Uticaj SU na performanse RAID 10 sa 4 SSD

Influence of SU size on RAID 10 performance with 4 SSDs

*Slobodan Obradović1, Nikola Davidović1, Ilja Stanišević2*

1 Elektrotehnički fakultet u Istočnom Sarajevu, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

2Akademija strukovnih studija Zapadna Srbija, Valjevo, Srbija

email: slobo.obradovic@gmail.com; nikola.davidovic@etf.ues.rs.ba; Ilja.stanisevic@vipos.edu.rs

**Sažetak:** Performanse sekundarnih memorija zavise od više parametara a najznačajniji su radno opterećenje, dubina reda (QD, Queue Depth) i veličine bloka podataka - jedinice trake (SU, Stripe Unit), a kod nizova uparenih diskova (RAID, Redundant Array of Independent Disks) i od broja uređaja (N). Veličina bloka podataka značajno utiče na performanse sekundarnih memorija sa magnetnim diskovima (HDD). Isto važi i kada se realizuju RAID 10 nizovi uparenih HDD, pa se veličina jedinice traka izabira na bazi više parametara zavisno od namene i načina upotrebe sekundarne memorije. SSD (Solid State Drve) uređaji su tehnološki i principijelno potpuno drugačiji od HDD. SSD su poluprovodnički uređaji sa slučajnim pristupom pa je moguće očekivati i da uticaj nekih parametar poput jedinice trake bude druačiji u odnosu na HDD. U ovim radu analiziran je uticaj veličine jedinice trake na performanse niza RAID 10 sa 4 uparena SSD uređaja.

**Abstract:** The performance of secondary memories depends on several parameters, the most important of which are the workload, the depth of the queue (QD, Queue Depth) and the size of the data block, a strip unit (SU, Stripe Unit) and in the case of arrays of paired disks (RAID, Redundant Array of Independent Disks) the number of devices (N). The size of a data block significantly affects the performance of secondary memory with magnetic disks (HDD). The same is true when realizing RAID 10 arrays of paired HDDs, so the size of the tape unit is selected based on several parameters depending on the purpose of the secondary memory. SSD (Solid State Trees) devices are technologically and fundamentally completely different from HDDs. SSDs are semiconductor devices with random access, so it is possible to expect that the influence of some parameters such as a size of stripe unit will be different compared to HDD. In this paper, the influence of the tape unit size on the performance of a RAID 10 array with 4 paired SSD devices is analyzed.

**Klučne reči:** performanse, jedinica trake (SU, Stripe Unit), HDD, SSD, RAID 10.

**Keywords:** Performance, Stripe Unit (SU), HDD, SSD, RAID 10.

1. UVOD

Godinama se RAID način uparivanja niza nezavisnih diskova koristio i prilagođavao upotrebi na magnetnim diskovima – HDD (eng. Hard Disk Drive). S obzirom da i takav način uvezivanja donosi određene nedostatke, kao da i dalje postoji nedovoljno poboljšanje performansi sekundarnih memorijskih uređaja tražene su adekvatne zamjene magnetnom disku.

Poluprovodnički disk – SSD (eng. Solid State Disk), kao novi sekundarni memorijski uređaj, donosi značajna poboljšanja u performansama sekundarnih memorijskih uređaja. Kao i HDD poluprovodnički disk trajno čuva i skladišti podatke, ali ih umesto na magnetnim diskovima, čuva u flash memorijskim čipovima. Zbog toga što se podaci čuvaju u elektronskom umesto u magnetnom obliku, SSD uređaji su brži od magnetnih diskova iz dva razloga. Prvo, nije potrebna konverzija električnog oblika informacije u magnetni oblik, a drugo, SSD ne koristi pokretne mehaničke delove, pa bilo kojim uskladištenim podacima može da pristupa sa mnogo kraćim vremenom pristupa u odnosu na magnetne diskove.

Primarna ideja prilikom ostvarivanja RAID tehnologije (eng. Redundant Array of Inexpensive Disks ili češće eng. Redundant Array of Independent Disks) je da se povezivanjem više uređaja manjeg kapaciteta i manje brzine prenosa podataka u jednu logičku celinu mogu dobiti sistemi u kojima bi bio zamenjen jedan skupi uređaj većeg kapaciteta i veće brzine prenosa podataka[1]. Osim toga ovakav način uvezivanja sekundarnih memorijskih uređaja treba omogućiti prvenstveno povećanje brzine čitanja i/ili pisanja sa sekundarnog memorijskog uređaja, povećanje prostora za čuvanje i skladištenje podataka, kao i redudantnosti sistema. Prosječnim korisnicima su prvi komercijalno dostupni RAID sistemi bili tek početkom ovog veka, kada su proizvođači matičnih ploča integrisali jeftinije RAID kontorlere. U suštini korišćenje RAID nizova na poluprovodničkim diskovima omogućava dodatno poboljšanje performansi sekundarne memorije, ali uz određenu cenu.

U osnovi možemo razlikovati sedam različitih RAID nivoa organizacije skladištenja podataka i to[1][2][3]:

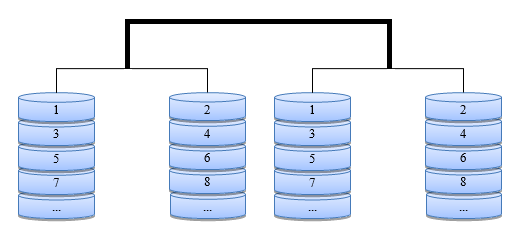
* RAID 0 – striping (eng. striping);
* RAID 1 – preslikavanje (eng. mirroring);
* RAID 2 – Redudantni preko Hammingovog koda (eng. bit-striping with Hamming-code parity);
* RAID 3 – Bit isprepletana parnost (eng. bit-stiping with dedicated parity);
* RAID 4 – Blok isprepletana parnost (eng. block-striping with dedicated parity);
* RAID 5 – Blok isprepletana raspodjeljena parnost (eng. block-striping with distributed parity);
* RAID 6 – Blok isprepletana dualno raspodjeljena parnost (eng. block-striping with double distributed parity).

Osim navedenih sedam RAID nivoa moguće je realizovati i neki od ugnježdenih ili hibridnih RAID sistema. Suštinski ti hibridni RAID sistemi predstavljaju jednu od kombinacija navedenih sedam RAID nivoa.

1. RAID 10

U osnovi RAID niza je da kombinuje više malih, jeftinih diskova u niz diskova koji će doneti performanse iznad onih koje poseduje jedan skup veliki disk. Druga željena karakteristika je povećanje pouzdanosti podataka, odnosno mogućnost oporavka podataka u slučaju otkaza jednog od uređaja. Ukupno ima pet tipova arhitekture nizova, od RAID-1 do RAID-5 kojima se ostvaruju ove navedene karakteristike, ali prevashodno povećavaju pouzdanost podataka (moguć oporavak podataka u slučaju otkaza jednog uređaja). U praksi se najviše koriste RAID 1 zbog svoje jednostavnosti, ali ima samo ɳ=0.5 prostora za skladištenje i čuvanje podataka, za razliku od bolje iskorišćenog RAID 5 koji ima ɳ=(N-1)/N. Pored ovih pet arhitektura redudantnih nizova, ustalilo se da se neredudantni nizovi nazivaju RAID 0. RAID 0 je najjednostavniji za realizaciju i daje najveće povećanje brzina čitanja i upisa. Naravno pored ovih arhitektura, danas postoji još nekoliko izvedenih ahitektura poput RAID 6 (koji dodatno povećava imunost na otkaz više od jednog uređaja), kao i kombinacije različitih RAID nivoa tzv. ugnježdeni RAID (npr. RAID 10, RAID 50).

Sa aspekta realizacije RAID 10 je najjednostavniji i omogućava postizanje visokih peformansi i pouzdanosti. Kada se realizuje RAID 10 sa 4 uređaja, on najpre pravi niz RAID 0, a onda pravi njegovu kopiju (još jedan takav niz - RAID 1). Minimalni broj nezavisnih i uparenih uređaja za realizaciju RAID 10 je 4, najmanje dva za realizaciju niza RAID 0 i još dva za njegovu kopiju. Realizacija RAID 10 niza sa 4 uparena SSD uređaja prikazana je na slici 1.

  
Slika.1. Šematski prikaz RAID 10 nivoa

1. KONFIGURACIJA TESTIRANJA

Hardverska specifikacija prikazana je u Tabeli I. Testovi su urađeni na Microsoft Windows 10 Education sa operativnim sistemom na KINGSTON SSD M2 (karakteristike date u tabeli 2.). Prilikom testova za konfigurisanje RAID 10 nivoa korišćen je integrisan RAID kontroler na matičnoj ploči ASUS H97M-E.

1. Hardverska konfiguracija PC

|  |  |
| --- | --- |
| **Hardver** | **Specifikacija** |
| Matična ploča | ASUS H97M-E |
| RAM | 16 GB, 2\*DIMM DDR3 8GB 1866MHz Kingston HyperX Fury |
| CPU Model | CPU Intel(R) Core(TM) i7-4790 [CPU@3.6GHz](mailto:CPU@3.6GHz), 3601 Mhz, 4 Core(s), 8 Logical Processor(s) |
| SSD sa operativnim sistemom | SSD ADATA, Premier Pro SP900, 2.5” SATA 6Gb/s |
| Operativni sistem | Microsoft Windows 10 Education,10.0.17134 Build 17134 |

1. SSD ADATA specifikacija

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SSD | Specifikacija KINGSTON M2 | Specifikacija KINGSTON |
| Model | SSD KINGSTON M2  SM2280S3/120G | SSD KINGSTON, SSDNOW 300V, 2.5” SATA 6Gb/s |
| Kapacitet | 120 GB | 128 GB |
| Čitanje | 550 MB/s | 450 MB/s |
| Upis | 520 MB/s | 450 MB/s |

## ATTO DISK BENCHMARK

ATTO Disk Benchmark je program koji se bavi testiranjem sistema za skladištenje podataka[8][9][10]. Prednost ovog programa je mogućnost kontrole procesa upisa i čitanja, dok je najveći nedostatak nemogućnost testiranja performansi nasumičnog pristupa.

Neke od opcija nad kojima ATTO Disk Benchmark omogućava podešavanja, a koja mogu da utiču na performanse ili da izoluju određene situacije u praktičnom radu. Prilikom provođenja testa izabrali smo veličinu bloka trake od 16KB (SU, Stripe Unit). Pri mjerenju, veličina radnog bloka podataka (workload) se mijenja od 512 bajta (1 sektor) do 64 MB (65356 KB). Performanse sistema su izmjerene za različite vrijednosti broja paralelnih U/I operacija (Queue Depth, QD 1 – nema paralelizma, QD 2, 4, 8, 16, 32).

1. OČEKIVANE PERFORMANSE RAID 10 SA 4 UREĐAJA

Kod HDD uređaja i RAID nizova realizovanih sa magnetnim diskovima postoji izražena zavisnost performansi od veličine fizičkog bloka podataka na uređaju (jedinica trake, Stripe Unit - SU) [3]. S obzirom na činjenicu da su SSD uređaji poluprovodnički i sa nasumični adresiranjem, moguće je da zavisnost performansi od veličine jedinice trake bude manje izražena nego kod magnetnih diskova. U tu svrhu izvršena su merenja brzina upisa i čitanja u niz RAID 10 sa 4 SSD Kingston uređaja. U tabeli 3 su date bazične brzina upisa i čitanja vrednosti izmerene za pojedinačne uređaje koji čine niz RAID 10. Maksimalna brzina upisa u svaki pojedinačni SSD uređaj je 480 MB/s a čitanja 485 MB/s.

1. Brzine upisa i čitanja za pojedinačne Kingston SSD uređaje

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.5  KB | 1  KB | 2  KB | 4  KB | 8  KB | 16  KB | 32  KB | 64  KB | 128  KB | 256  KB | 512  KB | 1024 KB | 2048 KB | 4096 KB | 8192 KB | 16  MB | 32  MB | 64  MB |
| 11 | 20 | 35 | 97 | 155 | 211 | 209 | 270 | 281 | 389 | 431 | 442 | 463 | 472 | 477 | 480 | 481 | 480 |
| 8,9 | 17 | 35 | 61 | 110 | 137 | 195 | 220 | 238 | 301 | 373 | 421 | 450 | 467 | 478 | 483 | 485 | 484 |

Teoretski, RAID 10 sa 4 uređaja bi trebao da postiže bar performanse koje ima RAID 0 sa 2 uređaja. S obzirom da postoji niz RAID 1, to bi trebalo dodatno da se dva puta povećaju brzine pri čitanju. Pri upisu bi brzine trebalo da ostanu iste kao kod RAID 0 sa 2 SSD [4]. No, RAID 0 sa 2 Kingston SSD uređaja odstupa od očekivanih teorijskih vrednosti. Naime RAID 0 sa 2 SSD nema dva puta veće brzine čitanja iako se one obavljaju istovremeno sa dva razna SSD uređaja [4]. Izmerena vrednost maksimalne brzine upisa je 980 MB/s što je praktično dva puta brže nego za jedan SSD, ali je maksimalna brzina čitanja iz RAID 0 sa 2 SSD samo 820 MB/s što je približno 1.7 puta brže. S obzirom da postoji još jedan niz RAID 0 sa 2 uređaja, pri čitanju se očekuje dodatno (teorijski dvostruko) povećanje brzine. To je posledica ćinjenice da je kod RAID 10 moguće istovremeno čitanje sa 4 nezavisna uređaja.

1. REZULTATI MERENJA I DIJAGRAMI

Merenja brzina su izvršena za četiri različite vrednosti veličine jedinica trake i to za SU od 4 KB, 8 KB, 16 KB i 32 KB. Istovremeno ove vrednosti prestavljaju ograničenje koje radno okruženje nameće, a koja su posledica činjenice da se radi o SSD uređajima i da bi dalje povećanje veličine jedinice trake doveo do izuzetno velike fragmentacije i vrlo malog iskorišćenja skladišnog prostora kada se radi o radu sa vrlo malim blokovima podataka koji se upisuju i čitaju (workload). Razlog je u činjenici da se na jednoj jedinici trake može skladištiti samo jedana datoteka.

Merenja brzina upisa i čitanja je izvršena za različite veličine blokova podataka radnog opterećenja (workload) u osegu od 0,5 KB do 64 MB (pri čemu je svaka naredna vrednost dva puta veća od prethodne). Takođe merenja su vršena za različite vrednost dubine reda (QD, Queue Depth) odnosno broja istovremenih ulazno/izlaznih operacja - paralelizma U/I operacija: bez paralelizma (QD 1), sa 4, 8, 16 i 32 paralelne - istovremene U/I operacije (QD 4, QD 8, QD 16 i QD 32).

U tabeli 4 dati su rezltati merenja brzina čitanja i upisa kada nema istovremenih U/I operacija, odnosno za QD 1 za četiri različite veličine jedinice trake SU (SS, Stripe Size): 8 KB, 16 KB, 32 KB i 64 KB. Odgovarajući dijagrami su prikazani na slikama 1 i 2.

1. Brzine upisa i čitanja za QD 1 (bez paralelizma) za SS 6, 16, 32 i 64 KB

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| queue depth 1 | | WRITE | | | | READ | | | |
| workload | | SS 8 | SS 16 | SS 32 | SS 64 | SS 4 | SS 16 | SS 32 | SS 64 |
| I/O size | 512B | 10.42 | 10.08 | 10.32 | 10.18 | 35.77 | 36.13 | 36.50 | 36.16 |
| 1KB | 19.82 | 19.58 | 19.78 | 19.43 | 69.89 | 69.16 | 69.89 | 71.35 |
| 2KB | 35.69 | 33.12 | 35.64 | 35.16 | 131.02 | 132.81 | 140.63 | 142.58 |
| 4KB | 90.14 | 90.14 | 90.37 | 89.84 | 232.82 | 250.00 | 269.83 | 272.46 |
| 8KB | 155.09 | 153.53 | 155.09 | 153.91 | 387.70 | 397.44 | 457.03 | 469.53 |
| 16KB | 232.05 | 229.32 | 232.05 | 227.62 | 588.37 | 734.38 | 871.09 | 835.94 |
| 32KB | 340.35 | 340.35 | 339.51 | 326.49 | 919.58 | 1052.06 | 1304.69 | 1363.78 |
| 64KB | 438.86 | 434.24 | 436.41 | 426.83 | 1284.03 | 1387.16 | 1421.88 | 1411.29 |
| 128KB | 471.70 | 468.75 | 483.09 | 466.42 | 1281.25 | 1392.33 | 1430.35 | 1419.75 |
| 256KB | 519.63 | 522.04 | 529.41 | 530.66 | 1289.93 | 1392.25 | 1433.92 | 1437.50 |
| 512KB | 559.28 | 550.66 | 553.10 | 555.56 | 1273.15 | 1368.16 | 1418.44 | 1418.44 |
| 1MB | 581.40 | 492.61 | 584.80 | 591.72 | 1265.82 | 1369.86 | 1415.09 | 1442.31 |
| 2MB | 594.35 | 591.72 | 592.59 | 596.13 | 1268.50 | 1339.29 | 1405.15 | 1438.85 |
| 4MB | 598.80 | 597.01 | 597.91 | 604.23 | 1275.92 | 1355.93 | 1431.13 | 1454.55 |
| 8MB | 603.32 | 601.50 | 602.41 | 606.06 | 1277.96 | 1369.86 | 1444.04 | 1470.59 |
| 12MB | 585.94 | 602.71 | 601.50 | 608.21 | 1271.19 | 1359.00 | 1440.58 | 1466.99 |
| 16MB | 604.46 | 603.55 | 607.44 | 607.44 | 1261.83 | 1349.07 | 1423.49 | 1476.01 |
| 24MB | 608.83 | 596.42 | 608.83 | 599.70 | 1254.57 | 1350.59 | 1414.26 | 1469.69 |
| 32MB | 609.52 | 600.49 | 596.90 | 611.15 | 1252.45 | 1351.92 | 1422.22 | 1472.62 |
| 48MB | 609.14 | 609.93 | 595.64 | 613.01 | 1245.12 | 1351.36 | 1422.30 | 1473.44 |
| 64MB | 611.12 | 611.91 | 612.83 | 599.49 | 1243.10 | 1349.03 | 1424.08 | 1472.72 |

*Slika 1. Zavisnost brzine upisa od radnog opterećenja za SS 6, 16, 32 i 64 KB bez paralelnih U/I*

*Slika 2. Brzine čitanja za SS 6, 16, 32 i 64 KB bez paralelnih U/I*

Maksimalne brzine pri upisu za QD 1 praktično ne zavise od veličine jedinice trake i dijagrami za SS 8, 16, 32 i 64 KB se poklapaju. Bez paralelnih U/I operacija, maksimalne brzine pri upisu se dostižu tek za vrlo velika radna opterećenja, odnosno za blokove 1MB i veće. Maksimalne brzine upisa su oko 600 MB/s što je samo 25% više nego za jedan SSD uređaj. Povezivanje RAID 0 u RAID 10 je 60% smanjilo brzinu upisa (sa 980 MB/s na samo 600 MB/s).

Maksimanle brzine čitanja bez paralelizma zavise od veličine jedinice trake i što je ona veća, veća je i maksimalna brzina, a ona se dostiže pri radnim opterećenjima od 32-64 KB. Za veličinu jedinice trake SS 8 KB maksimalna brzina je 1270 MB/s što je 2.65 puta brže od jednog SSD, a za SS 64 ona je 1476 MB/s što je 3.1 puta brže od jednog SSD a 16% više nego za SS 8 KB. Poverivanje RAID 0 sa 2 SSD u RAID 1 dalo značajno povećanje brzine čitanja koje zavisi od veličine jedinice trake SS.

U tabeli 5 dati su rezultati merenja brzina čitanja i upisa kada ima četiri istovremene U/I operacije, odnosno za QD 4 paralelnih, za četiri različite veličine jedinice trake SU (SS, Stripe Size): 8 KB, 16 KB, 32 KB i 64 KB. Odgovarajući dijagrami su prikazani na slikama 3 i 4.

1. Brzine upisa i čitanja za QD 4 (sa 4 paralelne U/I operacije) za SS 6, 16, 32 i 64 KB

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| queue depth 4 | | WRITE | | | | READ | | | |
| workload | | SS 8 | SS 16 | SS 32 | SS 64 | SS 8 | SS 16 | SS 32 | SS 64 |
| I/O size | 512B | 29.79 | 14.73 | 15.30 | 15.10 | 71.29 | 69.70 | 69.82 | 70.19 |
| 1KB | 57.72 | 29.95 | 28.08 | 29.32 | 141.11 | 138.18 | 141.85 | 137.70 |
| 2KB | 117.38 | 56.64 | 59.08 | 54.06 | 275.88 | 271.97 | 284.18 | 273.93 |
| 4KB | 350.59 | 198.24 | 198.72 | 198.24 | 535.16 | 538.09 | 562.50 | 532.23 |
| 8KB | 509.77 | 353.52 | 319.51 | 316.41 | 1027.34 | 1074.22 | 1113.28 | 996.09 |
| 16KB | 541.61 | 551.93 | 470.30 | 432.51 | 1281.25 | 1386.72 | 1425.78 | 1410.16 |
| 32KB | 612.59 | 603.34 | 600.06 | 561.10 | 1285.85 | 1394.95 | 1426.12 | 1421.88 |
| 64KB | 618.81 | 611.25 | 618.81 | 611.25 | 1284.03 | 1392.33 | 1442.31 | 1445.90 |
| 128KB | 608.27 | 608.27 | 618.81 | 623.44 | 1289.93 | 1395.78 | 1447.04 | 1457.82 |
| 256KB | 600.96 | 615.76 | 595.24 | 614.25 | 1286.76 | 1388.89 | 1456.31 | 1456.31 |
| 512KB | 620.35 | 615.76 | 611.25 | 609.76 | 1273.15 | 1371.57 | 1435.41 | 1466.99 |
| 1MB | 626.30 | 607.29 | 619.83 | 621.12 | 1255.23 | 1379.31 | 1459.85 | 1515.15 |
| 2MB | 622.08 | 613.50 | 615.38 | 612.56 | 1284.80 | 1388.89 | 1492.54 | 1523.81 |
| 4MB | 635.93 | 621.12 | 620.16 | 621.12 | 1290.32 | 1388.89 | 1503.76 | 1532.57 |
| 8MB | 637.96 | 603.32 | 627.45 | 634.42 | 1280.00 | 1410.93 | 1484.23 | 1538.46 |
| 12MB | 637.62 | 637.28 | 635.59 | 640.68 | 1277.96 | 1415.09 | 1488.83 | 1540.44 |
| 16MB | 638.21 | 635.42 | 633.91 | 639.23 | 1284.11 | 1419.70 | 1485.61 | 1534.04 |
| 24MB | 638.47 | 625.65 | 633.58 | 639.15 | 1284.11 | 1419.28 | 1483.31 | 1541.43 |
| 32MB | 636.82 | 635.93 | 626.10 | 631.29 | 1282.57 | 1415.30 | 1486.99 | 1541.43 |
| 48MB | 629.49 | 614.62 | 626.85 | 631.80 | 1282.63 | 1414.93 | 1486.80 | 1536.99 |
| 64MB | 636.64 | 636.15 | 633.93 | 638.75 | 1284.01 | 1417.91 | 1488.78 | 1536.96 |

*Slika 3. Zavisnost brzine pisanja od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 4*

Maksimalne brzine pri upisu za QD 4 se dostižu već pri opterećenjima od 32 KB (što je 32 puta manje nego bez paralelizma). One za radna opterećenja veća od 32 KB ne zavise od veličine jedinice trake i dijagrami za SS 8, 16, 32 i 64 KB i dijagrami se praktično poklapaju. Ono što nije očekivano jeste činjenica da je za male blokove podataka radnog opterećenja (do 32 KB) brzina upisa za SS 8 KB veća nego za SS 16 KB i veće. Sa 4 paralelne U/I operacije, maksimalne brzine upisa su oko 620 MB/s što je samo 25% više nego za jedan SSD uređaj.

*Slika 4. Zavisnost brzine čitanja od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 4*

Maksimanle brzine čitanja sa 4 paralelne operacije zavise od veličine jedinice trake i što je ona veća, veća je i maksimalna brzina a ona se dostiže pri radnim opterećenjima od 16 KB (što je 2-4 puta manje nego pri QD 1). Za veličinu jedinice trake SS 8 KB maksimalna brzina je 1280 MB/s što je 2.7 puta brže od jednog SSD, a za SS 64 ona je 1530 MB/s što je 3.2 puta brže od jednog SSD a 25% više nego za SS 8 KB. Povezivanje RAID 0 sa 2 SSD u RAID 1 dalo je značajno povećanje brzine čitanja koje zavisi od veličine jedinice trake SS.

U tabeli 6 dati su rezultati merenja brzina čitanja i upisa kada ima 16 istovremenih U/I operacija, odnosno za QD 16 paralelnih operacija, za četiri različite veličine jedinice trake SU (SS, Stripe Size): 8 KB, 16 KB, 32 KB i 64 KB. Odgovarajući dijagrami su prikazani na slikama 5 i 6.

1. Brzine upisa i čitanja za QD 4 (sa 16 paralelnih U/I operacija) za SS 6, 16, 32 i 64 KB

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| queue depth 16 | | WRITE | | | | READ | | | |
| workload | | SS 8 | SS 18 | SS 32 | SS 64 | SS 4 | SS 16 | SS 32 | SS 64 |
| I/O size | 512B | 52.49 | 49.19 | 53.70 | 46.26 | 73.36 | 69.82 | 69.70 | 69.95 |
| 1KB | 87.65 | 96.44 | 100.34 | 97.41 | 143.31 | 137.45 | 142.09 | 135.50 |
| 2KB | 185.06 | 164.55 | 137.21 | 156.74 | 282.23 | 282.71 | 279.79 | 279.30 |
| 4KB | 467.77 | 458.98 | 413.09 | 337.89 | 535.16 | 551.76 | 547.85 | 551.76 |
| 8KB | 525.39 | 613.28 | 598.11 | 556.64 | 1050.78 | 957.03 | 1109.38 | 1085.94 |
| 16KB | 605.47 | 607.86 | 609.38 | 617.19 | 1277.34 | 1394.53 | 1441.71 | 1445.31 |
| 32KB | 609.38 | 609.57 | 614.12 | 606.34 | 1289.06 | 1394.95 | 1449.50 | 1465.09 |
| 64KB | 606.34 | 597.43 | 617.28 | 607.86 | 1293.64 | 1406.25 | 1468.75 | 1484.38 |
| 128KB | 618.81 | 608.27 | 599.52 | 615.76 | 1286.76 | 1402.74 | 1474.20 | 1500.00 |
| 256KB | 617.28 | 611.25 | 606.80 | 621.89 | 1289.93 | 1399.03 | 1496.26 | 1500.00 |
| 512KB | 612.75 | 623.44 | 621.89 | 614.25 | 1282.05 | 1382.49 | 1463.41 | 1496.26 |
| 1MB | 626.30 | 625.00 | 625.00 | 627.62 | 1287.55 | 1405.15 | 1488.83 | 1511.88 |
| 2MB | 634.92 | 634.92 | 632.91 | 634.92 | 1282.05 | 1428.57 | 1477.83 | 1526.72 |
| 4MB | 635.93 | 635.93 | 632.91 | 638.98 | 1282.05 | 1418.44 | 1484.23 | 1538.46 |
| 8MB | 635.42 | 634.92 | 633.91 | 638.98 | 1277.96 | 1420.96 | 1486.99 | 1538.46 |
| 12MB | 636.60 | 614.44 | 634.25 | 638.98 | 1282.05 | 1425.18 | 1488.83 | 1538.46 |
| 16MB | 636.94 | 634.42 | 634.67 | 639.23 | 1280.00 | 1418.44 | 1488.37 | 1535.51 |
| 24MB | 636.60 | 634.42 | 634.25 | 629.10 | 1282.74 | 1408.45 | 1490.68 | 1534.53 |
| 32MB | 627.21 | 621.36 | 634.17 | 638.34 | 1284.11 | 1418.44 | 1484.92 | 1541.43 |
| 48MB | 628.41 | 620.09 | 634.61 | 637.95 | 1280.12 | 1408.85 | 1482.10 | 1534.83 |
| 64MB | 635.78 | 634.55 | 627.62 | 638.25 | 1281.00 | 1415.46 | 1486.75 | 1537.68 |

*Slika 5. Zavisnost brzine pisanja od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 16*

*Slika 6. Zavisnost brzine čitanja od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 16*

Maksimalne brzine pri upisu za QD 16 se dostižu već pri opterećenjima od 8 KB (za SS 16 i 32 KB) što predstavlja jedinu značajnu promenu u odnosu na QD 4. Brzina upisa za radna opterećenja veća od 16 KB ne zavisi od veličine jedinice trake i za SS 8, 16, 32 i 64 KB i dijagrami se praktično poklapaju. Ono što nije očekivano jeste činjenica da je za male blokove podataka radnog opterećenja (do 16 KB) brzina upisa za SS 16 i 32 KB veća nego za SS 64 KB. Sa 16 paralelnih U/I operacija, maksimalne brzine upisa su oko 620-640 MB/s što je i dalje samo 25% više nego za jedan SSD uređaj.

Maksimalne brzine čitanja sa 16 paralelnih operacija zavise od veličine jedinice trake i što je ona veća, veća je i maksimalna brzina, a ona se dostiže pri radnim opterećenjima od 16 KB (što je 2-4 puta manje nego pri QD 1). Za veličinu jedinice trake SS 8 KB maksimalna brzina je 1280 MB/s, a za SS 64 ona je 1540 MB/s što je skoro identično kao i za QD 4. Povećanje QD sa 4 na 16 praktično nije donelo nikavo povećanje brzina rada RAID 10.

U tabeli 7 dati su rezultati merenja brzina čitanja i upisa kada ima 32 istovremene U/I operacije, odnosno za QD 32 paralelnih operacije upisa ili čitanja, za četiri različite veličine jedinice trake SU (SS, Stripe Size): 8 KB, 16 KB, 32 KB i 64 KB. Odgovarajući dijagrami su prikazani na slikama 7 i 8.

1. Brzine upisa i čitanja za QD 32 (sa 32 paralelne U/I operacije) za SS 6, 16, 32 i 64 KB

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| queue depth 32 | | WRITE | | | | READ | | | |
| workload | | SS 8 | SS 18 | SS 32 | SS 64 | SS 4 | SS 16 | SS 32 | SS 64 |
| I/O size | 512B | 67.99 | 61.16 | 60.42 | 56.76 | 71.78 | 70.31 | 70.68 | 72.75 |
| 1KB | 126.95 | 115.48 | 120.12 | 114.75 | 143.07 | 137.21 | 152.10 | 143.55 |
| 2KB | 273.44 | 208.50 | 264.65 | 264.65 | 278.32 | 269.53 | 304.20 | 293.46 |
| 4KB | 462.89 | 466.80 | 499.02 | 506.84 | 547.85 | 521.48 | 570.31 | 561.52 |
| 8KB | 598.11 | 599.61 | 601.56 | 601.56 | 1111.33 | 968.75 | 1103.52 | 1052.73 |
| 16KB | 609.38 | 617.19 | 615.65 | 615.65 | 1289.74 | 1394.53 | 1449.22 | 1445.31 |
| 32KB | 601.56 | 607.86 | 603.34 | 617.19 | 1293.64 | 1394.95 | 1468.75 | 1484.38 |
| 64KB | 608.27 | 617.28 | 614.25 | 604.84 | 1296.88 | 1395.78 | 1476.99 | 1500.62 |
| 128KB | 615.76 | 599.52 | 606.80 | 606.80 | 1289.93 | 1402.74 | 1504.91 | 1523.63 |
| 256KB | 620.35 | 618.81 | 618.81 | 609.76 | 1293.10 | 1392.25 | 1496.26 | 1485.15 |
| 512KB | 621.89 | 626.30 | 598.09 | 622.41 | 1273.15 | 1379.31 | 1470.59 | 1515.15 |
| 1MB | 635.59 | 634.25 | 631.58 | 545.45 | 1271.19 | 1425.18 | 1477.83 | 1521.74 |
| 2MB | 634.92 | 634.92 | 635.93 | 631.91 | 1276.60 | 1421.80 | 1481.48 | 1529.64 |
| 4MB | 635.93 | 635.93 | 636.94 | 632.91 | 1282.05 | 1420.96 | 1484.23 | 1535.51 |
| 8MB | 635.93 | 635.42 | 636.44 | 633.91 | 1282.05 | 1408.45 | 1486.99 | 1538.46 |
| 12MB | 635.26 | 635.26 | 616.33 | 597.61 | 1280.68 | 1416.77 | 1485.15 | 1534.53 |
| 16MB | 635.68 | 634.92 | 636.69 | 636.18 | 1278.98 | 1420.96 | 1486.99 | 1536.98 |
| 24MB | 626.14 | 624.84 | 636.60 | 634.92 | 1282.74 | 1419.28 | 1486.99 | 1539.45 |
| 32MB | 621.12 | 620.03 | 636.82 | 627.21 | 1283.08 | 1414.68 | 1484.23 | 1534.04 |
| 48MB | 636.58 | 634.24 | 629.49 | 627.57 | 1282.13 | 1413.10 | 1488.15 | 1538.43 |
| 64MB | 635.16 | 625.82 | 629.67 | 635.41 | 1283.51 | 1413.63 | 1485.40 | 1536.24 |

Maksimalne brzine pri upisu za QD 32 se dostižu već pri opterećenjima od 8 KB i donose neznatno bolje vrijednosti nego za QD 8. Brzina upisa za radna opterećenja veća od 16 KB ne zavisi od veličine jedinice trake i za SS 8, 16, 32 i 64 KB i dijagrami se praktično poklapaju.

Maksimalne brzine čitanja sa 16 paralelnih operacija zavise od veličine jedinice trake i što je ona veća, veća je i maksimalna brzina, a ona se dostiže pri radnim opterećenjima od 16 KB (što je 2-4 puta manje nego pri QD 1).

Ovdje je primjetno da merenja pokazuju da što se tiče brzina upisa i čitanja za QD 32 one su gotovo identične kao za QD 16.

*Slika 7. Zavisnost brzine upisa od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 32*

*Slika 8. Zavisnost brzine čitanja od radnog opterećenja za SU 6, 16, 32 i 64 KB pri QD 32*

1. ZAKLJUČAK

Na performanse RAID sistema utiče više parametara od kojih su najznačajniji: broj uređaja (N), način njihovog povezivanja (vrsta RAID), količina podataka koji se upisuju ili čitaju - radno opterećenje (workload), broj paralelnih U/I operacija (QDS, Queue Depth) i veličina jedinice sekundarne memorije koja se u jednom pristupu upisuje ili čita (jedinica trake, Stripe Unit, SU ili Stripe Size SS). Najbolje performanse ima RAID 0 (kome su performanse teorijski bolje N puta od jednog uređaja), ali on ne obezbeđuje povišenu pouzdanost podataka. To je posebno kritično kod nizova uparenih SSD uređaja, jer im je broj upisa vrlo ograničen. Zbog toga je korisno kombinovati RAID 0 sa nekim od redundantnih sistema. Najjednostavnije je realizovati kombinaciju sa RAID 1, odnosno RAID 10.

Brzine upisa i čitanja u velikoj meri zavise od namene sistema i načina njegove upotrebe. Najnepovoljniji režim rada jeste upis i čitanje velikog broja malih datoteka (file). Na jednom fizičkom bloku, jedinici trake može postojati samo jedan fajl. Ako bi veličina fizičkog bloka podataka (jedinice trake, SU) bila znatno veća od prosečnoh fajla fragmentacija sekundarne memorije bi bila vrlo velika što dovodi do vrlo slabog iskorišćenja skladišnog prostora i smanjenja brzine rada. Zato je najbolje da veličina fizičkog bloka bude neznatno veća od prosečnog radnog fajla. U tom slučaju bi se čitav fajl obrađivao u jednom pristupu sekundarnoj memoriji.

Izvršena su merenja brzina upisa i čitanja u RAID 10 za različite veličine fizičkog bloka podataka (veličine jedinice trake, SS) i pri tome su menjane vrednosti dubine reda (broja paralelnih U/I operacija) u količine podataka koja se obrađuje (radno opterećenje). Merenja su izvršena u slučaju kada nema paralelnih U/I operacija (QD 1), i za 4, 16 i 32 paralelne U/I operacije.

Upis podataka u RAID 10 umesto očekivanog povećanja brzine od 2 puta (100%) ima povećanje od samo 25% (za QD 1) do 30-35% (za QD 4 i veće).

Kada se radi sa 4 paralelne U/I operacije (QD 4) dolazi do značajnih poboljšanja u odnosu na osnovnu konfiguraciju QD1 (bez paralelizma). Maksimalne brzine upisa za SS 8 KB dostižu se pri znatno manjim blokovima radnog opterećenja (32 KB) nego za QD 1 (1 MB). Povećanje SS na 16, 32 i 64 KB ne utiče značajno na brzine upisa. Povećanje QD na 16 i 32 ne dovodi do značajnijih promena u brzinama upisa. Samim tim zaključak je da kod sistema sa velikim brojem upisa netreba koristiti velike jedinice trake i da nije potrebno uvoditi veliki broj paralelnih U/I operacija.

Brzine čitanja kod RAID 10 u velikoj meri se poklapaju s teorijskim očekivanjima. RAID 10 ima skoro dva puta veću brzinu od RAID 0 sa 2 SSD, tačnije približno 1.9 puta je brži. Ono što se takođe može uočiti jeste činjenica da maksimalne brzine čitanja zavise od veličine jedinice trake i što je SS veće i maksimalna brzina je veća i ne zavise od QD (iste su za QD 4, 16 i 32 neznatno bolje nego za QD 1). Maksimalna brzina za SS 8 KB je 1280 MB/s a za SS 64 KB 1530 MB/s (za QD 1 je 1480 MB/s) i dostiže se na 16 KB radnog opterećenja. Za SS 64 KB je 20% veća nego za SS 8 KB.

Opšti zaključak je da, kod RAID sistema sa SSD uređajima, nema smisla koristiti velike fizičke blokove (SS) jer se, posebno u režimu malih radnih opterećenja, značajno povećava fragmentacija, a ne dobija se ništa na brzinama upisa i samo 20% (SS 64 KB u odnosu na SS 8 KB) na brzinama čitanja.

LITERATURA

1. Patterson, David; Gibson, Garth A.; Katz, Randy, “A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)”, www.eecs. berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1987/CSD-87-391.pdf, dec. 2018.
2. William Stallings, “Organizacija i arhitektura računara – projekat u funkciji performansi”, ISBN 978-86-7991-361-6
3. Nikola Davidović, Borislav Đorđević,Valentina Timčenko, Slobodan Obradović, Bojan Škorić, Sistem za skladištenje podataka na uparenim nizovima magnetnih diskova - RAID 0, 18th INFOTEH Jahorina 2019, Mart 2019.
4. Valentina Timčenko, Borislav Đorđević, Slobodan Obradović, Nikola Čorni, Uticaj keš disk bafera na performanse SSD diskova, INFOTEH-JAHORINA Vol. 12, March 2013.
5. Nikola Davidović, Dijana Kosmajac, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Komparativna analiza sekundarnih memorija – poređenje tvrdog diska sa poluprovodničkim diskom, , INFOTEH-JAHORINA Vol. 13, March 2014.
6. <https://www.kingston.com/datasheets/SM2280S3_us.pdf>
7. <https://www.kingston.com/datasheets/sv300s3_us.pdf>
8. <https://www.atto.com/disk-benchmark/>
9. Nikola Davidović, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Slobodan Obradović, Bojan Škorić, Influence of different factors on the RAID 0 paired magnetic disk arrays, Vol 3 No 2 (2019): IJEEC, https://doi.org/10.7251/IJEEC1902070D
10. Nikola Davidović, Borislav Đorđević,Valentina Timčenko, Slobodan Obradović, Bojan Škorić, RAID 0 on paired magnetic disk arrays, 6th IcETRAN 2019, Srebreno jezero, Jun 2019.
11. Microsoft storage, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/storage-spaces-fault-tolerance>, decembar 2018.
12. Software RAID, [https://www.softraid.com/pages/features/software \_raid\_benefits.html](https://www.softraid.com/pages/features/software%20_raid_benefits.html), decembar 2018.
13. Valentina Timčenko, Borislav Đorđević, Nikola Davidović „Performance comparison of RAID-1, RAID-0 and single disk on operating system MS Windows 7“, Proceedings of 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2 – 5, 2014.
14. F. Wan, N.J. Dingle, W.J. Knottenbelt, and A.S. Lebrecht, “Simulation and modelling of RAID 0 system performance,” In 22nd Annual European Simulation and Modelling Conference (ESM), 2008.
15. V. Timcenko, B. Djordjevic, “The comprehensive performance analysis of striped disk array organizations - RAID-0, ” invited paper, in proc. of Proceedings of the 2013 International Conference on Information Systems and Design of Communication, Lisbon, Portugal, 2013.
16. Nikola Davidović,Borivoje Milosević, Slobodan Obradović, Karakteristike sekundarnih memorija računara bazirane na različitim tehnologijama , Savremeni materijali, 1-2.9.2018. Banja Luka

1. [Lavanya Mandava](https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S021853932040001X" \o "Lavanya Mandava), [Liudong Xing](https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S021853932040001X), Optimizing Imperfect Coverage Cloud-RAID Systems Considering Reliability and Cost, [International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering](https://www.worldscientific.com/worldscinet/ijrqse), [VOL. 27, NO. 02](https://www.worldscientific.com/toc/ijrqse/27/02), <https://doi.org/10.1142/S021853932040001X>

1. [Jong‐Hyun Choi,](D:\\Dropbox\\radovi konferencije\\Savremeni materijali 2020\\Analiza performansi RAID 5 polja SSD diskova\\Jong‐Hyun Choi,) [Jungheum Park](https://onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?ContribAuthorStored=Park%2C+Jungheum), Reassembling Linux‐based Hybrid RAID,  <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14258>
2. Nikola Davidović, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Slobodan Obradović, Bojan Škorić, Sistem za skladištenje podataka na uparenim nizovima magnetnih diskova - RAID 0, INFOTEH-JAHORINA, 978-1-5386-4906-0/18/$31.00 ©2018 IEEE, Vol. 16, Ref. RSS-5, Vol 16, pp. 407-411, 20-22. March 2019
3. Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Stanišević Ilja, POREĐENJE PERFORMANSI RAID 1 i RAID 0 NIZOVA SA DVA UPARENA KINGSTON SSD UREĐAJA, 19th International Symposium Infoteh Jahorina, RSS-3-1, pp.216-221, Jahorina, Bih, 17-19 March, 2020.
4. Nikola Davidović, Slobodan Obradović, THE INFLUENCE OF SETTING PARAMETERS ON RAID 0 SSD DISK ARRAY PERFORMANCE, Савремени материјали, 11.-12. сеп, 2020, Бања Лука