

Външни запомнящи устройства. Твърди дискове.

I. Въведение

Външни запомнящи устройства са всички устройства, които предоставят някакъв вид енергонезависима памет за една компютърна система, без тази, която е интегрирана в базовата конфигурация. Към външните запомнящи устройства се причисляват: твърдите дискове (HD); интегралните дискове (SSD); оптични дискове (CD, DVD, Blu-ray и холограмни дискове); външна флаш памет и др. Комуникацията между външните запомнящи устройства и компютърната конфигурация се реализира чрез специализирани интерфейси (ATA, SATA, SCSI) или интерфейси с общо приложение (USB). Скоростта на обмен с външните запомнящи устройства е важен параметър, който се задава в MiB/s или GiB/s. Тази скорост зависи от много фактори, по-важните от които са следните: механичен или електрически е достъп до паметта; пропускателна способност на използвания интерфейс; използва ли се кеширане на данните и с какъв капацитет и от какъв тип е използваната кеш памет; чрез заявка за прекъсване или заявка за директен достъп до паметта се реализира синхронизацията на обмена и самия обмен на данните; 2D или 3D е записа на данните и др.

Всички видове външни запомнящи устройства са проектирани да обменят информация в блоков режим. Размерът на блока зависи единствено от типа на запомнящото устройство. Следователно, най-малкото количество информация, което може да се прочете или запише от / в диска е един блок данни. За да може една операционна система да работи с различни типове външни запомнящи устройства от различни производители се използват програмни модули наречени драйвери. Драйверът е част от BIOS (UEFI), част от операционната система или допълнително инсталиран от потребителя. Архитектурата на всеки драйвер е специфична за всяка операционна система. Причината за това е, че драйверът трябва да има стандартен интерфейс за комуникация с конкретна операционна система. Те комуникират с външните запомнящи устройства посредством техния фирмен софтуер (firmware). По този начин една операционна система управлява достъпа до външните запомнящи устройства посредством драйвери. Тъй като приложните програми достъпват външните запомнящи устройства посредством файловата система на операционната система, то те също са независими от типа на запомнящото устройство и фирмата производител.

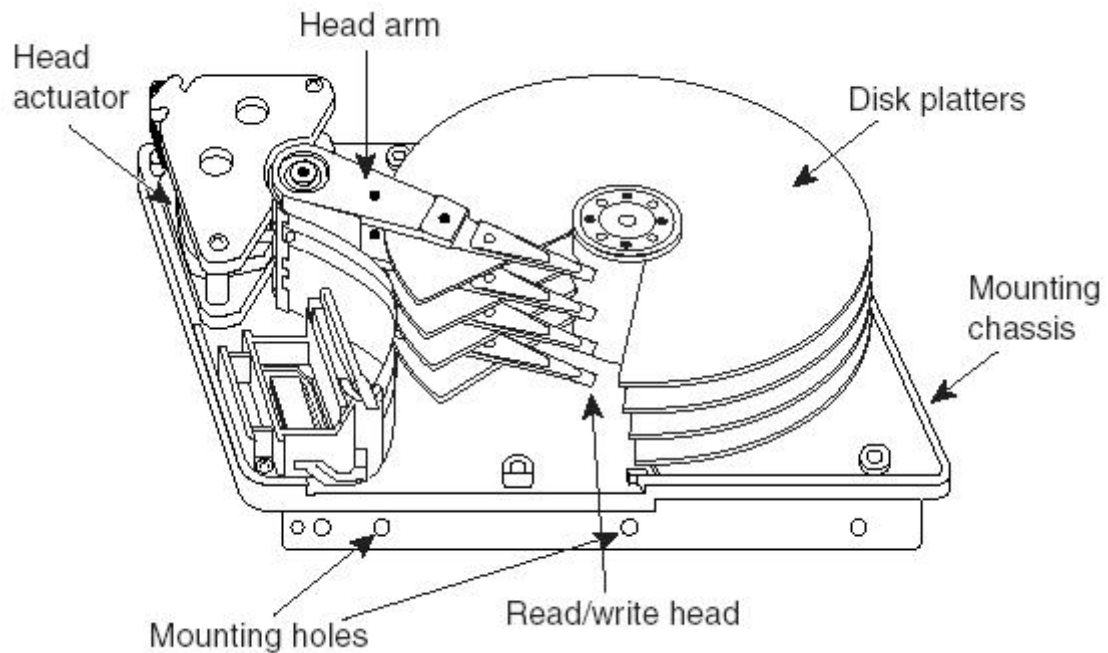
Всяко външно запомнящо устройство има специфичен достъп до данните на физическо ниво, докато на логическо ниво (заявки на потребителите на компютърната система) достъпът е унифициран чрез файловата система.

II. Физически достъп до данните

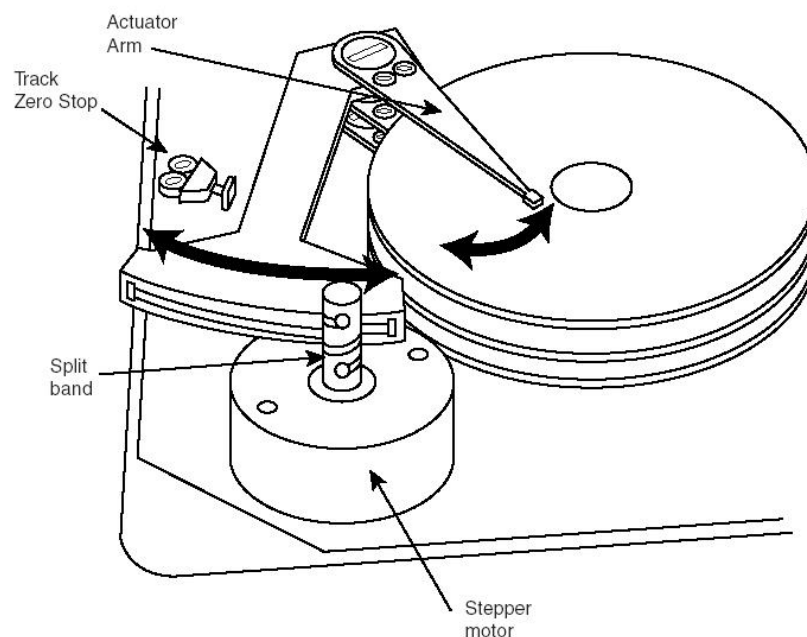
Твърдите дискове HD (Hard Disk) са вид външни енергонезависими запомнящи устройства. Дисковете се състоят от една или повече плочи, най-често алуминиеви. От двете страни на всяка плоча има запомнящ слой. Молекулите от запомнящия слой могат да се ориентират специфично чрез прилагане на външно магнитно поле. Записът при HD се състои в специфична промяна на ориентацията на молекулите в определена 2D област на диска. Тази промяна се реализира чрез създаване на електромагнитно поле посредством

записваща глава. Четенето трябва да декодира записаната информация. За целта се анализира посоката на тока, получен поради индуцираното електромагнитно поле в намотката на така четяща глава. Главата, която се използва при запис и четене е една и съща – четящо-записваща глава. Следователно, не е възможна пълен дуплекс комуникация с диска: в един момент се реализира операция четене или операция запис, но не и двете едновременно. Броят на четящо-записващите глави е равен на броя на повърхнините.

Механиката на един твърд диск е показана на Фиг.1. Дисковият пакет се състои от една или няколко плочи (disk platters).

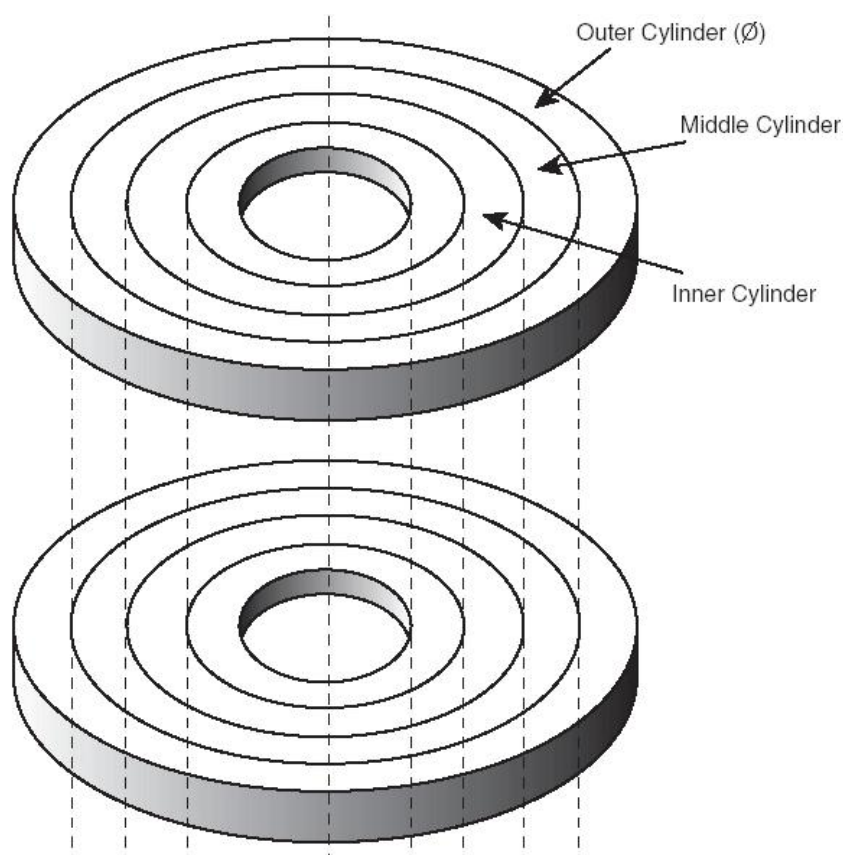


Фиг. 1. Механика на твърд диск

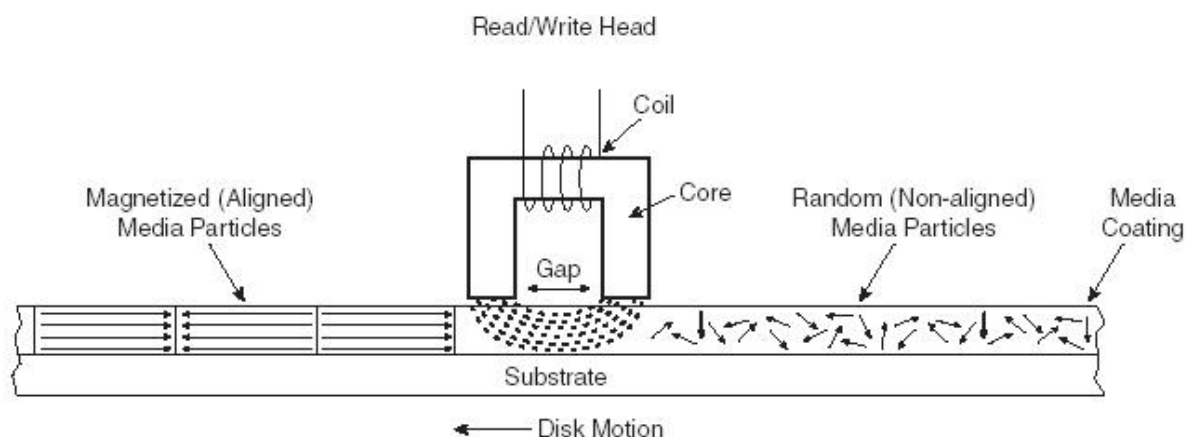


Фиг. 2. Предвижване на четящо-записващите глави

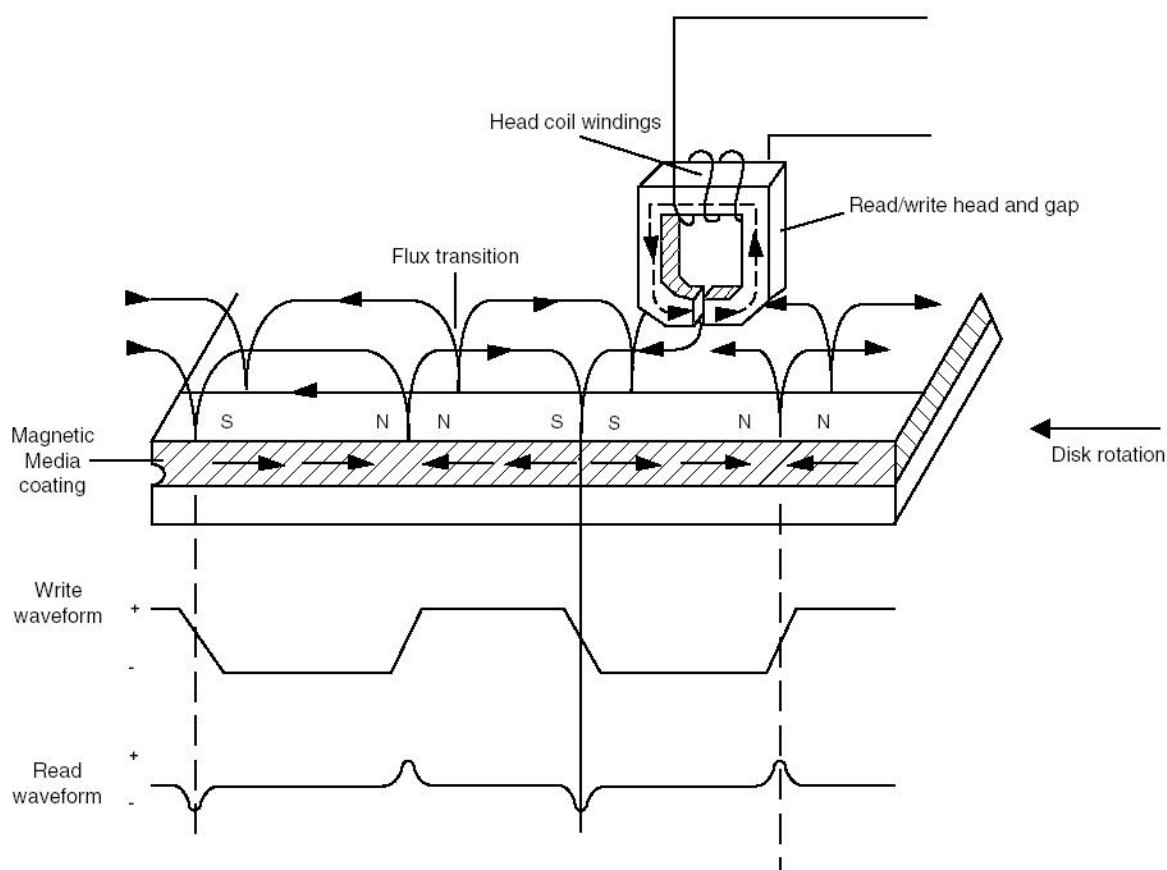
Всички плочи са закрепени на шпиндела на двигател чиято скорост на въртене се управлява от фирмения софтуер на диска. След включване на захранването е необходимо определено време на този софтуер да завърти дисковия пакет до зададената скорост. След като тази скорост се достигне, тя се поддържа чрез тахометър докато диска е включен към захранването. Всички четящо-записващи глави (read/write head) се предвижват едновременно от актуаторно рамо (head arm). Посоката на предвижване е радиално спрямо дисковия пакет. Това движение се контролира от стъпков двигател, както е показано на Фиг. 2. Въртеливото движение на стъпковия мотор се преобразува до постъпателно движение чрез използване на тънка стоманена лента (split band). Всяка стъпка на мотора по посока на часовата стрелка води до преместване на главите в радиална посока към центъра на диска. Всяка стъпка на мотора в посока обратна на часовата стрелка води до преместване на главите в радиална посока към периферията на диска. Следователно, информацията, която се записва във всеки запомнящ слой, се разполага на концентрични окръжности. Разстоянието между две съседни окръжности е фиксирано и е пропорционално на една стъпка на мотора. Колкото това разстояние е по-малко, толкова по-плътен ще е записа и повече информация ще може да се запише на диска. Тези окръжности се прието да се наричат пътечки (tracks). Плътността им в радиална посока се измерва в брой пътечки на един инч (TPI). Стойността на този параметър зависи основно от материала на запомнящия слой и качеството на четящо-записващите глави и е специфично за всеки диск. Пътечките имат уникални номера. Номерирането е от периферията към центъра на диска. При твърдите дискове, всички пътечки от всички повърхнини образно формират цилиндър. Номерата на цилиндрите, съвпадат с номерата на пътечките (виж Фиг. 3)



Фиг. 3. Цилиндри на твърд диск



Фиг. 4. Четящо-записваща глава на твърд диск



Фиг. 5. Четене и запис – електрически сигнали

На Фиг. 4 е показано какво представлява една четящо-записваща глава. В случая тя има П образна форма. Изградена от феромагнитен материал. Реалната форма на главата е показана на Фиг. 5. На едното рамо на главата е намотана намотка (coil). В противоположния край има процеп (gap). Записът се свежда до подаването на ток в намотката, който формира електромагнитно поле в двата края на процепа. Посоката на тока контролира посоката на електромагнитните линии, север-юг (N-S) или юг-север (S-N). По този начин е възможно в определени участъци от пътеките молекулите от запомнящия слой (magnetic media coating) да се ориентират в посока S-N, а в други

участъци – в посока N-S (виж Фиг. 5). Няколко последователни участъка със специфична ориентация на молекулите кодират един бит информация (лог. 0 или лог 1). При четене, специфично ориентираните молекули от запомнящия слой индуцират ток в намотката. Поляритетът на тока (read waveform) кодира как са ориентирани молекулите.

При твърдите дискове на *физическо ниво* информацията за записва в сектори. Това е *най-малкото* количество информация, която може да се прочете от диска или да се запише на диска. Твърдите дискове с обем под 1TB имат сектори с блок за потребителски данни от 512 байта, а по-новите – 4KB. Секторите са записани последователно по протежение на всяка пътека. Тъй като пътеките от цилиндрите имат различна дължина, то броят на секторите е специфичен за всяка пътека – повече сектори ще има на периферните пътеки, а по-малко сектори – на тези които са в близост до шпиндела на двигателя. Тъй като фирменият софтуер трябва да знае колко сектора има на всяка пътека е необходимо тази информация да се запише в енергонезависима памет. За да се намали размера на необходимата памет, множество последователни цилиндри формират зона. Цилиндрите от една и съща зона имат еднакъв брой сектори. На Фиг. 6 е показан диск при който се използват 16 зони. Най-дългите пътеки от Зона 0 имат по 617 сектора, а най-късите от Зона 16 – 327 сектора. Следователно, най-бързо се чете от Зона 0, тъй като за един оборот на дисковия пакет се прочита най-голям брой сектори.

Zone	Sectors per Track	Data Transfer Rate (MB/sec)	Bytes per Track	Sectors per Zone
0	617	28.49	315,904	835,418
1	598	27.60	306,005	809,241
2	578	26.70	296,107	783,063
3	559	25.81	286,208	756,886
4	540	24.92	276,309	730,709
5	520	24.03	266,411	704,531
6	501	23.13	256,512	678,354
7	482	22.24	246,613	652,177
8	462	21.35	236,715	625,999
9	443	20.46	226,816	599,822
10	424	19.56	216,917	573,645
11	404	18.67	207,019	547,467
12	385	17.78	197,120	521,290
13	366	16.88	187,221	495,113
14	346	15.99	177,323	468,935
15	327	15.10	167,424	442,758

Фиг. 6. Разделяне на диска на зони

На физическо ниво дисковете се адресират във формат Cylinder-Head-Sector (CHS). За да може информацията от секторите да се адресира, всеки от тях съдържа освен блок за потребителски данни и служебна информация. Чрез нея фирмения софтуер разбира кога започва началото на сектор, кой е точно номера на сектора и др. Няма стандарт за формата и размера на тази служебна информация. Колкото е по-малка тя по размер,

толкова по-ефективно ще се използва дисковото пространство. На Фиг. 7 е показано цялото съдържанието на сектор с размер от 512 байта. Реално размерът на сектора е по-голям, тъй като към 512 байта потребителски данни се добавя и служебната информация. При конкретния диск един сектор е с размер 571 байта. Служебната информация се записва в секторите при физическо форматиране на дисковете.

Bytes	Name	Description
16	POST INDEX GAP	All 4Eh, at the track beginning after the Index mark.
The following sector data (shown between the lines in this table) is repeated as many times as there are sectors on the track.		
13	ID VFO LOCK	All 00h; synchronizes the VFO for the sector ID.
1	SYNC BYTE	A1h; notifies the controller that data follows.
1	ADDRESS MARK	FEh; defines that ID field data follows.
2	CYLINDER NUMBER	A value that defines the head actuator position.
1	HEAD NUMBER	A value that defines the particular head selected.
1	SECTOR NUMBER	A value that defines the sector.
2	CRC	Cyclic Redundancy Check to verify ID data.
3	WRITE TURN-ON GAP	00h written by format to isolate the ID from DATA.
13	DATA SYNC VFO LOCK	All 00h; synchronizes the VFO for the DATA.
1	SYNC BYTE	A1h; notifies the controller that data follows.
1	ADDRESS MARK	F8h; defines that user DATA field follows.
512	DATA	The area for user DATA.
2	CRC	Cyclic Redundancy Check to verify DATA.
3	WRITE TURN-OFF GAP	00h; written by DATA update to isolate DATA.
15	INTER-RECORD GAP	All 00h; a buffer for spindle speed variation.
693	PRE-INDEX GAP	All 4Eh, at track end before Index mark.

571 = Total bytes per sector

512 = Data (usable) bytes per sector

Фиг. 7. Съдържание на сектор

Голямо количество байтове се използват с цел разпознаване на началото и края на всеки сектор (POST-INDEX GAP, PRE-INDEX GAP). За всеки сектор се пази информация за номера на самия сектор (SECTOR NUMBER), номера на повърхнината на която е разположен (HEAD NUMBER) и номера на цилиндъра (CYLINDER NUMBER). Тъй като тази информация е много важна, трябва да се провери дали е прочетена вярно от фирмения софтуер. За целта за тези три числа се изчислява CRC код. Фирменият софтуер прочита номера на цилиндъра, номера на главата и номера на сектора. След това изчислява колко е CRC кода за тези три числа и сравнява този код с CRC кода, записан в самия сектор. Ако двата CRC кода съвпадат, то данните са прочетени успешно. В противен случай се прави нов опит за прочитане на сектора. По аналогичен начин се изчислява CRC код и за данните, достъпни за потребителя (DATA).

Скоростта на обмен с твърдите дискове (Data Transfer Rate - DTR) се измерва най-често в MB/s. Тази скорост зависи от множество фактори: каква е скоростта на въртене на дисковия пакет; какъв е размера на блока; какъв е размера на кеш паметта в твърдия диск и др. Важен параметър за производителността на твърдите дискове е времето за достъп.

То се дефинира като времето от заявка за съдържанието на даден сектор до получаване на това съдържание. То включва: (1) Позициониране на главата на необходимия цилиндър (*seek time*), (2) Изчакване до позициониране на главата над/под зададения сектор – латентност на диска (*latency*) и (3) Прочитане на сектора и запис на информацията в кеша. Времето за достъп зависи основно от механиката на твърдия диск и е от няколко ms до няколко десетки милисекунди (8-16 ms). Латентността зависи само от скоростта на въртене на дисковия пакет. Тази скорост се измерва в обороти за минута (rpm). Най- често дисковете са със скорост на въртене на дисковия пакет от 5400 до 15000 rpm.

III. Логически достъп до данните

Хората, като потребители на една компютърна система, не се интересуват как е записана информацията на диска на физическо ниво. Те използват операционната система, която дава възможност да се работи с дисковете на логическо ниво. На това ниво, всичко записано на дискове, е файл. Следователно, файловете реализират логическата организация на дисковете. Най-високо в логическата йерархия е логическият дял. Той се формира от N последователни цилиндъра. Можем да разделяме диска на множество дялове и така да организираме логическата информацията, записана на него: дял с операционна система, дял с приложни програми, дял с архиви и др. Операционната система вижда дяловете като отделни физически твърди дискове. Файловете се записват на части, наречени *блокове* или *кълъстери*. Всеки блок съдържа n на брой последователни сектора. Като частен случай е възможно размерът на блока да съвпада с размера на един сектор. Достъпът до дисковете от страна на операционна система се реализира чрез нейната файлова система (FAT32, NTFS и др.). Всяка файлова система позволява да се зададе размера на блока за всеки логически дял. Ако дялат съдържа предимно малки по размер файлове трябва да зададете малък размер на блока и обратно – ако съдържа големи по размер файлове – да зададете голям размер на блока. Размерът на блоковете е по степените на 2, например: 512B, 1KB, 2KB, 4KB, 8KB, ..., 128KB, 256KB.

Разделянето на диска на дялове има множество предимства:

- По-бърза работа с диска при фрагментиран дял.
- Възможност за използване на няколко операционни системи, инсталирани на един компютър.
- По лесно възстановяване на информацията след атака от страна на злонамерен софтуер.

Един диск е фрагментиран, когато блоковете от един файл не са разположени на последователни цилиндри. Когато дискът не съдържа информация, фирменият софтуер записва блоковете на всеки файл последователно. Но когато се изтриват файлове се получават празни области (един или няколко последователни цилиндъра). Когато се записва нов файл се започва от празен цилиндър до запълване на цялото свободно пространство. Ако файлът е прекалено голям по размер, фирменият софтуер търси друго свободно пространство. Това се повтаря до запис на целия файл. Така, може да се окаже, че един файл е записан на множество непоследователни цилиндри. Получава се фрагментация на диска. Фрагментацията забавя скоростта на обмен с диска тъй като се налага главите да се преместват по-често в радиална посока, а това е бавна операция. Дискът се дефрагментира програмно чрез специален софтуер.

За да може операционната система да работи с диска е необходимо да се помни номерата на блоковете, които изграждат всеки файл. Тази информация е с голям размер и затова се пази на фиксирано място във всеки дял на диска. Това са специфични структури от данни и наименованието им е различно при различните файлови системи, например File Allocation Table (FAT), Master File Table (MFT) и др. Тези структури първоначално се изграждат при логическо форматиране на логическите дялове. Входната точка в тези структури се пази в друг файл – папката в която се намира файла. Файловете-папки съдържат и друга важна информация за принадлежащите им файлове, например: име на файла, разширение на файла, размер на файла, дата и час на създаване на файла, версия на файла и др. Всички тези параметри се наричат атрибути на файла. Тъй като информацията в тези структури е много важна при повечето файлове системи тя се дублира, например FAT1 и FAT2. Операционната система работи по подразбиране с FAT1, но при запис се променя съдържанието на FAT1 и FAT2.

IV. Въпроси и задачи за самостоятелна работа

1. При работа на диска четящо-записващите глави не трябва да контактуват със запомнящия слой защото така биха разрушили неговото съдържание (задиране на главите). От друга страна те не трябва да бъдат и на много голяма разстояние от запомнящия слой тъй като магнитното поле при запис няма да е достатъчно силно, а при четене трудно ще се детектира ориентацията на молекулите? Използвайте специализирана литература и отговорете на въпроса: Как се постига необходимото позициониране на главите във вертикална посока?
2. Кога ще е необходимо използването на кеш памет при твърдите дискове и каква ще бъде нейната функция? Проверете какъв тип кеш памет се използва при твърдите дискове и с каква архитектура.
3. Опишете последователността която трябва да се следва, за да може един нов (неформатиран) диск да се използва. Какво е предназначението на физическото форматиране? Какво е предназначението на разделянето на диска на логически дялове? Какво е предназначението на логическото форматиране?
4. Защо при някои операционни системи определени символи са забранени при формиране името на потребителски файл? Например, какво е предназначението на символи „:“, „.“ и „..“ при операционните системи на Microsoft?
5. На какво основание ще изберете размера на блоковете от различните логически дялове?
6. Защо операционните системи при инсталиране разполагат по подразбиране своите файлове в най-външния логически дял на диска?