Mr Nenad Parčina,
potpukovnik, dipl. inž.
Dušan Dobrila,
dipl. inž.

SAVREMENI TRENDovi TEHNOLOGIJA ZA MASOVNO SPREMANJE PODATAKA

Uvod

Svakodnevna potreba za zapisivanjem velikog broja najrazličitijih podataka, kao i za njihovo korišćenje u što kraćem vremenu doveli su do razvoja više različitih tehnologija, od magnet-skih mekih (floppy) ili tvrdih (hard) disko-va, magnetskih traka, optičkih i ma-gnetno-optičkih memorija, trenutnih poluprovodničkih memorija (flash me-mory), pa do holografskog spremanja podataka. Brzi uređaji malog kapacite-

Sl. 1 — Piramida — hijerarhija teh-nologija

Sl. 2 — Odnos cene, vremena pristupa i tehnologija

ta i visoke cene spadaju u vrh a sporiji uređaji velikog kapaciteta i niže cene na dno hijerarhije.

Najbolju vizuelnu prezentaciju hijerarhije predstavlja piramida koja se popunjavala uređajima koji su se razlikovali po brzini, kapacitetu i ceni razvojem kompjuterske tehnologije. Cilj je bio i ostao: ostvariti što jeftiniju manipulaciju što većom količinom podataka i što većom brzinom [1].

Poluprovodničke memorije

Na vrhu piramide nalaze se, uglavnom, DRAM memorije koje se koriste za privremeno spremanje podataka i programa. DRAM memorije su privremene i reprogramibilne, što znači da zaboravljaju svoj sadržaj po isključenju napajanja, a on se može menjati tokom rada. Za razliku od njih, ROM (EPROM i EEPROM) memorije su reprogramabilne i stalne, promena sadržaja je složena, a cena im je visoka.

Trenutne memorije (flash memory) stalne su, reprogramabilne i popularne. Razloga za to ima više: povećao se kapacitet po čipu, smanjila se cena, a i zadovoljeni su zahtevi prenosivih i malih kompjutera za malom potrošnjom snage i malom težinom. Trenutne memorije su izuzetno brze (vreme pristupa podatku je 120 nanosekundi), potrošnja struje i snage je mala (1 mA u statičnom režimu, a 1 μ A u režimu čekanja; 1-MB trenutni disk troši samo 1,2 W). Iz razloga što nemaju pokretnih ili mehaničkih delova podnose mehaničke šokove do 1200 g. Takođe, rade pouzdano u velikom rasponu temperatura, relativno su malih dimenzija (32 Mb čip omogućuje pakovanje 195 MB po kvadratnom inču), lagane su i rade tiho. Idealne su za laptop i prenosive digitalne uređaje. Problem kod trenutnih memorija je njihova cena (40 MB košta 1200 US dolara). Za razliku od magnetnih diskova, gde se

podaci upisuju direktno, kod trenutnih memorija prvo se brišu blokovi, a zatim upisuju bitovi [1, 2, 3].

Magnetni tvrdi i meki diskovi

Tehnologija magnetnih memorija se do sada najbrže razvijala, što je bio rezultat veličine tržišta, konkurencije na tržištu i postavljenih standarda. I dalje se predviđa povećanje gustine zapisa od 60% do 65% godišnje, pad cene od 12% kvartalno i vek proizvoda od jedne godine. Pored toga, tvrdi diskovi su svake godine povećavali kapacitet za oko 60%, a taj trend se i dalje nastavlja [1].

Sl. 3 — Rast kapaciteta tvrdih diskova

Na tvrdi magnetni disk spremaju se podaci pomoću glave za upis i čitanje (elektromagnet) koji upisuje podatke tako što magnetiše područja na disku uz odgovarajuću orijentaciju. Ispis se vrši po koncentričnim krugovima na disku koji se okreće konstantnom brzinom. Brzina obrtanja diska je povećana sa 3600 obrtaja u minuti preko 5400 o/min na 7200 o/min. Povećanje od 33% znači i brži pristup podacima — sada je reda desetak milisekundi. Kapacitet se povećava povećanjem broja tragova po centimetru prečnika diska, a poboljšanje karakteristika postiže se povećanjem broja bitova po tra-

gu, što zahteva kvalitetniji medij za zapis i visoke performanse glave za upis i čitanje. Površina za upis izrađena je od magnetskog materijala (legura kobalta i nikla), prekrivenog zaštitnim slojem, a glava je malih dimenzija i, istovremeno, veoma osetljiva [1, 2].

Sl. 4. — Tehnologija glava i njihov uticaj na kapacitet

Ključ za povećanje gustine je u istraživanjima i primeni magnetnootporne glave, sposobne da čita bitove gustine od 1,8 miliona bitova po kvadratnom milimetru. Ova glava u svom sastavu ima tanki magnetski sloj između dva provodnika. Ovom sloju otpornost se menja u funkciji ugla magnetizacije namagnetisanog sloja ispod njega. Različito polarisani bitovi proizvode različite uglove magnetizacije, stvaraju se različiti otpori na sklopu, a glava čita podatke detektujući jačinu struje koja prolazi kroz sklop.

Primer dobrih diskova su IMB-ovi diskovi iz porodice od 3,5 inča, koji se okreću brzinom od 7200 o/min, kapaciteta 1 GB; 2,1 GB i 4,3 GB, gustine zapisa od 564 Mb po kvadratnom inču, vremenu pristupa od 8,6 ms i protokom od 12,2 MB u sekundi [1].

Za potrebe mekih diskova — disketa, »Toshiba« je razvila tehnologiju perpendikularnog zapisivanja na mediju barijumferitu. Za razliku od klasičnog zapisivanja, gde se magnetizaci-

Sl. 5 — Poređenje metoda vertikalnog i horizontalnog magnetnog zapisa

ja vrši horizontalno ili paralelno na površinu diskete, ovde se barijumferit magnetiše vertikalno, pa se uz precizno pozicioniranje glave povećava kapacitet barijumferit disketa na 32 MB, uz predviđeno pomeranje granice na 64 MB [2, 4].

Optičke memorije

Sudeći po broju prodatih primera, CD-ROM diskovi su najprodavaniji optički proizvod. Dostojni su CD diskovi bili orijentisani na aplikacije, kao što su biblioteke, a malo su se koristili kao medijum za spremanje podataka. Zamenljivi kartridži velikog kapaciteta, sa velikom količinom informacija i dugim vremenom pristupa pogodni su u slučajevima kada potreba za podacima na disku nije česta. Pored čisto optičkih tehnologija, kao što su CD-ROM i WORM (write once, read many times), koriste se i magnetno-optički (MO) sistemi koji su kombinacija magnetske i optičke tehnologije i zavise od magnetizma i optike [1].

S obzirom na prenosivost i međusobnu zamenljivost diskova, magnetno-optičko (MO) spremanje podataka je tehnologija koja nudi mnogo bolji odnos cene po megabajtu od magnetnih diskova. Pored toga, opada veličina diskova sa 12 ili 14 inča, na diskove od 5,25 i 3,5 inča. Kapacitet diskova stalno raste, pa se sa donedavnog standarda od 650 MB (za 5,25 inčnu ploču)

Sl. 6 — CD-ROM — broj prodanih uređaja — posle sporog rasta CD-ROM stiže do standarda

stiglo do današnjeg kapaciteta od 1,3 GB za istu ploču, a predviđaju se i udvostručenja pre 1995, 1996, i 1998. godine. Ovakav očekivani porast kapaciteta za samo četiri godine, od 1,3 GB na 10,4 GB, svakako treba pripisa-

Sl. 7 — Porast prodaje: 5 1/4 i 3 1/2 inčnih MO uređaja

ti relativno dugom početnom periodu razumevanja i razvoja MO tehnologije, kao i njenog komercijalnog iskorišćenja. Očigledno je da je MO tehnologija zakoračila na tržište kao realan takmac drugim tehnologijama za masovno spremanje podataka [5].

Optički diskovi koji koriste konstantnu linearnu brzinu (CLV) su spo-

Sl. 8 — Porast kapaciteta MO uređaja kroz vreme

ri s obzirom na to da su podaci organizovani sekvencijalno u kontinualnom spiralnom tragu, a ne u tragovima i sektorima. Pri traženju nekog podatka, glava za čitanje mora pronaći položaj podatka a ne njegovu adresu, što znači da mora proći preko celog diska da bi očitala traženi podatak. Pri tome, što je glava bliža spoljnoj ivici diska, to se on brže okreće.

Sl. 9 — Organizacija CLV optičkog diska

Optički diskovi koji koriste konstantnu ugaonu brzinu (CAV) — imaju podatke organizovane u sektore i tragove, a zapis je to gušći što su tragovi manji i što su bliži centru. CAV sistem ima manje podataka na disku od CLV sistema, ali se podacima znatno brže pristupa.

Osim ove postoji još jedna varijanta korišćenja magnetno-optičkih diskova, a naziva se Z-CAV (zoned constant angular speed) ili ZBR (zone-bit

Sl. 10 — Organizacija CAV optičkog diska

recording). Z-CAV koristi činjenicu da su spoljnji tragovi na disku duži nego oni unutrašnji i da omogućavaju gušće pakovanje podataka ukoliko je istovremeno i brzina kojom prolazi glava preko njih drugačija. Zato Z-CAV diskovi mogu da drže 1 gigabajt podataka umesto normalnih 650 MB. Brzina pristupa spoljnjim tragovima je, takođe, veća nego kod CAV diskova [2, 4].

Sl. 11 — Princip zapisa PPM i PWM metodom

Glavno poboljšanje koje će omogućiti skok kapaciteta na 2,6 GB je PWM (pulse width modulation — širinsko impulsna modulacija). Postojeći 650 MB i 1,3 GB diskovi za zapisivanje koriste metod nazvan PPM (pulse-position modulation — impulsno položajna modulacija). Kod PPM informacija je zapisana u vremenskom intervalu između pozitivnih vrhova signala na disku koji odgovaraju centru zapisanog domena.

Kod PWM je informacija zapisana u vremenskom intervalu između ivica signala na disku. Zapis je termalni proces pomoću kontrolisane snage lasera koji služi kao izvor toplote [5].

Pored do sada opisanih metoda postoje i drugi metodi za povećanje kapaciteta diskova.

Smanjenje širine tragova zapisa na MO disku: sa 1,6 μm (650 MB) preko 1,39 μm (1,3 GB) do predviđenih 1,15 μm (2,6 GB).

Promena optike diskova: gustina zapisa bitova koju je moguće postići na disku direktno je vezana za dimenzije tačke fokusiranog laserskog snopa na disku, što je direktno vezano za talasnu dužinu i numerički otvor (NA) sočiva. Dimenzija tačke proporcionalna je talasnoj dužini lasera i obrnuto proporcionalna numeričkom otvoru. To znači da smanjenjem talasne dužine i povećanjem numeričkog otvora smanjujemo dimenzije tačke, a time povećavamo gustinu zapisa. Sadašnji 1,3 GB diskovi koriste laser sa talasnom dužinom od 780 nanometara i numeričkim otvorom od 0,55. Budući diskovi će imati laser sa talasnom dužinom od 670 nm i sočiva u objektivu sa numeričkim otvorom 0,60 što će omogućiti takvu gustinu da se dostigne kapacitet od 2,6 GB. Analizirajući trendove, može se pretpostaviti da će talasne dužine lasera pasti na 640 nm, a da će numerički otvor porasti na 0,65 do 1998. godine, što će dati 12% smanjenje tačke i 30% povećanje kapaciteta diskova od 2,6 GB. Ovaj napredak u sferi manjih talasnih dužina očekuje se kod plavih ili zelenih laserskih dioda sa izgledom da se na tržištu pojave 1997. ili 1998. godine.

Druge tehnike koje su važne za 5,2 GB diskove su optička i magnetska superrezolucija.

Optička superrezolucija, koja daje 20 do 30% veću gustinu tragova na disku, modifikuje raspodelu optičke snage snopa fokusiranog na optički disk.

Snaga se raspoređuje dalje od centra snopa prema ivici, proizvodeći kroz difrakciju manju tačku na disku koja omogućuje povećanje kapaciteta bez smanjenja talasne dužine i povećanja numeričkog otvora. Postupak optičke superrezolucije liči na elektronski filter koji pojačava visoke frekvencije, a potiskuje niske, s tom razlikom što ne menja fazu.

Sl. 12 — Magnetna superrezolucija

Magnetna superrezolucija ne menja distribuciju snage laserskog snopa. Ona koristi otvor submikronske veličine ili prozor na fokusiranoj tački, a veličina ovog prozora određuje rezoluciju. Fokusirana laserska tačka kod optičke superrezolucije može imati prečnik od 1 mikrona. Ovaj magnetni prozor može imati veličinu reda 0,3 mikrona. »Sony« je stvorio magnetni prozor dodavanjem još jednog MO sloja standardnom MO disku. Kod medijuma magnetne superrezolucije bitovi podataka su memorisani u spaljenom memorijskom sloju. Za vreme čitanja laserski snop zagreva memorijski i čitajući sloj. Magnetnim uparivanjem bitovi se kopiraju iz memorijskog sloja u čitajući sloj i vidljivi su laserskom snopu. Samo submikronska oblast zagreva se tako da samo podaci u toj oblasti mogu biti vidljivi i selektovani. Kada su podaci pročitani i kada su prošli ispod laserskog snopa slojevi se hlade i prolaze kroz magnetno polje koje briše domene u čitajućem sloju, ali ostavlja nedernutim one u memorijskom sloju.

Još jedna tehnologija koja obećava jeste korišćenje PRML (partial res-

ponse maximum likelihood — delimičan odgovor-maksimalna sličnost) kanala koji koristi tehnike digitalnog filtriranja da bi omogućio sistemu za čitanje da se prilagodi na promene koje su svojstvene za ISI (inter symbol interchange — međusimbolsku interferenciju). Međusimbolska interferencija određuje konkretnu granicu koja određuje koliko blizu mogu biti bitovi memorisani na mediju. Prilagodivi PRML kanali omogućavaju da bitovi budu na manjem rastojanju zbog filterskih tehnika koje su sposobne da razdvoje pravi od signala nastalih zbog intersimbolske interferencije. Pored toga, PRML kanali koriste detekciju uzoraka, a ne prosto čitanje bit po bit. To znači da se čitaju uzorci u određenim intervalima i onda odlučuje da li je pročitani uzorak 1 ili 0. Upravo je ova »inteligencija« snaga koju ima PRML, jer daje mogućnost prilagođenja na različite glave, medije i stanja okoline.

Smanjenje razmaka između tragova zapisa na diskovima dovodi do povećanja kapaciteta diskova. Na žalost, što su tragovi bliži veća je i interferencija ili preslušavanje susednih tragova, a rezultat toga je gubitak korisnog signala. To je problem kod MO i magnetnih diskova. Na sreću, za MO diskove u razvoju su tehnike koje će omogućiti čitanje bez preslušavanja za razmak između tragova od 0,6 mikrona ili čak i manje.

Prva tehnika za eliminisanje preslušavanja je već pomenuta magnetna superrezolucija. Ovde se samo bitovi iz željenog traga kopiraju u sloj za čitanje, a svi susedni tragovi su nevidljivi za laserski snop za čitanje, tako da preslušavanje nije moguće.

Druga tehnika nazvana »ponišćavanje preslušavanja« ne zahteva promenu strukture MO medijuma, već koristi mogućnost paralelizma optike, to jest, sposobnost da se upisuje i čita više tragova odjednom kroz isti optički kanal. Tako se čitaju tri traga odjed-

nom, željeni i dva susedna. Zatim se elektronikom izdvaja koristan i željeni signal od onih iz susednih tragova.

Promene medijuma kod MO diskova

Poluprovodničke laserske diode, LSI kola i jeftini i stabilni MO medijumi su tehnologije koje omogućavaju razvoj MO diskova. Od svega toga je medijum, na prvi pogled jednostavna kombinacija slojeva polikarbonata u plastičnom pakovanju, jedinstven za MO tehnologiju. Današnja istraživanja medijuma za MO usmerena su na četiri oblasti: niskošumni medijumi za velike gustine, MO materijali sa kratkotalasnim odgovorom, magnetna superrezolucija i medijumi koji omogućavaju zapis podataka u jednom prolazu.

Kontrola izvora šumova u MO diskovima je kritična za gustinu zapisa i važno je razumeti i minimizirati medijumski šum koji nastaje iz dva izvora: šum pri zapisivanju i šum pri čitanju. Zapisujući šum je vidljiv u neregularnostima u zapisanim magnetnim domenima. Na primer, čak i sa savršeno upravljanim laserskim impulsom, zapisani domen ima submikronske neregularnosti u svom obliku. Razlozi nastajanja tih neregularnosti su mikromagnetski diskontinuiteti u materijalu od kojih su napravljeni slojevi MO diska, kao što su anizotropnost i defekti slojeva. Poboljšani materijali i bolji postupci nanošenja slojeva na MO medijume su u razvoju i svakako da će smanjiti šum pri zapisivanju. Šum pri čitanju uključuje sve efekte koje šum nosi u sebi, kao što je detekcija ivica domena na disku. Elektronski i laserski šum dominantni su izvori šuma. Šum pri čitanju rezultat je interferencije izvora kao što su varijacije u reflektivnosti sloja na medijumu i varijacije u MO Kerr efektu (Kerr efekt daje polarizaciju čitajućeg laserskog snopa tako što ga rotira u plus ili minus stranu zavisno od polarizacije na medijumu i to određuje

je da li je bit 1 ili 0). U razvoju su tehnike koje bi trebalo da minimiziraju ove efekte.

Razvoj medijuma za korišćenje kratkotalasnih lasera je kritična oblast za povećanje kapaciteta MO diskova. Modifikacija sadašnjih medijuma zadovoljiće potrebe za kapacitetom do 5,2 Gb. Međutim, za veće kapacitete i korišćenje laserskih dioda u zelenom ili plavom talasnom području medijumi moraju da se poboljšaju. Na žalost, današnji medijumi ne zadovoljavaju, odnosno nemaju odgovarajuću reakciju na plave ili zelene talasne dužine. Zato se razvijaju novi MO materijali, kao što su kobaltno-platinasti i neodijum-kobaltni filmovi. IBM je skoro prezentirao MO medijum sa kapacitetom od 2,5 Gb po kvadratnom inču, koristeći laser plave talasne dužine od 426 nm.

Pored toga, u loše osobine magnetno-optičkih diskova ubraja se i zahtev za dva prolaza glave preko diska za upis podatka, pri čemu je prvi prolaz za brisanje postojećeg podatka, a drugi prolaz je za upis novog.

Upisivanje bez brisanja kod MO diskova

DOW (direct overwrite — zapisivanje bez brisanja) MO medijuma omogućiće da jednim prolazom laserskog snopa obavi proces i brisanja prethodnog i zapisivanja novog podatka na disk. Razvijaju se dve vrste ovakvih medijuma.

Prvi medij je uobičajeni MO medij čija je pozadina prilagođena tako da magnetna glava dodiruje ili lebdi iznad MO sloja. Magnetna glava je dovoljno mala da menja magnetno polje na odgovarajućem mestu za vreme zapisivanja, a ovaj proces »Sony« već koristi kod svojih proizvoda. Da bi se izvela promena orijentacije tačaka na disku, potrebno je izvesti veoma preciznu sinhronizaciju rada optičkog i magnetskog sistema za upis na disk, a to je, u stvari, problem koji se javlja pri upisu podataka na disk.

Sl. 13 — Konstrukcija medija sa zaštitnim slojem kod DOW MO

Da bi upisali podatak na MO disk treba promeniti orijentaciju tačke na disku, pri čemu se ne sme menjati orijentacija susednih tačaka. Ovaj zadatak može izvršiti samo laser, a on ga rešava tako što zagrije tačku na medijumu do temperature koja se naziva Curie tačka. To je temperatura kada magnetski materijal gubi magnetsku orijentaciju i tada glava sa malim elektromagnetom polariše tu tačku u željenu polarizaciju [2, 5, 6].

Drugi medij će DOW tehnologija verovatno koristiti za 5,25 inčne MO diskove, a sastoji se od uparenih MO medija, koji su slični medijima sa magnetskom superrezolucijom po tome što sadrže dodatni MO sloj. Jedan MO sloj je memorijski za spremanje podataka, a drugi je magnetni sloj za brisanje podataka, što izbacuje potrebu za dodatnim magnetnim poljem. Za rad sa uparenim medijem koriste se tri nivoa snage lasera — za čitanje, za upisivanje nula i za upisivanje jedinica. Ove promene snage omogućavaju temperaturno zavisnim slojevima da direktno zapisuju bez prethodnog brisanja podataka.

Magnetne trake

Magnetne trake drže korak sa diskovima. Ono što je loše kod traka je njihova brzina pristupa podacima, ali

je zato količina podataka velika. Sa pojavom personalnih računara pojavila se i magnetna traka od četvrtine inča (QIC — quarter inch cartridge — kartridž od četvrtine inča). Razvijena je da spremi 5 MB podataka i ubrzo po pojavi postala je popularna za pravljenje kopija diska, a sada QIC trake zauzimaju 2/3 tržišta sistema za spremanje podataka sa trakama. Traka se mora kretati brzo (90—120 inča u sekundi) da bi se ostvarila zadovoljavajuća brzina pristupa podacima i kvalitet zapisivanja, što stvara problem zagrevanja trake pri prolazu preko stacionarne glave i dovodi do uništavanja magnetnog sloja — prosečno trake mogu da izdrže od 200 (150 MB) do 400 (60 MB) prolaza.

Ubrzo se pojavio osmomilimetarski format koji je koristio standardni VHS metod za spremanje podataka — rotirajući bubanj (helical scan), a na kasete sa ovom trakom moglo je da stane 2 gigabajta podataka.

Sledeći korak u tehnologiji doneo je četvoromilimetarsku digitalnu audiotraku (DAT) koja koristi digitalnu tehnologiju zapisivanja razvijenu za DAT uređaje u muzici i smešta giga-

Sl. 14 — Uglovi zatezanja trake kod DAT i osmomilimetarskog sistema

bajte podataka na samo jednu traku. DAT sistem koristi rotirajući bubanj, a kako glave na rotirajućem bubnju čine glavni posao, DAT traka ne treba da se kreće brzo; ona ima brzinu od 1/3 inča u sekundi, pa može izdržati i preko 1000 prolaza [1, 5].

Oba sistema, osmomilimetarski sistem i četvoromilimetarski DAT sistem koriste helical scan tehnologiju, pri čemu je stepen namotavanja trake oko rotirajućeg bubnja kod osmomilimetarskog sistema 221 stepen, a kod DAT sistema 90 stepeni, što smanjuje trenje i sprečava gužvanje za vreme pretraživanja brzinom 200 puta većom od nominalne brzine čitanja i upisa [7].

Digitalna linearna traka (DLT — digital linear tape), koju proizvodi firma DEC, nudi kapacitet, brzinu i veliku pouzdanost. Vek trajanja magnetne glave je 5 puta veći nego ranije i iznosi 10000 sati, a vreme između grešaka je 80000 sati [1].

Zaključak

Umesto zaključka može se napraviti upoređenje postojećih sistema:

Literatura:

- [1] Wallace S.: »Managing mass storage«; Byte; March 1994.
- [2] N. Parčina., D. Dobrila: »Tehnologije za masovno spremanje podataka«; VTG.
- [3] Lathi W: »Store Data in a Flash«; Byte; Novembar 1990.
- [4] Harvey D.: »State of the Media«; Byte; Novembar 1990.

— klasični magnetni tvrdi diskovi i diskete još uvek su konkurentni. Postali su manji, smanjili su potrošnju, brzi su u radu i imaju nisku cenu. Međutim, kapaciteti su im ograničeni, veoma su osetljivi na vibracije, visoke temperature i spoljna elektromagnet-ska polja;

— optički diskovi agresivno nadiru, većih su dimenzija, veći su potrošači električne energije, imaju više cene, sporiji su u radu, ali imaju ogromne kapacitete i neosetljivi su na spoljne uticaje;

— poluprovodničke memorije imaju izvanredne brzine, visoku pouzdanost, nisku potrošnju, visoku cenu i mali kapacitet.

Trenutne memorije postaće jeftinije, manje i većeg kapaciteta, pa će diskovi sa trenutnim memorijama zauzeti tržište sistema kojima je potrebna brzina i brz prenos podataka.

Magnetni diskovi će i dalje povećavati kapacitet po nižoj ceni.

MO će povećati kapacitet, dok će CD-ROM pojeftinjavati i povećavati kapacitet. Pored toga, pojaviće se i dugo najavljivano holografsko spremanje podataka.

- [5] Campbell D., Proehl K.: »Optical advances«; Byte; March 1994.
- [6] Ryan B.: »Entering a New Phase«; Byte; Novembar 1990.
- [7] Lion K.: »DAT's a Solution«; Byte; Novembar 1990.