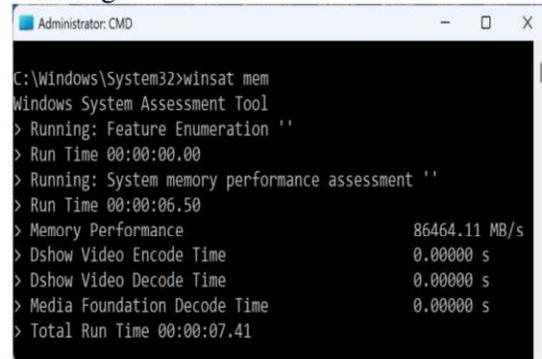
2.2. Tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng bằng cách dùng RAM làm vùng nhớ đệm cho thao tác truy xuất dữ liệu của đĩa cứng

Đo thực tế tốc độ truy xuất dữ liệu trên bộ nhớ RAM loại DDR5 bus 5600MHz (gọi tắt là RAM DDR5-5600MHz) bằng lệnh **winsat mem** có sẵn trong các phiên bản của hệ điều hành Microsoft Windows, cho kết quả trong Hình 2. Kết quả đo được tốc độ truy xuất của RAM DDR5-5600MHz là **86.464,11MB/s**.

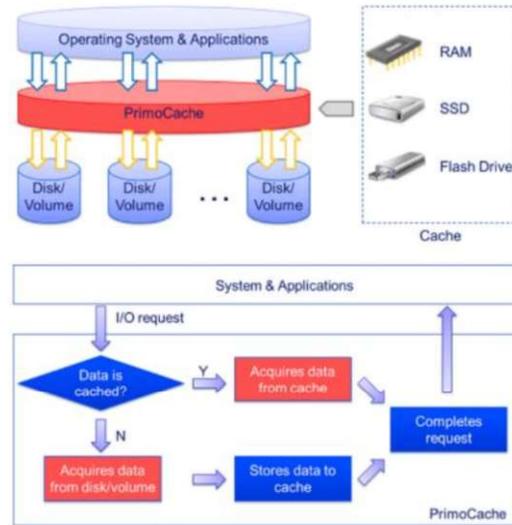
Kết quả đo thực tế nêu trên cho thấy tốc độ truy xuất của RAM nhanh hơn tốc độ truy xuất của đĩa cứng SSD rất nhiều. Do đó, giải pháp sử dụng một phần bộ nhớ RAM của máy tính làm vùng nhớ đệm cho thao tác truy xuất dữ liệu của hệ thống với đĩa cứng giúp tăng tốc độ truy xuất dữ liệu của hệ thống.

Sử dụng vùng nhớ đệm để tăng tốc độ truy xuất dữ liệu đã được ứng dụng phổ biến trong nhiều thiết bị tin học như bộ vi xử lý, card đồ họa, mạng truyền thông, ... Khi có yêu cầu truy xuất dữ liệu, hệ thống kiểm tra vùng nhớ đệm xem dữ liệu đã được lưu trữ trong đó hay chưa. Nếu có, dữ liệu được trả về nhanh chóng từ vùng nhớ đệm mà không cần truy xuất từ nguồn gốc giúp tiết kiệm thời gian và tăng tốc độ truy xuất. Kỹ thuật này đặc biệt hữu ích trong các tình huống mà dữ liệu thay đổi chậm hoặc không thay đổi trong một khoảng thời gian nhất định, giúp tránh việc truy xuất dữ liệu từ nguồn gốc một cách lặp lại không cần thiết.

Trong các phiên bản của hệ điều hành Microsoft Windows, giải pháp sử dụng phần mềm Primo Cache [4] được mô tả trong Hình 3 sử dụng một phần bộ nhớ RAM (hoặc đĩa cứng SSD, hoặc đĩa Flash) làm vùng nhớ đệm cho thao tác đọc/ghi dữ liệu của hệ điều hành và ứng dụng, giúp tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng.



Hình 2. Đo tốc độ truy xuất RAM DDR5-5600MHz.



Hình 3. Mô hình phần mềm Primo Cache sử dụng RAM tạo cache cho đĩa cứng.

Vùng nhớ đệm *PrimoCache* là một phần của bộ nhớ RAM có tốc độ truy xuất rất nhanh. Nguyên lý hoạt động của vùng nhớ đệm *PrimoCache* cơ bản như sau:

- Khi cần truy xuất dữ liệu, hệ điều hành và ứng dụng không truy xuất trực tiếp từ đĩa cứng mà truy xuất từ vùng nhớ đệm *PrimoCache*.

- Nếu dữ liệu cần đọc có sẵn trong vùng nhớ đệm *PrimoCache*, hệ điều hành và ứng dụng lấy dữ liệu từ vùng nhớ đệm

PrimoCache. Ngược lại, nếu dữ liệu chưa có trong vùng nhớ đệm *PrimoCache*, phần mềm *Primo Cache* đọc dữ liệu từ đĩa cứng và đặt vào vùng nhớ đệm *PrimoCache* phục vụ thao tác đọc dữ liệu của hệ điều hành và ứng dụng.

- Đối với thao tác ghi dữ liệu, hệ điều hành và ứng dụng đặt dữ liệu cần ghi vào vùng nhớ đệm *PrimoCache*. Việc ghi dữ liệu từ vùng nhớ đệm *PrimoCache* vào đĩa cứng do phần mềm *Primo Cache* thực hiện.

2.3. Thiết kế thực nghiệm

Máy tính dùng thực nghiệm: laptop Dell Precision 7680 (sản xuất năm 2023) sử dụng hệ điều hành Microsoft Windows 11 phiên bản 24H2, có cấu hình cơ bản: vi xử lý Intel Core i7 13850HX, 32GB RAM Bus 5600MHz, hỗ trợ RAID 0, 1, 5, có 3 đĩa cứng SSD PCIe Gen 4 thương hiệu SK Hynix PC801 dung lượng 512GB. Máy tính này nhận tối đa 3 đĩa cứng SSD PCIe Gen 4 dung lượng 2GB.

Cấu hình RAID dùng trong thực nghiệm: chúng tôi chọn RAID 0 (cho tốc độ truy xuất cao nhất) gồm 2 đĩa cứng vật lý, dùng tạo phân vùng (*partition*) cài đặt hệ điều hành, các phần mềm ứng dụng và phân vùng chứa dữ liệu cho những tác vụ cần tốc độ truy xuất dữ liệu cao. Đĩa cứng vật lý còn lại dùng lưu trữ dữ liệu cá nhân quan trọng của người dùng, không tham gia cấu hình RAID.

Công cụ đo tốc độ truy xuất đĩa cứng: sử dụng phần mềm CrystalDiskMark (cung cấp tại địa chỉ <https://crystalmark.info>) phiên bản 8.0.6 để đo tốc độ đĩa cứng. Mỗi lần đo tốc độ truy xuất đĩa cứng có thể cho ra số liệu chênh lệch không nhiều so với lần đo trước đó. Khi thực nghiệm, chúng tôi thực hiện đo ba lần và lấy kết quả có tốc độ đọc tuần tự SEQ1M Q8T1 thấp nhất.

Phần mềm dùng tạo RAM Cache: sử dụng phần mềm *Primo Cache* phiên bản 4.3.0 để tạo vùng nhớ đệm *PrimoCache*. Trong thực nghiệm, chúng tôi dùng 5GB bộ nhớ RAM để tạo RAM Cache.

Các pha thực nghiệm: việc thực nghiệm cần chỉ rõ việc tăng tốc độ truy xuất so với trường hợp chỉ sử dụng một đĩa cứng đơn lẻ và cần chỉ rõ sự khác biệt khi kết hợp giải pháp dùng RAID với giải pháp dùng RAM Cache. Từ đó, quá trình thực nghiệm được thiết kế thành 4 pha đo tốc độ truy xuất đĩa cứng như sau:

- **Pha 1:** sử dụng một đĩa cứng vật lý, không sử dụng RAM Cache.

- **Pha 2:** sử dụng RAM Cache cho một đĩa cứng vật lý (giải pháp dùng RAM Cache).

- **Pha 3:** sử dụng 2 đĩa cứng vật lý tạo RAID 0 và không sử dụng RAM Cache (Giải pháp dùng RAID 0).

- **Pha 4:** sử dụng RAM Cache với 2 đĩa cứng vật lý tạo RAID 0 (kết hợp 2 giải pháp).

2.4. Kết quả thực nghiệm

a. Thực nghiệm Pha 1: đo tốc độ truy xuất dữ liệu trên một đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB cho kết quả trên Hình 4, có các thông số: SEQ1M là tốc độ truy xuất tuần tự 1MB dữ liệu, RND4K là tốc độ truy xuất ngẫu nhiên 4KB dữ liệu, Q1T1 ($i = \{1, 8, 32\}$) là thông số cho biết việc truy xuất có i công việc (*task*) trong hàng đợi (*queue*) trên 1 luồng xử lý. Chúng ta quan tâm nhiều nhất đến tốc độ đọc/ghi tuần tự SEQ1M Q8T1, là thông số nhà sản xuất dùng để giới thiệu sản phẩm. Công nghệ đĩa cứng hiện nay có tốc độ ghi tuần tự thấp hơn tốc độ đọc tuần tự.

	Read (MB/s)	Write (MB/s)
SEQ1M Q8T1	7145.31	5048.79
SEQ1M Q1T1	5495.18	4598.60
RND4K Q32T1	1047.87	982.16
RND4K Q1T1	55.23	318.42

Hình 4. Tốc độ truy xuất thực tế trên 1 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB.

b. Thực nghiệm Pha 2: đo tốc độ truy xuất dữ liệu đĩa cứng khi sử dụng RAM Cache với 1 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB, cho kết quả trên Hình 5.

	Read (MB/s)	Write (MB/s)
SEQ1M Q8T1	20185.08	50091.62
SEQ1M Q1T1	10786.94	19850.27
RND4K Q32T1	1271.47	1160.80
RND4K Q1T1	1416.53	1262.89

Hình 5. Tốc độ truy xuất thực tế khi sử dụng RAM Cache với 1 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB.

So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 2 với Pha 1 được trình bày trong Bảng 1, cho thấy khi sử dụng RAM Cache với 1 đĩa cứng vật lý SSD PCIe Gen 4 đã tăng tốc độ truy xuất

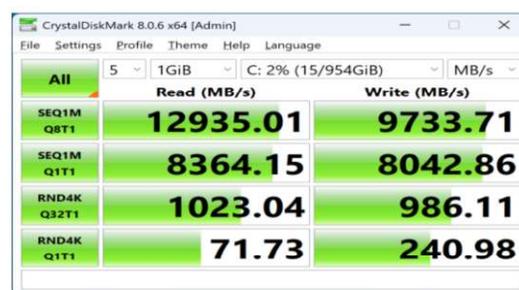
đĩa cứng rất nhiều, tốc độ đọc tuần tự lên đến 20.185MB/s (cao hơn loại SSD PCIe Gen 5) và tốc độ ghi tuần tự lên đến 50.091MB/s (gấp 3,6 lần loại SSD PCIe Gen 6).

Bảng 1. So sánh tốc độ đọc/ghi đĩa cứng Pha 2 với Pha 1

Kiểu truy xuất	Pha 1 (MB/s)		Pha 2 (MB/s)		Tăng (lần)	
	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi
SEQ1M Q8T1	7.145,31	5.048,79	20.185,08	50.091,62	2,82	9,92
SEQ1M Q1T1	5.495,18	4.598,60	10.786,94	19.850,27	1,96	4,32
RND4K Q32T1	1.047,87	982,16	1.271,47	1.160,80	1,21	1,18
RND4K Q1T1	55,23	318,42	1.416,53	1.262,89	25,65	3,97

Khi sử dụng giải pháp dùng RAM Cache, tốc độ truy xuất đĩa cứng phụ thuộc vào tốc độ đĩa cứng vật lý và tốc độ RAM của máy tính. Do nhà sản xuất phần mềm Primo Cache không đưa ra đầy đủ những thông số này khi công bố số liệu về tốc độ truy xuất, nên không có cơ sở so sánh với kết quả thực nghiệm Pha 2. Mặt khác, hiện nay chưa có nghiên cứu công bố đầy đủ về tốc độ truy xuất khi sử dụng sản phẩm Primo Cache, nên chúng tôi không có cơ sở để đối sánh với kết quả thực nghiệm Pha 2.

c. Thực nghiệm Pha 3: đo tốc độ truy xuất dữ liệu trên đĩa cứng RAID 0 gồm 2 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB và không sử dụng RAM Cache, cho kết quả trên Hình 6.



Hình 6. Tốc độ truy xuất thực tế trên ổ đĩa RAID 0 gồm 2 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB.

So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 3 với Pha 1 được trình bày trong Bảng 2, cho thấy khi sử dụng RAID 0 với 2 đĩa cứng vật lý thì tốc độ đọc tuần tự SEQ1M Q8T1 tăng 1,81 lần và tốc độ ghi tuần tự SEQ1M Q8T1 tăng 1,93 lần. Điều này cho thấy tốc độ truy xuất không tăng gấp đôi khi thực hiện RAID 0 hai đĩa cứng, do RAID Controller cần có thời gian xử lý dữ liệu trước khi truy xuất đĩa cứng.

Bảng 2. So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 3 với Pha 1

Kiểu truy xuất	Pha 1 (MB/s)		Pha 3 (MB/s)		Tăng (lần)	
	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi
SEQ1M Q8T1	7.145,31	5.048,79	12.935,01	9.733,71	1,81	1,93
SEQ1M Q1T1	5.495,18	4.598,60	8.364,15	8.042,86	1,52	1,75
RND4K Q32T1	1.047,87	982,16	1.023,04	986,11	0,98	1,00
RND4K Q1T1	55,23	318,42	71,73	240,98	1,30	0,76

d. Thực nghiệm Pha 4: đo tốc độ truy xuất dữ liệu đĩa cứng khi sử dụng RAM Cache với đĩa cứng RAID 0 gồm 2 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB (chuẩn SSD PCIe Gen 4) cho kết quả trên Hình 7.

	Read (MB/s)	Write (MB/s)
SEQ1M Q8T1	26365.03	50259.51
SEQ1M Q1T1	10803.03	19867.73
RND4K Q32T1	1233.43	1102.17
RND4K Q1T1	1427.24	1263.52

Hình 7. Tốc độ truy xuất thực tế khi sử dụng RAM Cache với đĩa cứng RAID 0 gồm 2 đĩa cứng SK Hynix PC801 512GB.

So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 4 với Pha 1 được trình bày trong Bảng 3, cho thấy tốc độ truy xuất đĩa cứng tăng rất nhiều, tốc độ đọc tuần tự lên đến 26.365MB/s (cao hơn loại SSD PCIe Gen 5 và gần bằng loại SSD PCIe Gen 6), tốc độ ghi tuần tự lên đến 50.259MB/s (gấp 3,6 lần loại SSD PCIe Gen 6).

Bảng 3. So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 4 với Pha 1

Kiểu truy xuất	Pha 1 (MB/s)		Pha 4 (MB/s)		Tăng (lần)	
	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi
SEQ1M Q8T1	7.145,31	5.048,79	26.365,03	50.259,51	3,69	9,95
SEQ1M Q1T1	5.495,18	4.598,60	10.803,03	19.867,73	1,97	4,32
RND4K Q32T1	1.047,87	982,16	1.233,43	1.102,17	1,18	1,12
RND4K Q1T1	55,23	318,42	1.427,24	1.263,52	25,84	3,97

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 2 với Pha 3 được trình bày trong Bảng 4, cho thấy

giải pháp dùng RAM Cache với một đĩa cứng vật lý đơn lẻ cho tốc độ truy xuất cao hơn giải pháp dùng RAID 0 với 2 đĩa cứng vật lý.

Bảng 4. So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 2 với Pha 3

Kiểu truy xuất	Pha 3 (MB/s)		Pha 2 (MB/s)		Tăng (lần)	
	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi
SEQ1M Q8T1	12.935,01	9.733,71	20.185,08	50.091,62	1,56	5,15
SEQ1M Q1T1	8.364,15	8.042,86	10.786,94	19.850,27	1,29	2,47
RND4K Q32T1	1.023,04	986,11	1.271,47	1.160,80	1,24	1,18
RND4K Q1T1	71,73	240,98	1.416,53	1.262,89	19,75	5,24

So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 4 với Pha 2 được trình bày trong Bảng 5, cho thấy khi kết hợp RAID 0 với RAM Cache cho tốc độ đọc tuần tự SEQ1M Q8T1 tăng 1,31 lần,

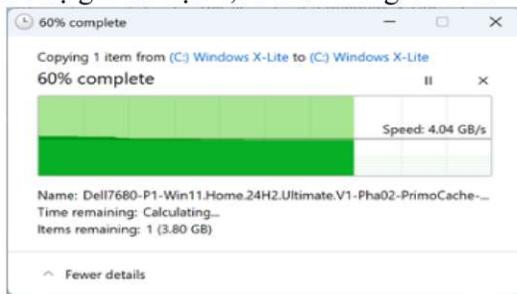
lên đến 26.365MB/s (cao hơn loại SSD PCIe Gen 5 và gần bằng loại SSD PCIe Gen 6), những tốc độ truy xuất khác chênh lệch không đáng kể.

Bảng 5. So sánh tốc độ đọc/ghi dữ liệu Pha 4 với Pha 2

Kiểu truy xuất	Pha 2 (MB/s)	Pha 4 (MB/s)	Tăng (lần)
----------------	--------------	--------------	------------

	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi	Đọc	Ghi
SEQ1M Q8T1	20.185,08	50.091,62	26.365,03	50.259,51	1,31	1,00
SEQ1M Q1T1	10.786,94	19.850,27	10.803,03	19.867,73	1,00	1,00
RND4K Q32T1	1.271,47	1.160,80	1.233,43	1.102,17	0,97	0,95
RND4K Q1T1	1.416,53	1.262,89	1.427,24	1.263,52	1,01	1,00

Chúng tôi thử nghiệm sao chép một tập tin dung lượng xấp xỉ 10GB: thời gian thực hiện khoảng 2,9 giây, ảnh chụp màn hình ghi lại tốc độ ghi dữ liệu 4,04GB/s trong Hình 8.



Hình 8. Thử nghiệm ghi tập tin.

Hiện nay máy tính workstation có 16GB RAM trở lên khá phổ biến. Vì vậy, việc sử dụng 5GB RAM làm vùng nhớ đệm cho thao tác truy xuất đĩa cứng hoàn toàn khả thi. Đó là lý do chúng tôi chọn thực nghiệm với vùng nhớ đệm *PrimoCache* có 5GB RAM. Khi dung lượng vùng nhớ đệm *PrimoCache* tăng lên thì dữ liệu lưu tạm thời trong vùng nhớ đệm cũng tăng lên, từ đó góp phần tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng. Đối với máy tính có nhiều hơn 16GB RAM, có thể cân nhắc tăng dung lượng vùng nhớ đệm *PrimoCache* lớn hơn 5GB RAM. Đối với máy tính có ít hơn 16GB RAM, có thể sử dụng từ 20% đến 50% dung lượng RAM làm vùng nhớ đệm *PrimoCache*. Việc chọn dung lượng RAM Cache quá lớn sẽ ảnh hưởng đến hiệu năng chung của máy tính và hiệu năng của các phần mềm cần dùng nhiều RAM.

Primo Cache là phần mềm thương mại có bản quyền, cho dùng thử miễn phí 30 ngày. Thực tế, chúng tôi đã có trải nghiệm gần 10 năm sử dụng máy tính Dell Precision M4800, sản xuất năm 2014, với cấu hình RAID 0 gồm 3 đĩa cứng SSD chuẩn SATA 3 (một đĩa mSATA, một đĩa SSD 2.5inch thay đĩa HDD

truyền thông và một đĩa SSD 2.5inch kết hợp bộ chuyển đổi gắn vào khe lắp ổ DVD) và dùng 5GB RAM làm bộ nhớ đệm *PrimoCache*. Máy tính này hoạt động đến nay chưa gặp lỗi kỹ thuật, hỏng đĩa cứng hay việc mất dữ liệu và đã được chúng tôi nâng cấp lên hệ điều hành Microsoft Windows 11 phiên bản 24H2 chạy rất nhanh và ổn định.

Việc dùng kỹ thuật tạo RAID hay dùng bộ nhớ đệm *PrimoCache* riêng lẻ, đều cho phép tăng tốc truy xuất đĩa cứng. Chúng tôi đề xuất sử dụng RAID 0 kết hợp dùng RAM làm bộ nhớ đệm với mục tiêu có được tốc độ truy xuất đĩa cứng cao nhất. Trong thực nghiệm của chúng tôi, việc để lại một đĩa cứng vật lý không tham gia cấu hình tạo RAID, dùng để lưu trữ dữ liệu cá nhân quan trọng giúp người sử dụng an tâm hơn nhiều. Tuy nhiên cần lưu ý rủi ro có thể hỏng bất cứ đĩa cứng vật lý nào. Vì vậy, cần sao lưu dữ liệu ra thiết bị lưu trữ ngoài (đĩa cứng gắn ngoài, lưu trữ trực tuyến, ...) để tăng cường an toàn dữ liệu.

Những máy tính workstation cho phép gắn nhiều hơn 3 đĩa ứng, ví dụ như Dell Precision 7780 cho phép gắn tối đa 4 đĩa cứng 2TB loại SSD PCIe Gen 4, có thể cân nhắc sử dụng RAID 5 với 3 đĩa cứng hoặc 4 đĩa cứng.

Khi sử dụng kỹ thuật RAID 0 hoặc RAID 5, việc đọc/ghi dữ liệu được chia “*tương đối đều*” trên các đĩa cứng vật lý. Điều này giúp chia đều tải đọc/ghi dữ liệu trên các đĩa cứng vật lý, từ đó giúp tăng tuổi thọ đĩa cứng vật lý so với trường hợp chỉ dùng một đĩa cứng vật lý.

Thực nghiệm của chúng tôi chỉ thực hiện trên một máy tính cụ thể và sử dụng lượng RAM nhỏ (5GB) tạo RAM Cache. Đây là điểm hạn chế trong nghiên cứu của chúng tôi. Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm cho thấy khả

năng tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng rõ rệt. Khi muốn tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng cho máy tính, chúng ta có thể sử dụng 30 ngày miễn phí phần mềm Primo Cache trước khi quyết định mua bản quyền phần mềm (khoảng 29,95 USD cho một máy tính). Việc điều chỉnh lượng RAM dùng cho RAM Cache trong phần mềm Primo Cache rất đơn giản, không phải thiết lập lại từ đầu và không cần khởi động lại máy tính.

4. Kết luận

Kết quả thực nghiệm của chúng tôi cho thấy giải pháp dùng RAM Cache tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng tốt hơn giải pháp dùng RAID 0. Khi chúng tôi kết hợp giải pháp dùng RAID 0 với RAM Cache, tốc độ đọc tuần tự lên đến 26.365MB/s, giúp máy tính sử dụng chuẩn đĩa cứng SSD PCIe Gen 4 có tốc độ truy xuất đĩa cứng cao hơn chuẩn SSD PCIe Gen 5, tốc độ đọc tuần tự gần bằng tốc độ đọc tuần tự chuẩn SSD PCIe Gen 6 và tốc độ ghi tuần tự gấp 3,6 lần tốc độ ghi tuần tự chuẩn SSD PCIe Gen 6.

Các máy tính dòng workstation cần nâng cấp lên phiên bản hệ điều hành Microsoft Windows 11 mới nhất hay các máy tính xử lý các tác vụ dữ liệu lớn như render hình ảnh, biên tập video độ phân giải cao (Full HD, 4K), thiết kế đồ họa, ... có thể áp dụng giải pháp này để tăng tốc độ thực thi ứng dụng. Đối với máy tính không hỗ trợ kỹ thuật RAID, như các laptop dòng phổ thông, sử dụng giải pháp RAM Cache để tăng tốc độ truy xuất đĩa cứng là một lựa chọn rất tốt.

Trong khi RAID 0 cho phép tăng tốc độ truy xuất dữ liệu và không thể khôi phục dữ liệu khi hỏng một đĩa cứng vật lý thì RAID 5 cho phép tăng tốc độ truy xuất dữ liệu và có thể khôi phục dữ liệu khi hỏng một đĩa cứng vật lý. Vì vậy, thực nghiệm và so sánh tốc độ truy xuất đĩa cứng khi kết hợp RAID 5 với RAM Cache, thay đổi lượng RAM dùng cho RAM Cache và thực nghiệm trên nhiều cấu hình phần cứng máy tính khác nhau là định hướng tiếp theo để chúng tôi tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng.

Tài liệu tham khảo

1. Petros Koutoupis. (2013). *Advanced hard drive caching techniques*. Research Gate.
2. Pilar Gonzalez Ferez. (2007). *The RAM Enhanced Disk Cache Project (REDCAP)*. IEEE.
3. R. Karedla, J. S. Love, and B. G. Wherry. (1994). *Caching strategies to improve disk system performance*. IEEE.
4. Romex Software. (2025). *Primo Cache*. Retrieved from <https://www.romexsoftware.com/en-us/primo-cache/index.html>.
5. Saleh A. Khawatreh. (2018). *RAID-based Storage Systems*. Al-Ahliyya Amman University.
6. Shenze Chen. (1996). *A performance evaluation of RAID architectures*. IEEE.
7. Yun-Sik Kwak. (2009). *Performance Analysis of RAID Implementations*. Springer, Berlin, Heidelberg.