

Leistungsaspekte von Festplattenspeichern

Auslaufmodell Harddisk

Festplatten sind das bevorzugte Speichermedium für einen Großteil der neuen Rechner. Doch während die Kapazitäten der Harddisks stetig wachsen, treten andere Performancekriterien wie beispielsweise Zugriffszeiten auf der Stelle. Flash-basierte Speichersysteme machen den rotierenden Scheiben daher ernsthafte Konkurrenz.

von Andrej Mücke

Das Größenwachstum der Harddisks in den letzten 20 Jahren ist beeindruckend: Das Volumen von 100 MB im Jahr 1987 hat sich auf aktuell 1000 GB gesteigert. Diese Entwicklung ist auf die stetige Erhöhung der flächenbezogenen Speicherdichte (Areal Density) zurückzuführen, aus der eine Steigerung sowohl der Datenmenge pro Spur (Linear Density) als auch der Anzahl der Spuren pro Plattenoberfläche (Track Density) resultiert. Die Größe der Gesamtoberfläche einer Festplatte hat in diesem Zeitraum kontinuierlich abgenommen, zum einen durch die Verkleinerung der Standardbauform von 5,25" - über 3,5" - bis hin zu 2,5"-Platten, die in Notebooks und mittlerweile auch in Servern zum Einsatz kommen. Zum anderen verringerte sich durch die geringere Bauhöhe und zur Senkung der Produktionskosten auch die Anzahl der einzelnen Scheiben. Schien eine technologische Grenze erreicht, so fanden sich nach kurzer Zeit neue Verfahren wie früher GMR oder heute Perpendicular Recording, um noch mehr Informationen auf gleicher

Fläche unterzubringen. Für die maximale Informationsdichte gibt es eine physikalische Grenze – es ist aber zurzeit noch nicht abschätzbar, wie sehr sich zukünftige Technologien dieser Grenze annähern können.

Neben dem Speichervolumen sind auch die Transferraten gestiegen. Das betrifft sowohl die maximale Schnittstellengeschwindigkeit als auch die realen Übertragungsraten bei physikalischen Schreib-/Lesevorgängen auf der Platte. Im Vergleich zu den Kapazitäten jedoch sind die effektiv erzielbaren Nettotransferraten um zwei Größenordnungen weniger stark angewachsen: von unter einem MB/s bis auf mehr als 100 MB/s. Der Grund: Die Erhöhung der Track Density hat keine Auswirkung auf die Transferraten – nur die Steigerung von Linear Density und Plattendrehzahl wirkt sich positiv auf den Datendurchsatz aus. Problematisch wird die geringere Zunahme der Transferrate bei Vorgängen, die in Relation zur Gesamtkapazität stehen. Das Kopieren des gesamten Platteninhalts dauert dadurch umso länger, je höher die Gesamtkapazität beträgt. Eine

100-MB-Disk zu kopieren, nahm nur wenige Minuten in Anspruch, bei den heutigen 1-TB-Platten dauert es bereits mehrere Stunden.

Leider sind die maximalen Transferaten nur bei rein sequenziellen Operationen erreichbar. Bei nicht sequenziellem Zugriff erfolgt zwangsläufig eine Neupositionierung des gesamten Kopfträgers auf die gewünschte Spur. Dieser mechanische Vorgang durchläuft zunächst die beiden in etwa gleichlangen Phasen der Beschleunigung und der Verzögerung des Arms. Anschließend erfolgt eine Feinpositionierung auf die Zielspur. Dieser Spurwechsel nimmt je nach Spurbauweise und Plattenbauweise zwischen 0,3 und 25 ms in Anspruch. Die mittlere Zugriffszeit liegt typischerweise im Bereich von vier bis zwölf ms. Im normalen Anwendungsfall sind die Daten einer Applikation allerdings nicht über die gesamte Platte verstreut, wodurch sich die reale mittlere Zugriffszeit auf ungefähr ein bis vier ms reduziert. Hinzu kommt die Zeit, bis auf der ausgewählten Datenspur auch der angeforderte Block den Schreib-/Lesekopf passiert. Im Mittel ist dafür eine halbe

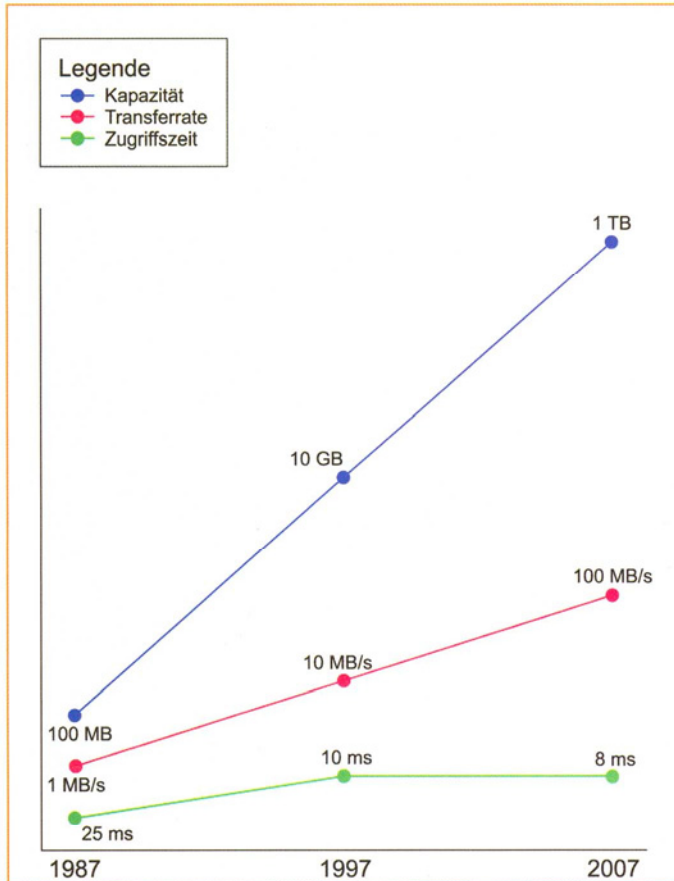


Abb. 1: Im Vergleich zur Kapazität haben sich Transferraten und Zugriffszeiten in den letzten 20 Jahren signifikant wenig verbessert (Bild: vectorsoft AG)

Plattenumdrehung erforderlich. Je nach Plattendrehzahl beansprucht diese nochmals zwei bis sechs ms. Daraus ergibt sich eine Limitation von maximal 100 bis 300 möglichen I/O-Operationen pro Sekunde. Im ungünstigen Fall liest die Software pro Operation nur einen Datenblock von vier KB, woraus sich eine effektive Transferrate von nur noch 400 bis 1200 KB/s ergibt. Selbst bei größeren Datenblöcken von 16 oder 32 KB liegen die erreichbaren Geschwindigkeiten ganz erheblich unter der Maximalrate. Das Lesen einer kompletten 1-TB-Disk kann auf diese Art mehrere Wochen dauern.

Grenzen der mechanischen Leistungssteigerung

Im Bereich der mechanischen Komponenten sind im Rahmen vertretbarer Kosten-/Nutzenverhältnisse praktisch keine Leistungssteigerungen mehr zu erwarten. Eine deutliche Steigerung der Drehzahl stellt höhere Anforderungen an Antrieb und Lagerung des Plattenstapels und erfordert die Abführung der zusätzlichen

Reibungswärme. Dies bedingt eine erheblich aufwändigere und damit teurere Konstruktion. Bei Drehzahlen oberhalb von 10.000 pro Minute ist aufgrund der höheren, auf das Speichermedium wirkenden Fliehkräfte auch eine Reduzierung des Plattendurchmessers – zu Lasten der Kapazität – notwendig. Im Desktopbereich sind daher nicht mehr als die aktuellen 7200 Umdrehungen pro Minute zu erwarten. Auch im Serverbereich lohnt es sich nicht, die derzeit maximal erhältlichen 15.000 Umdrehungen pro Minute zu steigern, da die Mehrkosten nicht im Verhältnis zu der geringen Verbesserung von Transferrate und Latenz stehen.

Im Wesentlichen bestimmen Antrieb und Gewicht des Kopfträgers die Geschwindigkeit der Kopfbewegungen. Diese Komponenten haben aber kaum noch – bezahlbares – Verbesserungspotenzial. Zwar lassen sich die Zugriffszeiten reduzieren, indem man den Plattendurchmesser und damit die Wegstrecke der Köpfe verringert. Allerdings würde dies

selbst bei einer Halbierung der nutzbaren Oberfläche nur eine Verbesserung von ca. 20 Prozent bringen. Die heutige Festplattenmechanik ist somit weitgehend ausgereizt.

Zur Leistungssteigerung integrierte man schon frühzeitig einen RAM-basierten Zwischenspeicher in die Steuerungshardware. Dieser Cache ist im Laufe der Zeit immer weiter gewachsen und beträgt heute meistens zwischen acht und 32 MB. Aufgrund der im Verhältnis zur Gesamtkapazität doch sehr geringen Größe eignet sich dieser Speicher vor allem für Prefetching. Dabei liest der Controller nach dem gewünschten Datenblock noch weitere Blöcke derselben Spur quasi auf Vorrat ein. Um Random-Zugriffe spürbar zu beschleunigen, ist der Puffer schlicht zu klein. Außerdem verfügen die Betriebssysteme selbst über einen eigenen Puffer für Diskzugriffe, wodurch die Festplatte häufig gelesene Datenblöcke gar nicht mehr anfordert. Die Nutzung des Caches für eine Beschleunigung von Schreiboperationen durch verzögertes Schreiben ist problematisch, da die Gefahr von Datenverlust bei Stromausfall besteht. Auch hier lassen sich oft nur marginale Geschwindigkeitsverbesserungen erzielen, da auch die Betriebssysteme mit verzögertem Schreiben arbeiten.

In neueren Hybrid-Modellen soll die Verwendung von Flash-Speichern für einen Leistungsschub sorgen. Ausfallsichere Zwischenspeicherung im Puffer sollen Schreiboperationen beschleunigen. Um eine effizientere Nutzung des Caches für Lesezugriffe zu erreichen, muss allerdings das Betriebssystem die Belegung des Puffers steuern. Durch eine entsprechende Gewichtung lassen sich Datenblöcke mit höherer Zugriffshäufigkeit bevorzugt im Puffer ablegen. Der zu erwartende Geschwindigkeitsgewinn hängt davon ab, wie hoch der Prozentsatz eingesparter Random-Operationen in einer konkreten Anwendungssituation tatsächlich ist.

Auswirkung der Zugriffszeiten auf die Softwareperformance

Die Grundcharakteristik des Geschwindigkeitsverhaltens einer Festplatte besteht somit aus schnellen sequenziellen und

langsamen nicht sequenziellen Zugriffen. Arbeitet die Software hauptsächlich mit sequenziellen Operationen wie beispielsweise bei Audio/Video-Streams, spielen die Zugriffszeiten keine große Rolle. Bei Anwendungen mit vielen und stark verteilten Datenblöcken wie Datenbanken wirkt die Stagnation der Zugriffszeiten zunehmend als Bremsklotz. Stark steigende Datenvolumen führen hier immer öfter zu spürbarer Verlangsamung einzelner Anwendungsbereiche. Im Multi-User-Betrieb ist durch das Verteilen gleichzeitiger Zugriffe auf mehrere Platten innerhalb eines RAID-Verbunds noch eine gewisse Beschleunigung des Durchsatzes möglich, eine joborientierte Verarbeitung profitiert davon allerdings kaum.

Softwareseitig bestehen nur wenige Möglichkeiten zur Entschärfung der Performanceengpässe. Ziel ist dabei eine Reduzierung der randommäßigen I/O-Operationen. Die erfolgsversprechendste Strategie besteht darin, den Hauptspeicher vermehrt zu nutzen. Dies setzt zwar eine gewisse Mindestmenge an RAM voraus, dafür kann die Applikation im Idealfall den gesamten Datenbestand mit wenigen sequenziellen Lesevorgängen in den Speicher laden. Alternativ lassen sich gelesene Daten über einen längeren Zeitraum im Hauptspeicher halten, um ein Nachladen zu vermeiden und dadurch ebenfalls die Anzahl der I/Os zu reduzieren.

Schwieriger ist eine Änderung der Struktur der gespeicherten Daten, um die Zugriffscharakteristik in Richtung auf einen höheren Anteil sequenzieller Operationen zu verändern. Auch das Resultat solcher Modifikationen kann unbefriedigend sein. Beispielsweise liest ein Datenbanksystem bei einer Vergrößerung von Datenblöcken zwar mehr Daten pro Operation, falls die Anwendung diese zusätzlichen Daten aber nicht zeitnah benötigt, kann der Beschleunigungseffekt gegen Null gehen.

Alternative Solid-State-Disk

Als Alternative zu herkömmlichen Festplatten kommen in letzter Zeit zunehmend die auf Flash-Speicherchips basierenden Solid-State-Disks (SSD) in Betracht. Hauptvorteil dieser Massenspeicher ist die Abwesenheit mechani-

scher Komponenten und damit konkurrenzlose niedrige Zugriffszeiten. Mit weniger als 0,3 ms durchschnittlicher Zugriffszeit lassen sich über 3000 Random-I/Os pro Sekunde durchführen. Dies gilt aktuell jedoch nur für die Lesezugriffe. Beim Schreiben vieler kleiner Datenblöcke hingegen wachsen die Zugriffszeiten stark an und liegen damit auf dem Niveau von Festplatten. Die Ursache für diesen Effekt ist die Organisation in größeren Speicherblöcken (16 KB) als bei HDs (512 Bytes). Die Transferraten bei sequenziellen Operationen erreichen noch nicht die Werte schneller Harddisks, im Zuge der technischen Weiterentwicklung ist aber sowohl eine deutliche Steigerung der Transferraten als auch eine Verbesserung der Zugriffszeiten bei Schreiboperationen zu erwarten. SSDs verfügen außerdem über eine geringe Schockempfindlichkeit und benötigen nur wenig Strom. Ein angenehmer Nebeneffekt ist zudem der geräuschlose Betrieb. Die Nachteile liegen derzeit vor

allem im hohen Preis und in den im Vergleich zu Harddisks geringeren Kapazitäten und niedrigeren Transferraten.

Fazit

Unter Performancegesichtspunkten ist die Festplatte ganz klar ein Auslaufmodell. Mittelfristig wird sie aufgrund des guten Preis/Kapazitätsverhältnisses noch da einen Platz haben, wo Zugriffsgeschwindigkeiten nachrangig und hohe Speichervolumen notwendig sind. Die Zukunft gehört den Flash-basierten Speichersystemen, die mehr Potenzial zur technischen Weiterentwicklung bieten.



Andrej Mücke ist Leiter der Datenbankentwicklung bei der vectorsoft AG sowie Mitbegründer des Unternehmens. vectorsoft mit Sitz in Heusenstamm entwickelt und vertreibt das Datenbanksystems (DBS)

CONZEPT 16.