

Entregable: Discs magnètics

Data de lliurament: 15 de maig

Objectius

- Entendre el funcionament dels discs durs
- Calcular la capacitat i les prestacions d'un disc dur a partir de la seua geometria i de la velocitat de gir

1 Introducció

Els dispositius magnètics

El fet que un dipol magnètic puga orientar-se mitjançant un corrent elèctric i després no necessite energia per a mantenir el seu estat ha inspirat diversos dispositius d'emmagatzemament d'informació analògica i digital al llarg del segle XX. En l'àmbit dels computadors digitals, l'enregistrament magnètic ha sigut la base d'un seguit de tecnologies molt utilitzades i duradores. A més a més dels nuclis de ferrita, s'han fet servir pel·lícules de material ferromagnètic sobre diversitat de suports com ara els antics tambors ("drums"), les cintes flexibles obertes ("open reel tapes") i tancades ("streamers", "cartridges" i "cassettes"), els discs flexibles ("floppy disks") i els discs rígids ("hard disks").

El material amb què es fa la pel·lícula ("el medi" en endavant) forma un mosaic de dominis magnètics que es comporten com a dipols independents que es poden orientar (vegeu la figura 1). L'orientació dels dominis codifica la informació binària emmagatzemada. El capçal és el dispositiu pròxim a la superfície encarregat de provocar o detectar l'orientació dels dipols magnètics, és a dir, d'escriure o llegir les dades.

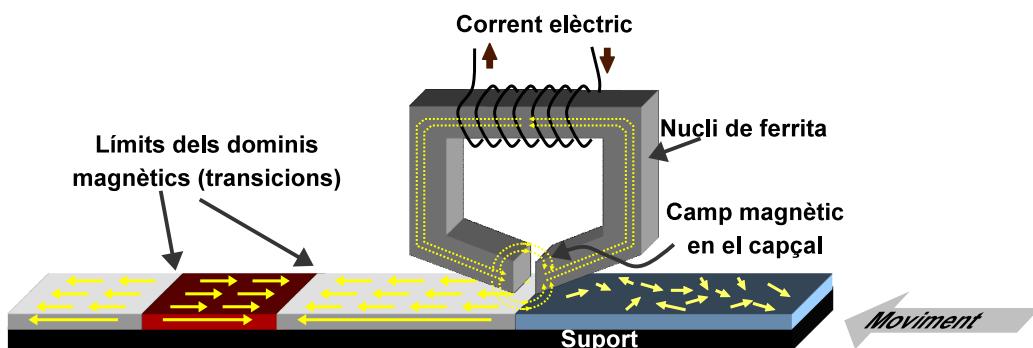


Figura 1: Mecanisme de l'emmagatzemament magnètic. El medi útil descansa sobre un suport (rígid o flexible) i està fet de material ferromagnètic, és a dir, és equivalent a una distribució de dipols magnètics. Els capçals transformen corrents elèctrics en camps magnètics o a la inversa. Una vegada el medi està en moviment, un capçal d'escriptura, governat per un corrent elèctric, pot escriure informació binària orientant en un sentit o altre els dominis. Igualment, un capçal de lectura permet detectar els canvis d'orientació dels dominis i recuperar les dades en forma de corrent elèctric.

Segons les característiques del suport aquests dispositius han permés accessos directes o només seqüencials. A més a més, segons el moment tecnològic i les necessitats particulars dels computadors, s'han situat en qualsevol dels nivells de la jerarquia de memòria. Les memòries magnètiques han fet el paper de memòria principal (els nuclis de ferrita i els tambors emmagatzemaven els programes en execució), de memòria secundària (els discs flexibles i rígids suporten un sistema d'arxius, el codi d'inici del sistema operatiu i l'àrea d'intercanvi de la

memòria virtual) i de memòria fora de línia (discos flexibles i tot tipus de cinta han aprofitat per fer còpies de seguretat, intercanvi de dades i distribució de programes).

El disc dur és l'única d'aquestes tecnologies que ha sobreviscut fins ara, i es dedica sobretot a memòria secundària. L'emmagatzemament magnètic està en retrocés i ja podem albirar un futur sense discs magnètics, en el què les memòries flash assumiran el mateix paper, però el preu d'emmagatzematge per bit ajornarà la substitució durant alguns anys.

Unitats de capacitat

Seguint el conveni de l'IEC, ([vegeu l'article en Wikipedia](#)) podem mesurar les quantitats de memòria amb prefixos decimals i binaris (vegeu la Figura 2). Aquest conveni intenta eliminar ambigüïtats en expressar la capacitat dels dispositius de memòria i l'ocupació de l'espai que hi fan els arxius.

Prefixos decimals			Prefixos binaris		
símbol	nom	valor	símbol	nom	valor
kB	kilo	10^3	KiB	kibi	2^{10}
MB	mega	10^6	MiB	mebi	2^{20}
GB	giga	10^9	GiB	gibi	2^{30}
TB	tera	10^{12}	TiB	tibi	2^{40}

Figura 2: Prefixos per a expressar quantitats de memòria segons el conveni de l'IEC.

Les quantitats de memòria RAM, per tradició, se solen escriure amb prefixes decimals encara que la seu interpretació siga binària: un mòdul de memòria d'1 GB de capacitat, per exemple, té 2^{30} bytes en lloc de 10^9 .

Per a expressar la capacitat dels discs durs o el volum dels arxius, convé fer servir els prefixes decimals de forma coherent. Windows no segueix la norma i fa servir prefixes decimals (vegeu la Figura 3) amb significat binari, com si fuera memòria RAM. Linux (vegeu la Figura 4) permet a l'usuari escollir entre ambdues possibilitats.

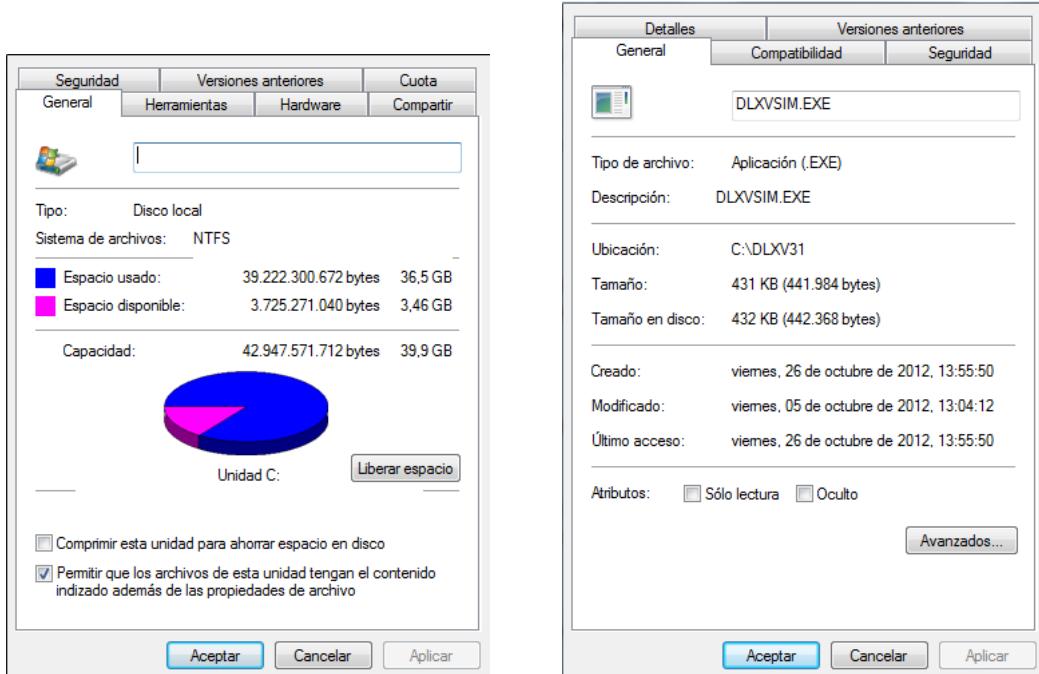


Figura 3: Les finestres de *Propiedades* de Windows mostren la capacitat dels discs i la mida dels arxius sense prefixos i amb prefixos binaris. Noteu que $42.947.571.712/2^{30} \approx 39.9$ GB

```

...$ df
Filesystem      512-blocks     Used Available Capacity Mounted on
/dev/disk0s2    975093952 929132584 45449368   96%   /
devfs          376           376          0  100%   /dev
localhost:/kUcYdqkvr 975093952 975093952       0  100% /Volumes/MobileBackups
...$ df -h
Filesystem      Size  Used Avail Capacity Mounted on
/dev/disk0s2    465Gi 443Gi 22Gi   96%   /
devfs          188Ki 188Ki 0Bi    100%   /dev
localhost:/kUcYdqkvr 465Gi 465Gi 0Bi    100% /Volumes/MobileBackups
...$ df -H
Filesystem      Size  Used Avail Capacity Mounted on
/dev/disk0s2    499G 476G 23G   96%   /
devfs          193k 193k 0B    100%   /dev
localhost:/kUcYdqkvr 499G 499G 0B    100% /Volumes/MobileBackups
...

```

Figura 4: Linux i MacOS segueixen el conveni de l'IEC en llistar la capacitat dels discs instal·lats en un computador. La figura mostra la resposta de la consola de MacOS a l'ordre `df`. Sense modificadors, `df` mostra les capacitats en blocs de 512 bytes; amb el modificador `-h` en bytes amb prefixos binaris i amb el modificador `-H` en bytes amb prefixos decimals. Linux, per la seua banda, mostra per omisió blocs de 1 KB i l'efecte dels modificadors `-h` i `-H` és lleugerament distint.



EXERCICI 1 Un arxiu ocupa 3.145.728 bytes. Expresseu-ne el volum amb prefixes decimals i binaris.

2 Estructura dels discs durs

Els discs durs actuals són del tipus “Winchester”, i van ser inventats pels enginyers d’IBM. El disseny d’aquestes unitats es basa en la física de l’aire, que fa que un disc en rotació mantinga en suspensió un capçal magnètic a la distància crítica del medi. Quan el disc entra en repòs, l’electrònica de la unitat “aparca” els capçals en una zona d’“aterratge” prevista per a això.

Els discs durs corrents (vegeu la Figura 5) estan formats per un o més plats (*platters*) paral·lels que giren solidàriament sobre el seu eix. El conjunt de n plats ofereix fins a $2n$ superfícies útils (*sides*), sobre les què un braç mecànic aplica tants capçals (*heads*) com cares.

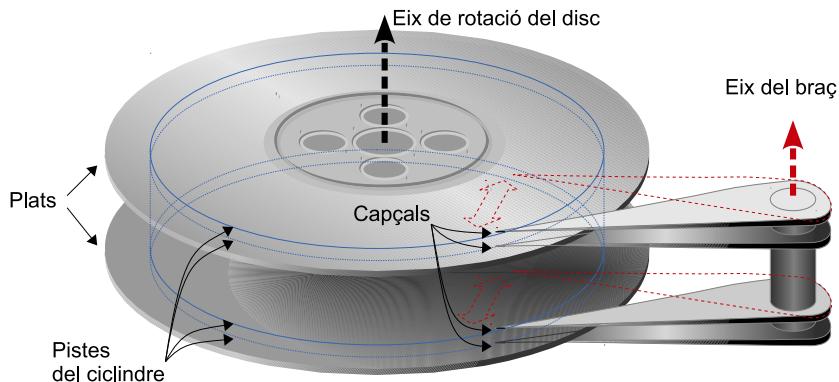


Figura 5: Esquema d'un disc dur format per dos plats. La unitat disposa de quatre capçals magnètics. Quan el braç ubica els capçals en un cert punt, les quatre pistes accessibles formen un cilindre.

Un motor permet situar el sistema de capçals en una sèrie establerta de punts. Cada punt de posicionament del braç defineix una pista (*track*) en cada superfície. El conjunt de pistes (tantes com cares o com capçals) accessibles amb el braç posicionat en un punt donat rep el nom de cilindre (*cylinder*).

Cada pista està dividida en sectors, que són les unitats adreçables per a llegir i escriure. Cada sector és una estructura de dades que conté, entre altres, les marques de separació amb els sectors veïns, la identificació del sector, el contingut (el bloc de dades que s’hi escriu o llig) i el codi redundant que permet detectar-hi errors. Podeu consultar els detalls d’un sector de

disc en els llibres de Scott Mueller “Upgrading and Repairing PCs”, en la biblioteca o en [Google books](#). Des dels primers dissenys de disc dur la capacitat habitual dels sectors és de 512 bytes. Tanmateix, els sistemes d’arxius (com per exemple Minix) poden definir blocs lògics formats per 2^n sectors físics.

Els sectors poden identificar-se per les coordenades CHS de cilindre, capçal o superfície i número de sector dins de la pista. Aquesta numeració era visible en les unitats antigues, però l’electrònica de les unitats actuals amaga les coordenades i proporciona als programes (és a dir, als manejadors de dispositiu del sistema operatiu) una numeració lineal LBA (*logical block address*) que va des del 0 en endavant.

3 Capacitat d’un disc dur

Les dimensions físiques condicionen fortament la capacitat d’un disc, donat que limiten el nombre de plats i la superfície útil de les cares. Els fabricants parlen d’un **factor de forma** (o “*form factor*”), expressat en polzades, que fa referència a l’espai necessari en el xassís del computador. Els factors de forma habituals són de 3,5” per a computadors de sobretaula i 2,5” per a portàtils. Podeu consultar-ne els detalls en [l’article de la Wikipedia](#).

L’aprofitament espacial de la superfície magnètica depèn de dos factors: la densitat de pistes i el nombre de sectors per pista.

La **densitat lineal de pistes**, que sol expressar-se com nombre de pistes per polzada de radi (o “*tpi*”, per “*tracks per inch*”), està relacionada amb les dimensions dels capçals i amb l’electrònica de control de la unitat. Actualment, l’amplada de les pistes es mesura en desenes de nanòmetres i la densitat de pistes en centenars de milers per polzada. El nombre total de cilindres d’un disc vindrà determinat, per tant, pel diàmetre de la pista més externa (*OD, Outermost Diameter*), pel diàmetre de la pista més interna (*ID, Innermost Diameter*) i per la densitat lineal de pistes.



EXERCICI 2 Un disc dur de 8 cares té una densitat de pistes de 18000 tpi. El diàmetre més intern és de 0,5” i el més extern de 3,5”.

1. Quina és l’àrea útil? Expresseu-ne el resultat en polzades quadrades (*sq in*).
2. Quants cilindres i quantes pistes contindrà?

El **nombre de sectors per pista** depén de les estratègies de distribució. La capacitat d’un sector és una constant del disc que afecta a molts nivells del disseny del sistema, des de l’electrònica de control de la unitat fins a la gestió del sistema d’arxius que fa el sistema operatiu. Per a una tecnologia donada, hi ha un mínim de superfície del medi que cal dedicar a un sector.

Com a resultat de la distribució de pistes i sectors en les superfícies dels discs, s’hi pot calcular una **densitat superficial** (“areal density”) de bits, que es mesura habitualment en bits per polzada quadrada (*bit/sq in*). Actualment supera els 500 Gb/sq in.

Hi ha tres estratègies de distribució de sectors en les pistes circulars (vegeu les figures 6 i 7).

CAV (Constant Angular Velocity): El nombre de sectors per pista és fix, i el disc gira a velocitat angular constant. Els sectors dels cilindres externs són més grans que els interns, però el seu temps de pas per sota el capçal és el mateix. Amb aquesta distribució, els cilindres interns, més densos, condicionen el nombre de sectors per pista.

Si H és el nombre de capçals, C el nombre de cilindres, S el nombre de sectors per pista i B la capacitat d’un sector (en bits o en bytes), la capacitat d’una unitat serà de

$$C (\text{CAV}) = H \times C \times S \times B$$

L’organització CAV ha sigut utilitzada en els discs flexibles. Per exemple, els disquetes DS, DD tenien dues cares i 80 cilindres i la seua capacitat nominal estava indicada com

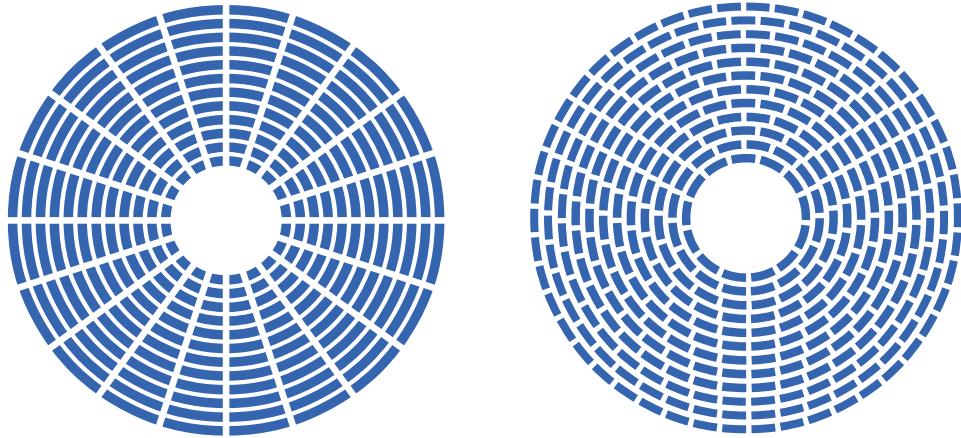


Figura 6: Dues estratègies de distribució de sectors en les cares d'un disc amb 12 cilindres. A l'esquerra, un exemple d'organització CAV amb 20 sectors per pista, que col·loca un total de 240 sectors per cara. En la pista exterior, els sectors tenen el triple de llarg que en la interior. A la dreta, un exemple d'organització CLV on la pista més exterior conté 46 sectors, i cadascuna de les següents conté 3 sectors menys fins arribar a la interior que només en té 13. En total, n'hi ha 354 per cara.

“720 KB”. MS-DOS els formatava amb 9 sectors de 512 bytes per pista. La capacitat resultant era:

$$\begin{aligned} C (\text{DS,DD}) &= 2 \text{ cares} \times 80 \text{ cilindres} \times 9 \text{ sectors/pista} \times 512 \text{ bytes/sector} \\ &= 1440 \text{ sectors} \times 512 \text{ bytes/sector} \\ &= 720 \text{ KiB} \\ &= 737280 \text{ B} \simeq 737 \text{ KB} \end{aligned}$$

Aquesta organització no aprofita bé les pistes exteriors. A major radi, menor densitat lineal; així que el nombre de sectors per pista està condicionat per la màxima densitat lineal possible en la pista ID.



EXERCICI 3 Calculeu la capacitat del disc dur de l'exercici 2 suposant que rep format CAV de 800 sectors/pista amb sectors de 512 bytes. Quina és la densitat areal del disc? Expresseu-la en unitats de kbit/sq in i de Mbit/sq in.

CLV (Constant Linear Velocity): La grandària dels sectors és fixa i independent del radi del ciclindre. En cada operació la velocitat de rotació s'ajusta per mantenir constant la velocitat lineal. És a dir, que la rotació és més lenta en operar sobre els cilindres externs i més ràpida sobre els cilindres internos.

Aquesta organització, que complica molt el control de la unitat, no s'aplica als discs magnètics, encara que sí s'utilitza en els dispositius òptics, com ara els discs compactes.

ZCAV/ZBR (Zone Constant Angular Velocity/Zone Bit Recording): Els cilindres del disc estan repartits en diverses zones en forma d'anell o corona circular, totes elles concèntriques. Dins de cada zona, les pistes tenen un nombre constant de sectors.

Si la zona z conté C_z cilindres, i en cadascun hi ha S_z sectors/pista, la capacitat d'un disc serà:

$$C (\text{ZCAV}) = H \times \sum_z (C_z \times S_z) \times B$$

Si C_z és constant, com és habitual:

$$C (\text{ZCAV}) = H \times C_z \times \sum_z S_z \times B$$

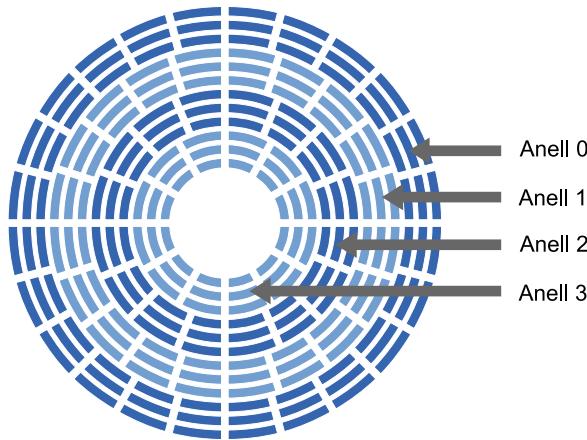


Figura 7: Exemple de distribució ZCAV de sectors en un disc. Hi ha quatre zones o anells, numerades de 0 (la més externa) a 3. Dins de cada zona, les pistes tenen un nombre fix de sectors. En l'exemple, totes les zones tenen tres cilindres; tanmateix, les zones externs tenen més capacitat que els internos.

Per exemple, el computador Apple Macintosh repartia els 80 cilindres dels disquets DS, DD en cinc zones de 16 cilindres, i hi definia 12, 11, 10, 9 i 8 sectors/pista. La capacitat del disquet era:

$$\begin{aligned}
 C(\text{DS,DD}) &= 2 \text{ cares} \\
 &\times 16 \text{ cilindres/zona} \\
 &\times (12 + 11 + 10 + 9 + 8) \text{ sectors/pista per zona} \\
 &\times 512 \text{ bytes/sector} \\
 &= 1600 \text{ sectors} \times 512 \text{ bytes/sector} = 800 \text{ KiB} \\
 &= 1600 \text{ sectors} \times 512 \text{ bytes/sector} = 819,2 \text{ KB}
 \end{aligned}$$

Aquesta geometria suposa un compromís entre CAV i CLA. Permet millorar la densitat areal sense complicar el control amb excés. S'han donat dos casos significatius, que resulten de buscar bé una velocitat lineal constant o bé una velocitat angular constant.

- Antigament, les unitats de disquet del Macintosh ajustaven la velocitat de rotació segons la zona per tal d'aconseguir una velocitat lineal constant.
- Els discs durs actuals giren a **velocitat de rotació constant**, per tant la velocitat lineal (en bits/s) és major en les zones exteriori que en els interiors.



EXERCICI 4 Calculeu la capacitat del disc dur de l'exercici 2 suposant que rep format ZCAV amb la següent distribució de sectors de 512 bytes.

Zona	Diàmetres min–màx	tpi	sectors/pista
0	2.75" – 3,50"	18000	800
1	2.00" – 2,75"	18000	1450
2	1.25" – 2,00"	18000	2150
3	0.50" – 1,25"	18000	2800

Quina és la densitat areal del disc? Expresseu-la en unitats de Mbit/sq in i Gbit/sq in.

4 Prestacions dels discs durs

Les unitats actuals de disc giren a una velocitat constant especificada pel fabricant en revolucions per minut (rpm). Les velocitats més freqüents estan entre 4500 i 15000 rpm.

Temporització bàsica

El disc opera quan rep una ordre mitjançant la interfície. Les ordres de lectura i escriptura adreçen sectors. Quant a la temporització, l'accés per a llegir o escriure un bloc del disc significa:

1. Posicionar el braç per fer accessible el cilindre implicat. El temps necessari es diu latència de posicionament (*seek time*) i es mesura en mil·lisegons. Aquest temps depén de la posició prèvia del capçal i de la velocitat de moviment del braç. Per això, els fabricants donen diverses mesures, com són el temps mitjà (*average seek time*) de posicionament, obtingut estadísticament, o el temps mínim de passar d'un cilindre a l'adjacent (*track-to-track seek time*) que és el cas més ràpid de posicionament.
2. Esperar que el sector adreçat passe per sota el capçal. Aquest temps es diu latència rotacional (*rotational latency*) i també es mesura en mil·lisegons. Depén de la velocitat de rotació del disc, i el seu valor mitjà és la meitat del període de rotació, és a dir, el temps que cal perquè el disc gire 180°. Com major siga la velocitat de rotació (*spindle speed*) més curta serà aquesta latència.
3. Fer la transferència, és a dir, la lectura o l'escriptura íntegra del bloc. La velocitat de transferència de les dades depén de la velocitat de rotació i de la densitat (és a dir, de la longitud del sector en la pista).

El disc dur segueix el patró temporal de la majoria de les memòries:

- Hi ha una **latència** o temps d'accés entre l'inici de l'operació i el començament de la transferència. Resulta de sumar les latències de posicionament i de rotació, i segueix una distribució de probabilitat, donat que depén de dues latències variables. En el cas més favorable, la latència serà quasi nul·la en els accessos en què el braç ja està ubicat en la pista objectiu i l'operació comença justament quan el sector adreçat anava a passar per sota el capçal, però és fàcil imaginar casos menys favorables. En general, podem esperar latències mitjanes de l'ordre de 10 a 20 mil·lisegons.
- Hi ha una **velocitat de transferència interna** que depén de la velocitat lineal a què circula el sector per sota del capçal. En la distribució per zones, la velocitat lineal en les zones exteriors és major que en els interns. La velocitat de transferència màxima en els discs corrents està pels voltants de 200 MB/s.

Altres aspectes de la temporització

En general, les operacions amb el disc afecten a més d'un sector, i el manejador del disc junt amb l'adaptador hi poden optimitzar l'accés aprofitant els casos més favorables.

- L'accés a sectors correlatius en la mateixa pista només exigirà el posicionament i la rotació per a accedir al primer sector; el disc transferirà la resta dels sectors sense interrupció.
- El pas d'una pista a altra sense canviar de cilindre no demana posicionament, només commutació de capçal. En condicions ideals, aquest pas pot fer-se sense interrompre la transferència de sectors.
- El moviment del braç des d'un cilindre a l'adjacent és un cas particular de posicionament, el més ràpid de tots (*track-to-track time*).

Els sistemes operatius intenten gestionar l'assignació de sectors per tal que l'accés al sistema d'arxius del disk siga el més ràpid possible (vegeu [l'article en Wikipedia](#)).

Altre aspecte a considerar és la connexió del disc al computador. Actualment, la velocitat de la connexió més freqüent (el bus Serial ATA) és molt més ràpida que la velocitat de transferència interna. Tanmateix, pot ser que la velocitat de transferència externa del dispositiu siga menor, com és el cas d'alguns discs portàtils, o que les transferències del disc entren en conflicte amb

altres transferències concurrents en els busos del computador. Per això, els discs disposen d'un *buffer* que permet sincronitzar les transferències internes i les externes (vegeu la Figura 8). Els fabricants solen especificar la capacitat del buffer dels discs, habitualment entre 16 i 64 MB.

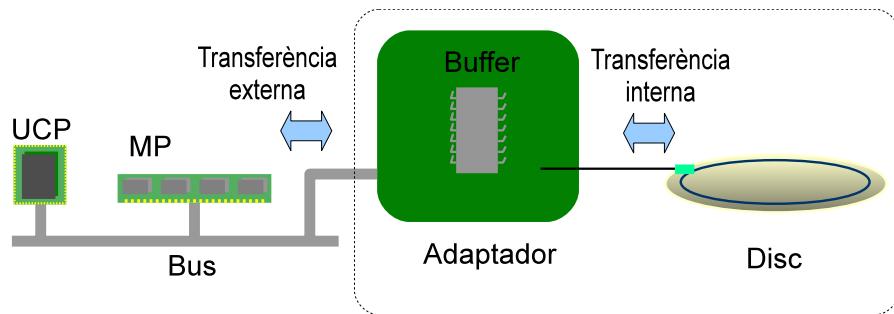


Figura 8: El buffer de disc forma part de l'electrònica d'adaptació al computador. Permet resoldre problemes generals de sincronització entre els diversos dispositius del computador.

Exemples i exercicis

Per exemple, considerem un disc dur amb organització CAV de 100 sectors de 512 bytes per pista, i temps mitjà de posicionament de 10 ms, que gira a 6000 rpm.

- Latència rotacional mitjana:

$$\text{Temps d'una rotació} = \frac{60 \text{ s/minut}}{6000 \text{ rpm}} = 0.01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$\text{Latència rotacional mitjana} = \frac{10}{2} = 5 \text{ ms}$$

- Temps d'accés mitjà (o latència total mitjana)

$$\begin{aligned} \text{Latència total mitjana} &= \text{Latència posicional} + \text{Latència rotacional mitjana} \\ &= 10 + 5 = 15 \text{ ms} \end{aligned}$$

- Temps de pas d'un sector per sota el capçal (o temps de transferència)

$$\begin{aligned} \text{Temps de pas d'un sector} &= \frac{\text{Temps d'una rotació}}{\text{Nombre de sectors per pista}} \\ &= \frac{10 \text{ ms/rotació}}{100 \text{ sectors/rotació}} = 0.1 \text{ ms} \end{aligned}$$

- Velocitat de transferència interna

$$\begin{aligned} \text{Velocitat de transferència interna} &= \frac{\text{Capacitat d'una pista}}{\text{Temps d'una rotació}} \\ &= \frac{100 \text{ sectors} \times 512 \text{ bytes/sector}}{10 \text{ ms}} = 5120 \text{ KB/s} \end{aligned}$$

o també

$$\begin{aligned} \text{Velocitat de transferència interna} &= \frac{\text{Capacitat del bloc}}{\text{Temps de pas d'un sector}} \\ &= \frac{512 \text{ bytes}}{0.1 \text{ ms}} = 5120 \text{ KB/s} \end{aligned}$$

- Temps total mitjà de lectura d'un sector

$$\begin{aligned}\text{Temps mitjà de lectura} &= \text{Latència total mitjana} + \text{Temps de pas del sector} \\ &= 15 + 0.1 = 15.1 \text{ ms}\end{aligned}$$

- Temps de transferència de 50 sectors correlatius en la mateixa pista:

$$\begin{aligned}\text{Temps de transferència} &= \text{Temps de pas d'un sector} \times \text{nombre de sectors} \\ &= 0.1 \times 50 = 5 \text{ ms}\end{aligned}$$

- Temps mitjà de lectura de 50 sectors correlatius en la mateixa pista:

$$\begin{aligned}\text{Temps mitjà de lectura} &= \text{Latència total mitjana} + \text{Temps de transferència} \\ &= 15 + 5 = 20 \text{ ms}\end{aligned}$$



EXERCICI 5 Considereu el disc de l'exercici 4 quan gira a 9000 rpm.

Temps de posicionament: *average seek time* de 12 ms, *track-to-track seek time* d'1 ms.

Per simplificar supposeu que el temps de posicionament mitjà DINS d'una de les quatre zones és el temps mitjà de posicionament global dividit pel nombre de zones, és a dir, $12/4 = 3$ ms. Calculeu:

1. El temps mitjà d'accés en cadascuna de les zones del disc.
2. La velocitat de transferència interna en cadascuna de les zones.
3. El temps mitjà de lectura d'un arxiu de 60 KB suposant que està emmagatzemat en sectors correlatius de la mateixa pista en dos casos: quan la pista està dins de la zona 0 i quan està dins de la zona 3.
4. El temps mitjà de lectura d'un arxiu de 60 KB que es troba emmagatzemat en sectors a l'atzar distribuïts en diversos cilindres de la zona 0.
5. El temps de lectura d'un arxiu de 100 MB suposant que està emmagatzemat de manera òptima en la zona 0.

5 Cloenda

El mínim espai necessari per a ubicar un bit ve definit per les característiques del medi, per les dimensions del capçal i per la distància entre aquest i la superfície. La inversa d'aquest espai és la màxima densitat de dades. Per tal d'incrementar la capacitat dels discs, els fabricants han millorat el disseny dels capçals reduint-ne les dimensions a fraccions de mil·límetre, modificant-ne la forma per a permetre l'orientació vertical dels dipols (i així els dominis magnètics ocupen menys superfície en el medi) i n'han reduït la distància amb el disc a uns pocs nanòmetres.

Altra millora ha estat l'ampliació de la capacitat del sector físic (vegeu en la Wikipedia l'article [Advanced Format](#)) per tal de donar cabuda als blocs lògics de 4 KiB sense necessitat d'agrupar-los per zones. D'aquesta manera, se redueix la proporció de bits de control i s'aprofita millor el medi.

L'efecte combinat de les millores ha sigut descrit com la "Kryder's Law", (vegeu l'article que es va publicar en la pàgina de la revista [Scientific American](#)) que diu que el creixement de la densitat d'emmagatzemament dels discs magnètics és més ràpid que el de la densitat d'integració dels xips descrita per la llei de Moore.

La producció de discs durs s'ha concentrat hui en dia en només tres fabricants: Seagate, Toshiba i Western Digital (vegeu el diagrama de la [Wikipedia](#)).

6 Més bibliografia

En la Wikipedia podeu trobar descripcions dels **tambors magnètics**, de les **memòries de núclis de ferrita**, de les **cintes magnètiques** i dels **disquets**. També hi ha una descripció de les **biblioteques robotitzades** que s'utilitzaven en grans centres de càlcul.

En **Tom's hardware** trobareu informació variada sobre els discs durs: la història, l'evolució dels components i una descripció de les tècniques de codificació. També en la Wikipedia, a partir de l'article sobre el **disc dur**, podeu accedir a una gran quantitat d'articles sobre la història dels discs durs, els detalls tecnològics que hem discutit (capacitat i prestacions) i d'altres igualment importants dels què no hem parlat (segments de mercat, mesures de fiabilitat), sense oblidar el video que mostra una unitat de disc destapada en funcionament.