

Thunderbolt – en teknisk översikt

Måns Christian
Eklund

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Medieteknik
Identifikationsnummer:	2595
Författare:	Måns Eklund
Arbetets namn:	Thunderbolt – en teknisk översikt
Handledare (Arcada):	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>En dator har idag många olika portar och sammankopplingsmöjligheter. Det kan ibland vara svårt att hålla reda på alla olika kablar som sammankopplar datorn till dess kringutrustning. I och med att Intel nyligen kommit ut med en ny teknologi som heter Thunderbolt, har man kanske en lösning till problemet med de många kablarna. Detta arbete tar upp Intels utvecklingsprocess från vad som först kallades för Light Peak till dagens Thunderbolt. Arbetet presenterar vad Thunderbolt är på en teoretisk och praktisk nivå, samt vad Intel har för planer för teknologin i framtiden. Thunderbolts egenskaper tas upp och hur denna teknologi kan tillämpas. Även andra allmänna sammankopplingsteknologier tas upp. Dessa är USB 2.0, USB 3.0, FireWire 800, eSATA och HDMI. En jämförelse mellan dessa teknologier och Thunderbolt görs på följande områden; överföringshastighet, ström uteffekt, praktisk tillämpning och kopplingsmöjligheter. Arbetet stävar till att svara på frågorna ”Vad är Thunderbolt?”, ”Vilken är teknologin bakom Thunderbolt?”, ”Vilka är för- och nackdelarna?” och ”Finns det liknande teknologier?”. Slutligen presenteras en slutsats på Thunderbolt i jämförelse med de övriga teknologierna. Eftersom Thunderbolt är en rätt så ny teknologi görs inga egna experiment eller test i detta arbete, utan istället presenteras den dokumentation och information som finns tillgängligt på internet om Thunderbolt.</p>	
Nyckelord:	Thunderbolt, sammanlänkningsteknologi, bandbredd, USB 3.0, FireWire 800, HDMI, eSATA
Sidantal:	34
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	27.9.2011

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Media Engineering
Identification number:	2595
Author:	Måns Eklund
Title:	Thunderbolt – a technical overview
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>A computer has many ports and connection possibilities. It can sometimes be difficult to keep track of all the cables going to the peripherals surrounding the computer, which could be a problem. With Intel releasing a new technology named Thunderbolt, this problem could be a thing of the past. This thesis addresses the development process by Intel from, what was first known as Light Peak, to what today is called Thunderbolt. The thesis also explains Thunderbolt on a theoretical and practical level as well the future plans Intel has for Thunderbolt. Other general interconnect technologies are brought up. These are USB 2.0, USB 3.0, FireWire 800, eSATA and HDMI. A comparison between these technologies and Thunderbolt is made on the following subjects; transfer speed, power output, practical use and connection possibilities. The aim of the thesis is to answer the questions “What is Thunderbolt?”, “What is the technology behind Thunderbolt?”, “What are the advantages and disadvantages of Thunderbolt?” and “Are there any similar technologies to Thunderbolt?”. Finally a conclusion on Thunderbolt in comparison with the other I/O technologies is made. Because Thunderbolt is a new technology, experiments or tests were not possible. Instead documentation and information from the Internet is presented.</p>	
Keywords:	Thunderbolt, interconnect technology, bandwidth, USB 3.0, FireWire 800, HDMI, eSATA
Number of pages:	34
Language:	Swedish
Date of acceptance:	27.9.2011

1	Inledning	5
1.1	Syfte och mål	5
1.2	Avgränsning	5
2	Utvecklingen av Thunderbolt	7
2.1	Light Peak	7
2.2	Thunderbolt	7
3	Teknologin bakom Thunderbolt	11
3.1	Protokollarkitektur	11
3.2	Kontrollerarkitektur	13
4	Andra I/O teknologier	17
4.1	USB 3.0 (USB2.0)	17
4.2	FireWire 800	18
4.3	eSATA	19
4.4	PCI Express 2.0	19
4.5	HDMI 1.4	20
4.6	DisplayPort 1.2	21
5	Jämförelser	23
5.1	Överföringshastigheter	23
5.2	Ström uteffekt	24
5.3	Praktisk tillämpning	25
5.4	Kopplingsmöjligheter	27
6	Slutsatser	29
	Källor	32

1 INLEDNING

Det är vanligt att det kopplas många kablar till en dator är i dagsläget. En skärm är kopplad till datorenheten, en mus och ett tangentbord likaså. Kanske även en extern hårddisk och ett par högtalare kopplas till datorn. Det här blir många olika kablar att hålla reda på. I det här fallet en DVI-kabel, två USB-kablar, en Firewire och en ljudkabel med 3,5 mm plugg. Jag har aldrig tyckt om trasslet med en massa kablar. Med Thunderbolt, en ny input/output(I/O) teknologi från Intel, kanske man kan undvika detta trassel i framtiden.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att redogöra om vad Thunderbolt är, hur teknologin fungerar och vad den har för potential. Nack- och fördelarna med Thunderbolt kommer att utforskas. Även jämförelser mellan Thunderbolt och andra I/O-teknologier kommer att göras. Ett annat mål med detta arbete är även att ta reda på om det finns konkurrerande teknologier till Thunderbolt.

Forskningsfrågorna är:

1. Vad är Thunderbolt?
2. Vad är teknologin bakom Thunderbolt?
3. Vilka är fördelarna med Thunderbolt?
4. Vilka är nackdelarna med Thunderbolt?
5. Finns det liknande teknologier som Thunderbolt?

1.2 Avgränsning

Jag kommer att hålla mig till USB 3.0, FireWire 800, eSATA och HDMI i jämförelserna. USB 2.0 kommer att tas upp, eftersom det är det vanligaste gränssnittet men jag kommer att fokusera på USB 3.0. USB 3.0 är på kommande och kommer troligtvis att vara en central I/O-

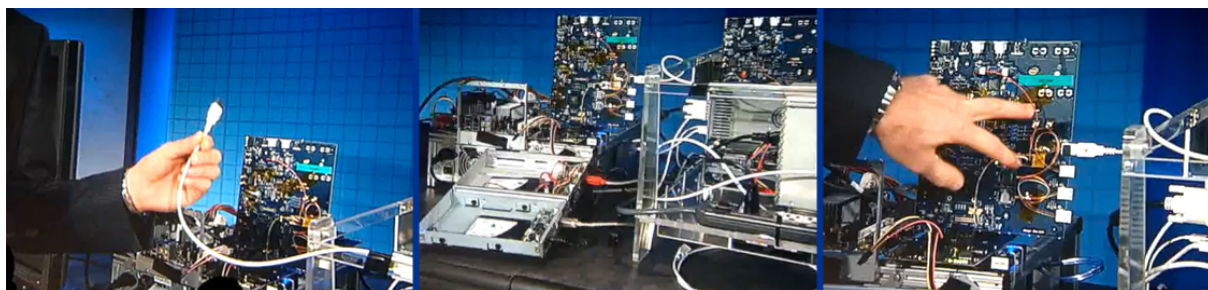
kanal för apparater eftersom porten är bakåt kompatibel med USB 2.0 kontakten. FireWire 400 är ett utgående I/O och ser därför ingen relevans till detta arbete.

Då jag talar om den maximala överföringshastigheten i arbetet, menar jag den teoretiska maximala överföringshastigheten. I praktiken är den maximala överföringshastigheten alltid en aning lägre och det finns olika faktorer som saktar ner den, som t.ex. mjukvara och kablarnas kvalitet.

2 UTVECKLINGEN AV THUNDERBOLT

2.1 Light Peak

Intel Thunderbolt introducerades för första gången med sitt kodnamn som Light Peak på Intel Developer Forum (IDF) 2009. Light Peak kördes på en Mac Pro dators moderkorts prototyp. Två 1080p videoströmmar kördes, samt LAN och lagringsenheter. Under den här tiden gick det många rykten om Apples roll i utvecklingen av Light Peak, men dessa rykten blev aldrig officiella. Enligt det officiella utlåtandet på Intels hemsida, var deras vision att medieöverföring skulle ske snabbare, kontakter mellan apparater skulle förenklas, samt att det skulle främja nya och spännande sätt att bygga och använda datorer. Att slå ihop höghastighetsdataöverföring och HD-videokontakter (High Definition = Hög Definition) till en kabel är en viktig del av att förverkliga visionen, enligt Intel. Några kommersiella prototyper visades upp på Intel Developer Forum i september 2010. (Saif Al Falah 2011 och Melissa J. Perenson 2011)



Figur 1. Intels demonstration av Light Peak på IDF 2009 (Youtube.com 2011)

2.2 Thunderbolt

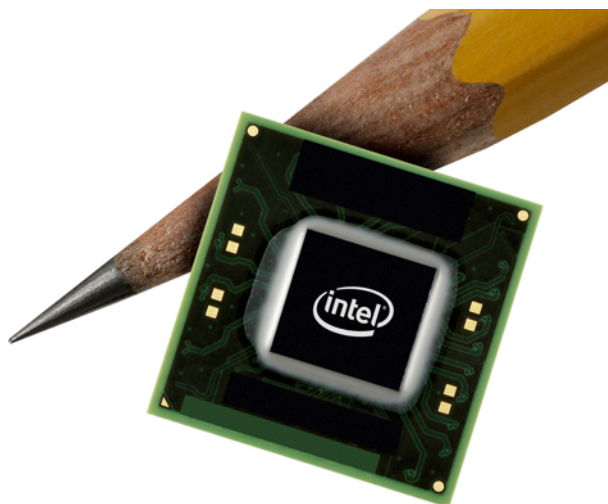
Efter många års utveckling visade Intel slutligen upp nästa generations dataöverföringsteknologi. Den nya Thunderbolt standarden representerade en förändring i den underliggande teknologin och en potentiell förändring i hur vi kommer att arbeta i framtiden. Thunderbolt började som ett projekt i Intel Labs och var ursprungligen uttänkt att vara en optisk teknologi, med optik i kablarna och i apparatens värdstyrenheter. Planerings- och

marknadsföringschefen för Thunderbolt, Jason Ziller, förklarar idén bakom Thunderbolt på följande sätt: "... att skapa en enda kabel som stöder höghastighetsöverföring och flera protokoll samt att hantera explosionen av datalagring som HD-video och annan digital media bidragit till". På CES 2011 (International Consumer Electronics Show) trodde tillverkare att Light Peak inte skulle dyka upp på marknaden på länge. Då uppstod rykten om att Intel skulle byta bort den optiska kontakten. Efter detta lanserades Thunderbolt. Thunderbolt namnet ersatte Light Peak, eftersom Intel hade ändrat på sin "endast optiska strategi". I stället blev Thunderbolt en höghastighets, dubbelprotokolls överföringsteknologi som använder elektrisk koppartråd.



Figur 2. Intels logo för Thunderbolt (Intel 2011)

Kabeln, tillsammans med Thunderbolts värdstyrenheter, kan komma upp i en överföringshastighet på 10 Gbit/s per kanal, alltså 20 Gbit/s i en riktning och 40 Gbit/s i total överföringshastighet. Thunderbolt stöder protokollen för både PCI Express och DisplayPort. Intel säger att PCI Express valdes på grund av dess flexibilitet och DisplayPort för att den är optimerad för användning med datorn. Varje kabel innehåller två oberoende dubbelriktade kanaler. Bandbredden kan fördelas över flera enheter. Thunderbolt stöder kedjekoppling, i det här fallet med upp till 7 enheter. "Vi bestämde att en elektrisk kontakt var möjlig genom att ha en innovativ design på kabeln och att tillverka den på ett mera kostnadseffektivt sätt.", säger Ziller om valet att avstå från det optiska. "Den elektriska lösningen är billigare för att det inte krävs en elektrisk till optisk sändtagare." Det enda som går förlorat i valet av koppar är möjligheten till långa kablar. Kopparkablarna är begränsade till en längd av 3 meter. För dem som behöver extra långa kablar kommer dock längre optiska kablar att finnas tillgängliga. "Vi har inte övergett idén av en optisk koppling.", säger Ziller. "Vi tror fortfarande på att optiken finns i vår framtid och att den kommer att vara nödvändig i framtiden. Vi bedriver ännu forskning och utveckling i det."



Figur 3. Intels logo för Thunderbolt (Intel 2011)

De första produkterna med Thunderboltport är Apples MacBook Pro modeller som utkom den 24 februari 2011. Om Thunderbolt håller sitt löfte, kan teknologin gå om konkurrerande höghastighetsöverföringsteknologier, USB 3.0, eSATA och FireWire 800. En ytterligare fördel är att Thunderbolt inte överbelastar processorn vid dataöverföringar. Detta ger användaren möjlighet att använda maskinen till andra uppgifter medan dataöverföring sker i bakgrunden. Thunderbolts låga latens och noggranna 8 nanosekunders synkroniseringstid på alla kedjekopplade enheter kan underlätta och snabba upp medieproduktion. Tidsförvaltningsenheten är integrerad i Thunderbolts kontroller på varje enhet, vilket betyder att enheterna kan kommunicera sinsemellan och således synkroniseras. Thunderbolt är kompatibel med skärmar baserade på DisplayPort 1.1 och senare versioner, samt har en kontakt som är baserad på Mini DisplayPort.



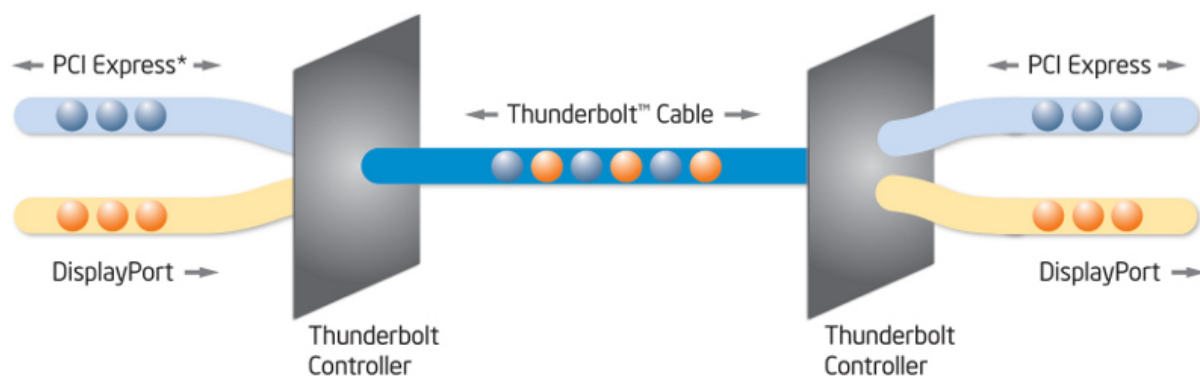
Figur 4. Thunderbolt kontakt (Intel 2011)

Det kan ta en tid före Thunderbolt potentiellt ersätter någon annan teknologi. ”Den kompletterar de andra I/O överföringsteknologierna som vi arbetar på, USB 3.0 och PCI Express.” säger Ziller. ”Vi ser inte Thunderbolt som en ersättare till USB. USB är en viktig kanal för I/O för alla produkter och Intel kommer i fortsättningen att stöda det till 100 %.” Enligt Ziller kan man kanske se Thunderbolt teknologin i PC:n i början av 2012. Detta betyder att Apple kommer att ha ett stort försprång jämfört med resten av marknaden. Företaget Lacie meddelade att deras Little Big Disk (extern hårddisk) kommer som Thunderbolt version på marknaden före sommaren 2011. Western Digital och Promise Technology sägs även utveckla produkter för det nya gränssnittet. Dessutom har professionella audiovisuella leverantörer såsom Aja, Apogee, Avid, Blackmagic och Universal Audio meddelat stöda Thunderbolt. (Melissa J. Perenson 2011)

3 TEKNOLOGIN BAKOM THUNDERBOLT

3.1 Protokollarkitektur

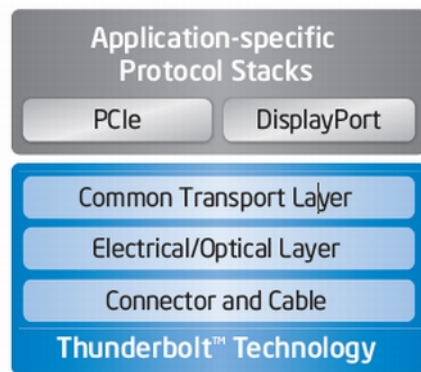
Thunderbolt teknologin är baserad på en intelligent kopplingsvävsarkitektur med full-duplex länkar. Till skillnad från buss-baserade I/O-arkitekturer (en buss består av flera kablar/kanaler på vilka information kan färdas mellan komponenter eller enheter) har varje port på datorn den fulla bandbredden i båda riktningarna, utan delning av bandbredd mellan portar eller mellan mot- och medström. Protokollarkitekturen för Thunderbolt kan illustreras enligt figur 5. En Thunderbolt kontakt har två full-duplex kanaler. Båda kanalerna har en bandbredd på 10 Gbit/s i båda riktningarna. Thunderbolt kontakten på en dator kan kopplas till andra Thunderbolt-enheter eller till DisplayPort enheter.



Figur 5. PCI Express- och DisplayPortdata transporteras mellan Thunderbolt kontrollers över en Thunderbolt kabel (Intel 2011)

I hjärtat av Thunderbolts protokollarkitektur finns transportlagret. Transportlagret har en energisnål växlande arkitektur samt ett paketformat med låg tilläggslast. En flexibel QoS (Quality of Service) möjliggör multiplexeringen av PCI Express-transaktioner med DisplayPort kommunikation på samma länk. I transportlagret hittas även en symmetrisk arkitektur som stöder flexibla topologier (stjärn, träd, kedjekoppling osv.) och P2P-nätverkskommunikation mellan enheter samt ett tidssynkroniseringsprotokoll. Denna låter

Thunderboltprodukter som är kopplade inom samma domän synkronisera med varandra inom 8 ns.



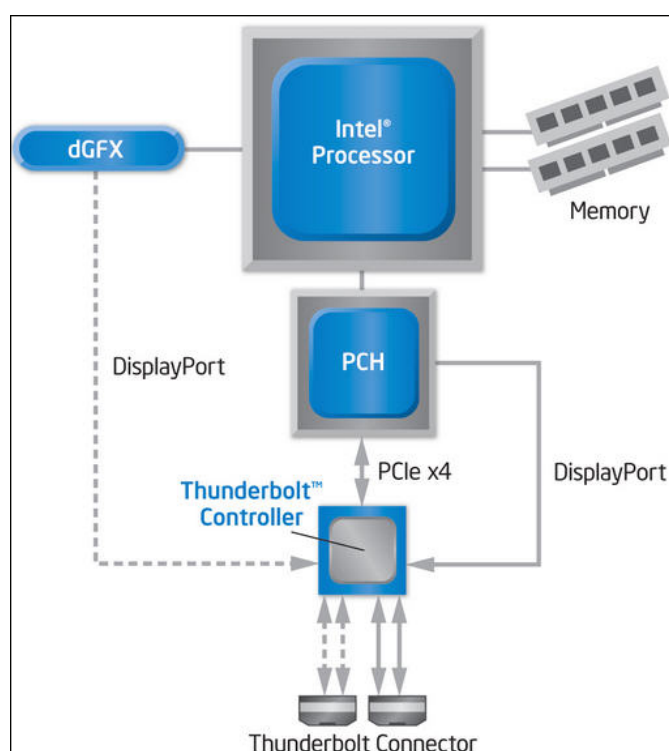
Figur 6. Arkitekturen för Thunderbolt teknologin (Intel 2011)

DisplayPort och PCI Express protokollen är implementerade i transportlagret. En protokolladapter gör inkapslingen av protokollinformation till paket för transportlagret. Rutten för inkapslade protokollpaket, mellan en källenheter och en destinationsenhet, kan korsas över många Thunderbolt styrenheter. En protokolladapter på destinationsenheten återskapar det inkapslade protokollet på ett sådant sätt att det inte går att skilja från vad som togs emot av källenheter. (Intel 2011)

Det spekuleras att Thunderbolt till en början troligtvis kommer att användas för att snabbt och enkelt komma åt externa lagringsenheter. Genom sin struktur kan Thunderbolt även köra audio- och HD-videosignal. Den parallella kompatibiliteten för lagring och video/audio standarder uppnås genom protokollstöd för både PCI Express och DisplayPort. En annan viktig aspekt är att Thunderbolt inte är ett nytt protokoll, utan är baserat på PCI Express och DisplayPort. Existerande protokoll som USB, SATA, DVI and DisplayPort m.fl. fungerar alla under Thunderbolt. USB är ett öppet format men det är däremot inte Thunderbolt. Företag som vill implementera Intels Thunderbolt i sina produkter måste köpa kontrollerchip av Intel samt betala eventuella royalties. (Michael Hoenig 2011)

3.2 Kontrollerarkitektur

Thunderbolt-styrenheten är byggstenen i skapandet av produkter med Thunderbolt teknologi. I styrenheten finns en korskopplingsprotokollväxlare, en eller flera Thunderbolt portar, samt en eller flera DisplayPort protokolladapterportar. I styrenheten finns även en PCI Express växel, med en eller flera PCI Express protokolladapterportar. De externa gränssnitten för en Thunderbolt styrenhet beror på användningen av systemet som styrenheten är kopplad till. Ett implementeringsexempel på värdsidan av en Thunderbolt styrenhet kan ses i figur 6. Thunderbolt styrenheter på värdsidan har en eller flera DisplayPort kontakter, en PCI Express kontakt samt en eller flera kontakter med Thunderbolt teknologi. Genom att integrera alla dessa kontakter i ett Thunderbolt-chip, är det relativt enkelt för dator- och elektroniktillverkare att arbeta in Thunderbolt teknologi i sin egen design. Thunderbolt teknologin utnyttjar PCI Express och DisplayPort drivrutinerna som redan i dag finns installerade på många operativsystem. Detta innebär att ingen extra mjukvara måste utvecklas för användningen av en produkt med Thunderbolt teknologi. (Intel 2011)



Figur 7. Blockdiagram exempel över Thunderboltanslutningar i datorsystem (Intel 2011)

Thunderbolts styrenhetschip är installerat parallellt med moderkortets chipset och drar således nytta av en x4 PCI-E 2.0 länk med PCH:n (Platform Controller Hub). Detta ger styrenheten en öppen förbindelse på 16 Gb/s för dataflöde. Då videosignaler skickas genom en dedikerad grafikprocessor (på engelska *Graphics Processing Unit, GPU*) behandlas HD-material skilt och använder inte bandbredd mellan kontrollern och PCH:n. Detta är möjligt eftersom Intel alternativt kan köra videosignaler ut via moderkortets egna dataskärmsutgångar, eller i detta fall via Thunderbolt. Om den så kallade ”on-die” grafikprocessorn används, passerar signalerna via PCH:n en gång till och använder därmed av den tillgängliga bandbredden. (Michael Hoenig 2011)

Eftersom Thunderbolt både kan sända och ta emot information, är det viktigt att inga flaskhalsar bildas. För att förbättra bandbredden vid överföring har Intel implementerat två duplex kanaler i arkitekturen. Detta betyder att bandbredden på 10 Gbit/s uppnås i båda riktningarna och delas inte av flera Thunderbolt portar.

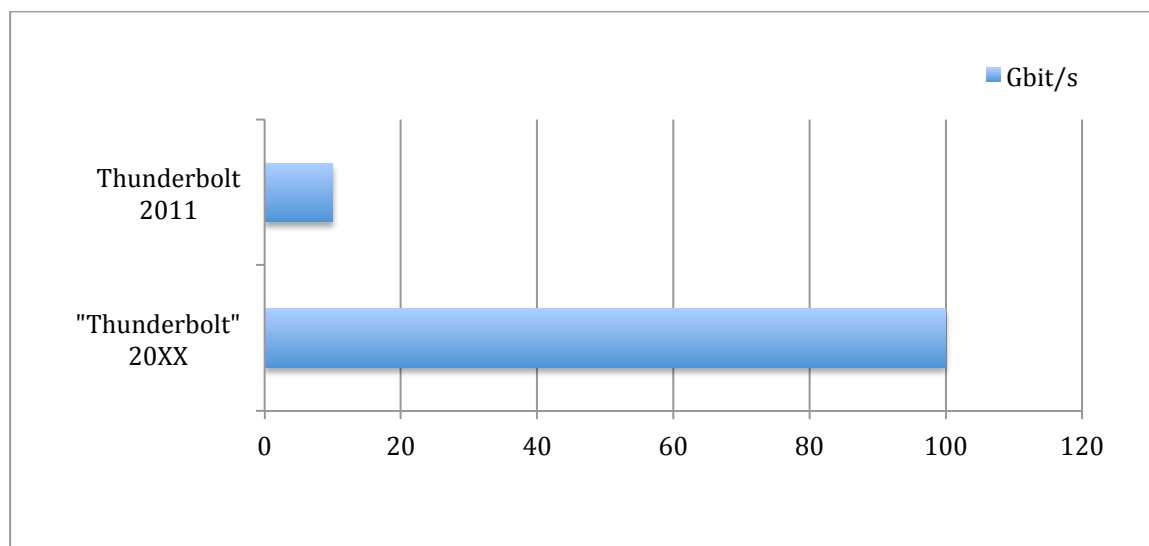
Med integreringen av PCI Express och DisplayPort standarderna kan man koppla många olika sorters enheter till Thunderbolt, allt från skärmar till externa RAID-datastrukturer. Enheter kopplade till Thunderbolt måste ändå ha Intels kontrollchip integrerat i sin konstruktion för att det hela skall fungera.

Intel har designat Thunderbolt med tanke på marknaden, en marknad som är mycket fragmenterad med många olika protokoll. Istället för att skapa en ny kontakt, för att gå ihop med sin nya teknologi, bestämde Intel sig för att använda sig av standarden Mini DisplayPort för sina Thunderbolt enheter. En standard DisplayPort kabel kan användas för att kopplas till en skärm eller HDTV, men för att Thunderbolts egenskaper skall kunna utnyttjas måste en Thunderbolt certifierad kabel användas. Med DisplayPort 1.2 kan man kedjekoppla flera skärmar till ett gemensamt gränssnitt. Intel har tagit detta ett steg längre genom att med Thunderbolt låta upp till sju enheter kedjekopplas från en port. Informationspaket kan sändas bredvid strömmar av audio och video.



Figur 8. Thunderbolt port på en Apple MacBook Pro (Apple 2011)

Med tanke på filöverföringspotential finns det ingen annan lösning som kommer nära Thunderbolts kapacitet. SATA 6G (eller SATA 3) och USB 3.0 kommer närmast Thunderbolt men har ändå en bit kvar. Intels planer på att snabba upp teknologin till 100 Gbit/s (12,5 GB/s) kommer att göra glappet ännu större. För tillfället uppnår både koppar- och optiska kablar upp till 10 Gbit/s, men fördelen med optiska kablar är att de kan sända data över längre distanser. Kopparkablar kan däremot leda ström till enheter som kan ta emot ström via databuss. Kopparkablar kan leda 10 W med en maximal längd på 3 meter. Detta innebär att externa enheter kan dra ström via Thunderbolt-kabeln och apparater kan laddas.(Michael Hoenig 2011)



Figur 9. Thunderbolts överföringshastighet i dag och i framtiden.



Figur 10. Kedjekoppling med produkter med Thunderboltteknologi (Intel 2011)

4 ANDRA I/O TEKNOLOGIER

4.1 USB 3.0 (USB2.0)

USB (på engelska *Universal Serial Bus*) är en standardteknologi för att koppla olika externa enheter till datorn. Teknologin är ursprungligen uppfunnen av en person som jobbat på Intel under 1990-talet. USB 3.0, även kallad SuperSpeed USB, är den senaste versionen.

Den viktigaste förbättringen med USB 3.0, jämfört med föregångaren USB 2.0, är dess snabbhet. USB 3.0 har en överföringshastighet på 5 Gbit/s. Överföringshastigheten på USB 2.0 är 480 Mbit/s och USB 1.1 hade en överföringshastighet på 12 Mbit/s. USB 3.0 är alltså 10 gånger snabbare än USB 2.0 och 40 gånger snabbare än USB 1.1.

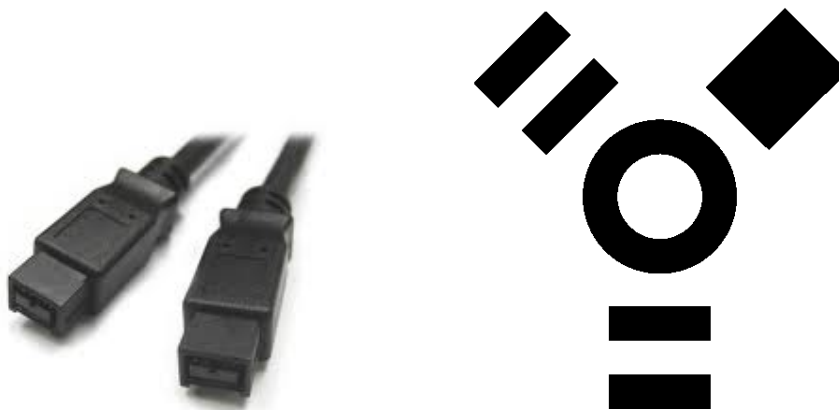
Den ”gamla” USB-kontakten består av fyra ledningar och informationen kan endast överföras i en riktning i taget. Den nya USB-kontakten har åtta ledningar och kan skicka information i båda riktningarna samtidigt. Det finns även mera ström i kabeln (4,5 W), vilket betyder att man inte behöver koppla både en USB-kabel och en elkabel (till exempelvis en extern hårddisk) utan endast en USB 3.0-kabel räcker. USB 3.0 stöder de ”gamla” USB versionerna, 2.0 och bakåt. (usb.org 2011)



Figur 11. USB 3.0 kontakter (usbgear.com 2010) och USB 3.0 logo (Entertainment Technology Center 2011)

4.2 FireWire 800

Firewire är en implementering av IEEE 1394-tekniken uppfunnen år 1995. Firewire används främst för att koppla kringutrustning, såsom externa hårddiskor och audio- och videoutrustning till en dator. FireWire-bussen kan ge en effekt på upp till 45 W (30 V, 1,5 A), men det beror på tillverkarna. Vanligtvis använder PC- och PC-komponenttillverkarna sig av 12 V och upp till 15 W per port. FireWire på en Mac varierar beroende på datormodell, från 12 V till 30 V och minst 7 W per port. Detta betyder att viss kringutrustning kan dra ström via FireWire-kabeln. Tekniken stöder plug-and-play, vilket tillåter användaren att koppla och koppla ur enheter utan att stänga av utrustningen. Eftersom FireWire använder P2P-nätverk, kan enheter kopplas till varandra utan att det behövs en dator.



Figur 12. FireWire 800 kontakter (hdcabling.co.za 2009) och FireWire logo (cockrellphotography.com 2009)

Den ursprungliga FireWire, FireWire 400, har en överföringshastighet på 400 Mbit/s. År 2002 introducerades IEEE 1394b, eller FireWire 800, med en överföringshastighet på 800 Mbit/s. FireWire 400 och FireWire 800 använder olika kablar men är kompatibla elektroniskt, vilket betyder att båda kontakterna kan användas tillsammans med adapters. (J. F. Amprimoz 2009 & 1394 Trade Association 2008 & Apple 2008)

4.3 eSATA

eSATA står för *External Serial Advanced Technology Attachment*. SATA eller Serial ATA är nästa generation av hårddiskgränssnitt och föregångaren är PATA eller Parallell ATA. SATA var ursprungligen designat som en intern I/O-teknologi. eSATA har en överföringshastighet på 3 Gbit/s och den maximala kabellängden 2 meter. Man kan koppla utrustning medan datorn är på. En nackdel med eSATA är däremot att extern utrustning kräver en extra elkabel för att fungera. (tech-faq.com 2011 och Silicon Image Inc 2010)



Figur 13. eSATA kontakter (pctuning.tyden.cz 2011) och logo (My Digital Life 2011)

4.4 PCI Express 2.0

PCI Express eller PCIe (*Peripheral Component Interconnect Express*) är tredje generationens system I/O teknologi. Den första versionen hette ISA, den andra generationen PCI och den tredje generationen PCI Express. PCI Express är designad för att användas som en generell serie I/O förbindelse. PCI Express kan användas som förbindelse till kringutrustning, som förbindelse från chip-till-chip och som brygga till andra förbindelseteknologier (t.ex. 1394b, USB 2.0 och Ethernet). PCI Express används främst som en förbindelse mellan moderkortet och andra komponenter så som grafikkort och ljudkort. Teknologin bygger sig på så kallade filer (på eng. *lanes*). En fil har överföringshastigheten 500 MB/s (4 Gbit/s) per riktning. Den

snabbaste PCIe typen är för tillfället PCIe 2.0 x16, med 16 filer och överföringshastigheten 8 GB/s per ritning. (Xilinx.com 2011 och 10stripe.com 2008)



Figur 15. PCI Express logo (PC INpact 2011)

4.5 HDMI 1.4

HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) är det första digitala gränssnittet som kombinerar okomprimerad HD-video, flerkanaligt ljud och data i en kabel.



Figur 16. HDMI 1.4 kontakt och logo (HDMI Licensing, LLC 2011)

Den nyaste versionen, HDMI 1.4, klarar av att skicka en resolution på maximalt 4096 x 2160p. Detta är tillräckligt för att sända två hela 1080p signaler, vilket innebär att 3D signaler kan sändas via HDMI 1.4 kabeln. Kabeln innehåller även en Ethernet-kabel med

överföringshastigheten 100 Mbit/s, vilket betyder att t.ex. televisionen kan kommunicera med datorn via kabeln, utan att behöva en extra nätkabel. HDMI-kabeln kan inte ge tillräcklig mängd ström, med 5 V och 50 mA, för att de flesta apparater skall fungera. (HDMI Licensing, LLC 2011)

4.6 DisplayPort 1.2

DisplayPort är ett öppet standard gränssnitt för bildskärmar utvecklat av VESA (Video Electronics Standards Association). Standarden håller på att bli antagen av PC industrin som det primära bildskärmsgränssnittet och kommer att ersätta DVI, LVDS och VGA. DisplayPort är det ända bildskärmsgränssnittet som stöder DVI, VGA och HDMI. Standarden används främst för anslutningar mellan PC:n eller DVD-spelare och bildskärmar, så som dataskärmar, projektorer och televisioner.



Figur 17. DisplayPort logon (VESA 2011) samt en Mini DisplayPortkontakt och en standard DisplayPort kontakt (Cognoscenti High Fidelity 2011)

I och med DisplayPort 1.2 dubblades den maximala överföringshastigheten från 10,8 Gbit/s till 21,6 Gbit/s. Version 1.2 var utvecklad att vara kompatibel med existerande DisplayPort system och kablar. Med DisplayPort 1.2 kan flera okomprimerade video- och audioströmmar transporteras över en kabel. Detta betyder att flera bildskärmar kan kedjekopplas eller

alternativt kopplas via en hub. Används en bildskärm kan man nå en resolution på högst 3840 x 2400 vid 60 Hz eller en 3D bildskärm (120Hz) med resolutionen 2560 x 1600. DisplayPort kabeln stöder dataöverföring på en maximal överföringshastighet på 720 Mbit/s i båda riktningarna, vilket är en passlig bandbredd för USB 2.0. StandardEthernet kan också transporteras i DisplayPort-kabeln. Ur DisplayPort-kabeln fås 3,3 V och 500 mA, vilket inte är tillräckligt för att driva t.ex. en extern hårddiskiva.(Vesa 2011)

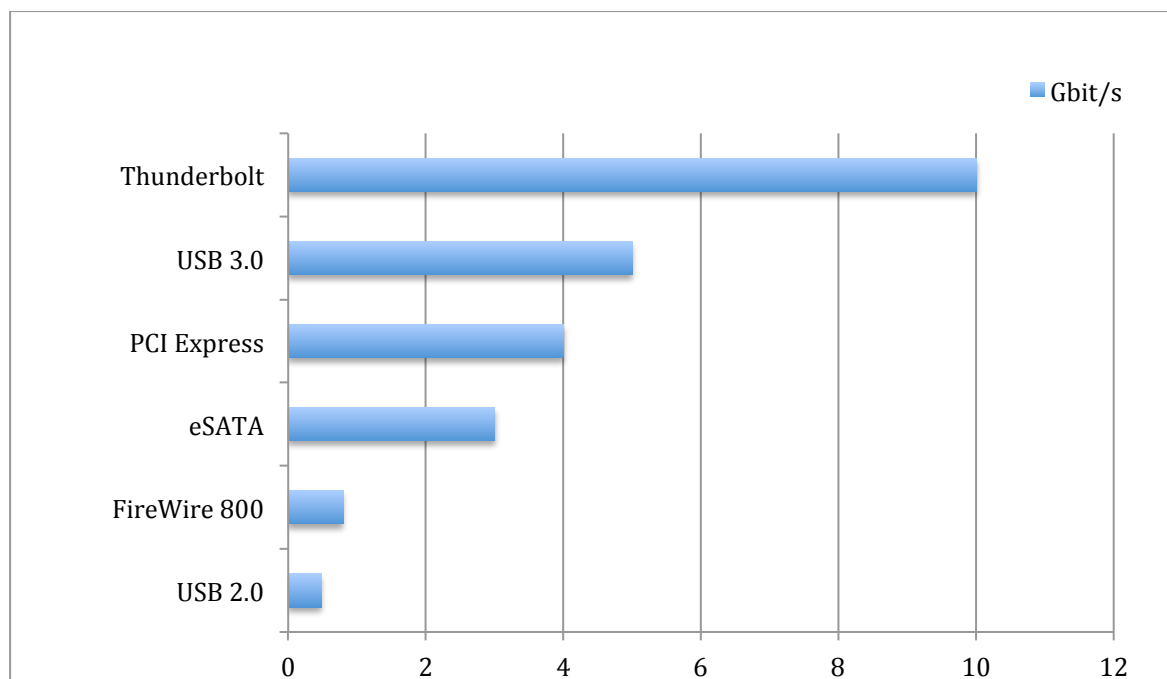
5 JÄMFÖRELSER

5.1 Överföringshastigheter

Intel kom ut med Light Peak på Intel Developers Forum år 2009. Meningen var att ersätta FireWire, USB och andra sammankopplingsteknologier med en fiberoptisk koppling som hade en överföringshastighet på upp till 100 Gbit/s i båda riktningarna. Övergången från koppar till fiber möjliggjorde ökade hastigheter samt längre kablar. I den första demonstrationen på Light Peak användes en fiberoptisk kabel för att sända dubbla 1080p strömmar, LAN-trafik samt filer till ett SSD RAID system. Thunderbolt kan använda sig av både koppar- och fiberkopplingar med en överföringshastighet på 10 Gbit/s i båda riktningarna. Detta är 20 gånger snabbare än den teoretiska överföringshastigheten på USB 2.0, 12 gånger snabbare än FireWire 800, nästan 3 gånger snabbare än eSATA, över dubbelt snabbare än PCI Express och dubbelt så snabbt som USB 3.0. Enligt Intel är Thunderbolts överföringshastighet inte teoretisk, utan det är en användbar bandbredd. Detta tillåter en port att kommunicera med flera enheter samtidigt, med en total genomströmning av 10 Gbit/s. Thunderbolt använder sig av Mini DisplayPort-kontakten, vilket är en miniatyr version av DisplayPort-kontakten och utvecklad av Apple. Framtida versioner av Thunderbolt kommer att använda sig av optiska kablar för att komma upp till 100 Gbit/s.

eSATA har många fördelar men även om den interna SATA överföringshastigheten på 6 Gbit/s implementeras i eSATA, kommer teknologin att vara betydligt långsammare än Thunderbolt och endast en aning snabbare än USB 3.0. Det börjar se ut som om eSATA:s livslängd börjar gå mot sitt slut. (Gary Marshall 2011)

Thunderbolt har högre överföringshastighet än USB 3.0 och eSATA tillsammans. Alla dessa gränssnittsstandarder har höga överföringshastigheter jämfört med USB 2.0, som toppar på 480 Mbit/s. eSATA har en maximal överföringshastighet på 3 Gbit/s, USB 3.0 5 Gbit/s och Thunderbolt dubbelt upp dvs. 10 Gbit/s. Intel skriver på Thunderbolts hemsida att detta är tillräckligt snabbt för att överföra en hel HD-film på snabbare än 30 sekunder.

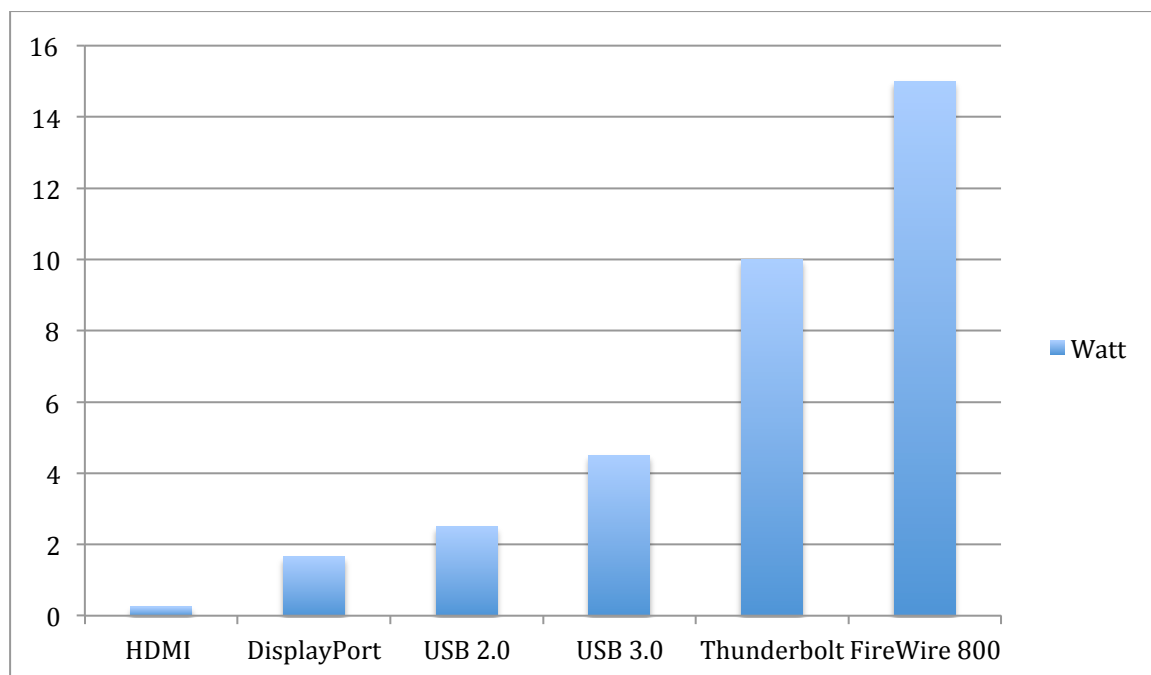


Figur 18. Olika I/O:s överföringshastigheter i båda riktningarna (på engelska full-duplex)

5.2 Ström uteffekt

Aktiva elektriska kablar (som innehåller ett chip som förbättrar prestandan på kabeln) kan vara upp till 3 meter långa, i likhet med nuvarande FireWire och USB standarder. Aktiva optiska kablar innehåller både en optisk fiberkabel för dataöverföring och en kopparkabel för ström upp till 10 W. Dessa kan vara tiotals meter långa. Passiva optiska kablar kan däremot potentiellt vara flera hundra meter långa.

Precis som FireWire, kan Thunderbolt portar ge ström till kopplade enheter t.ex. till externa hårddiskivor. Den totala effekten per port är 10 W och strömförsedda enheter kan skicka vidare strömmen till andra enheter vid behov.



Figur 19. Olika I/O-teknologiers effekter i Watt

Så gott som alla externa hårddiskivor som baserar sig på 3,5” tekniken kräver en extern strömkälla med högre än 2,5 W som USB 2.0 ger (500 mA och 5 V). Hårddiskivor baserade på den mindre 2,5” tekniken kräver oftast inte lika mycket ström och kan därför dra den via USB 2.0. Eftersom dessa hårddiskivor är fysiskt mindre är även kapaciteten mindre och också oftast prestandan. Som man kan se i figur X är det endast FireWire 800, USB 3.0 och Thunderbolt som ger en tillräcklig mängd ström för att driva externa tillbehör t.ex. externa hårddiskivor. (Patrick Schmid 2006)

5.3 Praktisk tillämpning

För tillfället är det endast Apple som tillverkar datorer med Thunderboltteknologi. Kringutrustning med Thunderbolt börjar dock dyka upp i reklamer från andra tillverkare (se figur 20) men dessa finns inte ännu att köpas. USB 3.0 enheter, främst hårddiskivor, finns däremot redan att köpas. Även eSATA hårddiskivor finns i relativ stor utsträckning. Lacie och Western Digital har bestämt sig för att implementera Thunderbolt i sina framtida produkter.

Företag som redan tillverkar PCIe och DisplayPort apparater kan även relativt enkelt börja tillverka Thunderbolt apparater.



Figur 20. Lacies Little Big Disk. Den första externa hårddisken med Thunderbolt (Lacie 2011)

Det finns väldigt många USB-apparater och USB 3.0 dyker upp i allting från bärbara datorer till tablets. USB 3.0 apparater finns redan till salu och t.ex. företag som Lacie och Western Digital båda kommer att finnas både på USB 3.0- och Thunderboltmarknaden, antyder detta på en liknande utveckling som USB och FireWire har genomgått. Konsumentprodukter använde sig oftast av USB och mera proffsiga apparater var utrustade med den mindre vanliga standarden FireWire. På grund av detta är USB mycket vanligare än FireWire i dag. (Gary Marshall 2011)

Thunderbolts närmaste konkurrent är således USB 3.0, som har en överföringshastighet på 5 Gbit/s, vilket är hälften av Thunderbolts överföringshastighet. Precis som Thunderbolt har USB 3.0 två kanaler för dataöverföring vilket betyder att man kan skicka data i båda riktningarna samtidigt med en överföringshastighet på 5 Gbit/s. En stor fördel med USB 3.0 är dess bakåt kompatibilitet. Man kan med andra ord koppla t.ex. en USB 2.0 enhet i en USB 3.0 port, men med överföringshastigheten begränsad till USB 2.0 standarden, vilket är cirka tio gånger långsammare (480 Mbit/s). Man kan också koppla en USB 3.0 enhet i en USB 2.0 port. Detta betyder att USB 3.0 kan användas med de redan miljoner existerande datorerna utrustade med USB-porter. (Chris Foresman 2011)

Thunderbolt stöder både DisplayPort och PCI Express protokoll över dess transport lager på 10 Gbit/s. En stor fördel med denna design är att Thunderbolt kan använda färdiga drivrutiner i operativsystemet för PCI Express samt DisplayPort och inga andra drivrutiner behövs. Skärmar utrustade med Mini DisplayPort är färdigt kompatibla och Mini DisplayPort adapters för VGA, DVI eller HDMI fungerar också med Thunderbolt. Genom att använda Thunderbolts styrenhet och vanliga PCI-bryggor kan adapters till FireWire, USB, eSATA och Ethernet kontakter tillverkas. Intels styrenhet hanterar all nödvändig växling mellan protokollen för PCI Express och DisplayPort. Detta innebär att data kan sändas samtidigt via båda protokollen och över samma kabel.

Kombinationen av en kompakt och billig styrenhet med den lilla Mini DisplayPort porten, gör att Thunderbolt passar bra in på den mobila marknaden. Ultra tunna datorer som t.ex. Apples MacBook Air eller Sonys Vaio S skulle i framtiden kunna kopplas till en högpresterande audio enhet för inspelning, till en RAID för nästan ögonblicklig backup samt till en extern HD-dataskärm – allt detta från samma port. Apple var med i utvecklingen av Light Peak eller Thunderbolt men stod fast vid att Thunderbolt är Intels teknologi och att den inte enbart skall användas i Apples datorsystem. Intel har även övertalat många andra företag att stöda Thunderbolt i sina framtida produkter. Bland dessa företag finns t.ex. AJA, Apogee, Avid, Blackmagic, Universal Audio samt de redan nämnda Lacie och Western digital. (Chris Foresman 2011)

5.4 Kopplingsmöjligheter

Eftersom varje Thunderbolt enhet har en liten styrenhet konstruerad av Intel (i likhet med FireWire) kan många enheter vara kedjekopplade till samma port. Dessa enheter kan kommunicera direkt P2P. Med Thunderbolt krävs inga hubbar (som med USB) för att koppla flera enheter till samma port. Det är inte heller datorns processor som initierar och hanterar kommunikationen mellan enheterna.

Thunderbolt integrerar två olika protokoll: PCI Express (PCIe) och DisplayPort. Detta innebär att man kan koppla många olika sorters enheter till gränssnittet t.ex. bildskärmar, externa hårddiskivor och videokameror. DisplayPort elementet i Thunderbolt är bakåt kompatibel, det vill säga att vilken som helst Mini DisplayPort kan kopplas till gränssnittet. Eftersom man med hjälp av adapters kan koppla så gott som vilken som helst annan I/O teknologi till Thunderbolt kan man kalla Thunderbolt för en universell I/O teknologi.

6 SLUTSATSER

Intel har utvecklat Thunderbolt för att förenkla en mycket fragmenterad marknad med alla dess olika protokoll. Intel har lyckats med att ta bra element från olika teknologier, integrera dessa och dessutom öka på överföringshastigheten dramatiskt jämfört med konkurrenterna. Thunderbolt har överläget då det kommer till prestanda och kopplingsmöjligheter samt att teknologin är användarvänlig. Konsumenter både vill ha och har ett behov av ett gränssnitt som Thunderbolt. Digital distribution håller snabbt på att ersätta distributionen av fysisk media och behovet att snabbt komma åt stora filer på nätverk blir allt större. Människor har inte tid eller tålamod att sitta och vänta på att filer överförs från en enhet till en annan. Hushåll lagrar allt mera digital media, så som HD-video eller megapixel stora bilder. Detta betyder att behovet av att ta hand om sitt eget datacenter blir allt viktigare och det är där man kan spara tid med Thunderbolt. Ingen tycker om att vänta på överföring av data. Det var därför man för ca tio år sen ständigt utvecklade allt snabbare CD:n och CD-stationer. Samma fenomen sker nu med så gott som alla lagringsteknologier. Man kan dock fråga sig ifall 10 Gbit/s sekund verkligen är nödvändigt eller om det räcker med 5 Gbit/ som USB 3.0 erbjuder.

För att Thunderbolt skall bli en port som är standard på datorer och finns överallt måste industrin adoptera teknologin i både arbets- och konsumentprodukter samt i lagringsenheter och andra system. Priset har också en betydande roll i hur stor del av marknaden Thunderbolt kan erövra. Vissa stängda teknologier så som FireWire och Intels egna WiDi har högre implementerings kostnader (genom royalties och styrenhetskostnader) än vad de flesta företag är villiga att betala. I dessa fall var det andra öppna billigare teknologier (USB) som tog marknaden istället. Enligt Intel kommer Thunderbolt att existera parallellt med USB 3.0 och dessutom komplettera gränssnittet. Detta betyder i praktiken att enheter som stöder Thunderbolt kommer att ha bättre prestanda, dock till ett högre pris. Man kan redan dra paralleller till "FireWire-USB-kriget" där USB helt klart segrade. Är även detta Thunderbolts framtid – att vara en teknologi som till största del används av professionella inom media branschen?

Priset kommer att ha en betydande roll när Thunderbolt produkter kommer ut på marknaden. Detta kommer att inverka på i vilken grad teknologin kommer att användas och spridas. En nackdel med Thunderbolt är att Intel vill ha betalt ifall företag vill använda sig deras teknik och en Thunderbolt styrenhet måste integreras i produkten för att det hela skall fungera. Här är det en fråga om hur mycket företagen är villiga att betala till Intel och vad företagen i sin tur tänker ta betalt av konsumenterna. FireWire är i jämförelse en liknande teknologi där resultatet blev en dyrare produkt för konsumenten jämfört med t.ex. USB. Vill man således ha det ”bästa” – måste man även vara redo att betala för det. DisplayPort är inte ett allmänt gränssnitt. Apple har integrerat gränssnittet i alla sina datorer och det finns en handfull tillverkare av dataskärmar med DisplayPort riktade till företag och professionellt bruk. De flesta dataskärmar använder ännu DVI- och HDMI-portar. Glappet mellan vanliga och professionella användare håller dock på att bli mindre. Att Thunderbolt gjorde sin debut på Apples MacBook Pro är en positiv sak för Thunderbolt teknologin. Apples MacBook Pro datorer har ett högt anseende inom den professionella media branschen men används även av vanliga konsumenter.

Ett problem med dagens datorer är de många olika kontakterna. Det kan vara förbryllande att hålla reda på vad USB 2.0, USB 3.0 SATA, eSATA, FireWire, HDMI, DVI, DisplayPort m.fl. är för någonting. Thunderbolt är utvecklat på ett sätt att alla dessa protokoll med flera kan fungera så att säga under samma tak. Detta betyder att signaler från dessa standarder kan passera genom Thunderbolt med sina respektive maximala överföringshastigheter, förutsatt att det finns tillräcklig bandbredd. Med Thunderbolt skulle vi således klara oss med endast en kabel. Detta gör Thunderbolt till den perfekta I/O-teknologin för ultra tunna bärbara datorer som inte har plats för många uttag. Med Thunderbolt räcker det med en port från vilken man kan koppla med hjälp av adapters alla sina apparater.

Resultatet på ”kriget” mellan Thunderbolt och dess närmaste konkurrent USB 3.0 får tiden visa. USB 3.0 är bakåt kompatibel med USB 2.0, ett gränssnitt med hundra tusentals produkter som troligtvis kommer att användas ännu om tio år. FireWire kommer troligtvis att falla bort med tiden. Det samma gäller eSATA. Även USB 2.0 kommer att falla bort, men först efter att alla äldre apparater med den teknologin gått sönder och blivit ersatta med nyare

teknologi. Det kommer ännu att ta en tid förrän man kan se PC datorer med Thunderbolt portar och utvecklingen kommer troligtvis att starta långsamt. PCIe kort med Thunderbolt kommer däremot troligtvis att dyka upp så småningom och Intels hårdvarutillverkare jobbar hårt på produkter. Eftersom Thunderbolt baserar sig på ett PCIe protokoll, innebär det en viss flexibilitet när det kommer till kompatibilitet. I och med att PCIe styrenheten fungerar bredvid Intels Thunderbolt styrenhet ger detta möjligheten att tillverka adapters till i stort sätt vilken som helst I/O teknologi. Förhoppningsvis får man se dessa produkter på marknaden snart.

Den största fördelen med Thunderbolt jämfört med alla andra externa I/O teknologier är självklart prestandan vilken är överlägsen. En annan stor fördel är att Thunderbolt stöder överföring av data, video, audio och ström, vilket betyder att en enda port räcker för att koppla många apparater. Detta kommer att stämma då Thunderbolt apparater börjar dyka upp på marknaden. För tillfället är det möjligt att med Thunderbolt nå en överföringshastighet på 10 Gbit/s, med både koppar och optisk koppling. I framtiden kommer hastigheten att öka dramatiskt enligt Intels planer. Målet är 100 Gbit/s, så potential för teknologin finns. För att nå en överföringshastighet på 100 Gbit/s är man dock tvungen att använda sig av optiska kablar. Detta leder till längre kabellängder men eftersom man inte kan leda ström i en optisk kabel kan man inte heller driva enheter via endast Thunderboltkabeln. Detta kan ses som en nackdel med Thunderbolt. Om man frånsäger detta samt det potentiellt höga priset för konsumenten är Thunderbolt en lysande produkt.

KÄLLOR

Saif Al Falah. Everything about the new Intel Thunderbolt[www].

Hämtat 10.3.2011

<http://www.triple3online.com/thunderbolt/>

Melissa J. Perenson. Intel Thunderbolt Bolts Through Data Transfers[www].

Hämtat 10.3.2011

http://www.pcworld.com/article/220641/intel_thunderbolt_bolts_through_data_transfers.html

Intel Corporation. Thunderbolt Technology Brief[www].

Hämtat 11.3.2011.

http://www.intel.com/technology/io/thunderbolt/325136-001US_secured.pdf

Michael Hoenig. An In Depth Look at Intel's Thunderbolt Technology[www].

Hämtat 12.3.2011.

<http://www.hardwarecanucks.com/forum/hardware-canucks-reviews/41084-depth-look-intel-s-thunderbolt-technology.html>

Kevin Purcell. What is USB 3.0?[www].

Hämtat 28.3.2011

<http://notebooks.com/2010/06/17/what-is-usb-3/>

J. F. Amprimoz. FireWire - Better than USB for External Storage, but can't touch eSATA[www].

Hämtat 31.3.2011

<http://www.brighthub.com/computing/hardware/articles/23347.aspx>

Silicon Image Inc. External Serial ATA – WHITE PAPER[www].

Hämtat 2.4.2011.

<http://www.sata-io.org/documents/External%20SATA%20WP%202011-09.pdf>

Jeff Tyson och Tracy V. Wilson. How SCSI Works[www].

Hämtat 2.4.2011.

<http://www.howstuffworks.com/scsi.htm>

10stripe.com. The Quick PCI-Express 2.0 Guide[www].

Hämtat 3.4.2011.

<http://www.10stripe.com/featured/quick/pci-express-2-0.php>

Digital Signage. HDMI[www].

Hämtat 3.4.2011.

<http://www.digitalsignagefromthebox.co.uk/technical/bbe/hdmi.asp?id=2&tx=Black%20Box%20Explains>

HDMI Licensing, LLC. HDMI[www].

Hämtat 4.4.2011.

<http://www.hdmi.org/>

USB Implementers Forum. SuperSpeed USB from the USB-IF[www].

Hämtat 4.4.2011.

<http://www.usb.org/developers/ssusb/>

1394 Trade Association. FireWire FAQ[www].

Hämtat 19.4.2011.

<http://www.1394ta.org/consumers/FAQ.html>

VESA Organisation. VESA® Introduces DisplayPort™ v1.2, the Most Comprehensive and Innovative Display Interface Available[www].

Hämtat 20.4.2011.

http://www.displayport.org/consumer/sites/default/files/VESADP1_2Final.pdf

Ajinkya. Thunderbolt vs. USB 3.0 vs. Firewire[www].

Hämtat 22.4.2011.

<http://computersight.com/hardware/thunderbolt-vs-usb-3-0-vs-firewire/>

Gary Marshall. Thunderbolt vs USB 3.0 vs eSATA[www].

Hämtat 24.4.2011.

<http://www.techradar.com/news/computing-components/peripherals/thunderbolt-vs-usb-3-0-vs-esata-931343>

Chris Foresman. Thunderbolt smokes USB, FireWire with 10Gbps throughput[www].

Hämtat 1.5.2011.

<http://arstechnica.com/apple/news/2011/02/thunderbolt-smokes-usb-firewire-with-10gbps-throughput.ars>

Lacie. Little Big Disk featuring Thunderbolt tecknology[www]. Hämtat 1.5.2011.

<http://www.lacie.com/fi/technologies/technology.htm?id=10039>

Patrick Schmid. Buffalo Boosts External Hard Drive Power[www].

Hämtat 3.5.2011.

<http://www.tomshardware.com/reviews/buffalo-boosts-external-hard-drive-power,1230.html>