

Sistem za skladištenje podataka na uparenim nizovima magnetnih diskova - RAID 0

Nikola Davidović
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, RS, BiH
nikola.davidovic@etf.ues.rs.ba

Slobodan Obradović
Information Tehnology School
Beograd, Srbija
slobodan.obradovic@its.edu.rs

Borislav Đorđević, Valentina Timčenko
Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet, Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
bora@impcomputers.com
valentina.timcenko@pupin.rs

Bojan Škorić
VISER
Beograd, Srbija
bojan.skoric@viser.edu.rs

Abstract—Osnovna namjena RAID tehnologije je da omogući povezivanje više sekundarnih memorijskih uređaja na takav način da se ostvari veći kapacitet prostora za čuvanje podataka, pri čemu se ostvaruje i povećanje brzine pristupa podacima za čitanje i upis. U radu je analiziran sistem za skladištenje podataka na uparenim nizovima magnetnih diskova RAID 0. Predstavljani su rezultati testiranja i analiza dobijenih rezultata za RAID 0 niz. Testovi su urađeni na Microsoft Windows Server 2008 R2 Standard operativnom sistema, korišćenjem 2, 3, 4 i 6 uparenih magnetnih diskova uz pomoć hardverskog RAID kontrolera Dell PERC 6/i. Za dobijanje rezultata korišćen je ATTO Disk Benchmark.

Ključne riječi – HDD; sekundarne memorije; magnetni disk; performanse; RAID; RAID 0; ATTO; disk; benchmark; windows; server

I. UVOD

Napredak tehnologije u posljednjih 30 godina, stalno unapređivanje računarskih sistema, kao i kreiranje novih informacionih sistema dovelo je kompletnu ljudsku civilizaciju do novog tzv. digitalnog doba. Računarski sistemi, informacioni sistemi kao i drugi tehnološki produkti doveli su do toga da su apetiti prema MB i GB, pa čak i TB prostora za čuvanje podataka porasli i kod prosječnog korisnika. Porast količine podataka koja se razmjenjuje uslovio je potrebu za većim prostorom za skladištenje i čuvanje podataka, kao i za bržim pristupom i lakšim upravljanjem podacima. Takve tendencije su dovele do povećane opasnosti od gubitka ili ugrožavanja sigurnosti podataka.

Brzina poboljšanja performansi sekundarne memorije računara u proteklom periodu bila je daleko manja od brzine poboljšanja performansi procesora i glavne memorije računara. S obzirom da se računarske komponente mogu unapređivati samo do određene granice pri čemu je magnetni disk praktično postigao svoj maksimum, dalje poboljšanje performansi sekundarne memorije može se postići ili

višestrukom upotrebom paralelnih diskova ili primjenom nove tehnologije.

Uprkos pojavi nove tehnologije, poluprovodničke memorije – SSD (eng. Solid State Disk), magnetni diskovi - HDD (eng. Hard Disk Drive) još uvijek imaju dominantnu ulogu kao sekundarne memorije računara prvenstveno zahvaljujući svom velikom kapacitetu i cijeni po MB. Jedan od najvećih nedostataka korištenja magnetnih diskova je upravo njegova brzina pristupa podacima radi čitanja i upisa.

RAID (u početku skraćena od eng. Redundant Array of Inexpensive Disks, a sada poznata kao eng. Redundant Array of Independent Disks) je tehnologija koja je vrlo dugo bila praktično nedostupna prosječnom korisniku, prvenstveno zbog visoke cijene čak i najjednostavnijeg RAID sistema. Prvi komercijalni RAID sistemi, koji su bili dostupni običnim korisnicima, pojavili su se oko 2000. godine, kada su proizvođači matičnih ploča ponudili jeftinije RAID kontrolere integrisane na samoj ploči.

Osim toga što je za sam rad RAID sistema za skladištenje podataka na uparenim diskovima potrebno imati odgovarajući kontroler, na cijenu cjelokupnog sistema bitno utiče i cijena uređaja za skladištenje podataka. Sa padom cijene sekundarnih memorijskih uređaja, kao i potrebom za sve većim kapacitetom i većom brzinom, kako upisa tako i čitanja podataka, primjena RAID tehnologija konačno je dobila smisao i kod prosječnog korisnika.

RAID tehnologija je definisana kroz sedam (7) različitih nivoa organizacije skladištenja podataka na više diskova koji tako organizovani čine jedan logički prostor. Sedam RAID nivoa iako imaju svoje opisne nazive u praksi se najčešće pominju pod svojim brojevima [1][2]:

- RAID 0 – *striping* (eng. striping);
- RAID 1 – *preslikavanje* (eng. mirroring);

- RAID 2 – Redundantni preko Hammingovog koda (eng. bit-striping with Hamming-code parity);
- RAID 3 – Bit isprepletana parnost (eng. bit-striping 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).

Uprkos tome što neki proizvođači svoje tehnologije nazivaju drugim imenima bitno je naglasiti da svi RAID sistemi koji postoje suštinski su bazirani na nekim od navedenih RAID nivoa sa mogućnošću da su uvedene neznatne izmjene, neki dodaci ili specifičan način realizacije. Pomoću standardnih sedam nivoa RAID tehnologija moguće je realizovati tzv. ugnježdjeni ili hibridni RAID.

Od navedenih sedam osnovnih RAID nivoa najšire rasprostranjeni na kućnim računarima su najjednostavniji i najjeftiniji RAID za realizaciju, RAID 0 i RAID 1. Osnovni razlozi su u tome što RAID 0 i RAID 1:

- pružaju mogućnost realizacije uz upotrebu najmanje dva uređaja za sekundarnu memoriju, dok je za realizaciju ostalih RAID nivoa potrebno više od dva uređaja;
- nisu kompleksni za razumjevanje, podešavanje i upotrebu, za razliku od drugih RAID nivoa;
- daju konkretne i efektivne rezultate.

RAID nivoi mogu se realizovati na dva načina i to hardverski i softverski RAID.

Hardverski RAID je namjenski hardver koji je nezavisan i posjeduje mogućnost da sam organizuje i koristi raspoložive diskove u nekom od nivoa. RAID kontroleri organizovani na ovaj način posjeduje neku oblik BIOS-a (eng. Basic Input/Output System) preko koga ih je moguće konfigurirati i spremiti za rad bez posredstva operativnog sistema. Osim toga, ovi kontroleri posjeduju procesor koji služi samo za izvršavanje RAID algoritma, tako da je na ovaj način CPU računara rasterećen od izvođenja RAID operacija. Kod serverskih sistema kontroler je praktično neizbježna stavka prilikom konfiguracije servera.

Softverski RAID može se sresti u više različitih formi. Suštinski softverski RAID podrazumjeva da se sekundarne memorije organizuju u RAID nivoe softverom koji se izvršava na istom računaru.

Podršku za određene RAID nivoe daju i sami operativni sistemi, kao što je na nekim verzijama Windowsa ili čak kao podrška na nivou fajl sistema kao što nudi Oracle/Solaris ZFS [3][4]. Osim toga, softverski RAID može se naći i kao samostalna aplikacija [5]. Glavni nedostatak softverskog rješenja je što su zavisna od operativnog sistema i ne mogu biti aktivna prije njegove inicijalizacije, tako da u tom slučaju

RAID ne može biti nosilac operativnog sistema (izuzetak u ovom slučaju je podrška kroz fajl sistem).

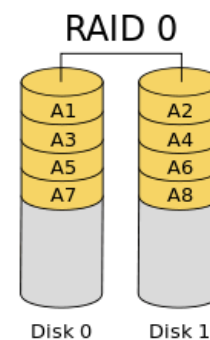
Osim hardverskog i softverskog rješenja postoji i hibridna kombinacija koja u suštini predstavlja jeftiniju verziju hardverskog RAID-a, pri čemu su svojim osobinama u radu bliži softverskom RAID-u. Kod hibridnog RAID-a kontroler RAID niza integrisan je na matičnoj ploči ili čak u čip setu računara. Radom kontrolera upravlja CPU, koji ujedno obavlja i sve RAID operacije. Sam kontroler posjeduje svoj BIOS koji čuva konfiguraciju RAID-a i korisniku omogućava da isti mijenja bez posredstva operativnog sistema. Ovakav način realizacije omogućava da se izbjegne skuplji hardver, kao i da se zaobiđe problem čistog softverskog rješenja, zavisnosti od operativnog sistema.

II. RAID 0

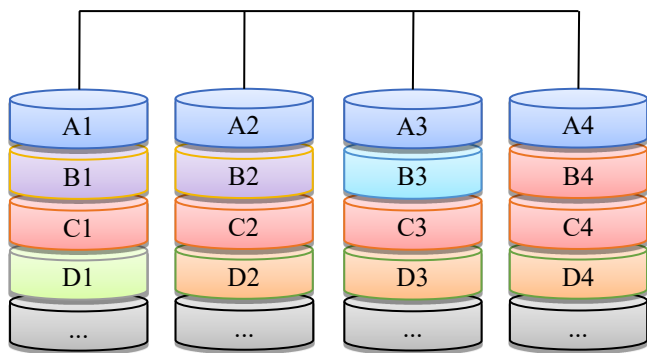
Od svih RAID nivoa, RAID 0 nudi najveći stepen iskorištenog memorijskog prostora za skladištenje i čuvanje podataka. Osim toga ovaj RAID nivo zasigurno daje najbolje performanse čitanja i upisa, međutim ne nudi redundantnost koja je praktično definisana kao osnova tehnologije u samom njenom imenu. Praktično ovo je jedini, ali ozbiljan nedostatak RAID 0 niza uparenih nizova sekundarnih memorijskih uređaja. Teorijski, dodavanjem svakog novog sekundarnog memorijskog uređaja u nizu performanse proporcionalno rastu, ali isto tako, s obzirom da ne postoji redundantnost sistema, raste statistički rizik od gubitka svih podataka otkazom samo jednog sekundarnom memorijskog uređaja u nizu.

Uprkos nedostacima koje ima, RAID 0 zahvaljujući svojim neprikosnovanim performansama nalazi primjenu kao radni i operativni prostor u sistemima gdje brzina pristupa podacima kao i veličina memorijskog prostora imaju bitnu ulogu. Ovaj standardni RAID nivo se rijetko kad koristi na serverima, jer ne nudi redundantnost, ali je zato veoma često u upotrebi kao sastavni dio hibridnog RAID sistema. Kao standardni nivo najčešće se koristi na radnim stanicama.

U idealnom slučaju možemo smatrati da RAID 0 sa N sekundarnih memorijskih uređaja u odnosu na jedan sekundarni memorijski uređaj donosi N puta bolje vrijeme sekvencijalnog i nasumičnog čitanja i pisanja podataka (predstavljeno formulama 1 i 2) [6].



Slika 1 RAID 0 – primjena *striping*-a na dva sekundarna memorijska uređaja



Slika 2 Paralelnost i konkurentnost u RAID 0 nivou – svaka boja predstavlja drugi cjelovit podatak

$$T_{\text{sekvencijalno_}\dot{c}p}^{\text{RAID-0}} \approx T_{\text{sekvencijalno_}\dot{c}p_jedan_sek_m_u} / N \quad (1)$$

$$T_{\text{nasumično_}\dot{c}p}^{\text{RAID-0}} \approx T_{\text{nasumično_jedan_sekundarni_m_u}} / N \quad (2)$$

Praktična primjena *striping*-a po blokovima u RAID 0 nivou funkcioniše dosta blizu idealnom modelu, ali ipak ima neka ograničenja. Na slici 1 prikazan je jedan podatak koji se dijeli na 2 sekundarna memorijska uređaja. Teorijski ova podjela trebala bi da rezultuje 2 puta većom brzinom pristupa. Međutim u praksi to veoma često ne donosi očekivane rezultate rezultate.

Podatak koji se upisuje i/ili čita sa sekundarnog memorijskog uređaja može biti manji ili veći od veličine bloka, koji je u suštini nosilac podatka. Bez obzira na veličinu podatka koji se nalazi u bloku sekundarni memorijski uređaj pristupaće cijelom bloku. Prema tome, procjena veličine bloka je od velike važnosti pri projektovanju RAID sistema. Procjena veličine bloka osim toga što ima uticaj na iskorištenost prostora ima značajnu ulogu na iskorištenje samih performansi RAID sistema.

Prilikom procjene veličine bloka potrebno je voditi računa o paralelnosti i konkurentnosti (slika 2). U slučaju ako se odredi veličina bloka tako da podatak staje tačno u jednu punu jedinicu podataka na RAID-u FS (full stripe), pri čemu je broj sekundarnih memorijskih uređaja u nizu N, očekuje se da će se brzina pristupa podatku povećati za N puta. RAID 0 koji je konfigurisan na ovaj način podržava paralelnost i visoke sekvencijalne performanse. Međutim ako je cilj povećati konkurentnost i performanse nasumičnog pristupa, onda veličinu bloka SU (stripe unit) potrebno je prilagoditi veličini podatka, na taj način da jedan podatak stane u jedan blok. Na ovaj način jedan memorijski uređaj pristupa jednom podatku, dok ostali u nizu ostaju slobodni za zahtjeve prema nekim drugim podacima. U svim ovim zahtjevima potrebno je pronaći optimalnu širinu bloka SU (stripe unit).

III. TESTIRANJE

A. Hardverska konfiguracija i RAID organizacija

Hardverska specifikacija prikazana je u Tabeli 1. Testovi su urađeni na Microsoft Windows Server 2008 R2 Standard. Na

osnovnu instalaciju operativnog sistema nije dodata ni jedna serverska komponenta i funkcija, osim potrebnih *drivera* - upravljača za RAID kontroler i ostali specifičan hardver.

TABELA I. HARDVERSKA KONFIGURACIJA

Hardver	Specifikacija
Server	Dell PowerEdge™ T610
RAM	8 GB, 4 x 2 GB DDR3-SDRAM
CPU Model	Intel Xeon E5530 @ 2,40 GHz (4 jezgra)
BIOS	Dell Inc. v.2.2.10 (9.11.2010.)
Video adapter	Matrox G200
PCIe x4 storage slot	Dell PERC 6/i
Disk	Hitachi Deskstar 250GB SATA2 x 6
PCIe x4 slot	Dell SAS 5/i
Disk	Hitachi Ultra Star 300GB SAS
Operativni sistem	Microsoft Windows Server 2008 R2 Standard

Prilikom testiranja korišten je Dell PERC 6/i koji je čist hardverski RAID kontroler sa podrškom za uređaje sa SATA/SAS interfejsom druge generacije (3Gb/s). 2 SAS kanala omogućavaju povezivanje do 32 uređaja. Posjeduje 256MB sopstvene keš memorije, koja opciono može da bude podržana baterijom. Na računar se povezuje preko PCI Express interfejsa. Podržava rad sa RAID 0, 1, 5, 6, 10, 50 i 60 nivoima. Za testiranje performansi RAID 0 nivoa korišćena je namjenska softverska alatka ATTO Disk Benchmark [9].

B. ATTO Disk Benchmark

ATTO Disk Benchmark je program koji se bavi testiranjem sistema za skladištenje podataka. Prednost ovog programa je mogućnost kontrole procesa upisa i čitanja, dok je najveći nedostatak nemogućnost testiranja performansi nasumičnog pristupa. Verzija za Windows operativne sisteme podržava *File Allocation Table* (FAT) i *New Tehnology File System* (NTFS) fajl sisteme.

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 su:

- *Total lenght* - ukupna dužina je parametar koji određuje veličinu fajla koji rezerviše prostor za testiranje.
- *Force write access* - direktan pristup upisivanju, zaobilazi upotrebu keširanja na disku ili kontroleru pri upisivanju podataka, bez obzira da li je keširanje uključeno ili ne na samom uređaju.
- *Direct I/O* - direktan I/O podrazumeva zaobilazanje keširanja ili baferovanja na nivou operativnog i fajl sistema.
- *I/O Comparison* - poređenje ulaza i izlaza je način za testiranje pouzdanosti medijuma koji se koristi za

čuvanje podataka. Poslije svakog upisa vrši se čitanje i porede se podaci u potrazi za eventualnom greškom. Može se odrediti šema podataka i ponavljanje testa u krug.

- *Overlapped I/O* - preklapljen, paralelan I/O je način rada u kome se šalje više zahtjeva za transfer istovremeno. Ovako se testira konkurentnost. Moguće je izabrati broj istovremenih transfera u rasponu od 2 do 10, gde je 4 podrazumjevana vrijednost. Ovaj parametar se zove *queue depth* - širina reda.
- *Neither* - nijedan poseban test se ne koristi, zahtjevi za transfer se šalju jedan po jedan.

C. Rezultati provedenog testa

Prilikom testiranja postavljena su određena ograničenja. S obzirom da magnetni diskovi nemaju jednaku brzinu prenosa podataka na početku i kraju, prvo ograničenje koje je postavljeno je da se koristi samo određeni dio magnetnog diska za testiranje. Na svakom magnetnom disku u RAID nizu konfigurisan je tako da koristi samo prvih 10 GB od svakog diska. Na ovaj način za 2, 3, 4 i 6 magnetnih diskova, dobijen je prostor za upis od 20, 30, 40 i 60 GB, respektivno. S obzirom da ovih 10 GB čini manje od 5% prostora diska, prilikom testiranja izbjegnuto je ograničenje brzine prenosa podataka na početku (u sredini diska) i kraju (obodu diska) magnetnog diska.

Drugo postavljeno ograničenje je zaobilaznje keširanja koje bi moglo dati pogrešne rezultate u smislu da se ne bi prikazale realne performanse samog magnetnog diska već performanse keš memorije. Osim toga, potrebno je uzeti u obzir da keširanje

može biti na nivou samog magnetnog diska, kontrolera ili operativnog sistema. Zbog ovoga je pri konfigurisanju svakog niza korišćena opcija da se zaobiđe keširanje diskova, kao i keširanje na samom kontroleru. U skladu sa ovim načelom, u testu su korišćene i opcije Force Write Access i Direct I/O.

Treće postavljeno ograničenje je da nema paralelnog I/O način rada u kome se šalje više zahtjeva za transfer istovremeno tj. parametar *queue depth* - širina reda je postavljena tako da ne postoji (njegova vrijednost je 1). Na ovaj način eliminisana je mogućnost testiranja konkurentnosti.

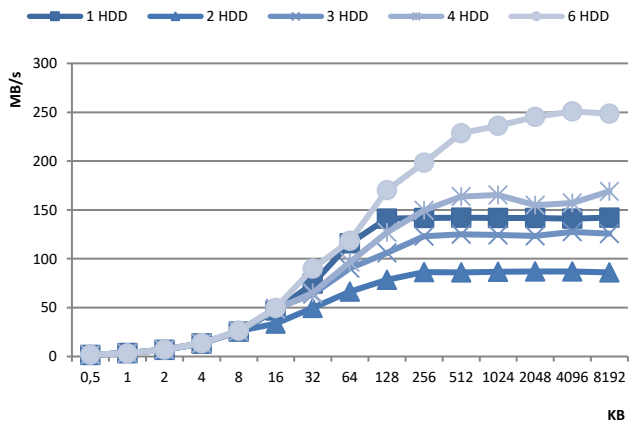
Za potrebe testova korišćena je NTFS particija veličine 1GB, jer je test prostor ograničen veličinom test fajla od 512MB. Veći fajl je izabran da bi se dobio bolji prosjek pri velikim transferima, što može da se posmatra i kao test sekvencijalnog pristupa. Korišćena je standardna veličina alokacione jedinice od 4kB. Prilikom testiranja RAID 0 niza korišćene su tri veličine bloka:

- 8kB, najmanji blok koji kontroler dozvoljava;
- 64kB, podrazumjevana vrijednost;
- 1MB, najveći blok koji kontroler dozvoljava.

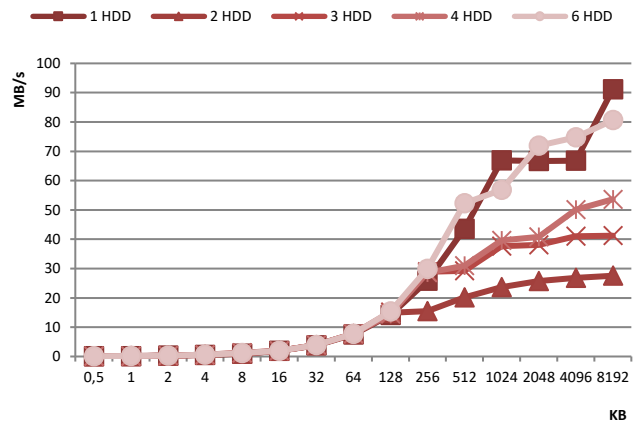
Vrijednosti veličine bloka tj. stripe jedinice SU u tabeli 2 date su u prvoj koloni pod nazivom VB. U drugoj koloni tabele 2, dat je broj magnetnih diskova na kojima su urađeni testovi za različite veličine blokova odnosno SU. Testiranje je urađeno u granicama od 512 bajta do 8192 kilobajta, sa korakom u kome je naredna veličina dvostruko veća od prethodne.

TABELA II. REZULTATI MJERENJA

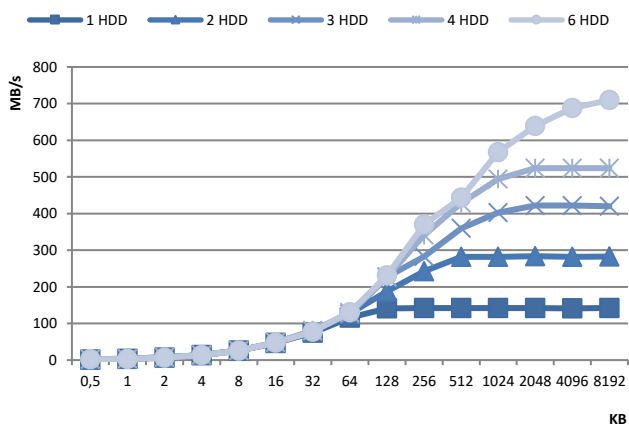
V B	MB/s	0.5 KB	1 KB	2 KB	4 KB	8 KB	16 KB	32 KB	64 KB	128 KB	256 KB	512 KB	1024 KB	2048 KB	4096 KB	8192 KB
8 KB	1 HDD	1670	3471	6925	13245	25356	46923	74642	115992	141214	141669	142056	141841	141841	141096	142217
	2 HDD	1769	3539	7097	13461	26166	33512	49756	66466	78486	86231	85948	86731	86872	87013	86175
	3 HDD	1718	3479	7079	13751	26101	48907	63781	90394	106131	123072	125128	124275	123418	127522	125730
	4 HDD	1774	3389	6959	13180	25911	48306	65209	96613	126946	149628	163759	165191	154941	156979	169093
	6 HDD	1765	3328	6959	13685	26295	49648	90112	118617	170365	198266	228698	235987	245146	250874	248551
64 KB	1 HDD	1670	3471	6925	13245	25356	46923	74642	115992	141214	141669	142056	141841	141841	141096	142217
	2 HDD	1735	3505	7097	13312	26360	46923	79149	127254	187122	242828	281343	282068	283558	281575	282563
	3 HDD	1744	3522	7027	13556	26038	47604	80313	125128	226298	282428	359107	402653	421902	421902	419430
	4 HDD	1756	3479	7168	13524	25785	48786	79921	130096	226298	341459	428694	493674	523776	523776	523776
	6 HDD	1765	3381	6976	13461	26101	47836	76920	130419	230790	369914	442925	567516	639123	688296	709521
1 MB	1 HDD	1670	3471	6925	13245	25356	46923	74642	115992	141214	141669	142056	141841	141841	141096	142217
	2 HDD	1698	3454	7062	13312	25416	46589	76204	117817	168924	208889	240625	276262	282068	282563	280594
	3 HDD	1731	3513	7027	13461	25661	45936	75328	118082	169642	207663	248514	280594	421902	416987	417798
	4 HDD	1532	3548	6976	13366	25416	46479	75155	118417	170356	184104	253259	275789	438261	527637	526344
	6 HDD	1723	3531	6959	13212	25661	46923	74642	118082	164517	199255	242828	265777	439158	667749	678152
8 KB	1 HDD	61	121	245	487	974	1918	3819	7447	14185	25826	43509	66858	66692	66774	91147
	2 HDD	63	130	279	655	981	1955	3877	7665	14928	15483	20149	23619	25699	26816	27545
	3 HDD	62	126	267	586	1237	1952	3873	7665	15117	28902	29208	37596	38048	41045	41202
	4 HDD	62	125	261	552	1166	1923	3891	7719	14451	28587	31022	39650	40795	50128	53633
	6 HDD	60	129	280	657	1180	1964	3900	7764	15348	29890	52271	56871	71966	74773	80611
64 KB	1 HDD	61	121	245	487	974	1918	3819	7447	14185	25826	43509	66858	66692	66774	91147
	2 HDD	60	119	247	504	1044	2226	4576	7665	14911	28401	51451	87154	133883	171524	174308
	3 HDD	61	123	248	501	1024	2155	5112	7867	15187	29289	54784	96733	157440	220029	228942
	4 HDD	61	123	247	500	1015	2092	4507	8478	15294	29587	56193	101680	167249	250874	313348
	6 HDD	61	123	243	496	1005	2055	4519	8202	14979	29822	57932	107589	186737	283060	387166
1 MB	1 HDD	61	121	245	487	974	1918	3819	7447	14185	25826	43509	66858	66692	66774	91147
	2 HDD	61	122	241	488	979	1955	3868	7638	14743	27858	49884	82722	133883	134217	133218
	3 HDD	61	122	245	491	972	1957	3810	7620	14628	27710	49554	81221	139266	146886	177771
	4 HDD	61	122	245	491	981	1955	3887	7665	14860	27623	49182	81965	139446	257492	253839
	6 HDD	61	122	245	490	979	1952	3882	7638	14860	27681	50267	83365	139992	255652	270237



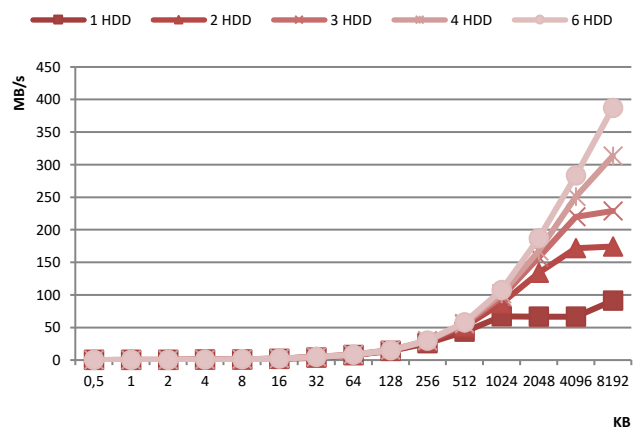
a1)



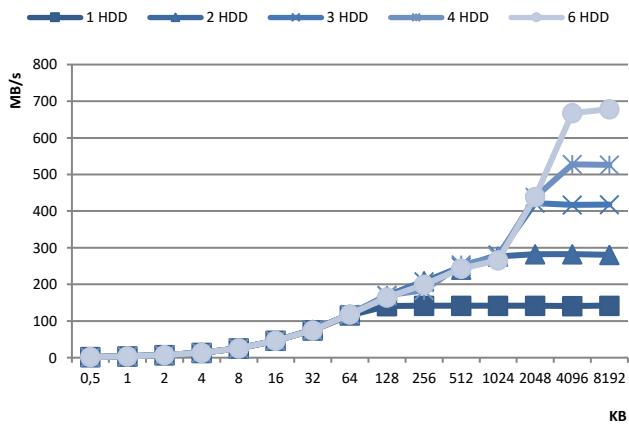
a2)



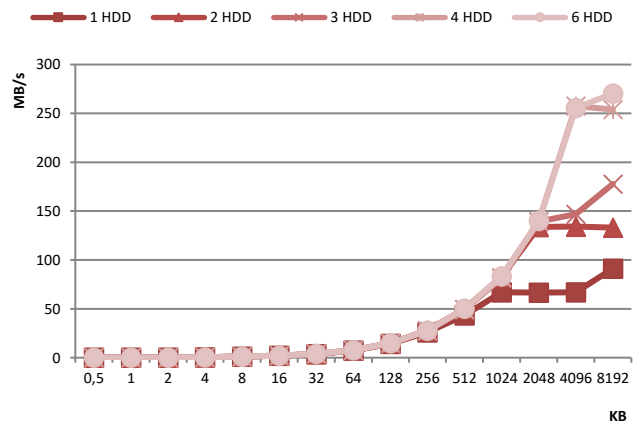
b1)



b2)



c1)



c2)

Slika 3 Brzina čitanja a1), b1), c1) i upisa a2), b2), c2) podatka sa jednog magnetnog diska i uparenog niza magnetnih diskova RAID 0 pri veličini boka od a) 8KB, b) 64KB i c) 1MB

Na slici 3 a1) prikazana je brzina čitanja podatka sa jednog magnetnog diska i uparenog niza magnetnih diskova RAID 0 pri veličini bloka od 8 KB za različitu količinu podatku, čija su mjerenja data u tabeli 2. Moguće je uočiti da RAID 0 pri veličini bloka od 8 KB sa dva i tri uparena diska ima manju brzinu prenosa veće količine podataka od jednog magnetnog diska odnosno da je došlo do degradacije performansi, dok za 4 i 6 uparenih magnetnih diskova te performanse su neznatno bolje. Osim toga, za malu količinu podataka brzine prenosa RAID-a su gotovo identične kao za jedan magnetni disk. U slučaju čitanja pri veličini bloka od 8KB najbolje rezultate daje očekivano RAID 0 sa 6 uparenih magnetnih diskova, ali su te vrijednosti daleko od očekivanih u skladu sa formulama (1) i (2). Ako posmatram upis pri veličini bloka od 8 KB, slika 3 a2), onda je uočljivo da je pri ovoj konfiguraciji RAID 0 daleko lošiji od jednog magnetnog diska. Razlog za ovakva mjerenja, osim zbog lošeg odabira veličine bloka je i u nepostojanju konkurentnosti. RAID efekti uočljivi su tek pri čitanju i upisu u slučajevima kada je veličina RAID bloka 64KB i 1MB, slika 3 b) i c), tabela 2. Iako su svi postavljene parametri identični u ovom slučaju vidljiv je uticaj izbora veličine bloka. Za veću količinu podataka dobijeni rezultati su mnogo bolji nego u slučaju za veličinu bloka od 8KB.

Poređenjem vrijednosti iz tabele 2 za veličinu podatka od 64KB, za maksimalnu količinu prenesenih podataka, poboljšanje u odnosu na jedan magnetni disk prilikom čitanja iznosi 198%, 295%, 368% i 499%, dok prilikom upisa iznosi 191%, 250%, 340% i 425% za dva, tri, četiri i šest uparenih magnetnih diskova u RAID 0, respektivno. Slična, ali nešto manja poboljšanja, dobiju se za vrijednosti bloka od 1 MB. Iz tabele 2 poređenjem rezultata za veličinu bloka od 64KB i 1MB uočljivo je da povećanje bloka na 1MB ne donosi značajno poboljšanje performansi u odnosu na blok od 64kB, odnosno dobit u performansama je približno jednaka između čitanja i pisanja za blokove veličine 64KB i 1MB. Iako su poboljšanja za veličinu bloka od 64KB i 1MB bolja u odnosu na jedan magnetni disk, kao i u odnosu na RAID 0 sa veličinom bloka od 8 KB uočljivo je da su manja u odnosu na idealan slučaj predstavljenog formulama (1) i (2).

U svim urađenim testovima uočljivo je da su performanse upisa daleko lošije od čitanja. Jedan od razloga za ove rezultate je i u tome što je prilikom mjerenja korišćena opcija *force write access* koja zaobilazi upotrebu keširanja na disku ili kontroleru prilikom upisivanja podataka, dok su prilikom čitanja efekti keširanja izraženi.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu analiziran je RAID 0 niz uparenih magnetnih diskova. Testiranjem je pokazano da neadekvatan odabir veličine bloka kod RAID 0 niza može značajno degradirati performanse sistema. U slučaju adekvatne konfiguracije RAID 0 pokazuje direktnu dobit u performansama sa porastom diskova u nizu, koja je približna formuli (1) i (2). Dobit u

performansama je približno jednaka kako za čitanje tako i za upis podataka. Analizom dobijenih rezultata moguće je zaključiti da korišćenjem RAID 0 niza moguće ostvariti performanse čitanja i upisa poluprovodničkih diskova, ali pri tome i povećavajući rizik od gubitka podataka.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je djelimično finansiran od strane Ministarstva prosvjete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekti TR32025, TR32037, III43002 i III44006).

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] Oracle Solaris ZFS, https://docs.oracle.com/cd/E18752_01/html/819-5461/gavwn.html, dec. 2018.
- [4] Microsoft storage, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/storage-spaces-fault-tolerance>, decembar 2018.
- [5] Software RAID, https://www.softraid.com/pages/features/software RAID_benefits.html, decembar 2018.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] V. Timčenko, 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.
- [9] ATTO benchmark, <https://www.atto.com/disk-benchmark/>, dec. 2018.

ABSTRACT

The main purpose of RAID technology is to enable the connection of multiple secondary memory devices in such a way as to achieve greater storage capacity, while increasing the speed of access to read and write data. The paper analyzes the system for storing data on paired arrays of magnetic disks RAID 0. The results of testing and analysis of the results obtained for the RAID 0 series are presented. Tests were done on the Microsoft Windows Server 2008 R2 Standard operating system, using 2, 3, 4 and 6 paired magnetic disks with the help of the Dell PERC 6 / i hardware RAID controller. ATTO Disk Benchmark was used to get the results.

Key words: *HDD; secondary memory; magnetic disk; performances; RAID; RAID 0; ATTO; benchmark; windows; server*

DATA STORAGE SYSTEM ON PAIRED MAGNETIC DISK ARRAYS - RAID 0

Nikola Davidović, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Slobodan Obradović, Bojan Škorić