

SSD-enheter som ersättare till skivminne i bärbara datorer:

en textbaserad jämförande studie

Kandidatavhandling

Petteri Karvinen

Åbo Akademi

2010

ABSTRAKT

SSD(Solid State Disk) har under de senaste vuxit fram på marknaden som ett betydande alternativ till skivminne i mobila datorer. I den här avhandlingen behandlas hur användningen SSD-enheter i mobila datorer skiljer sig från mekaniska hårddiskar. De flesta aspekterna som kan tänkas men betoning på hastighet kommer vara basen av jämförelsen. Som källa för detta papper används textbaserade jämförande studier.

upplägg:

I Introduktionen presenteras begränsningar med skivminne och vilka lösningar SSD-enheter erbjuder. Varav det viktigaste aspekten är förbättringar till den stagnerade utveckling i hastighet bland sekundärminne. Andra delen går in på SSD-enheternas uppbyggnad och minnesteknikerna som möjliggör enheternas funktionalitet. Där behandlas även problemställningar som SSD-tillverkare ställs inför och avvägningar med att använda NAND-flashteknik som en byggsten för lagringsminnet.

I den tredje delen formuleras jämförelsekriterierna och testmetoderna som används i testen. I därpå följande del presenteras själva jämförelsen med hjälp av resultat från ett antal studier angående prestanda i SSD-enheter. I sammanfattningen konstateras att övergången till SSD-diskar redan har börjat och kommer fortsätta göra det i allt större grad även i fortsättningen. SSD-diskar erbjuder en överlägsen prestanda jämfört med hårddiskar och kommer i och med det sjunkande priset per GB för NAND-flashminne som är det huvudsakliga minneskomponenten. Orsaker varför SSD-diskens utspridning inte har skett snabbare konstateras bero på det höga priset per GB och en del Odåligt designade produkter som tillverkarna släppt ut på marknaden.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INTRODUKTION	4
2. TEORI	5
2.1 SKIVMINNE	5
2.2 SSD	5
2.2.1 NAND-flash	6
2.2 MINNESSTRUKTUR	8
2.2.1 FTL (Flash translation Layer)	9
2.2.2 Minnesuppbyggnad	9
2.2.2 Minnesaccess i en SSD	9
2.2.2 Cacheminne	9
2.3 UNDVIKNING AV MINNESSLITAGE	9
2.3.2 Skriv amplifikation	10
2.3.1 Garbage collection	10
2.3.1 Over-provisioning	10
3. JÄMFÖRELSE OCH RESULTAT	11
3.1 JÄMFÖRELSEKRITERIER FÖR SEKUNDÄRMINNE	11
3.2 LÄSHASTIGHET	12
3.3 SKRIVHASTIGHET	13
3.4 STARTTID OCH START AV PROGRAM	13
3.6 LAGRINGSKAPACITET	13
3.7 LIVSLÄNGD.....	14
3.1 STRÖMFÖRBRUKNING.....	14
3.7 FORMFAKTOR, MOBILITET OCH KOSTNADSASPEKTER	15
4. SAMMANFATTNING	15
REFERENSER:	17

1. INTRODUKTION

Bakgrund

Sedan bärbara datorernas tillkomst har skivminne varit standardlösningen som sekundärminne i persondatorer. Dagens prestandakrävande processer har dock skapat prestandakrav för lagringsminne krav som utvecklingen av skivminnehastigheten hos inte lyckats hålla ikapp. Eftersom utvecklingen av skivminne främst riktat sig på ökad lagringskapacitet medan utvecklingen av skriv- och läshastigheterna har stått stilla har även gapet på hastighet mellan primärminnet och sekundärminnet blivit stort. I moderna persondatorer har därmed hårddiskar effektivt blivit en flaskhals i processer som kräver access till sekundärminne.

I bärbara datorer uppkommer även andra svagheter vid användningar av skivminne. Skivminnet utsätts för hårddiskarna stötar inne i datorn som kan ge upphov till minnesförluster på de diskens mekaniska delar störs. Ett annat krav som bärbara datorer sätter har är snabbare återhämtning från viloläge, vilket är ett problem eftersom hårddisken tar sekunder att uppnå full funktionalitet från viloläge. Även hög strömförbrukning och värmeutsläpp vid hög belastning är som producenter och användare av bärbara datorer har menat hårddiskar.

Under de senaste fem åren har en SSD-teknik slagit igenom som förutspås ersätta hårddiskar. Solid State Diskar eller SSD:ar har funnits ett tjugotal år med har under de senaste åren gjort stora kliv mot allmän användning. Till motsats från hårddiskars magnetiska skivor använder SSD:ar icke volatilt flash- eller RAM-minne för att lagra data. Ändå kan en SSD accesseras av resten av omgivningen på samma sätt som en hårddisk.

Bland persondatorer används i huvudsak SSD:ar med NAND flash minne som byggstenen för minnesstrukturen. SSD-enheter erbjuder enligt leverantörernas specifikationer klart överlägsen prestanda än hårddiskar. Siffror på över 100x snabbare sekventiell läsning och 100 gånger snabbare slumpmässig accesstid. Även strömförbrukningen hos en SSD är inte innehåller rörliga delar och i de flesta fallen uppgörs av flash-minne är även strömförbrukningen

Varför SSD tagit över skivminne på den kommersiella marknaden? Den prestandamässiga ledningen skulle syfta på en snabb övergång till SSD:ar som den ledande typen av sekundärminne i mobila datorer. I följande kapitel diskuteras SSD-enhetens uppbyggnad och vilka svårigheter tillverkarna ställs inför.

2. TEORI

Bakgrund

Med sekundärminne menas minne dit all data som inte ryms eller tar upp resurser i onödan i primärminnet lagras eller ska långtidsförvaras och därmed inte kan sparas i primärminnets volatila minne. Prisstrukturen på minnestyper har lett till att snabbare minnen används de högre nivåerna i minnesarkitekturen medan långsammare och till lagringskapaciteten större minnen används längre ner i hierarkin. I tabell x kan vi se olika minnestyper med riktgivande läshastigheter och latensen samt deras vanligaste användningsområden i moderna datorer. (tabell på vanliga minnestyper)

2.1 Skivminne

Skivminne har länge varit det mest använda lagringsminnet i bärbara datorer. Hårddiskar använder rörliga mekaniska delar för att lagra data. Magnetiska skivor inne i hårddisken roterar runt sin axel medan en mekanisk arm rör sig diagonalt och läser/skriver data till/från skivan. Läsningen och skrivning på hårddisken sker i block. (Här kommer ett förklaring på block och LBA)

2.2 SSD

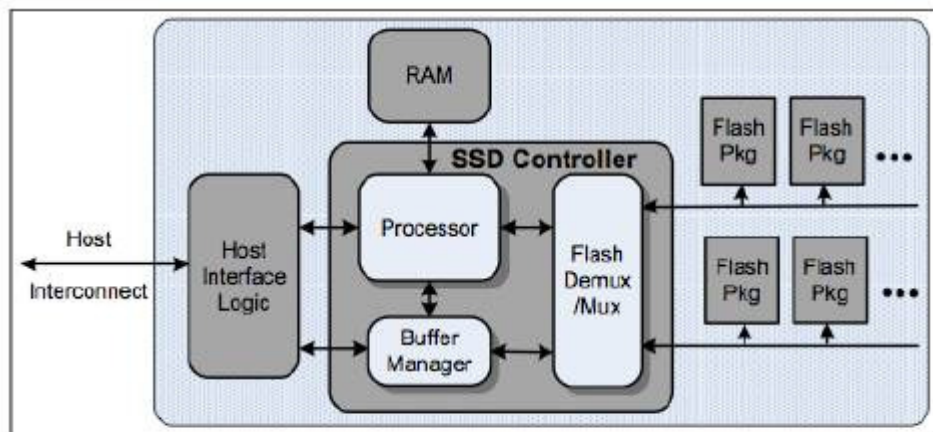
Det finns en del olika definitioner på vad en SSD egentligen är. I den här avhandlingen kommer SSD användas i betydelsen en icke-mekanisk enhet som använder sig av halvledare en att lagra data men är elektriskt, mekaniskt och ur mjukvarusynvinkel fungerar som en konventionell hårddisk.

I Figur 1 illustreras det grundläggande upplägget för logiska komponenterna inne i en flashminnebaserad SSD-enhet. Gränssnittslogikkretsen (Host Interface Logic)

hanterar SSD-enhetens kommunikation med övriga komponenter i datorn över ett gränssnitt(USB, SATA, ESATA, Firewire).

SSD-controller verkställer skrivningar och läsningar till och från minnet samt sköter om virtualiserar samma funktionalitet som en vanlig hårddisk. Controllern sköter även om skräpsamling och de flesta andra funktionerna inne i SSD:n. SSD-controller är lätt den mest avancerade komponenten i en SSD. Trots att den är en den viktigaste delen kommer den endast behandlas ytligt på grund av komplexiteten.

Som illustrerat i Figur 1 har de flesta SSD:ar ett RAM minne. I RAM-minnet sparas data från skriv- och läsoperationer temporärt för att förbättra prestanda och minimera antalet skrivningar till flashminnet, som illustreras till höger i Figur 1. Egentliga lagringen av data sker med förändring av elektriska egenskaper i icke volatil minne.. För tillfället används tre typer av minnestekniker i SSD:ar: flashminnesbaserade, RAM-baserade och hybrider av de förenämnda. Ett flashminnesstruktur illustrerat till höger i Figur 1. Vidare finns det SSD-enheter som använder sig av SCL(Single Layer Cell) –flashminnesceller och MLC(Multi Layer Cell)-flashminnesceller. Eftersom SSD-enheter till bärbara datorer så gott exklusivt är gjorda minne av typen NAND-flash och kommer därmed andra minnestyper inte behandlas i denna text (1).



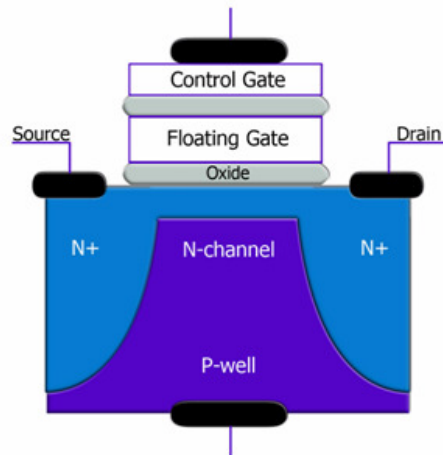
SSD Logic Components

Figur 1: Byggstenarna i en SSD-enhet

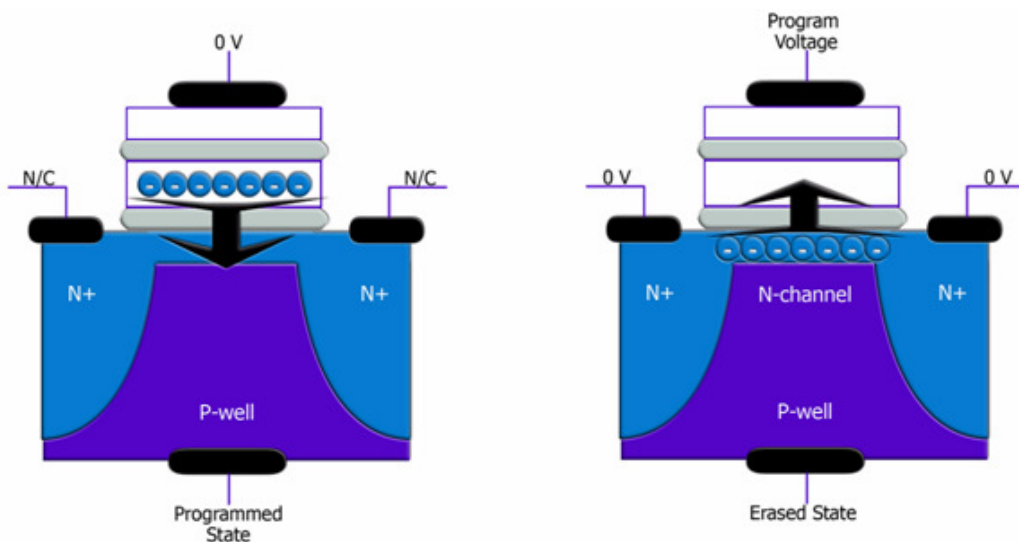
2.2.1 NAND-flash

Majoriteten av alla kommersiella SSD-enheter använder, som tidigare konstaterats, NAND-flashminne som lagringminne. En NAND-flashminnescell,

som den minsta byggstenen i ett NAND-flashminne, är uppbyggda av en floating gate MOSFET transistor. I cellen används transistorens elektriska egenskaper för att spara en eller flera bitar. I figur 2 illustreras de upplägget hos en normal NAND-flashminnescell.



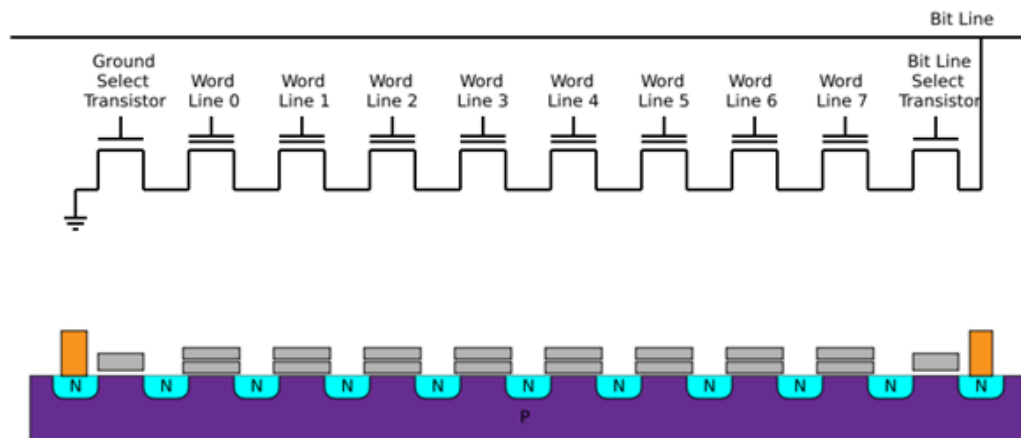
Då en spänning kopplas till control gaten bildas en negativ laddning i vilket gör att en elektrisk laddning kan leda från Source till Drain. För att skapa en programmerad cell läggs en laddning i floting gate



Figur 2: En floating gate transistor i (till vänster) programmerat tillstånd och (till höger) icke programmerat tillstånd.

För att kunna spara fler än en bit per cell måste flera tröskelnivåer användas då laddningen i floating gaten regleras. Användning av allt mindre formfaktor på minnescellerna leder till att mindre antal elektroner kan sparas i floating gaten vilket kan leda till att en laddning kan läcka. Läckningen är speciellt problematisk

i MLC-minnen där skillnaderna i tröskelspänningarna är små. Cellerna kopplas i serier för att bilda ord, Se figur 3. NAND struktur används eftersom upplägget sparar på antalet fysiska kopplingar i mediet.



3: Kopplingsschema för ett ord uppbyggt av NAND-flash minnesceller.

I SCL(Single Cell Layer) flashminne representerar varje minnescell en bit. I tekniken används endast en tröskelspänning för att representera en logisk 0:a eller 1:a. I MLC- minnesmoduler kan varje minnescell representera två eller flera bitar. För att kunna spara flera bitar används (antalet bitar)² spänningströsklar för att representera de logiska bitarna. Stukturen bidrar till att latensen hos MLC-minnen är 3 till 4 gånger sämre än hos SLC- minnen och läshastigheten försämras en del. MCL-minnen har även en högre grad bitfel eftersom . Även livslängden är sämre hos MLC-minnen. för tillfället existerar MLC-minnen med två och tre bitar per cell, dock använder majoriteten av alla SSD:ar 2xMLC.

2.2Minnesstruktur

Minnesaccess till NAND-minnen sker i block, på samma sätt som alla andra masslagringsenheter. Varje block består normalt av sidor på 2048 eller 4096 bytes. Det är möjligt att läsa enskilda Bytes eller ord från ett flashminne men på grund av flashminnets egenskaper måste hela block raderas före skrivningar. Då hela blocket har blivit raderat kan skrivning ske i vilken del av del tömda blocket. Teoretiskt sett går det att tömma enstaka satta bitar inne i block utan att hela blocket raderas, men eftersom moderna SSD-enheter använder sig av FTL(Flash Translation Layer) kan endast hela block raderas.

2.2.1 FTL (Flash translation Layer)

(Här kommer ett stycke om FTL)

2.2.2 Minnesuppbyggnad

(Här kommer ett stycke om hur minnet uppdelas i block, sidor och en enförklaring på flashpaketen interleaving
(bild på)

2.2.2 Minnesaccess i en SSD

Minnesaccess till en SSD fungerar ur användarens och operativsystemets synvinkel på samma sätt som till en hårddisk. Även om den fysiska strukturen i flashminnet är mycket olik skivminnet så ser SSD-controllern till att logiska mappningen av minnet fungerar på samma sätt.

2.2.2 Cacheminne

För att snabba upp läsning från sekundärminne använder de flest hårddiskarna och SSD-enheterna ett internt cacheminne. I cache minnet lagras data temporärt i volatil minne för att undvika accesser till det långsammare minnet. I SSD-enheter används cacheminnet även för att undvika slitage av flashminnet.

2.3 Minnesslitage

Endast ett begränsat antal radera och skriv operationer kan utföras på varje flashminnescell före de tappar kapaciteten att hålla laddningen. När en transistor förstörs hela blocket oanvändbart. Det ställer till problem i SSD och måste lösas med tekniker som *slitage jämning*. Majoriteten av moderna flashminnen kommer med garantier på runt 100 000 radera och skriv operationer, men SCL (Single Cell Layer) flashminneschips med garantier på över en miljon radera och skriv operationer har utgetts av ett flertal tillverkare.

I en rapport av Sandisk (2) identifierar olika typer av orsaker till förbrukningen av flashminnesceller i en SSD-enhet. Användarapplikationer, bakgrundsapplikationer, operativsystemets funktionalitetsoperationer och interna operationer i SSD skriver alla data i flashminnet. De förenämnda grupperna

orsakar 20-60% av slitage av fysiska minnesceller, vilket utgör att alla måste optimeras för minskad minneskrivning.

2.3.2 Skriv amplifikation

En av större kompromisserna med användningen av icke volatilt flashminne är skriv amplifikation. Ifall data som ska skrivas in i SSD-minnesblock inte fyller hela blocket och blocket inte är tomt måste blocket först läsas och kombineras med det nya innehållet före egentliga skrivningen börja. Ifall exempelvis en användare vill skriva en 512 bits fil in på i SSD med filsystem med 4KB stora block måste ett 8 gånger så stort område skrivas om. SSD-controllern måste använda någon form av slitage fördelning för att balansera ut antalet skrivningar på de fysiska flashminnesmodulerna (2).

2.3.1 Garbage collection

Eftersom det finns lediga block behöver SSD-controllern inte utföra lika många skräpsamlingsoperationer för att frigöra lediga LBA:n. För att kunna utföra skräpsamling finns det i SSD-enheten inbyggt, för användaren gömd, kapacitet. Den gömda kapaciteten är speciellt viktig då den använda kapaciteten närmar sig den totala användbara kapaciteten. För att utföra skräpsamling skrivs data temporärt till det gömda minnesblocket och skrivs sedan tillbaka. Antalet reservblock som kan användas då ett minnesblock går sönder ökar också linjärt på SSD livslängd. Den använda kapaciteten har även en inverkan på SSD-minnets hållbarhet och prestanda. Ifall använda kapaciteten är låg är även sannolikheten att LBA är tom och SSD undviker onödiga RMW operationer (2)

2.3.1 Over-provisioning

En annan metod använd i moderna SSD-enheter är *over-provisioning*. Block som innehåller giltig data förbereds för skrivning genom att kombinera giltig data med andra med giltig data från andra block. De tomma LBA:n som uppkommer då over-provisioning är komplett kan skrivas till utan RMW. Förhandsradering ska dock hållas till ett minimum eftersom processen innefattar många skrivningar så. Bäst resultat får då block med små mängder giltig data kombineras.

Skriv cache används av så gott som alla SSD:ar för att minska antalet skriv operationer till flashminnet. Data från skriv operationer sparas temporärt i ett

cacheminne för att bli kombinerade med andra skriv instruktioner före skrivningen till ett block i flashminnet sker. Till exempel kan operativsystemet också påverka slitage och prestanda med användning av *write check enable* välja att endast skriva data in i cacheminnet och därmed undgå onödig skrivning till flashminnet.

Alla dessa metoder är högt beroende på vilka algoritmer tillverkaren använder i SSD och hur operativsystemet läs och skriv operationer. Drar slutsatsen att SSD-enheter är komplexa och alla dess funktioner kan inte summeras utan att djupare förståelse av SSD-controllern och tas inte upp vidare i den här texten.

3. Jämförelse och resultat

3.1 Jämförelsekriterier för masslagringsminne

Som hjälp för att jämföra dessa i denna jämförelse kommer jag utgå från produktspecifikationer på mellanklassen hårddisk av Samsung och SSD från tillverkaren Intel. Valet av jämförelseobjekten används endast för att ge en riktgivande överblick på skillnaderna. Resultat från andra studier på SSD-teknik kommer även användas

Kriterierna som användningen av bärbara datorer ställer på masslagringsminnet skiljer sig i viss mån ifrån stationära datorer. Förutom lagringskapacitet, prestanda och livslängd som utgör de huvudsakliga kriterierna på sekundärminnet i en stationär dator får aspekter som strömförbrukning, stötsäkerhet och fysiska formfaktorer en mycket större betydelse.

För normala användare är det svårt att utgående från specifikationerna som leverantören ger utgöra hur enheten presterar. Det stora omfånget av sätt att presentera prestanda och andra måttssiffror gör det svårt att ur tillverkarens specifikationer evaluera skillnader mellan SSD. Jag har inte funnit ett standardiserat mätningssätt att kvantifiera prestanda hos SSD:ar, utan leverantörer använder långt sina egna mätningmetoder. I "A methodology for Extracting

Performace Parameters in Solid State Disks” presenterar dock Jung, Kim och Huh metoder för att determinera egenskaper hos SSD:ar. Genom att analysera hastigheter hittade de bland annat blockkluster storleken hos de testade SSD-enheterna.

På grund av den underliggande skillnaden minnestrukturen går det heller inte att jämföra SSD på enligt samma standarder som skivminne. För att klara av att bestämma hastigheter för hos hårddiskar måste sektorstorlekar, söktiden, rotationsfördröjning och geometrisk information beaktas. På grund av de underliggande skillnaderna i uppbyggnaden av minnesstrukturen i SSD-minnen, se kapitlet 2.x, måste prestandaberäkningar behandlas på ett annat sätt. Storleken på skrivoperationerna har på grund av skrivamplifikation också en inverkan på SSD-enheters genomströmningshastighet (3).

3.2 Läsastighet

Hastigheten är mest begränsad på gränssnittets överföringshastighet. Parallellismen och korta lästiden av en flashminnesenhet gör att prestigemodellens SSD:ar kan fylla genomflödningshastighet av idag använda SATA gränssnittet. En SSD-enhet kan läsa i praktiken vilket block som helst med samma accesstid. Eftersom SSD:ar förlitar sig på elektriska signaler spelar det ingen skillnad var i den fysiska accessen sker. Hårddiskar däremot måste flytta läshuvudet till rätt position och vänta tills skivan har roterat till rätt sektor. Random accesstiden för läsning blir därmed också betydligt snabbare i SSD:ar än hårddiskar. I tabell 1 ser vi att genomsnittliga söktiden och latensen tiden är exponentiellt snabbare hos SSD-disken.

Tabell 1: Av leverantören givna specifikationer för en medelklassens 2,5-tums SSD och hårddisk (3) (4)

	SSD - Intel X18-M	HDD- Samsung HM250HI
Lagringskapacitet	80 GB	250 GB
Rotationshastighet	-	5400rpm
Sekventiell läshastighet	250 MB/s	138MB/s
Sekventiell skrivhastighet	70 MB/s	138MB/s
Genomsnittliga söktiden	0,065 ms	12ms
Genomsnittliga Latens	0,065 ms	5,6ms
Tid från Viloläge till full	-	4s

funktionalitet		
Oåterställbara läsfel	1 sektor på 10 ¹⁶ bitar	1 sektor på 10 ¹⁴ bitar
Strömförbrukning - aktiv	0,150 W	2,5 W
Strömförbrukning - vilotillstånd	0,075 W	0,85 W
Vikt	76 g	96 g

3.3 Skrivhastighet

Det svårt att bestämma "real world" världen för skrivhastigheten på grund av att block måste vara "tomma" före det går att skriva på dem. Det går inte lita på transfer rate som är leverantören lovar eftersom den är beroende på den använda kapaciteten, storleken på filerna som ska skrivas in i minnet och vilka algoritmer SSD-enhet använder (se sektion 2.4). Ur tabell 1 ser vi att sekventiella skrivhastigheten är flera gånger långsammare än läshastigheten.

3.4 Starttid och start av program

En mobil dator måste startas om eller läggas i viloläge oftare än stationära datorer. Vid starten av en modern dator läser bootstrap loadern in operativsystemet in i primärminnet från sekundärminnet. Användning av SSD-enheter som sekundärminne kan, på grund av bland annat snabbare sekventiell läshastighet, vara flera sekunder snabbare än en hårddisk att uppstarta. I en av Intels interna studie konstateras att startupptiden för en kombination av applikationers starttider sjönk med 41 procent hos testanvändarna då SSD-enheter användes i bärbara datorer i jämförelse till hårddiskar (6).

Ytterligare kan icke volatil minne kan användas som inte befinner sig i en SSD användas i samband med SSD-enheter för att snabba upp minnesaccess. Som exempel kan nämnas Intels Turbo Cache som stöds av Microsofts nyare operativsystem. I fall detta minne används i samband med en SSD för snabbas upp starten av en dator ytterligare.

3.6 Lagringskapacitet

Hårddiskar är för tillfället en högre lagringskapacitet. Tillverkare har lyckats producera 2.5-tums hårddiskar med en lagringskapacitet på 1TB, medan största lagringskapaciteten hos SSD-enheter i samma fysisk mått ligger på 512GB. Det

finns dock rum för kapacitetsökning bland SSD-diskar. Utvecklingen av allt mindre formfaktor på NAND flashminnesceller som följer Moores lag betyder att SSD-tillverkare kan rymma mera kapacitet i en allt mindre fysiska enheter. Framträdande av MLC-baserade SSD:ar har under de senaste åren orsakat att tillverkare kunnat producera exponentiellt större lagringkapacitet. Ifall minnestillverkarna lyckas utveckla MLC-minnesceller som kan pålitligt kan representera fyra bitar kan leda till en fördubbling i lagringskapaciteten.

3.7 Livslängd

Som redan har blivit konstaterat i sektion 2.3 är största begränsningen på en SSD-enhets livslängd att skrivning på minnescellerna. Eftersom det finns många orsaker som sätter att undvika att en cell ser flera skrivningar än resten av cellerna blir det också svårt att bestämma livslängden för en SSD. SSD-enheter har heller inte varit i storskaligt bruk lika länge så det existerar inte omfattande empirisk data på SSD:ars livslängd.

Sandisk och Western Digital har dock utvecklat egna system för att bestämma livslängden på SSD. Båda tillverkarnas system går i praktiken ut på att evaluera en normalbelastning som en SSD utsätts för och köra en simulering av belastningen under en begränsad tid. Utgående från belastningen uträknas den estimerade TB som kan skrivas till sedan omformuleras till livslängd i år efter ett specifikt antal GB skrivet per dag (2), (3).

(Här kommer ett stycke om en studie om projicerade livslängden på några SSD:ar)

3.1 Strömförbrukning.

I bärbara datorer har strömförbrukningen en essentiell effekt på användbarheten. Strömförbrukningen är en viktig aspekt av den mobila datorn som även gäller minnen. Hårddiskar har på grund av sina fysiska egenskaper en betydligt större strömförbrukning än SSD-minnen. Största skillnaden märks då disken ska starta upp från viloläge och måste nå rätt varvtal vilket kräver mycket energi medan flashminne är direkt läsbar.

Ur hårddisk- och SSD-tillverkarnas egna specifikationer går det framleda att NAND-flash baserade SSD:ar förbrukar betydligt mindre energi, både i viloläge och då enheterna

är aktiva. Utöver strömförbrukningen som nämns i hårddiskars specifikationer bör det påpekas att det går åt en substantiell mängd energi att få hårddisken att rotera i rätt hastighet efter att den varit i viloläge. Ur tabell 1 går det att utläsa att en klar minskning i strömförbrukning både i diskarna är i vilotillstånd och då diskarna är aktiva. Vidare kan nämnas att i en av Intels interna studier konstaterades en i medeltal 59-70 minuter länge livstid på då man övergick till SSD:ar från hårddiskar (6).

3.7 Formfaktor, mobilitet och kostnadsaspekter

(stycke om formfaktor och mobilitet)

Då en användare väljer sekundärminne åt sig bör kostnader för skivans hela livslängd ses över. Sett ur pris per GB är hårddiskar fortfarande överlägsna SSD:ar. I april 2010 gick det att köpa en 250GB 2,5-tums hårddisk för under 50€, medan en MLC SSD med samma lagringskapacitet kostar över 500€. Även om SSD-enheter i skrivande stund har en högre begynnelsekostnad kan driftskostnaderna göra SSD-enheter finansiellt sett bättre för företag och privat användare. Minskad dötid på grund av högre för användaren på grund av ökad pålitlighet samt ökad prestanda. Hårddiskkrascher är dyra i både den förlorade datan och återhämtningen av datan. Fatale kraschar gör att SSD slutar oftast att minnet fortfarande är läsbart men förlorar skrivförmågan.

4. Sammanfattning

Mitt syfte med den här uppsatsen var att jämföra SSD-enheten som en ersättare till hårddiskar i bärbara datorer. Hårddiskar har redan en längre tid varit flaskhalsen i moderna datorer och SSD-minnen verkar vara lösningen till problemet. Jämförelsen resultat talar för en övergång till SSD:ar som det huvudsakliga sekundärminnet i bärbara datorer.

I denna uppsats framgår det att SSD-enheter är klart överlägsna hårddiskar när det gäller minnesaccesser och pålitlighet men idag fortfarande erbjuder en sämre pris/kapacitet förhållande. Det inte längre lika lätt att rekommendera hårddiskar

som första alternativet vid val av sekundärminne. NAND-flashminnet, som de flesta av standard 2,5 tums SSD-enherna använder, har utvecklats efter Moores lag vilket fortfarande försämrar hårddiskens ställning.

Även om SSD – enheter redan har en framträdande ställning har de inte ännu slagit igenom på den mobila marknaden på sättet som de överlägsna fördelarna. En del av trögheten kan sättas på konsumenternas ovillighet att adaptera en ny teknik, där en del dåligt designade SSD-skivor släppts ut på marknaden av tillverkarna. Det har visat sig vara svårt att konstruera en väl designad SSD-enhet på grund av design kompromisserna med användningen av NAND-flashteknik. Som skutsats kan dras att det redan idag för de flesta användare är rekommenderbart att använda SSD-enheter som lagringsminne i bärbara datorer. Även om SSD:ar har övergått från en produkt för tidiga brukare till den stora massan av användare av bärbara datorer. Endast ifall användaren vill ha stora mängder data förmånligt kan hårddiskar vara ett alternativ.

Referenser:

1. *Solid State Drive Application in Storage and Embedded Systems*. **Intel**. 2009, Intel Technology Journal | Volum 13, upplaga 1.
2. **Sandisk**. *Longterm Data Endurance (LDE) for Client SSD*. 2008.
3. **Western Digital**. *NAND Evolution and its Effects on Solid State Drive(SSD) Usable life*. 2009.
4. **Pon, Harry**. *NAND Flash Read/Write Cache Directions for the Personal Computing Platform*. s.l. : Intel Corporation, 2008.
5. **Peter, Desnoyers**. *Empirical Evaluation of NAND Flash Memory Performance*. Montana : Hotstorage '09 Big Sky, 2009.
6. *Design Tradeoffs for SSD Performance*. **Agrawal, Nitin;ym**. s.l. : Microsoft Research, Silicon Valley, 2008. Proceedings of the USENIX Technical Conference, June 2008.
7. **Koltsidas, Ioannis ja Viglas D., Stratis**. *Flashing Up the Storage Layer*. Auckland : PVLDB, 2008.
8. *Comparing Performance of Solid State Devices and Mechanical Disks*. **Polte, Milo;Simsa, Jiri ja Gibson, Garth**. Austin,TX : s.n., 2008. Proceedings of the 3rd Petascale Data Storage Workshop held in conjunction with Supercomputing '08.
9. **Dorteen, Oren**. *The Hot, New Netbook Market: What Makes it So compelling?* s.l. : Sandisk Corporation, 2008.
10. **DeVetter, Doug ja Buchholz, Dave**. *Improving the Mobile Experience with Solid-State Drives*. s.l. : Intel Corporation, 2009.
11. **Intel Corporation**. *Intel X18-M/X25-M SATA Solid State Drive- 34 nm Product Line, Product Manual*. s.l. : Intel Corporation, Januari 2010.
12. *HDD vs SSD Is the Future of HDD almost Over?* **Chrysotis, George**. s.l. : University of Southampton, 2009. 4th Annual Multimedia systems, Electronics and Computer Science, .
13. **Toshiba Corporation**. *MK1059GSM 2,5 inch hard drive Product Specifications Sheet*. 2010.