

4. Запаметяващи устройства

Васил Георгиев



`is.fmi.uni-sofia.bg/t3/`



`v.georgiev@fmi.uni-sofia.bg`

Съдържание

- ✦ Йерархична памет
- ✦ Електронна, магнитна и оптична памет
- ✦ Вторична и третична памет –
организация, ускорен достъп, грешки и
възстановяване

Йерархия на паметите – фиг. 4.3.

- ✦ Процесорни регистри
- ✦ cache
- ✦ Основна памет – адресен достъп – 32 разр. адр. = 4GW
- ✦ Външна памет
 - ✦ вторична памет – файлов/блоков достъп
 - ✦ третична памет – асиметричен достъп
- ✦ Характеристики
 - ✦ време за достъп ($t \rightarrow s$);
 - ✦ размер ($V \rightarrow B$);
 - ✦ цена на байт ($P \rightarrow \text{¢}/B$);
 - ✦ пропускателна способност ($b \rightarrow MB/s$);
 - ✦ адресируема единица ($w \rightarrow B$).

Организация на йерархичната памет

- ✦ Регистри и Cache.
 - ✦ управление от компилатора
 - ✦ скоростта се определя от ЦПУ - обикновено в рамките на един такт
- ✦ Cache
 - ✦ управлява се от MMU (memory management unit) – трансляция ВА/ФА
- ✦ Основна памет.
 - ✦ DRAM чипове $\sim 2^{10}$ Мб.
 - ✦ Управлява се от MMU и ОС
 - ✦ Понякога има йерархична структура от поднива, разширения.
- ✦ Външни носители.
 - ✦ Управляват се от ОС и потребителя.
 - ✦ Енергонезависими.
 - ✦ Магнитни и оптични дискове (дискови пакети) те са най-голямата по размер памет за работа в реално време (on-line) - за ОС, системен и потребителски SW и данни
- ✦ Третична памет
 - ✦ работят автономно (off-line)
 - ✦ за дублиране, резервиране и архив (backup)
 - ✦ ленти, дискове, наследени устройства

Технологии електронна памет

тип	енергоза- висимост	презапис	дума на презапис	кратност на запис	стойност (отн.)	скорост (отн.)
SRAM	не	да	В	неогр.	скъпа	бърза
DRAM	не	да	В	неогр.	средна	средна
[Masked] ROM	да	не	-	-	евт.	бърза
PROM	да	1, с устройство	-	-	средна	бърза
EPROM	да	да, с устройство	чип	огр.	средна	бърза
EEPROM	да	да	В	огр.	скъпа	асим.
Flash/SSD (solid state disks)	да	да	сектор	$10E5 \div 10E6$	средна	асим.

Магнитни дискови пакети HDD

- Организация – 4.6.1.
- синхронни двулицеви магнитни дискове ($d = 2.5'', 3.5''$ или $5''$) и подвижни маг. глави (от магнитната повърхност се ползва приблизително само външния инч)
- по-малките дискове са с по-бързо време за достъп на главите и по-висока скорост на въртене (заради по-доброто охлаждане)
- цилиндри, писти/пътеки (tracks), сектори и празни полета (gaps)
- блокове за еднократен достъп (логическо понятие) = 1+ сектора
- типични конструктивни параметри (4.6.2.):
 - 7200RPM / 8.3mS – преход между два последователни сектора (**latency, rotation time**)
 - 2 диска / 4 глави
 - 2^{14} (=16384) цилиндри
 - 2^7 (=128) сектора в писта
 - 2^{12} (=4096) байта в сектор
 - време на главите за позициониране (**seek time**)
 - старт+стоп 1mS и
 - преход между два съседни цилиндъра 1μS
- намерете
 - аксиалната и радиална плътност на запис б/инч и капацитета на даден модел магнитен дисков пакет
 - времето за преход между последователни сектора от една писта

Развитие на параметрите на HDD

	1987	2004	Коеф. на нарастване
производителност CPU	1 MIPS	2 000 000 MIPS	2 000 000
капацитет ОП	16 KB	1 GB	100 000
обмен ОП	100 μ S	2 nS	50 000
капацитет HDD	20 MB	300 GB	15 000
обмен HDD	60 mS	5.3 mS	11

HDD - устройство (4.8)



Паралелни HDD интерфейси

- ✦ остарели, с наследено приложение
- ✦ паралелен ATA (Advanced Technology Attachment), IDE (Integrated Drive Electronics)
 - ✦ към паралелен плосък кабел
 - ✦ директен паралелен интерфейс към 16-битова магистрала или посредством драйвер – към 32-битова
 - ✦ 28b адрес на сектор т.е. $2^8 \cdot 2^{20} = 256 \text{ Мсектора} \cdot 512 \text{ В} = 128 \text{ GB}$ (Enhanced IDE)
- ✦ SCSI (Small Computer System Interface, "Scuzzy")
 - ✦ универсален паралелен интерфейс ~60 линии (сега със серийна версия SAS) за свързване на до 16 периферни устройства по специален команден протокол
 - ✦ включва арбитражирателен протокол за достъп + TCP/IP
 - ✦ приложение – **RAID сървери** (Redundant Arrays of Independent Disks – дискови масиви за надеждни репликирани данни или паралелен достъп с висока производителност)

Серийни HDD интерфейси

➤ **сериен ATA (SATA)**

- сериен буфериран обмен – висока скорост, дистанция и надеждност 3Gb/S
- освен физическото ниво дефинира потребителски ориентирани протоколи
- поддържа конкурентни транзакции с възстановяване след грешка

➤ **Fiber Channel**

- оптичен интерфейс предимно към HDD – SAN (Storage Area Network)
- сериен обмен – протокола се поддържа и върху усукана двойка проводници
- модели на свързване (4.10)
 - FC-P2P – за 2 устройства
 - FC-AL (Arbitrated Loop) – с прекъсване на пръстена или с концентратор (hub); token-ring протокол, което го различава от P2P на 2 устройства
 - FC-SF (Switched Fabric) – арбитрищ концентратор за множествен достъп (аналог на Ethernet)

➤ **SAS (Serial Attached SCSI)**

- сериен интерфейс с асоцииран Initiator/Target (HDD/RAID) протокол
- без арбитриране – P2P
- високи скорости без фазово отместване (skewing)
- наборът команди поддържа не само HDD/CD/DVD но и скенери, принтери...
- по-скъпи устройства от SATA – за сърверни приложения

- други стандартни серийни интерфейси като **USB** и **IEEE1394** (FireWire) се свързват към HDD SAS или SATA посредством буфериращ мост (bridge=layer2switch; repeater/bridge/gateway)

Паралелни и серийни конектори



Ускорен достъп до HDD

- при обработката в ИС част от контекста е във вторичната или дори третичната памет
 - скоростта на обработка се опр. не толкова от алгоритъма в основната памет, а от операциите за пренос на данни в йерархията т.е. от броя операции за запис и четене на блокове
 - необх. от ефективна организация на достъпа
 - размер на блока (ниво ОС/СУБД)
 - организация на данните – многомерните таблици се записват във файлове и блокове със последователен достъп
- приложенията се организират с оглед минимизиране на операциите за достъп до вторичната памет – обичайно две фази:
 - разделна обработка на подобластите от контекста в основната памет и запис на резултатите във вторичната памет (обикновено алокация в нови блокове)
 - интегриране на резултата за отделните подобласти
 - възможен многофазен йерархичен вариант
 - напр. алгоритми за сортиране или търсене

Размер на блока

- ✦ цялата писта на един цилиндър е от порядъка на 512-1024KB и е възможно 1 сектор $\equiv$ 1 писта, както и блока да се състои от повече от 1 сектор
- ✦ плътността на записа нараства с промяна на магнитната глава и вертикалния запис (Nobel Prize Physics 2007) – 4.13.
- ✦ фактори за по-голям блок
 - ✦ пре-позиционирането на главите (seek time + rotation time) е 10ки пъти по-бавно от операцията на обмен (Ч/З)
 - ✦ напр. обмен на блок при BS=16KB е $\sim 0.1\text{mS}$; пре-позициониране на главите е средно 5-10mS
- ✦ фактори за по-малък блок
 - ✦ размера на информация в 1 писта/сектор
 - ✦ блок с повече от 1 сектор не е ефективен по време за достъп
 - ✦ големи части от блоковете може да остават незаети (контекстна зависимост)

Методи за ускорен достъп до HDD

- разполагане на свързаните данни в блокове на един и същ цилиндър: премахва времето за радиално позициониране (seek time) и възможно редуциране на времето за аксиално позициониране (rotation time a.k.a. latency)
- къс ход (short stroking) – неизползване на пълния капацитет за по-бърз достъп – 4.14. – в ОС чрез дялове (partitioning)
- разпределяне на данните между няколко диска с паралелен достъп
- репликиране/дублиране (mirroring) на данните на един и същи диск или на няколко диска – за защита освен за ускорен достъп
- планиране на операциите – ниво ОС или СУБД – определя реда на няколко конкурентни заявки за достъп до блокове, така че закъсненията между последователните заявки се минимизират – само при възможност на пренареждане на последователността
 - “асансьорен алгоритъм” (elevator algorithm) – заявките се пренареждат по реда на цилиндрите
- предварително зареждане на блокове в ОП – напр. съседни на заявления

Репликиране на данните

- ✦ поддържане на няколко копия на данните в различни дискове (mirrors)
- ✦ ускорени операции и отказоустойчивост
- ✦ при паралелен достъп до различни блокове данни планирането на операциите може да е динамично и да се използва диска с най-близко текущо разположение на главите
- ✦ **ускорява четенето** на ниво блок $\sim n$ пъти (по броя копия)
- ✦ **не ускорява записва**, но не го и забавя

Надеждност на информацията в HDD

- ✦ контролни и коригиращи кодове
- ✦ контролно кодиране с информационен излишък – напр. контролни суми (checksum)
 - ✦ проверка по четност (parity check) на битовете от сектора
 - ✦ еднобитова сума → 50% вероятност за откриване на грешка
 - ✦ повече контролни битове за "дълги грешки"; напр. 8 контролни бита – по един за всеки от последователните битове в байтовете; вероятност за откриване = $2^8/(2^8-1)$ (т.е. 1-1/256)
- ✦ репликиране на данните – mirroring (обикновено се прилага дублиране)
- ✦ групова защита в дисков масив за паралелен достъп до различни блокове "RAID Level 4" – фиг. 4.16
 - ✦ при **запис** на блок в един диск от масива е необходимо преизчисляване на контролния бит чрез предварително контролно четене на старата стойност и корекция в контролния диск
 - ✦ освен откриване на грешки – възможност за корекция при повреда на диск чрез възстановяване на информацията
 - ✦ RAID Level 5 и 6 се отнасят до повреда на два и повече диска

Спецификация на параметрите

Specifications	1 TB¹	750 GB¹	500 GB¹	250 GB¹
Model Number	ST31000340NS ST31000640SS	ST3750330NS ST3750630SS	ST3500320NS ST3500620SS	ST3250310NS
Interface	SATA 3Gb/s, 1.5Gb/s SAS 3Gb/s	SATA 3Gb/s, 1.5Gb/s SAS 3Gb/s	SATA 3Gb/s, 1.5Gb/s SAS 3Gb/s	SATA 3Gb/s, 1.5Gb/s
External Transfer Rate (Gb/s)	3.0	3.0	3.0	3.0
Performance				
Transfer Rate				
Maximum Internal (Mb/s)	1287	1287	1287	1287
Maximum Sustained (MB/s)	105	105	105	105
Cache, Multisegmented (MB)				
SATA	32	32	32	32
SAS	16	16	16	—
Average Latency (msec)	4.16	4.16	4.16	4.16
Spindle Speed (RPM)	7200	7200	7200	7200
Seek Time				
Average Read/Write (msec)	8.5/9.5	8.5/9.5	8.5/9.5	8.5/9.5
Track-to-Track Read/Write (msec)	0.8/1.0	0.8/1.0	0.8/1.0	0.8/1.0
Configuration/Organization				
Bytes per Sector				
SATA	512	512	512	512
SAS	512, 520, 524, 528	512, 520, 524, 528	512, 520, 524, 528	—
Reliability/Data Integrity				
Mean Time Between Failures (MTBF, hours)	1.2 million	1.2 million	1.2 million	1.2 million
Reliability Rating at Full 24x7 Operation (AFR)	0.73%	0.73%	0.73%	0.73%
Nonrecoverable Read Errors per Bits Read	1 sector per 10E15	1 sector per 10E15	1 sector per 10E15	1 sector per 10E15
Error Control/Correction (ECC)	10 bit	10 bit	10 bit	10 bit
Interface Ports				
SATA	Single	Single	Single	Single
SAS	Dual	Dual	Dual	—
Limited Warranty (years)	5	5	5	5

Адресиране в HDD - CHS и LBA

- BIOS поддържа логическо адресиране по блокове (LBA - Logical Block Address) и физическо адресиране по цилиндри и сектори (CHS - Cylinder Head Sector)
- достъпът (т.е. конверсията) се поддържа от функции на BIOS, които са достъпни чрез програмно прекъсване **INT 13h**
- LBA е последователно номериране [0, MaxBlock] - *настолен BIOS понастоящем* с 32 b за всеки дял (partition); обикн. блок≡сектор (512B) → възм. управление на дискове до 2TB (2048 GB); extended BIOS - 64b
- CHS формата се поддържа от *настолен BIOS понастоящем* с 24 битово адресиране (за 512 B-сектор максимален диск 8 GB):
 - цилиндър [0 - 1023] - 10b;
 - глава [0 - 255] - 8b;
 - сектор [1 - 63] - 6b

Картиране на LBA с CHS

- ОС адресират с LBA (по прост и по-обхатен адрес)
- $LBA = C * Num_Head * Num_Sec + H * Num_Sec + (S - 1)$
 - Num_Sec = бр. сектори в писта
 - (броя цилиндри не е от значение за конверсията)
 - LBA 0 $\rightarrow$ H 0, C 0, S 1
- Адресирането на съвременните дискове се поддържа от ОС с LBA, на базата на ECHS ([Extended CHS](#)) като се използват резервните стойности на **H**
- Задание: разгледайте стандартните процедури, които се интерпретират от [INT13 на BIOS](#)

Логическо разделяне на HDD - дялове

- дялът (partition) е логическа структура от последователни сектори; всеки сектор принадлежи най-много на един дял
- различните ОС се разполагат в различни дялове и достъпът до сектори от друг дял е невъзможен чрез INT 13h, но е възможен чрез адресиране на логическите дискове, обхващащи тези сектори
- наследено, но незадължително изискване е дяловете обхващат цели цилиндри, освен първия (най-външен) от който е отделен само нулевия сектор C/H/S=0/0/1 - резервиран за MBR (Master Boot Record – 512 B сектор в началото на многоделен HDD)
 - така първия дял стартира от C/H/S=0/1/1 (вместо от нов цилиндър 1/0/1)
 - MBD
 - съдържа таблицата с дяловете на диска
 - съдържа изпълним код при начално зареждане на ОС от диск
 - 32-битов идентификатор на HDD
- дялов сектор (partition sector) - описва всеки дял: начален и краен сектор, тип (първичен, вторичен, с ОС инсталация - bootable) и др.
- ОС-сектор (boot sector) - в началото на дял, който се използва за зареждане на ОС
 - съдържа програма, която стартира зареждането на ядрото на съответната ОС
 - в MS-OS само primary partition може да е bootable - т.е. съдържа ОС-сектор; останалата част от диска се обособява като един вторичен (secondary/extended) дял, който може да бъде разделен на няколко логически дискове (drive, volume)

Оптични носители на данни

- ✦ лазерен запис и светлинно четене (фотодиод) върху алуминиев диск – първоначално аналогов звуков формат, впоследствие универсален цифров запис на данни, структурирани във файлове
- ✦ пистата за **едностранен сериен** запис и четене на диска съдържа вдлъбнатини от лазерно облъчване с размери (данни за CD-стандарт!):
 - ✦ дълбочина * ширина * дължина : $\sim 100 * 500 * 850 \text{ nm}$
 - ✦ дистанция между съседни писти 1500 nm
 - ✦ дължина λ на вълната на лазерната емисия 780 nm (IR-сектор)
 - ✦ дълбочината на вдлъбнатините е $\sim 0.2 * \lambda$
- ✦ запис на данни - последователно:
 - ✦ CIRC (Cross-interleaved Reed-Solomon coding) – за откриване и корекция на грешка (1 контролен байт на 3 байта данни)
 - ✦ 8/14 модулация
 - ✦ NRZI-кодирание (non-return to zero, inverted) – 2 нива
 - ✦ възстановяване при четене – в обратен ред

Стандартни цифрови оптични носители

- CD-ROM (780 nm лазер – IR) – само четене
- CD-R (от recordable) – еднократен запис
- CD-RW – многократен запис
- DVD-ROM (650 nm лазер – червен) – само четене
- DVD-R и DVD+R – еднократен запис
- DVD-RAM, DVD-RW и DVD+RW – многократен запис
- BD, BD-R, BD-RE (Blue-ray Disc – 405 nm лазер – син) – четене, запис, презапис
- HD DVD [HD DVD-ROM, HD DVD-R, HD DVD-RW (High-Definition DVD – 405 nm лазер)

Оптична глава

- ✦ състои се от:

- ✦ лазерен източник

- ✦ в режим четене $\sim 5\text{mW}$

- ✦ [опция] в записващ режим $100 \div 225\text{mW}$

- ✦ записващият лазер е в импулсен режим и енергията му варира приблизително двойно по време на запис

- ✦ високите скорости на запис и форматите с по-висока плътност изискват по-високоенергийни лазери поради краткото време на въздействие

- ✦ фокусираща леща

- ✦ фотодиод

- ✦ електромагнитен серво-контрол на дистанцията от повърхността

- ✦ електродвигател за радиалното отместване

Оптичен запис

- ✦ на -ROM (т.е. фабричен запис) – механично щамповане на пистата върху гладка повърхност – едновременно се записва цял диск
- ✦ на $\pm R$ (т.е. еднократен запис) – лазерно (т.е. в случая топлинно) необратимо последователно прогаряне на непрозрачни области в прозрачен органичен слой върху рефлектиращата Al-повърхност
- ✦ на $\pm RW$, -RAM (т.е. с презапис) – прогарянето е в прозрачна кристална сплав, която минава обратимо в аморфна непрозрачна фаза
- ✦ еднослоен запис (масовият стандарт) – спираловидна прозрачна писта се гравивира фабрично в поликарбонатното покритие над рефлектиращата повърхност за запис; чрез нея се коригира и синхронизира траекторията на главата в режим запис
- ✦ двустранен запис – възможен, но непрактичен поради необходимост от обръщане на диска в устройството при четене
- ✦ двуслоен запис – на различна дълбочина чрез промяна на фокусното разстояние на лещата
 - ✦ горната рефлехторна повърхност е полупрозрачна
 - ✦ и двата слоя имат своя спираловидна водеща писта над съответната рефлехторна повърхност за запис; за горния слой пистата стартира отвътре навън, за долния – отвън навътре

Скорости на оптичен запис

- маркировка за скоростта на запис е спрямо стандартната скорост на четене от CD
 - 12x/10x/32x означава
 - запис CD-R 12* (1.76 MB/s)
 - запис CD-RW 10* (1.46 MB/s)
 - четене от CD 32* (4.69 MB/s)
- оптичният запис на данни има характеристиката на изосинхронен режим поради постоянната скорост и посока на въртене - без връщане назад
- за целта денните за запис се подготвят в буфери в основната памет
- по-нископроизводителни компютри могат да изпаднат в състояние на празен записващ буфер
 - загуба на носител или
 - рестартиране на целия запис

Оптично четене

- ✦ електромагнитния сервомеханизъм поддържа съответната фокусна дистанция от рефлекторната повърхност
- ✦ радиално-въздействащия елдвигител поддържа главата върху записаната спирална писта
- ✦ четене
 - ✦ на механични вдлъбнатини от ROM: базира се на гасящата интерференция на падащия и отразения от вдлъбнатината лъч (дълбочината на вдлъбнатината е кратна на дължината на вълната)
 - ✦ при прогорените непрозрачни петна в R/RAM падащият лъч изобщо не се отразява
 - ✦ наличието или отсъствието на отразен лъч се детектира от четящият фотодиод

Приложение на оптичните носители

- архивиране на данни – backup – носителите с еднократен запис са оптимални по отн. функционалност/цена
- компактни носители с голям капацитет
- приложения, толериращи ниска скорост на запис (неподходящи за вторична памет)
- “DVD-R...” и “DVD+R...”: +R е подобрена версия по отношение на
 - метод на синхронизиране на четенето спрямо контролната писта → по-малко грешки при по високи скорости (Ч и З)
 - при презапис +RW поддържа произволен достъп за презапис, докато -RW само презапис на цялото съдържание
 - съвременните устройства поддържат и двата формата
- “...-RAM” и “...-RW”:
 - RAM е с по-бързо четене (особено на къси файлове) поради запис в концентрични писти (цилиндри), докато при RW записът е в една спирална писта
 - и при двата формата размера на сектор е 2048 В – удобен и за къси файлове
 - RAM директно се поддържа от пове4ето ОС, докато RW изисква специализирани програми
 - RAM е с по-бавен запис от RW
 - RAM е с много повече цикли на презапис от RW (100 000 : 1 000)
 - RAM поддържа едновременни операции върху няколко файла, вкл. едновременно четене и запис
 - RAM-носителите са по-скъпи

Данни върху CD-ROM/RW

- ✦ една спирална писта (отвътре навън - така се допускат различни диаметри и форми на CD) с ширина 500 nm и междупистова дистанция 1.5 μ m
- ✦ кодирането поддържа EFM (eight-fourteen modulation, конверсия от 8- към 14-битови думи), в която се гарантират “1” при дълги последователности от “0” за да не може четящият лазер да загуби писата
- ✦ защита: коригиращ код срещу еднократна (1 бит) грешка
- ✦ [при audio CD]:
 - ✦ допълнителна информация за абсолютното разположение на озаглавени части от записа, както и текущото положение на главата, се добавят в кода (sub-coding), което позволява бърз преход по заглавия
 - ✦ срещу групова грешка (напр. одраскване) се прилага размесване на данните (interleaving) - непоследователен запис, т.е. данните, прочетени при последователни обороти, се преподреждат - загубите се отразяват на QoS
- ✦ CD-R[OM] и CD-RW
 - ✦ поддържат по-сложни коригиращи кодове за възстановяване на грешка 3. ниво CIRC (Cross-interleaved Reed-Solomon coding) – за откриване и корекция на грешка (1 контролен байт на 3 байта данни)
 - ✦ поддържат файлова система и планиране на файловете върху пистата, които обаче са неподходящи за презапис на малки файлове (при -RW)
 - ✦ формат на данните:
 - ✦ кадри (frames) по 24 В
 - ✦ сектори от 94 кадъра т.е. 2352 В, от които
 - ✦ Mode-1 (за данни) 2048 В данни (останалите за коригиращ код)
 - ✦ Mode-2 (аудио-видео файлове) 2336 В данни (къса корекция)
 - ✦ 333000 сектора (или блока) в единствената писта; Mode-1 CD-ROM = 682 MB

Съвместимост на устройства и носители

Устрой- ство	CD ROM	CD-R	CD- RW	DVD ROM	DVD-R	DVD+R	DVD- RW	DVD+ RW	DVD+ R DL	BD ROM	BD-R	BD- RE
Audio CD	R	R	R	N	N	N	N	N	N	N	N	N
CD ROM	R	R	R	N	N	N	N	N	N	N	N	N
CD-R	R	W	R	N	N	N	N	N	N	N	N	N
CD-RW	R	W	W	N	N	N	N	N	N	N	N	N
DVD ROM	R	R	R	R	R	R	R	R	R	N	N	N
DVD-R	R	W	W	R	W	R	R	R	R	N	N	N
DVD-RW	R	W	W	R	W	R	W	R	R	N	N	N
DVD+R	R	W	W	R	R	W	R	R	R	N	N	N
DVD+RW	R	W	W	R	R	W	R	W	R	N	N	N
DVD±RW	R	W	W	R	W	W	W	W	R	N	N	N
DVD+R DL	R	W	W	R	W	W	W	W	W	N	N	N
BD ROM	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BD-R	R	W	W	R	W	W	W	W	W	R	W	R
BD-RE	R	W	W	R	W	W	W	W	W	R	W	W

Терабайтови оптични носители

- ✦ Холографни оптични дискове и карти (HVD/C Holographic Versatile Disc/Card) – 4.30.1
 - ✦ R/W лазер (532 nm – зелен) и позициониращ лазер (650 nm – червен)
 - ✦ съотв. 2 повърхности – холографна повърхност данни и водеща рефлекторна повърхност
- ✦ 3D оптични носители – 4.30.2
 - ✦ няколко – повече от 2 – слоя данни, достъпни чрез промяна на фокусното разстояние (т.е. интензивността на св. лъч) на четящия лазер