

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Архитектура рачунарских система

Број индекса: 2007/2014

Бојан Р. Радојевић
Компаративна анализа секундарних
меморија - HDD и SSD
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Радуловић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи литературу која се односи на технологију хард диска и SSD диска, изврши систематизацију и упореди ове две технологије, истакне предности и мане ових технологија складиштења.

Препоручена литература:

[1] Stallings, W., Computer organization and architecture: designing for performance, Pearson, 10th edition, 2015

[2] Обрадовић, С., Рачунари – Архитектура, хардвер, системски софтвер, Висока школа електротехнике рачунара и струковних студија, Прво издање, 2014

Крагујевац, 12.10.2020.

Ментор:

Др. Јасна Радуловић

Садржај:

1. Увод	6
2. Хард диск	7
2.1 Историја хард дискова	7
2.2 Основни делови хард диска	11
2.3 Технологија чувања података	13
2.4 Организација уписа података	15
2.5 Технологија преноса података	18
2.5.1 MFM контролери	18
2.5.2 RLL контролери	19
2.5.3 ESDI интерфејс	19
2.5.4 ATA/IDE стандард	19
2.5.5 PATA/EIDE стандард	21
2.5.6 SATA (Serial ATA)	22
2.5.7 SCSI дискови	22
2.5.8 RAID системи	23
3. SSD (Solid State Drive)	25
3.1 Историја SSD диска	25
3.2 Делови SSD диска	26
3.3 Wear Leveling	28
3.4 Трим команда	29
4. Поређење хард диска і SSD диска	31
5. Закључак	33
6. Литература	34

Резиме

У овом раду најпре ће бити речи о историјату хард дискова, основним елементима, технологији чувања и уписа података, различитим стандардима повезивања и типовима хард дискова, а затим о историјату и основним подацима о SSD дисковима. Након наведених излагања, биће упоређене ове две технологије, представљене њихове разлике, тј. предности и мане ових технологија складиштења.

Кључне речи: Хард диск, SSD диск, TRIM, PATA, SATA, Wear leveling

Summary

In this thesis, first there will be words about history of HDD - Hard Disk Drive, basic elements, technology of data reading and writing using these drives, different connection standards, types of hard disks, after which it will be discussed about basic information regarding SSD - Solid State Drive. Afterwards, those two technologies will be compared, their differences pointed out, namely advantages and disadvantages of these two types of storage technologies.

Keywords: Hard disk drives, solid state drives, TRIM, PATA, SATA, Wear leveling

1. Увод

Још од давнина човек је имао потребу да негде складишти информације које је добијао и прикупљао. У почетку се служио каменим и глиненим плочицама, касније пергаментом и на крају папиром. Са технолошком револуцијом, количина података коју је требало складиштити нагло је порасла. Појавом првих рачунара, та потреба је још више порасла. Меморије на којима су се подаци у почетку складиштили су биле веома брзе и ефикасне, али са губитком напајања, сви подаци са њих би били избрисани без могућности повраћаја. Секундарне меморије чувају и меморишу податке чак и по искључивању напајања [1].

За складиштење и чување података користи се секундарна меморија из које се према потреби преносе информације у оперативну меморију. Постоје различите секундарне меморије, али данас најважнију улогу код персоналних рачунара имају хард диск и SSD диск. На њима се чувају сви подаци, као и оперативни системи и пратећи програми.

Хард диск технологија се развила средином двадесетог века, а скоро у истом временском периоду се јавила и SSD технологија, само што није добила одмах на значају због високе цене саме технологије.

Хард диск представља уређај за писање и складиштење података који користи ротирајуће дискове и главу које врши упис истих. SSD је исто намењен за складиштење података и то је уређај који нема механичке покретне делове, већ податке чува помоћу меморијских блокова [референца].

У данашње време изузетно брзог развоја и унапређивања технологија имамо борбу ове две технологије складиштења података. И једна и друга имају предности и мане, које ћемо анализирати у оквиру овог рада.

2. Хард диск

2.1 Историја хард дискова

Први уређаји за складиштење података појавили су се још у 19. веку. Херман Холерит је још 1890. године развио метод за машине које ће уписивати податке на бушене картице и касније их читати са њих. Његов изум је касније проширен, па су се појавиле бушене траке, које су имале већи капацитет и бржи начин читања велике количине података [2].

Електронско чување података датира из 1946. године. Тада је патентиран “Selectron” катодна лампа способна да чува 256 битова информација. Четири године касније (1950), направљена је машина која је названа “drum-memory computer”. Та машина је развијена у Миннеаполису за потребе америчке морнарице.

Први хард диск модел 350 “RAMAC”, представљен 1956. године од стране ИВМ-а, имао је могућност складиштења 5000600-битних карактера или величине 5 МВ. Био је величине данашња два фрижидера, тежио је 1 тону и за складиштење је користио педесет 24-инчних плоча. Густина записа података је била 2000 бита по квадратном инчу, а брзина преноса тада импресивних 8800 бајтова по секунди.



слика 1 – Први хард диск из 1956. год. [8]

Са представљањем следећег хард диска, поново од стране ИВМ-а, већ је остварен суштински напредак зато што се уведе покретна ручица и магнетна глава. Пошто је

претходни хард диск имао једну покретну ручицу и педесет дискова на које су складиштени подаци, главни проблем је била мала брзина уписа и читања података, која је била директно условљена брзином кретања покретне ручице. Нови хард диск је имао назив IBM 1301. Имао је уграђене покретне ручице на свакој плочи, што је убрзало брзину читања и писања података. Капацитет му је био 28 милиона карактера и имао је 20 плоча за складиштење података. Напредак је у односу на претходни био у томе што је било мање растојања између глава за упис и плоча што је резултирало повећању густине података смештених на плоче (око 10 пута у односу на RAMAC). Капацитет му је био 28 MB.

Прекретница је направљена 1965. године са појавом хард диска под називом IBM 2311. То је био први хард диск на свету који је имао стандардизован електрични прикључак чиме је постао приступачан разноврсним рачунарима тог времена.



Слика 2 – IBM 1311 [8]

IBM 2314 је био модел који је имао феритне главе. Оне су коришћене за прве хард дискове на корисничким рачунарима.

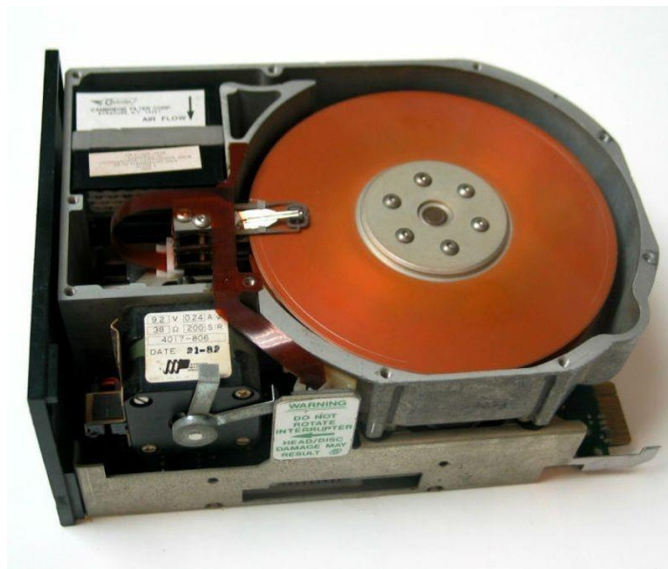
1973. године компанија IBM почиње производњу модела IBM 3340 који има три изменљива модула за податке. Ту су спадали модул од 35 MB и два модула од 70 MB. Овај хард диск је добио и име ‘Winchester’. Овај назив је добио још приликом пројектовања, јер је било планирано да сваки модул има по 30 MB, што се поклапало са именом најпознатије пушке на свету Winchester. Код овог модела је први пут коришћено херметичко затварање унутрашњости диска и усавршена је ‘Air bearing’ (ваздушне главе) технологија, која је омогућила смањење висине глава на само 17 микроинча.

IBM 3370 који се појавио 1979 године је био први хард диск са ‘Thin film’ главама. Овај стандард ће се користити дуги низ година и успешно ће заменити феритне главе.

Исте године појављује се IBM 3310, који први пут користи плоче величине 8 инча, што је представљало огромно побољшање у односу на плоче од 14 инча, које су биле стандард више од једне деценије.

Први хард диск величине 1 GB појављује се 1980. године под називом IBM 3380. Био је величине фрижидера, тежак 350 kg и коштао је невероватних 40000 долара.

Први хард диск величине 5,25 инча се појавио 1980. године под називом “Seagate ST-506”. Овај хард диск је имао четири главе и био је капацитета 5 MB. IBM прескаче овај модел и бира његовог наследника ST-412 за свој персонални рачунар, чиме овај модел постаје први хард диск широко коришћен у персоналним рачунарима [2].



Слика 3 – први хард диск величине 5,25 инча [9]

1983. године појављује се први хард диск величине 3,5 инча. Rodime је направио хард диск RO352 у формату од 3,5 инча који је постао један од најважнијих индустријских стандарда. Овај формат се и данас користи код савремених хард дискова.

1985. године се појављује први диск на ISA картици.

1986. године долази до стандардизације SCSI интерфејса и појаве IDE стандарда.

1988. године се појављује први хард диск величине 2,5 инча, направљен од стране PrairieTek-а. Имао је две плоче и био је капацитета 20 MB. Хард дискови величине 2,5 инча ће касније постати стандард за преносне рачунаре.

Током осамдесетих и деведесетих година прошлог века стално је унапређивана и усавршавана технологија израде хард дискова. Уређаји од 5,25 инча брзо су уступили место онима од 3,5 инча (какве и ми данас користимо у рачунарима). Када су преносни рачуари стекли популарност, дискови су се опет смањили на 2,5 инча. Ако данас користите преносни рачунар који има хард диск, вероватно се ради о моделу од 2,5 инча.

Потреба за бољим, бржим и флексибилнијим складиштењем створила је и различите интерфејсе: IDE, SCSI, ATA.

У новом миленијуму долази до још бржег развоја и усавршавања хард диска. Hitachi купује IBM 2003 године и само након две године појављује се први хард диск од 500 GB. Убрзо затим 2007., појављује се хард диск од 750 GB, а само неколико месеци касније и од 1 TB. Капацитет хард диска се драстично повећава током година, тако да данас имамо хард дискове величине 15 TB.

Са повећањем капацитета мењају се и технологије тако да се 2003. године стандардизује SATA интерфејс.

На следећој слици може се видети како се мењао капацитет хард диска од 80-их година прошлог века:



Слика 4 – Капацитет хард диска

2.2 Основни делови хард диска

Данас нема битне разлике између различитих типова хард дискова и делова од којих су састављени. Углавном су сви модерни хард дискови конструисани по сличном нацрту и састоје се од готово истих компоненти.

Главни делови хард диска су: кућиште хард диска, магнетна плоча, глава за читање и писање, осовински мотор, покретач и рука покретача, електроника са штампаном плочом.



Слика 5 – Основни делови хард диска [10]

Ако погледамо хард диск споља, прво што ћемо уочити је штампана плоча на којој су смештене компоненте које управљају радом уређаја и обезбеђују стабилно напајање свих механичких и електричних компоненти. На плочи се налазе стабилизатори напона, микропроцесор, контролер, ROM (Read-only memory) и RAM (Random access memory), који служи за кеширање података. ROM хард диска је веома значајан због тога што се на њему налази *firmware* и такозвани “adaptive” подаци, који омогућавају да баш та глава ради са баш тим одређеним моделом мотора и електронике.

Код првих хард дискова, скоро сва контролерска логика је била смештена изван диска на контролеру. То је био велики проблем зато што је контролер морао да познаје важније карактеристике свих могућих хард дискова. Због тога је било изузетно тешко оптимизовати контролер за рад са специфичним диском. Сви модерни хард дискови имају на себи интегрисану контролерску логику.

Микропроцесор обавља функцију контролисања рада осовине мотора, контролисање рада покретача и померање на праву путању, контролисање операција читања и писања, имплементирање функција за управљање напајањем и многих других функција неопходних за нормално функционисање хард диска.

Испод штампане плоче на кућишту хард диска налазе се контакти мотора. Осим тога, кућиште хард диска има малу, готово не приметну рупицу. Она служи за уравнотежење

притисака, штитећи унутрашњост кућишта од деформација. Многи мисле да у хард диску постоји вакуум. То заправо није случај. Овај отвор је потребан за изједначавање притисака унутар и изван зоне задржавања. Са унутрашње стране отвор је прекривен филтером који задржава честице прашине и влаге [5].

Унутар затвореног кућишта хард диска направљеног најчешће од легура алуминијума, налази се једна или више чврстих, фиксних дискова - плоча. Сваки хард диск има једну или више плоча које се састоје од два материјала: супстрата који представља основу плоче и даје јој чврстину, и магнетног медија који се користи за складиштење магнетних импулса који представљају податке. Код првих хард дискова плоче су у потпуности биле израђене од феромагнетног материјала и биле су пречника и преко једног метра, док су њихов капацитет и густина писања били изузетно мали у поређењу са данашњим плочама. Материјал који се користи за израду супстрата треба да буде лак, чврст, јефтин и лако доступан. Супстрат од којих су направљене плоче савремених хард дискова је израђен од неке врсте пластике (најчешће су коришћене алуминијумске легуре али и стакло, стаклени композити итд.) и пресвучене су слојем феромагнетног материјала. Приликом укључивања диска, плоче почињу да ротирају око осовине константном брзином од 3000-15000 обртаја у минути, у зависности од модела и технологије израде хард диска.

Следећи део који видимо су главе за читање и писање. Код првих хард дискова, главе за читање и упис података су додиривале плочу. Како би спречили хабање и оштећење плоча, код модерних хард дискова, ове главе не додирују плочу, већ се налазе на јако малим растојањима од 5 до 50 nm од исте.



Слика 6 – Глава за читање и писање [10]

Главе за читање и писање се померају преко површина, како би омогућиле приступ подацима са различитих локација. Свака глава је смештена на крају носача. Носач или носачи се крећу сви заједно под контролом покретачког механизма. Поклопац кућишта је херметички затворен, да би се избегао контакт површине плоче са спољашњим нечистоћама а самим тим и њено оштећење [6].

За покретање плоча користи се посебан мотор, на чију осовину су равномерно наслагане плоче. Ови мотори су веома издржљиви и током свог радног века имају огроман

број старт-стоп циклуса. Они такође имају улогу и у регулацији угаоне брзине. Да би се брзина ротирања плоча одржала константном, постоји и посебан серво систем који помаже овом мотору да коригује свој рад по потреби. Ови мотори су у почетку имали велики проблем по питању буке коју су стварали приликом свог рада. Бука је настајала од лежаја који је усађен у ротор мотора. Да би смањили буку, и лежајеви су еволуирали од обичног рукавца преко кугличног, до најсавременије варијанте која се ослања на вискозност течности [6].

Следећи део хард диска који можемо да видимо је рука на којој се налази глава за читање и писање, као и мотор који је покреће. У почетку су хард дискови користили корачни или степ мотор. Овај мотор може да се покреће само у корацима одређене дужине и може се задржати у одређеном положају. На данашњим хард дисковима, рука и мотор чине један механизам који се назива “Voice Coil Actuator” или покретач. Покретач функционише тако што се кроз калем који се налази у јаком магнетном пољу пропушта струја, која изазива његово кретање. Ови мотори се могу произвољно кретати, и задржавање истог положаја је компликованије. Разлог за прелазак са корачног мотора на покретач, лежи у чињеници да се предмети на топлоти шире док се на хладноћи скупљају. Због тога је неопходно постојање система, код кога се положај главе може кориговати.

По престанку рада хард диска, главе за читање и писање бивају постављене у такозвану парк или “landing” зону плоче, која се не користи за уписивање и чување података.

2.3 Технологија чувања података

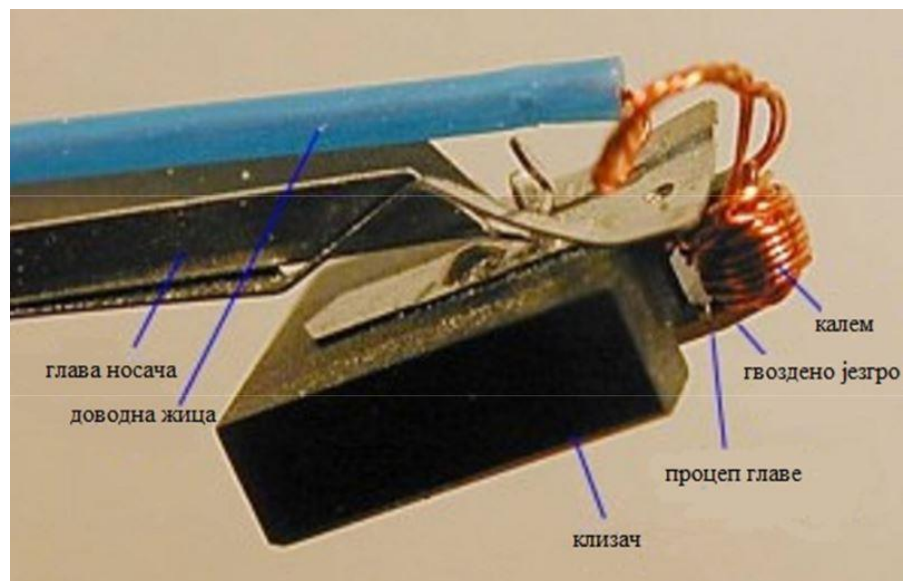
Магнетни запис је први пут као технологија представљен 1900. године у Паризу. Тада је Валдемар Пулсен на металној жици намотаној око ваљка који нема магнетна особине, успешно сачувао аудио снимак лошег квалитета.

Систем читања и уписивања података у технологији магнетног записа, заснива се на постојању глава за читање и писање. Глава за читање при проласку изнад магнетне површине, ствара јако локално магнетно поље, магнетишући површину хард диска, тиме оријентишући магнетне грануле у одређеном смеру, док глава за писање детектује магнетно поље настало услед различите просторне оријентације магнетних гранула.

Током година развијало се више технологија чувања података на хард диску: феритне главе, MIG (Metal in gap) технологија, Thin Film Heads, AMR (Anisotropic magnetoresistive) технологија, GMR (Giant magnetoresistive) технологија, TMR (Tunnel Magnetoresistive) технологија.

Феритне главе су најстарији концепт глава за читање и писање и уједно најједноставнији. Гвоздена, односно феритна глава се састоји из гвозденог језгра савијеног у облик латиничног слова „У“, обмотаног проводним навојима. То су заправо класични електромагнети малих димензија. При писању, струја у калемовима ствара поларизационо магнетно поље у процепу полова електромагнета, који магнетише површину плоче хард диска у непосредној близини главе. При читању долази до обрнутог процеса, односно долази до стварања електричне струје у калемовима, чији смер зависи од смера поларизације честица у плочи хард диска. Главни недостаци феритних глава су тежина и гломазност и већа удаљеност од плоче хард диска. Данас су избачене у потпуности из

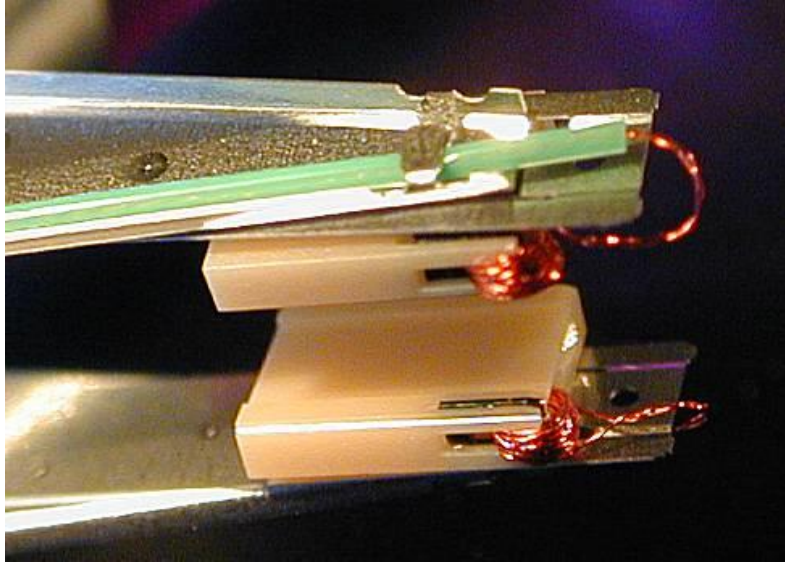
употребе због густине записа података. Користиле су се на хард дисковима величине до 50 MB [5].



Слика 7 – Феритне главе [11]

Революционарно побољшање постојећих феритних глава је учињено проналаском Metal in gap или MIG технологије. Ове главе су практично истог дизајна као феритне, са том разликом што је у процеп између магнетних полова главе додата специјална метална легура. Иако ова промена делује минорно, знатно је повећала прецизност глава и максималну јачину поља усмерену на плочу хард диска. То је омогућило употребу глава на дисковима са већом густином писања и већим капацитетом. Користиле су се на дисковима капацитета од 50 MB до 100 MB.

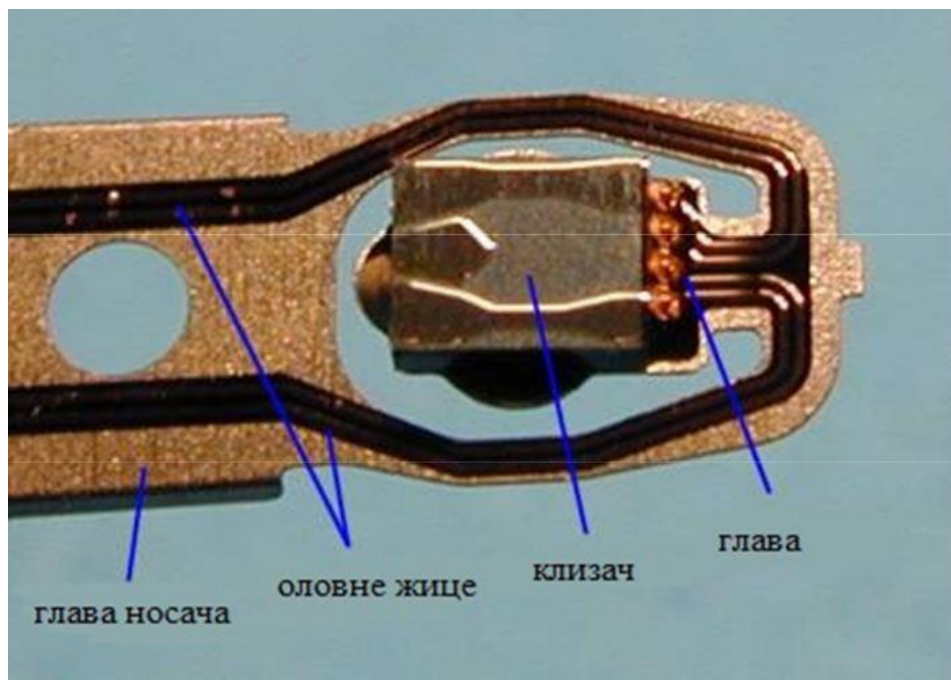
Thin Film главе су се појавиле 1979.године. Оне су потпуно другачије концепције у односу на своје претходнике. Назив су добиле по технологији која се примењује у њиховој производњи. Нова врста главе је обложена веома танким слојем металне легуре око никал-гвозденог језгра. То је омогућило постојање веома мале и прецизне главе, чије карактеристике и потези могу да буду строго контролисани. Употребљаване су код знатно већих густина записа. Могу лебдети на знатно мањим висинама од плоче хард диска у односу на своје претходнике. Користиле су се код хард дискова капацитета од 100-1000 MB. Како се током времена јављала потреба за све већом густином записа и капацитетом хард дискова, и ове главе су достигле границе своје конструкције [5].



Слика 8 – Thin Film главе [11]

За разлику од претходних технологија које су настајале једна из друге еволуцијом истог концепта, Anisotropic Magnetoresistive или AMR технологија је увела потпуно нови концепт рада и изгледа глава за читање и писање. AMR глава користи специјални проводни материјал који мења своју отпорност у присуству магнетног поља. Како глава пролази изнад површине диска, проводни материјал у глави мења своју отпорност сходно промени магнетног поља на површини, а отпорност зависи од обрасца намагнетисања на диску. Сензор детектује промене у отпорности, што омогућава да битови записани на плочи хард диска буду прецизно прочитани. Стога, употреба AMR глава омогућава читање података који стварају далеко слабије магнетно поље, а самим тим омогућава и гушће „паковање” магнетних битова, без интерференције сигнала магнетних поља. То је довело до значајног повећања капацитета хард дискова, као и у мањој мери до повећања брзине целог хард диска, тј брзине обезбеђивања података са хард диска другим деловима рачунара. AMR технологија се искључиво користи за читање података са хард диска, док се за уписивање користи одвојена Thin film глава. Одвајање читања и писања на две засебне главе има својих додатних предности. Дотадашње главе које су уједно обављале и читање и писање, биле су производ решења једног или другог дела главе. Код ове технологије могуће је уписивати ширу траку а такође и читати ужу, да не би хватали сигнале са суседних трака, што је у директној контрадикцији. У концепту одвојених глава, сваку од глава је могуће оптимизовати само по њеним потребама.

AMR главе су први пут представљене 1991. године од стране IBM-а, али су у употребу ушле тек неколико година касније. Њихов проналазак омогућио је креирање дискова преко 1 GB, а користиле су се до капацитета 30 GB. Тада су достигле своја конструкцијска ограничења и замењена су напреднијом технологијом.



Слика 9 – AMR глава [11]

Giant Magnetoresistive или GMR главе раде на истом принципу као AMR, само са одређеним променама у нацрту, који их чини супериорнијим у односу на своје претходнике. Далеко су осетљивије у односу на своје претходнике, мање су подложне грешкама услед шума јер су опремљене магнетним штитовима. Последња, али не и најмање битна предност GMR глава у односу на претходнике, је чињеница да су доста мање и лакше, што им омогућује да раде на знатно мањим растојањима од плоче хард диска у односу на претходне технологије.

Tunnel Magnetoresistive sensor или TMR технологија је уведена 2005. године од стране компаније Seagate. Она је омогућила развој хард дискова већих од 400 GB. Принцип рада главе се заснива на микроскопским грејним калемовима, који загревањем мењају облик трансдуктивног дела главе. Грејач се активира пре процеса записивања података, приближујући накратко главу плочи хард диска, тиме повећавајући флуks магнетног поља кроз површину коју треба намагнетисати, остварујући већу јачину записа података него код претходника. Исти процес се дешава и при читању података, тако што се процеп између главе читача и плоче хард диска смањује, тиме побољшавајући снагу магнетног сигнала и његову чистоћу. До средине 2006 године, сви произвођачи су прихватили ову технологију записа, која је и даље заступљена на тржишту хард дискова [5].

2.4 Организација уписа података

Да би се површина на плочама најбоље искористила, уведена је посебна организација уписа података.

Она је приказана на следећој слици:

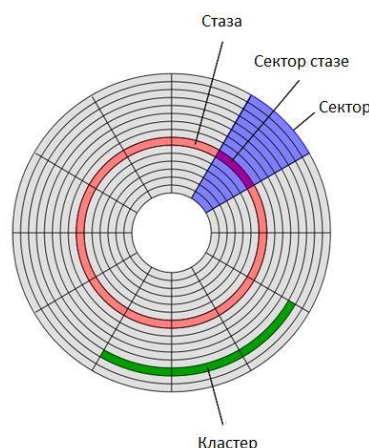


Слика 10 – Организација уписа података [10]

Основни елементи у организацији уписа података су стазе. Оне су распоређене као концентрични кругови око обе површине плоча, почевши од спољне ивице ка унутрашњости плоче. У зависности од конструкције хард дискова, свака стаза може садржати велики број битова података, па би било нерационално користити стазу као јединичну величину за упис података. Да би се тако нешто спречило, стазе се деле на секторе који садрже 512 бајта података.

Још један параметар који карактерише организацију података на хард диску су цилиндри. Цилиндри су стазе на свим плочама које имају исти полупречник, тј. на истом су растојању од центра плоча. Са оваквом организацијом се постиже најоптималније искоришћење површине за смештај података и најбржи рад хард диска.

Најмања количина простора која се може искористити за уписивање података на једном хард диску су сектори.



Слика 11 – Приказ сектора на плочи хард диска [10]

Ако су подаци који се уписују на плочу хард диска већи од једног сектора, онда се прелази на следећи сектор исте стазе, све док се цела стаза не попуни. Ако ни цела стаза није довољна за смештање података, прелази се на стазу са истим бројем (исто растојање од центра као и стаза која је већ попуњена подацима), а ако и то није довољно за упис података, прелази се на стазу на суседној плочи и тако све док не попунимо стазе у оквиру једног цилиндра. Тек када попунимо један цилиндар, ручице се померају на следећи цилиндар и крећу да поново уписују податке, и тако све док се уписивање података не изврши. На тај начин се остварује минимално померање ручице са главама. Пошто су померања ручице са главама при уписивању података најспорија операција, на овај начин постижемо највећу брзину уписа или читања података. Када се током рада неки сектори и стазе попуне, контролер ће видети да су заузети, и глава ће почети да уписује податке у новом цилиндру. Све то утиче на брзину писања и читања података [1].

Ради бољег искоришћења плоча код савремених хард дискова, број сектора по стазама није сталан, већ је подељен по зонама.

Време приступа подацима на плочи (access time) представља збир времена и тражења и времена латенције.

Време тражења (seek time) представља просечно време које је потребно да би се главе помериле између две траке на случајној удаљености. Оно зависи од механичких карактеристика диска, као и од удаљености између трака и изражава се у милисекундама.

Латенција представља време које је потребно плочи диска да се окрене да би се глава која се већ налази у одговарајућој траци, поставила изнад жељеног сектора. То време зависи од брзине ротација плоча.

2.5 Технологије преноса података

Хард дискови су створени у ери дигитализације, те су се подаци са њих преносили у дигиталном формату. Оно што се мењало јесу стандарди записивања и стандарди преноса преко различитих конектора, а све са циљем повећања брзине преноса. Постоји више стандарда хард диск контролера као и више стандарда преноса података.

2.5.1 MFM контролери

MFM (Modified Frequency Modulation) контролери су од свог настанка дуго били присутни у индустрији рачунара. Скоро комплетна електроника MFM дискова се налазила на овим контролерима, који су могли да контролишу два уређаја овог типа. Они користе технологију записа која подразумева да се сваки бит представља истом дужином записа, ради лакшег одређивања почетка и краја сваког бита. Овом технологијом омогућена је за тадашње стандарде солидна густина записа, али са данашње тачке гледишта ти дискови имају малу густину од највише 17 сектора по стази. Границе MFM технологије достигнуте су Seagate-овим моделом ST225 капацитета 20 MB.

2.5.2 RLL контролери

RLL (Run Length Limited) су контролери и хард дискови који су наследили MFM технологију. Ова технологија је захтевала побољшање магнетно сензитивних карактеристика плоча хард диска и квалитета глава за читање и писање података, чиме је омогућено повећање густине записа података. Код уређаја рађених по овом стандарду, густина записа података износи и до 27 сектора по стази. Заслуга за повећање густине припада и новом контролеру. Дужина записа није иста за сваки бит као што је то био случај код MFM контролера. Они користе доста компликованији алгоритам. Наиме полази се од претпоставке да се у коду једног бајта неће наћи више од седам нула заредом, као ни мање од две нуле заредом. Кодови су могли бити дакле, од два до седам. Хард диск предвиђен за рад са RLL контролером може без проблема да ради и са MFM контролером само ће му капацитет бити на 2/3 од максимума због смањења густине записа.

2.5.3 ESDI интерфејс

ESDI (Enhanced Small Device Interface) је произашао из тежње рачунарске индустрије да донесе бржу технологију која би заменила старе дискове и увела општи стандард. Настао је у време промовисања првог корисничког рачунара од стране IBM-а. Представљао је моћну и изузетно скупу ствар која је била добродошла за сервере. ESDI је интелигентан интерфејс који је пружао могућност прикључивања и других уређаја као што су CD читачи. Оно што је веома битно за овај интерфејс је одржавање директног преноса података међу уређајима који су на њега повезани без интервенције рачунара. Брзине преноса достигале су 24 Mbit/s, а у просеку 10 Mbit/s. Овај интерфејс је сличан својим претходницима зато што се сва електроника налазила на контролеру, у овом случају на ESDI картици. ESDI користи исти тип каблова али преноси различит тип сигнала.

2.5.4 ATA/IDE (Advanced technology attachment/Integrated drive electronics) стандард

Степен технолошког развоја процесора текао је неупоредиво брже од развоја хард диска. Хард диск је постао уско грло обраде података. Велики проблем је представљала и многобројност стандарда који су били препрека успостављању општег и јединственог система. Контрола хард диска више није била препуштена рачунару већ је самом хард диску препуштено да води рачуна о процесима које извршава. Овај стандард се заснивао на томе да се контролер уместо на посебној картици налази на самом хард диску, и да заједно са електроником контролише механику хард диска. Повезивање са рачунаром обезбеђено је путем посебне везе која се своди на пар чипова који чине посредника између хард диска и матичне плоче. Ова електроника је била интегрисана или на матичној плочи или на посебној картици која се зове АТА адаптер. На овај начин је смањена раздаљина између хард диска и контролера, што је имало велики значај за квалитет преноса података. Значајно је и то што су хард дискови у фабрици пролазили процес основног формирања, што није пре било

могуће због недефинисаности стандарда. Нови стандард је био врло једноставан и описивао је само комуникацију између рачунара и хард диска [2].

Хард диск је представљао један од уређаја који су се налазили на главној магистрали рачунара и коме је процесор директно приступао. АТА адаптер је преводио сигнале са једне на другу магистралу. Диск је био само још један додатак рачунару, па је овај прикључак тако и назван АТА (Attachment – Прикључак). Пошто су хард дискови садржали на себи комплетну пратећу логику, они су добили назив IDE – Integrated Drive Electronic (електроника интегрисана на уређају). Тако да АТА означава начин комуникације, односно сам стандард, док IDE означава уређаје. Овај стандард био је предвиђен само за хард дискове, да би се касније на њега прикључивали и читачи CD-ова. Временом и овај стандард се развијао, уведени су АТА-1, АТА-2, АТА-3...итд.

АТА стандард је сачињен из два дела. Први део чине: физички протоколи комуникације, интерфејси између диска и рачунара, сигнали, напони, максималне и минималне јачине струје, дужина каблова и конектори. Други део чине: садржаји комуникација, команде идентификације, команда покретања главе за читање и писање, команде читања и писања, укључивање и искључивање мотора.

Код овог стандарда је такође уведена S.M.A.R.T. (Self Monitoring Analysis and Report Tehnology) технологија. Она је омогућила хард диску да представи рачунару своје здравствено стање ради предвиђања када је потребно бекаповати податке због евентуалног кvara на хард диску. Он је званични део АТА-3 стандарда као и свих других који су дошли касније.

Постоје два дела комуникације: Уписивање у регистре и преношење сектора. Седам једнобајтних регистара номинално одређују јединицу, цилиндар, главу, сектор и број сектора команди. Развојем стандарда, ови регистри сада имају и тотално различите улоге, зависно од команде. Уколико команда захтева преношење података, пренос се врши одмах по постављању регистра уколико се уписује, или по завршетку операције уколико се чита.

2.5.5 PATA/EIDE стандард

PATA (Parallel ATA) интерфејс представља надоградњу ATA интерфејса. Овај интерфејс је био заступљен до скоро. Постоје још увек неки стари рачунари који раде на овом интерфејсу. На матичним плочама рачунара, по правилу су се налазила два конектора за дискове са паралелним ATA интерфејсом. Први конектор је представљао примарну а други секундарну грану на које су се могле прикључити највише два уређаја (хард диск, CD-ROM, DVD итд.) преко тракастог (flat) кабла.



Слика 12 – PATA конектор [12]

Као што можемо видети на слици 12, кабл има 3 конектора са 40 пинова. Пошто су пинови са истим бројем спојени заједно, мора се направити разлика између два уређаја која су прикључена на исти кабл. То раздвајање се обавља путем jumper-а на игличастим конекторима који постоје на уређајима. Ово значи да се један уређај прикључује као master, а други као slave. На сваком уређају постоје ти конектори и обележен је начин постављања jumper-а, да би уређај радио као master или као slave.

2.5.6. SATA (Serial ATA)

SATA стандард први пут је представљен јавности 2000. године да би се масовна производња започела 2003. године. Он је у потпуности био компатибилан са PATA интерфејсом.

Код SATA хард дискова нема потребе за коришћењем јумпер-а, пошто су сви уређаји повезани независним каблом. Кабл се састоји од 7 жица. Три жице се користе као напајање, а четири се користе у паровима, један пар за слање података, а други за пријем. Сам кабл је од раније тракастог постао танак, што одмах утиче на побољшање перформанси система зато што због мањих димензија утиче на боље хлађење компоненти унутар кућишта рачунара.



Слика 13 – SATA кабл [12]

Увођење SATA2 стандарда имало је за циљ побољшавање поузданости и повећање брзине преноса података на максималних 300 MB/s. За рачунаре који користе хард диск, ово је потпуно непотребно зато што ни најнапреднији хард дискови са магнетном главом не могу да искористе ни 60% брзине.

И коначно 2009. године уводи се SATA3 стандард који је и данас заступљен и он обезбеђује проток од невероватних 600 MB/s.

2.5.7 SCSI (Small Computer System Interface) стандард

SCSI је означен као интерфејс за мале рачунарске системе, али се до почетка 21. века толико проширио, да се користио и на серверским системима. За разлику од претходних стандарда, он је представљао интерфејс на који се буквално могло прикључити

све и свашта. Више рачунара могу да деле SCSI магистралу и уређаје на њој, а могу је користити и за међусобну комуникацију.

SCSI је интерфејс који у основној варијанти (8-bit), за данашње појмове, није нарочито брз. Максимална брзина преноса основне варијанте SCSI-ја је 4,77 MB/s, односно 5.000.000 B/s. Ипак, доживео је бројна побољшања. За разлику од АТА, код кога је свака нова верзија компатибилна са старијим, SCSI има неколико алтернатива које се могу комбиновати. И SCSI има верзије, али су разлике међу њима углавном протоколарне природе [2].

Постоји више подела SCSI особина. Према ширини магистрале, интерфејс делимо на обичан или „уски“ 8-битни (narrow) и две „широке“ (wide) варијанте са 16-битном и 32-битном магистралом. Раније WIDE варијанте користе посебан „В“ кабл до сваког уређаја поред подразумеваног „А“ кабла. Данас нам је довољан само један.

Постоји могућност да се сви дигитални сигнали уместо преко једне линије и одговарајуће масе, преносе преко две, при чему информацију носи разлика између њих.

	5MHz(SCSI)	10MHZ(FastSCSI)	20MHz(UltraSCSI)	40MHz(Ultra2/LVD)
Narrow 8-bit	4,77	9,54	19,07	38,15
WIDE 16-bit	9,54	19,07	38,15	76,29
WIDE 32-bit	19,07	38,15	76,29	152,59

Слика 14 – Брзине SCSI интерфејса [12]

Из табеле се види да би најбоља била Ultra2 32-bit варијанта која доноси велику поузданост и невероватне брзине трансфера података, чак и за данашње стандарде од 152,59 MB.

2.5.8 RAID системи

Појавом SATA дискова постали су широко распрострањени такозвани RAID системи хард дискова. Код овог система се више дискова комбинује у једну логичку јединицу. Тако се добија већа сигурност снимљених података и бржи рад диска. То се постиже редувантним уписивањем података на два диска, тако да ако један диск откаже копија података се може добити са другог диска. Сви појединачни дискови из низа се називају чланови низа. Информације о конфигурацији сваког члана низа се записују у резервном сектору на диску, који идентификује диск као члан низа. Све дискове који су чланови низа, оперативни систем види као јединствени физички диск. Комбиновање дискова у RAID низове, назива се RAID нивоима. Код корисничких рачунара најчешће се користе RAID 0 и RAID 1.

У RAID 0 нивоу, подаци које је потребно уписати на диск се деле на мање паралелне делове, који се истовремено уписују, и то сваки блок на по један члан низа. Тим поступком се добија бржи рад еквивалентног диска. Лоша страна код овог RAID нивоа је да у случају отказа диска сви снимљени подаци биће изгубљени.

Код RAID 1 нивоа, паралелно се уписују подаци на пар хард дискова, односно паралелно се читавају подаци са оба диска. Код овог нивоа могуће је да уместо неисправног диска прикључимо резервни који ће се активирати као потпуна замена за диск који је отказао, и на њега ће се пренети копија података са исправног члана низа.

3. SSD – Solid State Drive

SSD представља уређај за складиштење података базиран на NAND flash меморији. То је меморија која је слична оној која се користи у USB flash меморијама. То је целовит уређај без покретних делова. Технологија складиштења података је више пута бржа него код стандардног хард диска. Разлог за толику разлику у брзини се крије у NAND flash меморији, зато што хард диск мора да очита податке ротирајући плоче док SSD има тренутан приступ меморији [3].



Слика 15 – SSD диск [13]

3.1 Историја SSD диска

SSD технологија почиње да се користи још седамдесетих година прошлог века, први SSD уређаји су се уграђивали у IBM-ове рачунаре. Проблем је био што је ова технологија била прескупа и због тога је изузетно ретко коришћена.

1983. године Sharp PC-5000 користи чврсту меморију од 128 KB.

1984. године Tallgrass corporation представља backup траку од 40 MB, од којих је 20 MB чврста меморија.

1991. године компанија San Disk направила је SSD уређај са капацитетом 20 MB

1995. године компанија M-Systems представља SSD заснован на flash технологији. Ова технологија омогућава чување података без додатних батерија, какве су претходне технологије захтевале.

1999. године појављује се SSD уређај од 18 GB у 3,5 – инчном формату.

2007. године појављује се SSD уређај који користи PCIe конекцију, који има могућност 100 000 улазно/излазних операција по секунди, капацитета 320 GB.

2009. године OCZ Technology представља SSD уређај са PCIe конекцијом, капацитета 1 TB. Овај уређај има брзину писања 654 MB/s и брзину читања 712 MB/s.

3.2 Делови SSD уређаја

Као што смо већ претходно рекли, SSD нема покретних елемената. Основни делови су:

- 1) Кућиште
- 2) NAND flash меморија
- 3) DRAM buffer
- 4) Конектори за пренос података и напајање
- 5) Контролер



Слика 16 – Делови SSD диска [15]

Разлог постојања контролера је управљање NAND компонентама и стварање стандардног интерфејса који се повезује са host системима. Данас постоје многи популарни интерфејси као што су SATA, MMC, USB, PCIe, PATA итд. Сви ови интерфејси имају стандардну архитектуру контролера, код које се контролер налази између NAND меморије и главног система.

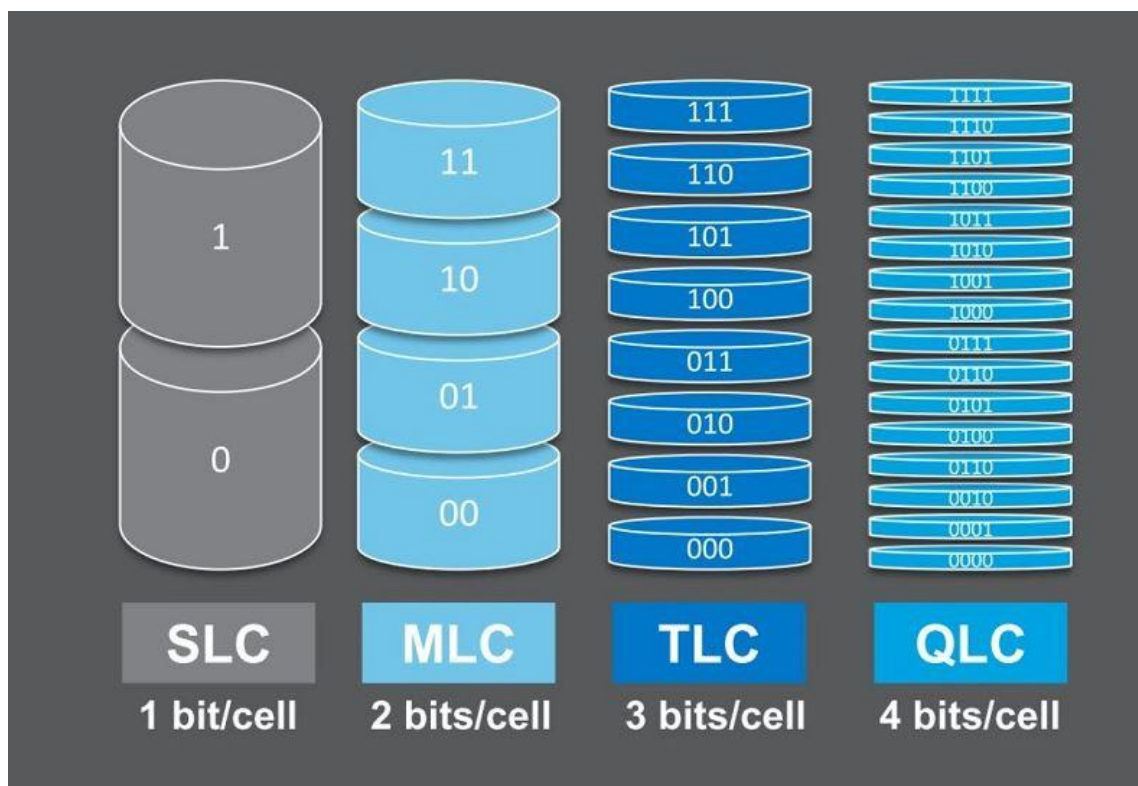
Контролер користи мулти-процесор за комуникацију са NAND меморијом преко магистралних канала. Има задатак да пише, брише, исправља кодове, врши шифровање и мапира лоше секторе. На њему се налази firmware уређаја [3].

S.M.A.R.T функција је доступна код неких врста контролера. Ова функција надгледа и снима податке у вези са многим атрибутима код SSD-а. Један од примера је способност праћења процента циклуса издржљивости који преостају у SSD-у, зато што је то кључни фактор који одређује животни век SSD диска.

Како би се продужио живот SSD-а, контролери користећи wear leveling функцију, распоређују сваки запис што је равномерније могуће на блокове NAND-а. Будући да сваки NAND блок има број циклуса брисања/писања ако се непрекидно записује само један физички блок, он ће врло брзо исцрпети своје циклусе издржљивости.

NAND flash представља меморију на којој се чувају подаци. Предност ове меморије је што има способност чувања података без константног напајања електричном енергијом. Ова меморија се дели на SLC (single level cell), MLC (multi level cell), TLC (triple level cell), QLC (quad level cell).

Основна разлика је у густини меморијског паковања. Код система где је неопходна изузетна поузданост и брзина рада, користе се SLC flash меморије. Код система где поред поузданости и брзине, велику важност представља и цена уређаја, за израду дискова се користе MLC типови меморије.



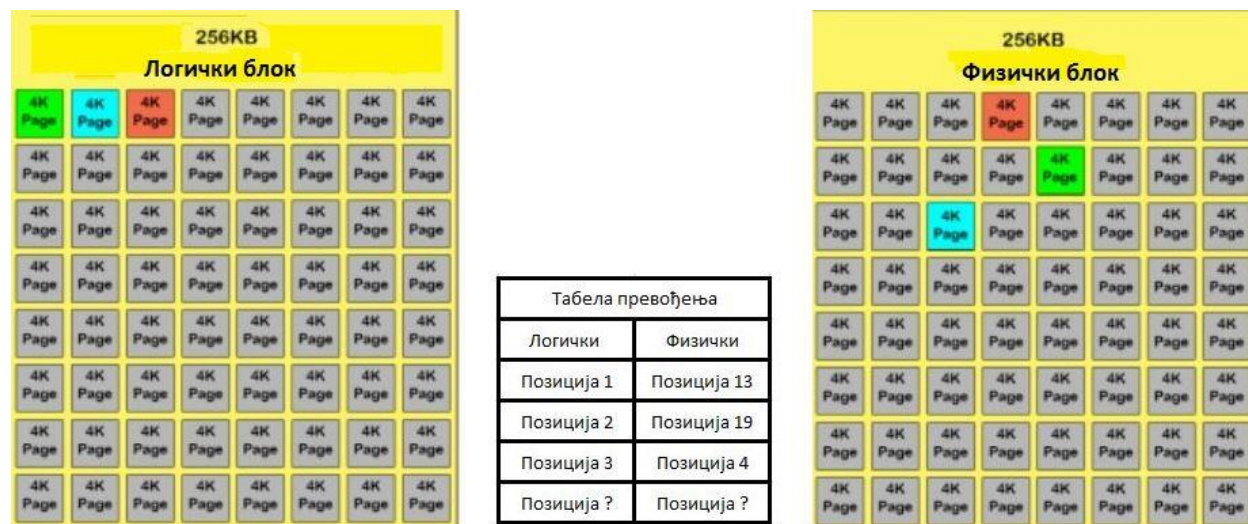
Слика 17 – Типови NAND flash меморије [14]

SLC меморија има густину паковања 1 бит по ћелији док код QLC меморије густина паковања је 4 бита по ћелији.

DRAM се користи за buffer-овање. Као и код хард диска, и овде се подаци чувају привремено, док се не запишу у перманентну меморију. Такође постоје SSD уређаји базирани на DRAM-у и њихова одлика је да су знатно бржи у односу на стандардне. Овакви уређаји имају унутрашњу батерију или додатни уређај за напајање ради очувања података.

3.3 Wear Leveling

Због чега је Wear Leveling значајан? Wear Leveling код SSD контролера покушава да равномерно изврши упис података по свим блоковима SSD диска. Будући да NAND flash меморија има ограничен број уписа по блоку, wear leveling технологија покушава да искористи сваки циклус уписа у одређени блок до краја краја животног века SSD диска. Постоји много шема које користе различити произвођачи контролера, међутим, све те шеме имају неколико заједничких карактеристика када је у питању ова технологија.



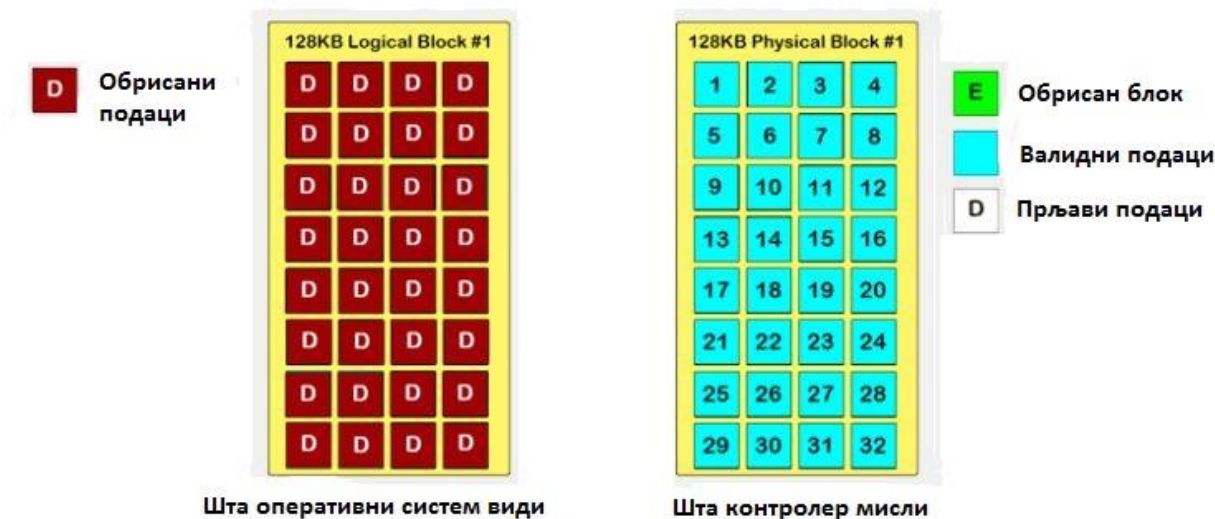
Слика 18 – Табела преводјења [16]

Као што је приказано на слици, подаци записани у адресама логичког блока се чувају на физичку локацију блока који има најмање записа, односно највише циклуса записа које може да обави до отказа. Подаци записани на одређеној адреси логичког блока обично се не чувају на истој физичкој локацији NAND-а. Контролер мора да прати преводјење са логичког на физички блок путем табела или неком другом методом. Други проблем могу бити статични подаци на SSD диску, као што су подаци оперативног система и апликације. У таквим ситуацијама ће већина контролера пребацивати статичке податке на друге локације односно блокове, како би и блокови на којима су се налазили статички подаци могли да искористе циклусе поновног уписа, односно да имају шансу да искористе максималан предвиђен број циклуса уписа. Ипак Wear Leveling технологија не може да

реши све проблеме SSD-а, али је важан део стварања поузданијег SSD диска који ефикасно користи ограничену издржљивост NAND flash меморије [3].

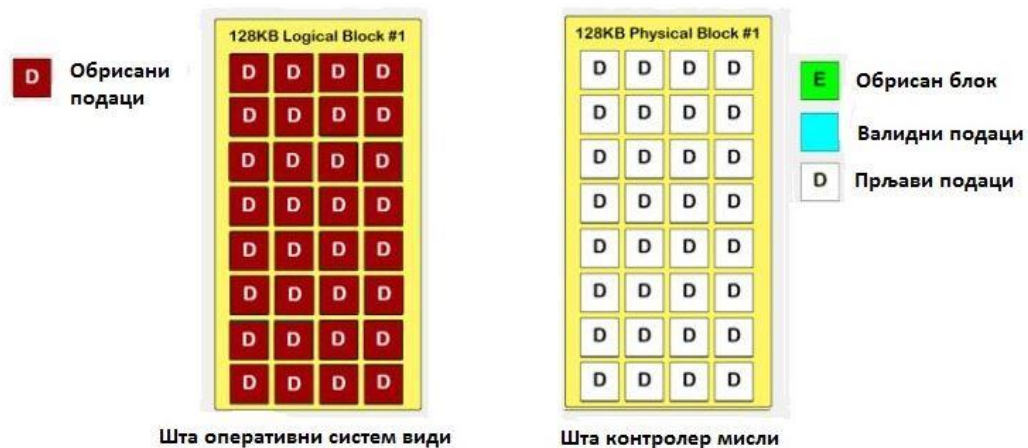
3.4 Trim метода

Када оперативни систем обрише одређене логичке адресе, контролер ће физичке адресе које одговарају тим логичким адресама означити као „прљаве”, а затим ће их обрисати процес као што је Garbage Collector, јер је јасно да у тим блоковима више нема валидних података. Али када се податак обрише у оперативном систему, много пута се ажурира само датотека оперативног система. У тим случајевима не постоји наредба за брисање података послата на SSD за адресе логичких блокова које систем сматра неважећим. Тада на сцену ступа trim команда. Издавањем наредбе путем trim команде, када се податак трајно обрише у оперативном систему, она обавести SSD да одређена адреса логичког блока више не садржи валидне податке, и они могу бити означени као „прљави“ до обављања процеса брисања од стране Garbage Collector-а или другог процеса.



Слика 19 – SSD без trim команде [16]

Да би trim команда била функционална, ову наредбу морају подржавати и оперативни системи и SSD дискови. Новије верзије оперативних система подржавају trim наредбу. Као што можемо видети на слици се налази једноставан пример система без trim наредбе. У овом примеру оперативни систем има датотеку са 32 блока која су избрисана. Оперативни систем зна да су ти подаци избрисани и да су то слободна подручја које може користити за писање. Али пошто оперативни систем та подручја обележава као доступна у директоријуму, не постоји механизам који SSD контролеру може саопштити да су ови блокови избрисани. На физичким блоковима SSD-а се може видети како SSD контролер и даље верује да у тим блоковима постоје ваљани подаци, због чега их не означава као „прљаве“ и не извршава процес Garbage Collector.



Слика 20 – SSD са trim командом [16]

У случају када подршку за trim комаду имају и оперативни системи и SSD, тада су оперативни систем и SSD синхронизовани. Након брисања датотеке, оперативни систем издаје трим наредбу SSD-у са адресама логичких блокова у којима су се налазили избрисани подаци. SSD означава те логичке блокове као „прљаве“ и у стању је да их ефикасно обрише током покретања процеса Garbage Collector [3].

4. Поређење хард диска и SSD диска

Да ли је боље да нам складиште буде јефтино и пространо или брзо и сигурно? То је последњих година питање великом броју корисника рачунара. У овом поглављу упоредићемо хард диск и SSD диск и учити предности и мане и једног и другог диска.



Слика 21 – Хард диск и SSD диск [15]

Прво што нам упада у очи када отворимо кућишта ова два диска је то да се хард диск састоји од покретних елемената, а SSD од меморијског чипа и самим тим нема покретне елементе.

Традиционално ротирајући хард диск је основно складиште на рачунару. Хард диск се састоји од плоча са магнетним премазом које ротирају великим брзинама на којима се чувају подаци, било да су то омиљени филмови, дигиталне фотографије или музика. Глава за читање и писање података приступа подацима док се плоче окрећу.

SSD обавља исте ствари као и хард диск али се подаци складиште на чипове flash меморије, које задржавају податке и када нема напајања. То су другачији чипови него код flash меморија и обично су бржи и поузданији. Често су доста мањи од обичних хард дискова и због тога дају доста флексибилности произвођачима при дизајну рачунара. Могу се наћи у формату 2,5, инча али се могу и директно инсталирати у PCI-е слот на матичној плочи (тзв. M.2 меморије) [7].

Дакле и хард диск и SSD диск раде исти посао, покрећу наш систем, чувају наше апликације и складиште наше податке. Али сваки тип складишта има јединствени скуп функција. Како се они разликују и зашто би се пре одлучили за хард диск него за SSD и обрнуто, можемо видети у следећој табели:

Карактеристика	SSD (Solid State Drive)	HDD (Hard Disk Drive)
Потрошња струје	Мања потрошња струје 2-3W	Виша потрошња струје 6-7 W
Цена	Скуп, процена је 20 еуро центи по GB (базирано на моделима од 1 GB)	Свега око 3 еуро цента по GB (базирано на моделима од 4 TB)
Капацитет	Максимални капацитет који се код нас може наћи је 4 TB	Максимални капацитет који се код нас може наћи је 16 TB
Подизање оперативног система	Од 10-13 секунди потребно рачунару да подигне систем	Од 30-40 секунди потребно рачунару да подигне систем
Бука	Нема покретних делова па нема ни буке	Може да се чује ротирање плоча и по неки клик
Вибрације	Нема покретних делова па нема ни вибрација	Окретање плоча може проузроковати мале вибрације
Загревање	Минимално загревање јер је мала потрошња енергије	Не много али више него код SSD-а
Брзина копирања/писања фајлова	У зависности од верзије од 200 па до 550 MB/s	У зависности од RPM-а од 50-120 MB/s
Криптовање	Full Disk Encryption FDE на одређеним моделима	Full Disk Encryption FDE на одређеним моделима
Брзина отварања докумената	До 30% брже него код хард диска	Спорије него код SSD диска
Утицај магнета	Магнети и намагнетисани уређаји не могу да утичу на SSD	Може доћи до губитка података
Отпорност на падове	Отпорнији на падове јер нема покретних делова	У случају пада велика је вероватноћа да ће доћи до оштећења диска

Табела 1 – карактеристике хард диска и SSD диска [7]

Главне предности хард диска су цена и капацитет складиштења. Према цени и капацитету, хард дискови немају конкуренцију, посебно када се узме цена по 1 GB. Максимални капацитет хард диска који се код нас могу наћи је 16 TB у односу на 4 TB колики је највећи SSD диск. Оно што је мана код ових врста меморија је то што су врло осетљиви на потресе, јер се магнетне плоче окрећу великим брзинама (и до 10 000 обртаја у минути), а имају мали размак између главе за упис података и плоче, па може доћи до оштећења плоче.

За разлику од хард дискова, SSD-ови немају покретних елемената, па самим тим не може доћи ни до механичких оштећења. Осим тога, остале предности су перформансе јер SSD контролер има директан приступ меморији, затим, потпуно је бешуман јер нема покретних елемената. Такође је захвалнији када је у питању уштеда електричне енергије [7].

5. Закључак

Складиштење података данас корисницима нуди одличне перформансе као и избор технологије. После дугог времена владавине хард диска појавила се нова технологија складиштења која је одавно откривена, али тек последњих петнаестак година заступљена на тржишту.

Хард диск је старија технологија али корисницима и даље примамљива због великог капацитета и изузетно ниске цене у односу на SSD дискове, на чијој страни су брзина, уштеда енергије, радна температура итд.

Кроз овај рад су представљене обе технологије и извршили њихово упоређивање. Оне се и даље унапређују. Није могуће за сада одбацити ни једну од ове две технологије. Оно што се у будућности очекује је да ће хард дискови повећавати капацитет, а да ће цена SSD дискова падати односно да ће тежити томе да се по тој ставки значајно приближи хард диску.

У овом тренутку можда је најповољније комбиновати ове две технологије код корисничких рачунара, тј. да SSD диск служи за складиштење оперативног система рачунара, програма и апликација због бољих перформанси ових уређаја, а ограниченог броја уписа на ову врсту меморије, док је хард диск боље користити за складиштење података, као што су мултимедијални садржаји и слично, због ниже цене по GB меморије, а задовољавајућих перформанси за овакву употребу, јер имају знатно веће ограничење броја уписа, уколико се исти заштите од вибрација, магнетизма, итд.

Уколико корисник није у могућности да комбинује ове две технологије, боље је да се определи за SSD, осим у случајевима када мали капацитет ових уређаја не представља проблем.

6. Литература

- [1] Stallings, W., Computer organization and architecture: designing for performance, Pearson, 10th edition, 2015
- [2] Обрадовић, С., Рачунари – Архитектура, хардвер, системски софтвер, Висока школа електротехнике рачунара и струковних студија, Прво издање, 2014
- [3] Micheloni, Rino, Marelli, Alessia, Eshghi, Kam, Inside Solid State Drives (SSDs), Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2nd edition, 2018
- [4] Mueller, S., Upgrading and Repairing PCs, Que Publishing, 21st edition, 2013
- [5] Al Mamun, Abdullah, Guo, GuoXiao, Bi, Chao, Hard Disk Drive: Mechatronics and Control, CRC Press, 1st edition, 2006
- [6] Chen, B.M., Lee, T.H., Peng, K., Venkataramanan, V., Hard Disk Drive Servo Systems, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 1st edition, 2006
- [7] IT Marketing blog, Informacije iz digitalnog sveta u svrhu monetizacije, Линку <https://viewsource.rs/> приступљено 05. августа 2020
- [8] IBM, IBM Archives, Линку <https://www.ibm.com/>, 05, августа 2020.
- [9] Computer history museum, Seagate 5.25-inch HDD becomes PC standard, Линку <https://www.computerhistory.org/> приступљено 11. августа 2020.
- [10] Wikipedia, Hard disk, Линку <https://wikipedia.org/> приступљено 02. септембра 2020.
- [11] Wikiwand, Disk Read and Write heads Линку <https://www.wikiwand.com> приступљено 02. септембра 2020.
- [12] Hardware, Hard drive communication, Линку <https://sites.google.com> приступљено 03. септембра 2020.
- [13] Techspot, OCZ SSD review, Линку <https://www.techspot.com/> приступљено 10. септембра 2020.
- [14] Eteknix, 3D QLC Yields Much Lower Than Predicted, Линку <https://www.eteknix.com/> приступљено 15. септембра 2020.
- [15] Spasavanje podataka, Servis hard diskova Линку <http://www.spasavanje-podataka.info/> приступљено 17. септембра 2020.
- [16] Cactus technologies, Solid State Drive, Линку <https://www.cactus-tech.com/> приступљено 21. септембра 2020.