

Komparativna analiza hibridnog diska sa hard diskom i poluprovodničkim diskom

Nikola Davidović, Slobodan Obradović
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Istočno Sarajevo, RS, BiH
nikola.davidovic@etf.unssa.rs.ba,
slobo.obradovic@gmail.com

Perica S. Štrbac
Visoka škola strukovnih studija
elektrotehnike i računarstva
Beograd, Srbija
strbac68@gmail.com

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

Sadržaj — Pored primarne funkcije memorija da pouzdano čuvaju pohranjene zapise, danas se sve više postavljaju zahtjevi za brzinom pristupa memoriji. Napredovanjem tehnologije napredovali su i različiti podsistemi u računaru, dok su performanse HDD uređaja ostale gotovo na istom nivou. Unapredjenje u tehnologiji proizvodnje poluprovodničkih diskova (SSD) dovela je do toga da SSD svojim performansama, prvenstveno brzinom pristupa memoriji, privuče veliki broj korisnika. Međutim SSD uređaji imaju i nekoliko velikih i u ovom trenutku gotovo nepremostivih nedostataka koji onemogućavaju njihovu potpunu dominaciju. Upravo iz ovih razloga i nastaju tzv. hibridni uređaji koji imaju za cilj da iskombinuju dobre osobine jedne i druge tehnologije.

Ključne riječi – HDD, SSD, SSHD, HHDD, performanse

I. UVOD

Hard disk (eng. HDD – Hard Disk Drive) kao uređaj za skladištenje i čuvanje podataka pojavio se pedesetih godina XX vijeka. Tokom vremena uređaj je stalno napredovao u pogledu kapaciteta i vremena prenosa, dok je istovremeno cijena uređaja opadala.

Zbog konstruktivnih ograničenja HDD je postigao svoj maksimum u pogledu kapaciteta kao i brzine pristupa podacima. Direktna posljedica toga je da je brzina poboljšanja performansi sekundarne memorije bila mnogo manja od ostalih komponenti računarskog sistema, prvenstveno procesora i glavne memorije.

Nemogućnosti daljeg unapređenja performansi samog HDD uređaja i potreba za poboljšanje performansi sekundarne memorije dovela je, kao i u drugim oblastima računarske

performanse, do upotrebe višestrukih paralelnih komponenata, koja je danas poznata kao RAID (u početku skraćenica od eng. Redundant Array of Inexpensive Disks, a sada poznata kao eng. Redundant Array of Independent Disks)[1]. Međutim, iako se ovakvom upotrebom više HDD uređaja postižu veće brzine U/I prenosa, one utiču i na veću vjerovatnoću otkaza (više glava i pokretača radi istovremeno).

Elektronske nepromjenljive memorije počele su da se razvijaju pedesetih godina dvadesetog vijeka. Više decenija ove memorije nisu uspjele da ugroze dominaciju HDD kao sekundarne memorije računara. Realizacija ideje o elektronskoj memoriji koja bi ugrozila HDD bila je ostvariva tek nakon naglog razvoja fleš memorija u zadnje dvije decenije, pri čemu su ove memorije u početku korištene za čuvanje i prenos podataka. Prva generacija komercijalnih uređaj sekundarne memorije bazirane na fleš memoriji počela proizvoditi oko 2006. godine.

Uprkos tome što poluprovodnički diskovi (eng. SSD – Solid State Drive ili SSD – Solid State Disk) imaju znatno bolje performanse od HDD, u pogledu brzine pristupa podacima, SSD uređaji imaju i nekoliko značajnih nedostataka, kao što su ograničenost broja upisa u fleš memoriju, pad performansi SSD uređaja i mogućnost oporavka podataka sa diska, koji ih još uvijek sprječavaju da ostvare potpunu dominaciju u odnosu na HDD uređaje.

Kao posljedica nedostataka kako HDD tako i SSD uređaja javljaju se tzv. hibridni uređaji (eng. SSHD – Solid State Hybrid Drive ili eng. HHDD – Hybrid Hard Disk Drives) koji u suštini predstavljaju kombinaciju tradicionalnog HDD uređaja većeg kapaciteta i SSD uređaja manjeg kapaciteta u

jedan uređaj SSHD. Unutar SSHD uređaja postoji interni kontrolor pri čemu je jedna od njegovih uloga da odlučuje gdje će smjestiti podatke na SSD ili HDD komponentu uređaja.

II. CILJ I MOTIV RADA

Cilj rada je da na sistematičan način ukaže na osnovne razlike danas najčešće korištenih sekundarnih memorija (SSD i HDD), kao i trenutni položaj i ulogu hibridnih uređaja (SSHD ili HHDD). U daljem istraživanju u planu je uraditi testiranje performansi nekih SSD, HDD i SSHD uređaja, kao i mogućnost kombinovanja SSD i HDD uređaja.

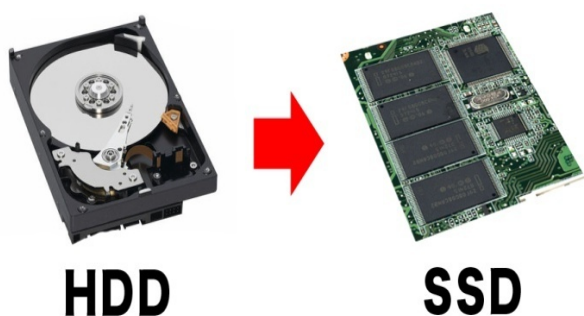
III. HDD UREĐAJI

Osnovnu i glavnu ulogu, čuvanje i skladištenje podataka, sekundarne memorije, HDD uređaji uspješno izvršavaju već od 1954. godine.

Kako su se zahtjevi korisnika vremenom povećali, tako su i performanse sekundarnih memorija morale biti unapređivane. Dvije osnovne karakteristike u pogledu sekundarnih memorija su kapacitet i brzina pristupa zapisu.

Kapacitet hard diskova u najvećoj mjeri postizan je smanjenjem dimenzija magnetnog bita. Otkrićem džinovskog magnetootpornog efekta [3] (eng. GMR – Giant Magnetoresistance) dolazi do značajnog povećanja kapaciteta magnetnih diskova. Otkrićem GMR efekta omogućeno je pravljenje magnetnih glava koje imaju mogućnost čitanja bitova izuzetno malih dimenzija. Da bi funkcionisao GMR efekat neophodno je omogućiti posebnu magnetnu glavu za upis i posebnu glavu za čitanje, koja je bazirana na GMR efektu.

Na HDD uređajima razlikujemo elektronski i mehanički dio, što na SSD uređaju ne postoji (Sl. 1). S obzirom da je HDD uređaj baziran na tehnologiji magnetnog diska, mehanički dio, magnetni disk i dijelovi koji opslužuju rad diska sačinjavaju najveći dio uređaja.



Slika 1. Unutrašnjost HDD i SSD [5]

Performansa hard diska brzina pristupa zapisu najviše zavisi od brzine rotacije magnetnog diska i četiri dijela koja opslužuju rad diska:

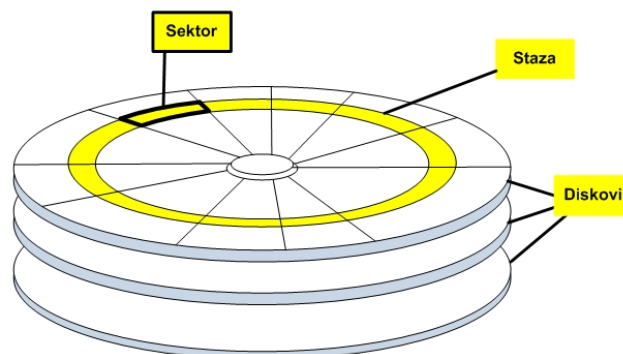
- Glava za čitanje/pisanje – obično postoje dvije razdvojene glave jedna za čitanje, a druga za pisanje
- Pobuđivačka kazaljka (aktuatorska ruka)
- Pobuđivač (aktuator)
- Osovina

Sa aspekta elektronske organizacije hard diska, razlikuje se:

- Elektromagnetna glava za čitanje/pisanje – zadužena za upisivanje i čitanje podataka sa HDD za svaku stranu svakog diska. Postoje diskovi sa fiksnim glavama (jedna glava za čitanje-upisivanje po stazi) i sa pokretnim glavama (postoji samo jedna glava za čitanje i upisivanje).
- Staze – površina diska sadrži koncentrične staze. Broj staza zavisi od osjetljivosti mehaničkih dijelova unutar uređaja. Brojanje staza ide od nule na spoljnoj ivici i raste ka unutrašnjosti diska.
- Cilindri – sve staze koje se nalaze na istoj vertikali tj. staze istog rednog broja na svim diskovima HDD uređaja.
- Sektori – svaka staza podijeljena je na pojedinačne segmente. Njih čine nizovi pravih linija koje sijeku ploču prolazeći kroz „centar“ ploče (prečnika). To je ujedno i najmanja jedinica diska kojoj se može pristupiti Sl. 2. Svi sektori skladište jednak kapacitet podataka - 512 bajtova [6].

Povećanje brzine pristupa zapisu moguće je ostvariti samo na dva načina:

- Povećanjem ugaone brzine magnetnog diska tj. brzine obrtanja magnetnog diska
- Unapređenjem i optimizacijom sistema za pozicioniranje glave za čitanje/pisanje.



Slika 2. Prikaz staze, sektora i diskova HDD uređaja

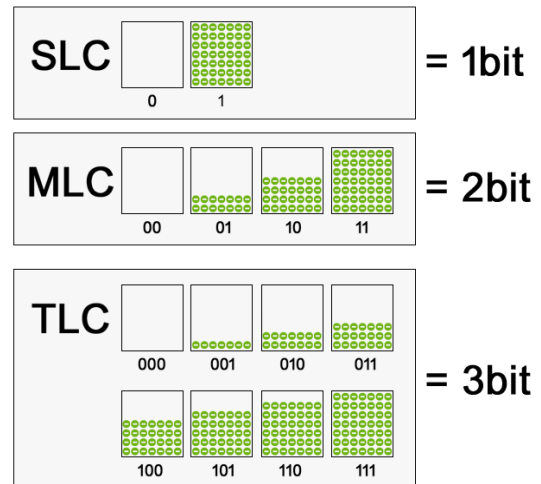
Kada je riječ o brzini pristupa zapisu na HDD uređaju najbitnije su sljedeće specifikacije hard diska:

- Vrijeme traženja – vrijeme u kojem glava pronalazi cilindar traženog sektora. Ovo vrijeme zavisi od broja staza koje glave moraju da pređu.
- Vrijeme čekanja – vrijeme koje je potrebno da se glava pozicionira iznad sektora odnosno da taj sektor obrtanjem ploča diska dođe pod glavu za čitanje/upisivanje. Ovo vrijeme zavisi isključivo od brzine obrtanja osovine. Neka tipična vremena čekanja data su u tabeli 1.
- Vrijeme pristupa – jednako je zbiru vremena traženja i vremena čekanja.

Tabela 1 Brzina obrtanja ploča i vrijeme čekanja

Brzina obrtanja osovine (o/min)	Prosječno vrijeme čekanja (ms)	Najduže vrijeme čekanja (ms)
3600	8,3	16,7
5400	5,6	11,1
7200	4,2	8,3
10000	3,0	6,0
12000	2,5	5,0
20000	1,5	3,0

- SLC (Single Level Cell) – diskovi na bazi jednobitnih fleš memorija
- MLC (Multi Level Cell) – diskovi na bazi višebitnih fleš memorija (ovaj naziv se obično odnosi na dvobitne fleš memorije)
- TLC (Triple Level Cell) – diskovi na bazi trobitnih fleš memorija



Slika 3. SLC, MLC, TLC rad ćelija (skladištenje podataka)

Ukupno srednje vrijeme pristupa kod HDD uređaja, ako uvrstimo i vrijeme prenosa sa diska ili na disk, može se izraziti kao [7]:

$$T_a = T_s + \frac{1}{2r} + \frac{b}{rN} \quad (1)$$

gdje je:

- T_s – Prosječno vrijeme traženja
- r – Brzina rotacije, u obrtajima po sekundi
- b – Broj bitova koji treba da se prenesu
- N – Broj bajtova na stazi

IV. SSD UREĐAJI

Poluprovodnički diskovi, za razliku od hard diskova, podatke čuvaju u elektronskom obliku. Podaci se, kod ovog oblika sekundarnih memorija, trajno skladište u fleš memorijskim čipovima.

Fleš memorije NOR tipa prve su se pojavile i počele koristiti, ali je NAND tip fleš memorije preovladao u USB uređajima i memorijskim karticama, kao i u SSD uređajima prvenstveno zahvaljujući osobini da NAND koristi veću gustinu po bitu i veću brzinu upisivanja od NOR tipa fleš memorija.

U zavisnosti od namjene fleš NAND memorija je dostupna u tri različite vrste memorijskog pakovanja, prikazane na Sl.3[8]:

U uređajima i sistemima kod kojih veoma veliku važnost imaju pouzdanost i brzina rada koriste se diskovi na bazi jednobitnih fleš memorija – SLC.

Kod uređaja i sistema gdje je od velike važnosti da cijena uređaja bude što niža diskovi se konstruišu na bazi višebitnih fleš memorija, obično dvobitne ili rijede trobitne.

Glavne razlike između SLC i MLC pakovanja su:

- MLC u jednom ciklusu upisuje više bitova podataka, dok SLC samo jedan bit podatka
- MLC fleš memorije imaju dvostruko ili trostruko veći kapacitet
- MLC u odnosu na SLC ima značajno kraći životni vijek. Kod SLC broj ciklusa upisa se kreće oko 100.000, dok kod MLC od 5.000 – 10.000

TLC kao najmlađa tehnologija memorijskog pakovanja ima najnižu granicu izdržljivosti, pri čemu su i najsporiji TLC čipovi. Međutim velika njihova prednost je u tome što im je cijena u poređenju sa SLC i MLC (dvobitne) neuporedivo manja.

Za razliku od hard disk uređaja poluprovodnički diskovi ne sadrže mehanički dio. Fizička organizacija memorijskog prostora unutar SSD uređaja [13][14]:

- **Memorijska ćelija** predstavlja osnovnu memorijsku komponentu koja čuva jedan bit podataka u slučaju SLC

čipa, najčešće dva bita podataka kada je u pitanju MLC čip i tri bita podatka kada je u pitanju TLC čip.

- **Stranica (eng. page)** čine organizovane grupe memorijskih ćelija. Stranice predstavljaju najmanju strukturu, od 4 KB, koja se može očitavati ili na koju se može upisivati.
- **Blok (eng. block)** se sastoji od 128 stranica, tako da njegova veličina iznosi 512 KB. Blok predstavlja najmanju memorijsku strukturu koja se može brisati.
- **Ravan (eng. plane)** čine 1024 bloka.
- **Fizički čip** sadrži više ravni.
- **SSD uređaj** u sebi sadrži više čipova koji svojim brojem i kapacitetom određuju ukupan kapacitet poluprovodničkog diska.

Kontroler poluprovodničkog diska predstavlja glavni i najbrži dio, čija je uloga da obezbjedi elektronicu da premosti NAND memorijske komponente do glavnog računara. Povezanost kontrolera sa magistralom može biti preko bafera ili direktno, u zavisnosti od toga da li ima bafer. Kontroler se često naziva i SOC (System On a Chip) i u njemu se nalazi *firmware* uređaja.

Kod poluprovodničkih diskova, osnovne dvije operacije, koje utiču na vijek trajanja SSD uređaja su proces upisa i proces brisanja. Sam proces čitanja ne utiče na vijek trajanja SSD uređaja.

Proces upisa se vrši adresiranjem određene stranice unutar nekog bloka u jednoj ravni u čipu. Minimum podataka koji tom prilikom upisuje u stranicu je 4 KB. Nedostatak je taj što sa svakim novim upisom u tu stranicu, bilo da se radi o podatku od 4 KB ili 512 KB, ukupan broj ciklusa te stranice smanjuje za jedan upis.

Proces brisanja je složeniji proces od procesa upisa i procesa čitanja. Jedan od ključnih razloga složenosti procesa brisanja je što kod poluprovodničkih diskova nije moguće prepisati određenu stranicu. U procesu brisanja postoje četiri koraka:

- U prvom koraku izvodi se proces čitanja cijelog bloka (512 KB) u internu memoriju.
- U drugom koraku izvode se modifikacije zahtjevanih stranica (4 KB) u internoj memoriji.
- U trećem koraku slijedi operacija brisanja cijelog bloka (512 KB).
- U četvrtom koraku operacija ponovnog upisa, kako stranica na kojima nije izvršena modifikacija, tako i stranica koje su modifikovane.

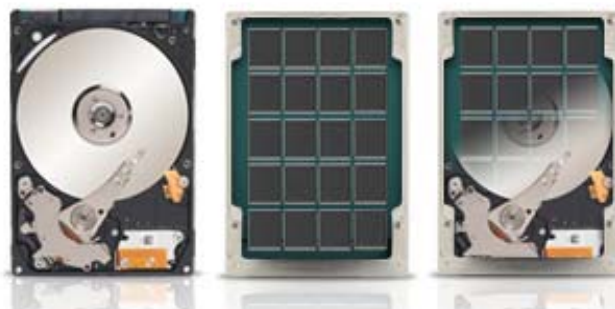
Moguće je uočiti da se pri svakom novom procesu upisa ili procesa brisanja bar jedne stranice jednog bloka SSD uređaja ukupan broj ciklusa tog bloka u kome se stranica nalazi smanjuje za jedan.

V. HIBRIDNI DISK

Hibridni disk (eng. SSHD – Solid State Hybrid Drive ili eng. HHDD – Hybrid Hard Disk Drives) je kombinacija dvije tehnologije, jedne koja nudi veliki kapacitet po pristupačnoj cijeni (HDD) i druge koja nudi velike brzine prenosa zapisa (SSD).

Prvi hibridni hard disk napravljen je oko 2004. godine, međutim još uvijek nije pronašao odgovarajuće mjesto na tržištu.

Cijena poluprovodničkih diskova iako proizvedenih na jeftinijoj tehnologiji memorijskog pakovanja, MLC ili TLC, za prosječnog korisnika je i dalje velika. Kod magnetnih diskova brzina prenosa zapisa (upis ili čitanje) u odnosu na ostale elemente sistema je neodgovarajuća. Hibridni disk je pokušaj da se nađe povoljan odnos cijena/performance (Sl. 4).



Slika 4. Kombinovanjem magnetnih diskova i fleš memorija dobijen je hibridni disk (SSHD ili HHDD) [15]

Sastavni dijelovi hibridnog diska su [15][16]:

- Magnetni disk tj. klasični HDD uređaj većeg kapaciteta (obično od 500 GB i više).
- Poluprovodnički disk tj. SSD uređaj manjeg kapaciteta pri čemu je fleš memorija u SLC ili MLC NAND pakovanju. Cilj je da kapacitet SSD dijela SSHD uređaja bude dovoljan za opsluživanje sistemskih programa i najčešće korištenih aplikacija. Kapacitet SSD se kreće obično oko 8 GB.

Kontroler hibridnog diska i softver razvijen od strane proizvođača SSHD uređaja.

Mogu se razlikovati i dva načina upotrebe fleš dijela uređaja u hibridnom disku [15][16]:

- Korištenje fleš memorije za procese keširanja – podrazumjeva korištenje NAND fleš memorija kao skladišta za čuvanje zapisa kojima se često pristupa. Na ovaj način je omogućena brzina pristupa tim zapisima ista kao kod SSD uređaja. U ovom slučaju od velike važnosti je da memorijsko pakovanje tipa SLC, kako bi vijek trajanja uređaja i fleš memorije bio što duži.
- Korištenje fleš memorije za čuvanje operativnog sistema kao i najčešće pristupane aplikacije. U ovom

slučaju brzina pristupa operativnom sistemu i aplikacijama koje su smještene na fleš komponentu je isto kao kod SSD uređaja, međutim pristupanje podacima i ostalim zapisima koji se ne nalaze na fleš komponenti je isto kao kod HDD uređaja.

U hibridnom uređaju u idealnom slučaju aktivna je samo SSD komponenta uređaja, dok je HDD komponenta u stanju mirovanja.

VI. MEĐUSOBNO POREĐENJE HDD, SSD I SSHD

Kombinovanjem dvije različite tehnologije proizvodnje sekundarnih memorija i stvaranjem uređaja koji ima prednosti i jedne i druge tehnologije sa sobom nosi i nedostatke te dvije tehnologije.

Neki od nedostataka magnetnih diskova u odnosu na poluprovodničke diskove bazirane na fleš memorijama su:

- Elektromehanički pristup zapisima na disku dovodi do daleko sporije brzine transfera podataka.
- HDD ima daleko manje performanse ulazno/izlaznih operacija u sekundi (IOPS).
- Veća osjetljivost na udare i vibraciju.
- Podložniji su mehaničkom habanju od SSD uređaja.
- Magnetno osjetljivi.
- Bučniji rad.
- Veća potrošnja.

Dva, trenutno gotovo nepremostiva nedostatka SSD uređaja, a koji su posljedica fizičkih osobina fleš memorija su:

1. Ograničenost broja upisa - fleš memorije postaju potpuno neupotrebljive nakon izvjesnog broja upisa ili brisanja, pri čemu postoji direktna zavisnost od memorijskog pakovanja. Veliki broj fleš memorija sposobna je da procjeni sopstveno preostalo vrijeme ispravnosti, tako da sistemi mogu da predviđaju otkaze.
2. Brzina pristupa zapisu na SSD uređaju opadaju kako se uređaj koristi. Iako proizvođači na različite načine kompenzuju ovo svojstvo fleš memorija, npr. prekomjernim snabdijevanjem, komanda TRIM itd., pad performansi je značajan u odnosu na performanse prilikom prvog korištenja SSD uređaja.

Pored ova dva velika nedostatka bitno je navesti da u slučaju otkaza SSD uređaja dolazi do potpunog i kompletnog gubitka podataka. Oporavak podataka sa oštećenog SSD uređaja gotovo da nije moguć ili je uspješan u malom procentu. Kod HDD uređaja, u zavisnosti od kvara, podatke koji su zapisani na disku moguće je oporaviti u velikom procentu. Naravno od velike važnosti kod oporavka HDD uređaja je stepen oštećenja magnetnog diska.

Prednosti i nedostaci SSHD uređaja u odnosu na HDD i SSD uređaj su:

- Jedna od najvećih prednost ovog SSHD u odnosu na SSD uređaj je u tome što u slučaju otkaza SSD dijela SSHD uređaja ne dolazi do potpunog i kompletnog gubitka podataka. Podatke je moguće oporaviti sa HDD dijela uređaja.
- SSHD uređaj ima u idealnom režimu rada ima potrošnju gotovo kao SSD uređaj.
- Dobija se veći kapacitet na raspolaganju cijenom malo većom od HDD uređaja, pri čemu povremeno nudi performanse klasičnog SSD uređaja.
- Osjetljiv je na mehaničko habanje.
- Osjetljivost na udare i vibraciju.
- Magnetno osjetljiv.
- Cijena je pristupačnija od SSD uređaja.

VII. ZAKLJUČAK

Prednosti kao što su manja cijena uređaja po bitu, veći kapacitet, kao i veća mogućnost oporavka podataka sa oštećenog uređaja čine HDD uređaje još uvijek za korisnike primamljivom sekundarnom memorijom.

Prednosti koje ima SSD uređaj čine ovu sekundarnu memoriju primamljivom za korisnike kod kojih od velikog značaja je brzina upisa/ispisa podatka. Međutim iako imaju značajno bolje performanse od HDD uređaja ne nalaze svoje mjesto kako zbog cijene tako i zbog opasnosti od otkaza, pri čemu podatke gotovo da nije moguće ili je moguće u malom procentu sačuvati i očitati.

U zadnjih nekoliko godina vodeći proizvođači sekundarnih memorija sve više eksperimentišu sa kombinacijom fleš memorija i magnetnih diskova u hibridne uređaje. Za očekivati je da će se u narednom periodu pojaviti više modela hibridnih uređaja.

Za očekivati je da će u narednom periodu na tržištu dominirati SSHD uređaji, izuzev ako ne dođe do drastičnog unapređenja kako broja upisa, tako i pronalazjenja novih metoda za oporavak oštećenih SSD uređaja.

LITERATURA

- [1] June 1988 paper "A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)", presented at the SIGMOD conference, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=50214>
- [2] DIRECT ACCESS MAGNETIC DISC STORAGE DEVICE March 24, 1970, invented by Goddard & Lynott, assigned to IBM, US 3503060
- [3] Prof. Albert Fert, Unite Mixte de Physique CNRS/Thales, University Paris-Sud 11, France "Giant magnetoresistance" [Online]: http://www.scholarpedia.org/article/Giant_magnetoresistance
- [4] Gabriel Tores "Anatomy-of-SSD-Units" [Online]: <http://www.hardwaresecrets.com/printpage/Anatomy-of-SSD-Units/904>

- [5] Syed Z. A., "Traditional Hard Drives Vs. Solid State Drives", "Abes" Computer and Technology Blog, 2012. [Online]: <http://freecomputerstuffdownloads.blogspot.com/2012/05/traditional-hard-drives-vs-solid-state.html>
- [6] Mark Minasi, Nadogradnja i organizacija računara, ISBN 86-7555-321-8
- [7] William Stallings, Organizacija i arhitektura računara, Projekat u funkciji performansi, ISBN 978-86-7991-361-6 (CET)
- [8] "Understanding SSD - structure of a NAND flash memory and SLC, MLC, differences in TLC system" [Online]: <http://cappleblog.co.kr/582>
- [9] B. Baude, "RAID on Linux on POWER", IBM eServer Solutions Enablement, November 2005.
- [10] A. Thomasian, J. Xu, „Reliability and Performance of Mirrored Disk Organizations“ Computer Journal, January 2008.
- [11] A. Lebrecht, N. Dingle, W. Knottenbel, „Analytical and Simulation Modelling of Zoned RAID Systems“ in Computer Journal, June 2010.
- [12] "SSD vs HDD" [Online]: http://www.storagereview.com/ssd_vs_hdd
- [13] Valentina Timčenko, Borislav Đorđević, Slobodan Obradović, Nikola Čorni, Uticaj keš disk bafera na performanse SSD diskova, INFOTEH-JAHORINA Vol. 12, March 2013.
- [14] Nikola Davidović, Dijana Kosmajac, Borislav Đorđević, Valentina Timčenko, Komparativna analiza sekundarnih memorija – poređenje tvrdog diska sa poluprovodničkim diskom, , INFOTEH-JAHORINA Vol. 13, March 2014.
- [15] "Fast Storage" [Online]: <http://www.seagate.com/gb/en/solutions/solid-state-hybrid/innovation/>
- [16] https://storage.toshiba.eu/cms/en/hdd/solid_state_hybrid_drives/

ABSTRACT

In addition to the primary functions of memory to reliably keep the stored records, the requirements for speed memory access is increasingly set nowadays. By advancement of technology, a different subsystems in the computer have been evolving as well, while the performance of HDD devices remained almost at the same level. Improvement in technology production of semiconductor disks (SSDs) has led to a fact that SSD with its performance, primarily with speed memory access, appeal a large number of users. However, SSDs have several large and, at this point, almost insurmountable disadvantages that prevent their complete domination. For this reasons, the so-called Hybrid devices are created, with a purpose to combine good qualities of both technologies.

COMPARATIVE ANALYSIS OF HYBRID DISK TO HARD DISK AND SEMICONDUCTOR DISK

Nikola Davidović, Slobodan Obradović, Perica S. Štrbac,
Borislav Đorđević, Valentina Timčenko