

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokonetekniikka

Tutkintotyö

Tomi Sarka

USB-väylä

Työn ohjaaja
Tampere 2008

Yliopettaja Matti Ilmonen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Tietokonetekniikka

Sarka, Tomi

USB-väylä

Tutkintotyö

26 sivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Matti Ilmonen

Maaliskuu 2008

Hakusanat

USB, tiedonsiirto, langaton

TIIVISTELMÄ

Tietokoneisiin liitettävien oheislaitteiden lukumäärä on kasvanut huomattavasti 1990- ja 2000-luvuilla. Vanhat liitännät, kuten sarja- ja rinnakkaisportit olivat aivan liian hitaita ja teknisesti rajoittuneita uusien oheislaitteiden tarpeisiin. Monet oheislaitteet, kuten ulkoiset kiintolevyt, vaativat vähintään useiden megabittien sekuntinopeuden tiedonsiirtoväylältä toimiakseen kunnolla. Tietokoneisiin täytyy myös saada liitettyä useita oheislaitteita samaan aikaan, mikä oli usein ongelmana sarja- ja rinnakkaisporttien kanssa. Ratkaisuksi oheislaitteiden kasvaneeseen tiedonsiirtotarpeeseen ja liitettävyyteen kehitettiin USB-väylä.

Tässä työssä on pyritty selittämään yleisesti USB-väylän tekniset ominaisuudet ja toimintaperiaate. Käsiteltyjä tekniikoita ovat perinteiset kaapeliliitännäiset USB 1.1 ja USB 2.0 sekä uusi langatonta yhteyttä käyttävä WUSB. Työssä on myös pyritty selvittämään, miten johdollinen ja langaton USB eroavat toisistaan ja kuinka langaton USB integroituu nykyisiin ja tuleviin laitteisiin.

Langaton USB tulee hyvin todennäköisesti yleistymään seuraavien vuosien aikana samalla tavalla kuin johdollinen USB aikanaan. Valmistajien kannattaisikin ottaa jo nyt huomioon laitteiden suunnittelussa langattoman USB:n mukanaan tuomat mahdollisuudet ja lisävaatimukset.

TAMPERE POLYTECHNIC

Information Technology

Computer Technology

Sarka, Tomi

USB-bus

Engineering Thesis

26 pages

Thesis Supervisor

Senior teacher Matti Ilmonen

March 2008

Keywords

USB, data transfer, wireless

ABSTRACT

The number of peripherals connected to the computer has been significantly increased in the last decade. Old connection types like serial and parallel ports were much too slow and technically constrained for the needs of new peripherals. Many peripherals like external hard drives need a minimum data link connection speed of several megabytes per second to be able to work properly. The user should also be able to connect several peripherals to the computer at the same time which was often a problem with the serial and parallel connections. The solution for the peripherals increased need of data link bandwidth and connectivity was development of the USB-bus. This report aims to explain generally the technical properties and operational principle of the USB-bus. The covered techniques include traditional cable attached USB 1.1 and USB 2.0 and new wireless technique WUSB. The report also aims to explain what is different in the wired and wireless USB and also how does the wireless USB integrate to the existing and future devices.

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO.....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 USB-VÄYLÄ.....	5
2.1 Taustaa USB-väylästä	5
2.2 USB-väylän rakenne.....	6
2.3 USB-väylän signaalit.....	8
2.4 USB-väylän liikennöinti.....	9
2.5 ”Plug&play” USB-väylällä	10
2.6 USB-liittimet	12
3 USB 2.0.....	13
3.1 USB 2.0:n uudistukset.....	13
3.2 USB 2.0 -väylän signaalit.....	14
4 WUSB	15
4.1 WUSB:n rakenne.....	15
4.2 WUSB-väylän yhteystopologia.....	17
4.3 WUSB-väylän liikennöinti	19
4.4 WUSB-väylän kanava-aika	21
4.5 WUSB-väylän turvallisuus.....	22
4.5.1 Luottamus pohja.....	22
4.5.2 Turvallisuuslaajennusten toteutus	23
4.5.3 Salausmenetelmät.....	24
5 LOPPUPÄÄTELMÄT	25
LÄHDELUETTELO	26

1 JOHDANTO

Nykyaikana erilaisia tietokoneeseen liitettäviä oheislaitteita alkaa jo olla melkein kaikilla tietokonetta käyttävillä. Koska oheislaitteiden ja niiden valmistajien määrä on erittäin suuri, on tietokoneiden ja laitteiden välille kehitetty yleismuotoinen liitäntä, jolla on poistettu eri valmistajien tuotteiden väliset yhteensopivuusongelmat. Tämän liitännän nimi on USB eli Universal Serial Bus (yleissarjaväylä). Nykyään käytännössä kaikki tietokoneeseen liitettävät oheislaitteet on varustettu USB-liitännällä. Tässä työssä käsitellään langallista USB 1.1 - ja USB 2.0 -versioita sekä langatonta WUSB-tekniikkaa. Työn tavoitteena on selittää pääpiirteittäin USB-väylän tekniikka ja toimintaperiaate.

2 USB-VÄYLÄ

2.1 Taustaa USB-väylästä

Monien vuosien ajan tietokoneen erilaiset oheislaitteet liitettiin koneeseen laitevalmistajien omilla liitännöillä ja liittimillä. Liitäntöjä oli paljon erilaisia hiiren ja näppäimistön liittimestä sarjaporttiin ja joidenkin laitteiden vaatimaan SCSI-liittimeen asti. Vanhemmissa tietokoneissa liitäntöjä oli usein vähän, joten oheislaitteita ei voinut olla käytössä kovin monta samaan aikaan.

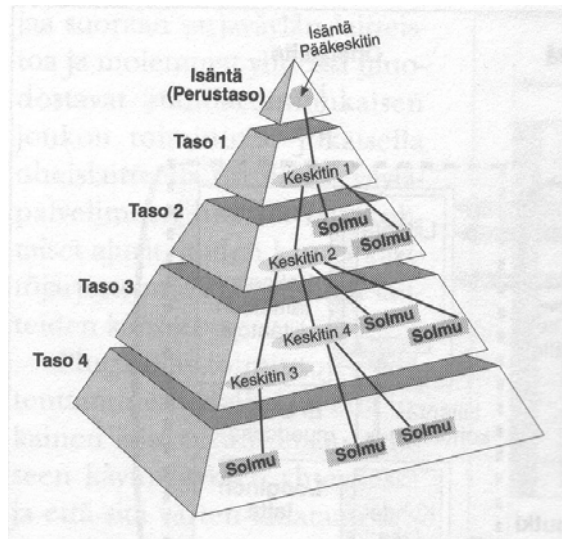
Vuonna 1995 johtavat teknologiayritykset (mm. Intel, Compaq, NEC ja Microsoft) perustivat USB-Implementers-Forum, jonka tavoitteena oli vauhdittaa uuden, nopeamman tiedonsiirtoväylän kehitystä ja standardointia. Vuoden 1996 alussa julkaistiin ensimmäinen virallinen määrittely uudelle USB-siirtoväylälle. USB on ensimmäinen liitöntätapa, josta on tullut todellinen yleisliitäntä tietokoneiden ja oheislaitteiden välille. USB:n ensimmäinen laajalle levinnyt versio oli USB 1.1, joka tarjosi jo moninkertaisen nopeuden verrattuna muihin yleisiin liitöntätapoihin, kuten sarja- ja rinnakkaisporttiin. Nykyinen USB 2.0 -versio tarjoaa jo monikymmenkertaisen nopeuden verrattuna USB 1.1 -versioon, joka riittää jo useimpien oheislaitteiden tarpeisiin.

Yleisimmät USB-liitäntää käyttävät oheislaitteet ovat näppäimistö ja hiiri sekä viime aikoina räjähdysmäisesti yleistyneet muistitikut ja MP3-soittimet. Muita USB-liitäntää käyttäviä oheislaitteita ovat esimerkiksi tulostimet, kuvanlukijat, digikamerat, modeemit, peliohjaimet ja ulkoiset kiintolevyt. Erikoisempia USB-liitäntää hyödyntäviä sovelluksia ovat USB-lähiverkko, kauko-ohjainliitäntä, IrDA:n tyyppinen infrapunalähetin-vastaanotin ja WLAN-lähetin-vastaanotin. USB:llä voidaan myös liittää kaksi tietokonetta toisiinsa, mutta tämä pitää tehdä sovitinyksikön avulla, sillä muutoin laitteistossa olisi kaksi isäntälaitetta. USB-väylä on suunniteltu mahdollisimman yleiskäyttöiseksi ja käytännössä ainoa sovellusmahdollisuuksia rajoittava tekijä on väylän siirtonopeus.

USB-väylällä on käytännössä kaksi kilpailijaa, IEEE1394 eli Firewire-väylä sekä jossain määrin eSATA-väylä (external Serial ATA). Siirtonopeudessa USB 2.0 häviää 480 megabitin nopeudellaan reilusti Firewiren 800 megabitin ja eSATA-väylän jopa 3,0 gigabitin sekuntinopeudelle. Firewire-väylä pystyy toimimaan tehokkaammin ja siirtämään tietoa nopeammin kuin USB-väylä, mutta sen valmistuskustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin USB:n. Hinta onkin suurin syy siihen, miksi USB on menestynyt paremmin. Firewire-liitäntää käytetään enimmäkseen digitaalisessa kuvan siirrossa videokameroiden ja tietokoneen välillä sekä ammattilaisten kuvankäsittelylaitteissa, kuten skannereissa ja tulostimissa, joten se ei ainakaan nykyisessä muodossaan uhkaa USB:n asemaa yleisliitäntänä. Samoin eSATA-liitännän käyttö rajoittuu käytännössä ulkoisten kiintolevyjen kytkemiseen tietokoneeseen, jossa se onkin nopeutensa ansiosta ylivoimainen USB- ja Firewire-väyliin nähden. Monista nopeaa liitäntää tarvitsevista laitteista, kuten suurikapasiteettisista ulkoisista kiintolevyistä tosin löytyy nykyään sekä USB 2.0-, Firewire- että eSATA-liitännät.

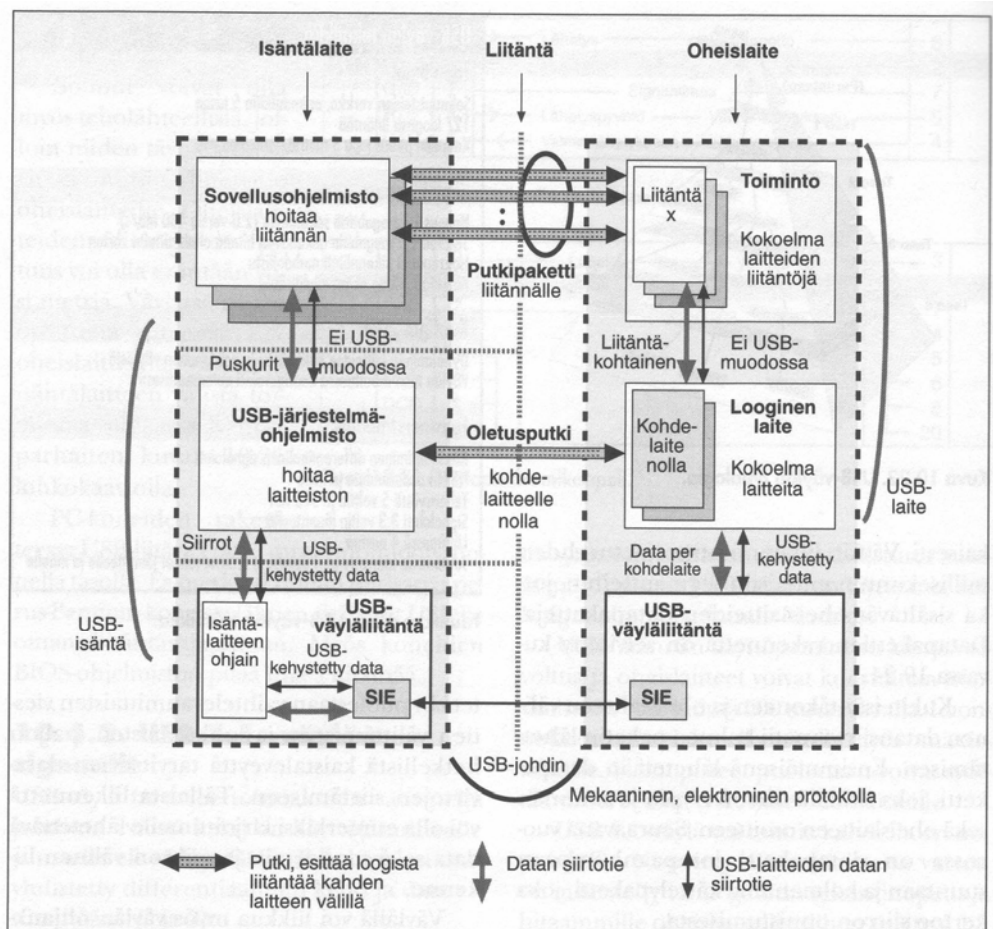
2.2 USB-väylän rakenne

USB-väylä rakentuu yhdistettyjen solmupisteiden verkosta, jossa mikä tahansa solmu voi olla oheislaitte, tai erillinen jakosolmu eli hub, johon liitetään muita oheislaitteita. Väylän isäntälaitteena toimii tietokone, jossa on USB-liitäntä. Isäntälaitteessa on mahdollista olla liitettynä enimmillään neljä solmupisteistä muodostuvaa alatasoa. Solmut toimivat toistimina eli lähettävät väylässä kulkevan datan puskuroituna eteenpäin. USB-väylän toteutus mahdollistaa laajojen



Kuva 1 USB-väylän topologia /2, s. 261, Kuva 10.22/

laitekokonaisuuksien liittämisen yhteen, joten kaikkia laitteita pystytään ohjaamaan helposti saman väylän kautta. USB-väylän topologia näkyy kuvassa 1. Solmut voivat myös sisältää oman teholahteen, jolloin ne voivat antaa virtaa niihin liitetyille oheislaitteille. USB-kaapelin pituus voi olla enintään viisi metriä.



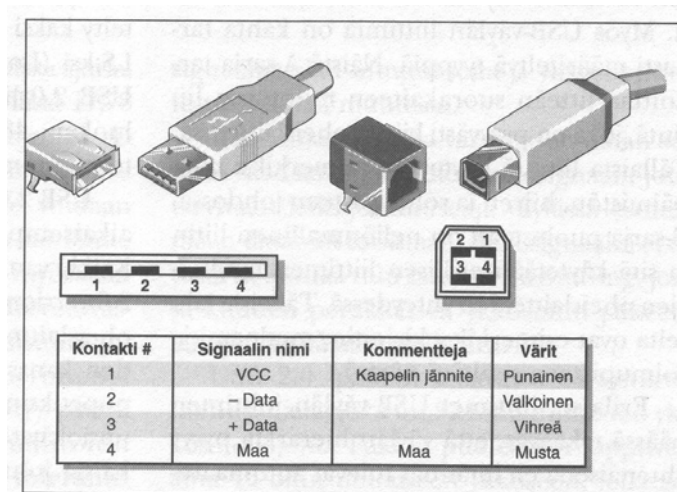
Kuva 2 Lohkokaavio USB-väylän ja isäntälaitteen välisestä toiminnasta /2, s. 262, Kuva 10.23/

Kaapeleita voidaan ketjuttaa laittamalla niiden väliin toistimia. Toistimet vahvistavat signaalia, jotta se ei vaimene liikaa. USB-väylässä riittää osoitteita yhteensä 127 oheislaitteelle. Väylän ja isäntälaitteen toiminta näkyy hyvin kuvan 2 lohkokaaaviosta.

Tietokoneiden rakenteessa USB-liitäntä täytyy ottaa huomioon monella tasolla. Esimerkiksi Intelin piirisarjoissa on ollut USB:lle oma liitäntäraja-alue jo Pentium-koneista lähtien. Myös tietokoneiden BIOS-ohjelmistoissa pitää olla USB-tuki.

2.3 USB-väylän signaalit

USB-kaapelissa on vain neljä johdinta. Näistä kaksi johdinta on käyttäjännitteelle (+5V) ja maalle (GND). Kahdessa muussa johtimessa kulkee yhdistetty differentiaalinen kello (+D) ja data (-D). Signaalit ovat differentiaalisia, jotta väylän nopeaa dataliikennettä voitaisiin hallita sähköisesti ja jotta sähköiset häiriöt pysyisivät kurissa. Signaalit +D ja -D kulkevatkin kaapelissa kierrettynä parina. Huomion arvoista johtimissa on vielä sekin, että käyttäjännitejohtimet ovat yhden millimetrin pidempiä kuin datajohtimet. Tällä on haluttu varmistaa että USB-laite saa ensin virtaa ja data tulee vasta tämän jälkeen. Kuvassa 3 näkyy tavallisimpien USB A- ja B-tyyppien liitinten rakenne sekä nastajärjestys.



Kuva 3 Vasemmalta oikealle USB A- ja B-tyyppien liitinten rakenne sekä nastajärjestys /2, s. 263, Kuva 10.25/

USB-väylässä siirrettävä data on koodattu NRZI (Non-Return to Zero) -koodauksella, joka auttaa varmistamaan, että lähetys pääsee perille ehjänä. NRZI-koodauksessa data ja kello on yhdistetty yhdeksi signaaliksi, joten datan

lähetyksessä ei tarvitse olla erikseen mukana kellopulssia. Jos datavirrassa tulee peräkkäin kuusi ykköstä, niin lähetin pakottaa seitsemännen bitin nollassi. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että vastaanotin havaitsee datavirrassa tilamuutoksen vähintään joka seitsemännellä bitillä ja pysyy näin tahdissa datan kanssa. Kaikissa USB-laitteissa täytyy myös olla kellosignaalin palauttamistoiminto.

USB 1.1 -väylällä on kaksi eri toimintanopeutta, FS (Full Speed) eli täysi nopeus ja LS (Low Speed) eli hidas nopeus. Nopeammat oheislaitteet voivat toimia FS tilassa 12 megabitin sekuntinopeudella ja hitaammat 1,5 megabitin alikanavalla LS tilassa. Hidasta alikanavaa käyttäviä laitteita voisivat olla esimerkiksi näppäimistö ja perushiiri. Nykyiset pelaamiseen tarkoitettut laser-hiiret tarvitsevatkin jo USB 2.0 -väylän toimiakseen täydellä nopeudella. Hitaiden laitteiden sähköisille ominaisuuksille ei ole asetettu standardissa aivan niin kovia vaatimuksia kuin nopeille laitteille.

USB-liitännän käyttöjännite on kiinteä +5 V ja isäntälaitteen USB-liitin voi antaa oheislaitteille virtaa enintään 500 mA. Oheislaitteilla voi tietysti myös olla oma virtalähde. Esimerkiksi ulkoiset kiintolevyt tarvitsevat usein oman virtalähteen. USB-kaapelin impedanssi on $90 \Omega \pm 15 \%$. Signaalien tasot ovat LS- ja FS-tiloissa 0,0–0,3 voltia matalalle ja 2,8–3,6 voltia korkealle signaalille.

2.4 USB-väylän liikennöinti

Väylän liikennöinnin ohjauksen hoitaa isäntäkone, joka jakaa väylän siirtokapasiteetin eri oheislaitteiden kesken niiden tarpeiden mukaisesti. Laitteiden datapaketit liikkuvat väylässä yhden millisekunnin mittaisina kehyksinä, joiden sisältö on jaettu eri laitteiden kesken. Jokaisen kehyksen pituus on 12 kilobittiä. Datapakettien rakenne näkyy kuvassa 4. Jokaisessa isäntäkoneen ja oheislaitteen välisessä datansiirrossa pitää lähettää kolme pakettia. Ensimmäinen datapaketti sisältää tiedot siirron tyypistä ja suunnasta sekä oheislaitteen osoitteen. Toinen datapaketti sisältää varsinaisen siirrettävän informaation ja viimeinen on kättelypaketti, joka kertoo, onko siirto onnistunut vai ei. Jos siirrossa tapahtui virhe, niin lähetystä yritetään uudelleen.

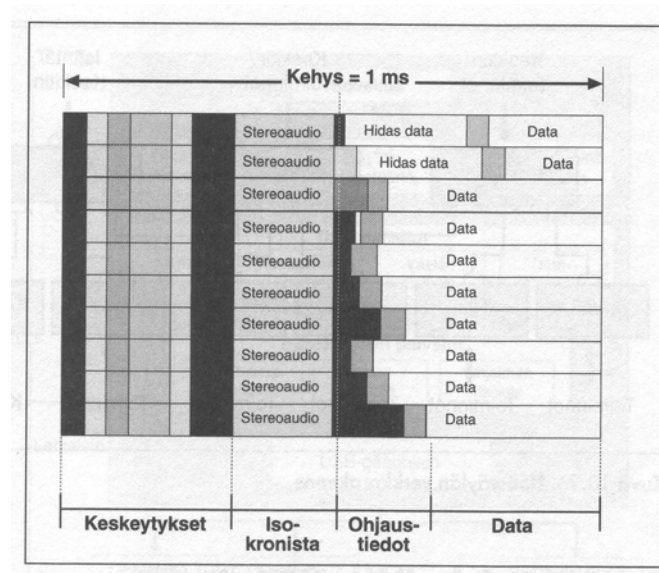
USB-väylässä tiedonsiirto tapahtuu joko isokronisesti tai asynkronisesti.

Isokronista siirtotapaa käytetään tyypillisesti reaaliaikaista tiedonsiirtoa vaativissa laitteissa, kuten video- ja audiolaitteiden datasiirrossa.

Isokronisessa tiedonsiirrossa on tärkeämpää siirtää jatkuvana virtana dataa kuin varmistaa virheetön tiedonsiirto. Tämän takia isokronisessa tiedonsiirrossa ei taata virheetöntä tiedonvälitystä. Isokronisen tiedonsiirron tarvitsema kaista ja vasteajat määritellään jo ennen tiedonsiirron aloittamista laitteen liittämisen yhteydessä.

Asynkronista siirtotapaa eli bulkkisiirtoa käytetään sellaisilla laitteilla, joilla ei ole mitään erityisiä siirtonopeusvaatimuksia. Tällainen laite on esimerkiksi tulostin.

Jos tiedonsiirto tulostimelle hidastuu, niin ainoa asia mihin tämä vaikuttaa, on tulostuksen pieni viivästyminen.



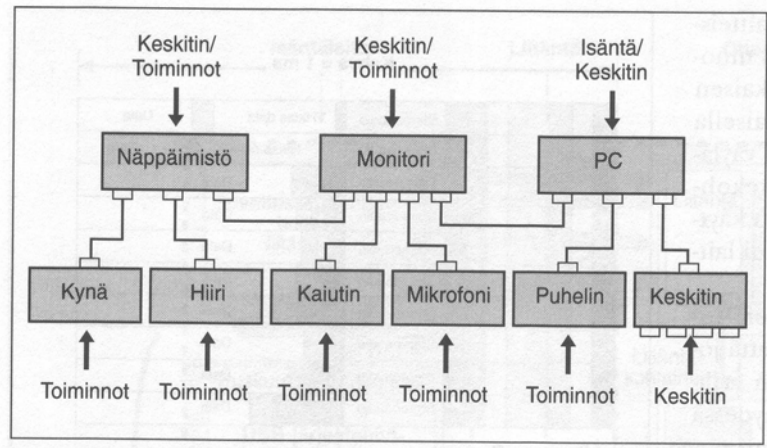
Kuva 4 USB 1.1 -väylän kehysrakenne /2, s. 263, Kuva 10.24/

Väylällä kulkee myös ohjausviestejä ja keskeytystietoja. Ohjausviestien avulla voidaan konfiguroida USB-laitteita ja selvittää niiden ominaisuuksia sekä hallita laitteiden tiettyjä toimintoja. Keskeytysviesteillä taas tiedustellaan laitteilta, onko niillä valmiina dataa, jota pitäisi siirtää. Jos laitteella ei juuri sillä hetkellä ole lähetettävää dataa, se ei vastaa tiedusteluun.

2.5 ”Plug&play” USB-väylällä

USB-väylä tukee Plug&Play-standardissa määriteltyjä toimintoja, eli oheislaitteita voi liittää ja irrottaa ilman, että tietokoneen asetuksiin täytyy tehdä mitään

muutoksia tai että tietokonetta pitäisi uudelleenkäynnistää. Myöskään mistään laitteiston osasta ei tarvitse katkaista virtaa, kun liitetään oheislaitetta tietokoneeseen. Kuvassa 5 näkyy USB-väylän verkkomainen rakenne ja yleisimpiä oheislaitteita.

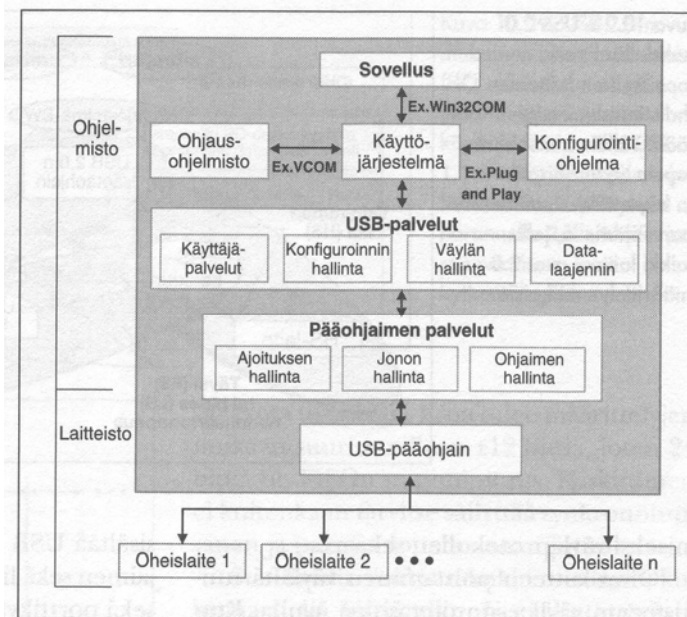


Kuva 5 USB-väylän verkkorakenne /2, s. 264, Kuva 10.26/

Sarjamoitoisten väylien protokollat ovat yleensä hyvin ohjelmistopainotteisia ja niin on myös USB-väylän. USB:n ohjelmahierarkiassa on kaksi tasoa: isäntälaittepalvelin (Host Controller Driver) ja väyläpalvelin (USB Driver). Isäntälaittepalvelin hoitaa väylän laitteiston ohjauksen, ja molemmat yhdessä muodostavat standardinmukaisen joukon toimintoja. Kaikilla oheislaitteilla on myös väyläpalvelimen yhteydessä toimivat laitekohtaiset ajurit, joiden kautta oheislaitteet kommunikoivat käyttöjärjestelmän kanssa.

Jotta Plug&Play-toiminnot toimivat, täytyy jokainen oheislaitte tunnistaa erikseen laitteen käynnistyksen yhteydessä ja niitä varten pitää ladata tarvittavat ajurit käyttöjärjestelmässä. Väylän alustuksessa kaikki väylässä olevat laitteet käynnistyvät väyläosoitteella nolla, ja mahdollisten solmupisteiden lisäliitännöiden toiminta on estetty tässä vaiheessa. Jos esimerkiksi väylän ensimmäinen laite on solmupiste, niin sille annetaan käynnistyksessä osoite yksi. Seuraavaksi isäntälaitte aktivoi solmupisteen ensimmäisen lisäliittimen, tunnistaa siihen liitetyn laitteen ja antaa sille väyläosoitteen kaksi. Tällä tavalla edetään niin kauan, kunnes kaikilla laitteilla on oma nollasta poikkeava osoitteensa tai kunnes väylän suurin osoitemäärä 127 on tullut täyteen. Kun liitetään uusi oheislaitte jo toiminnassa olevaan väylään, niin isäntälaitte havaitsee ensin juuri käynnistyneen laitteen, jonka

väyläosoite on alussa nolla. Sitten isäntälaitte tunnistaa uuden laitteen ominaisuudet ja käyttöjärjestelmä lataa tarvittavat ajurit. USB-väylän ohjelmahierarkia näkyy kuvassa 6.



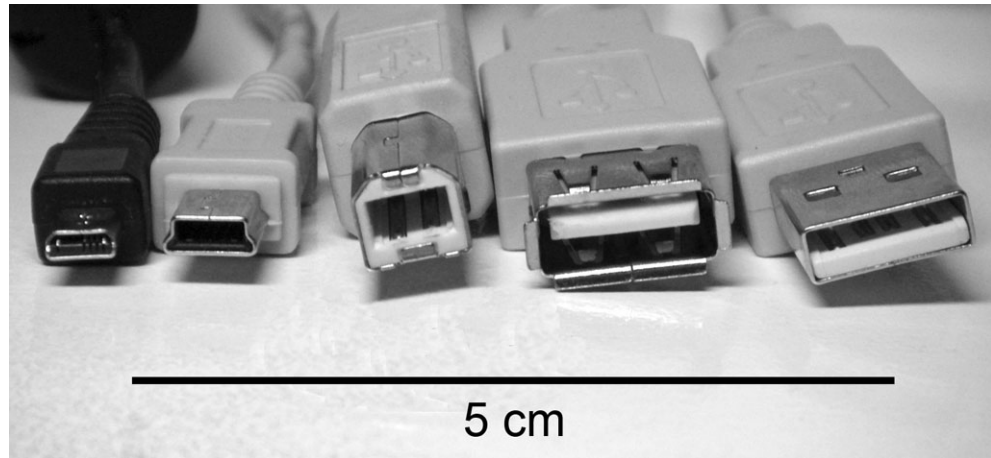
Kuva 6 USB-väylän ohjelmahierarkia /2, s. 265, Kuva 10.27/

2.6 USB-liittimet

USB-väylän standardissa on määritelty hyvin tarkasti väylän mekaaniset ominaisuudet aina johtimien paksuuksia ja värejä myöten. USB-väylällä on viisi erilaista liitintä. A-tyyppin liitin on litteän suorakaiteen muotoinen ja se on usein pysyvästi kiinni oheislaitteessa. Tällainen liitin on käytössä esimerkiksi näppäimistön ja hiiren johdossa. A-tyyppin liittimestä on olemassa tavallisen urosliittimen lisäksi naarasliitin, jota käytetään jatkokaapeleissa. B-tyyppin liitin on malliltaan neliö, josta on viistetty kaksi kulmaa vinoksi. Tällaista liitintä käytetään laitteissa, jotka tarvitsevat erillisen liittimen, kuten tulostimissa ja ulkoisissa kiintolevyissä. Näiden lisäksi on myöhemmin kehitetty pienemmät mini- ja mikro-tyyppin liittimet, joita käytetään mm. matkapuhelimissa ja pienikokoisissa kannettavissa multimedialaitteissa. USB-liittimet näkyvät kuvassa 7.

USB-väylän johtimien liittimet ovat erilaiset, jotta väylän hierarkia pysyy yhtenäisenä ja jotta käyttäjät eivät voi edes vahingossa liittää laitteita väärällä tavalla. Passiivisen USB-johtimen maksimipituus on viisi metriä. Hitainta 1,5

megabitin alikanavaa käyttävän laitteen johdin voi olla enintään kolme metriä pitkä, jotta sähköiset häiriöt pysyvät kurissa.



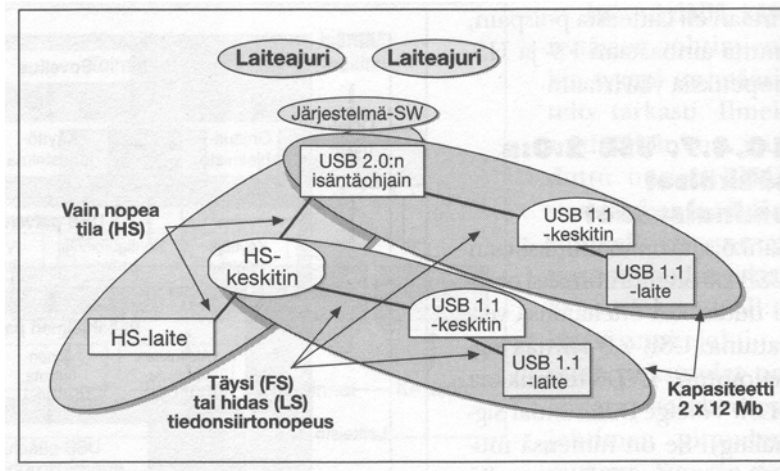
Kuva 7 USB-väylän liittimet vasemmalta oikealle: mikro USB, mini USB, USB B-tyyppi, USB A-tyyppi naaras ja USB A-tyyppi uros /5/

3 USB 2.0

3.1 USB 2.0:n uudistukset

USB 1.1 -standardi määritteli kaksi nopeusluokkaa, LS:n (Low Speed) ja FS:n (Full Speed). USB 2.0 -standardiin on määritelty näiden lisäksi vielä yksi nopeusluokka, HS eli High Speed, jonka teoreettinen maksiminopeus on 480 megabittiä sekunnissa. USB 2.0 tukee täysin kaikkia aikaisempia standardiversioita, joten kaikkia vanhempia USB-laitteita pystyy käyttämään myös uudempien USB 2.0 isäntälaitteiden kanssa. Yhteensopivuus toimii myös toisin päin, eli USB 2.0 -oheislaitteita voi käyttää vanhojen isäntälaitteiden kanssa. Tällöin tosin siirtonopeudet jäävät USB 1.1 -standardin tasolle, joka tietysti hidastaa huomattavasti nopeammalle siirtoyhteydelle suunniteltua laitetta. Kuvassa 8 näkyy eri nopeuksisten laitteiden mahdolliset toimintatilat USB 2.0 -väylällä.

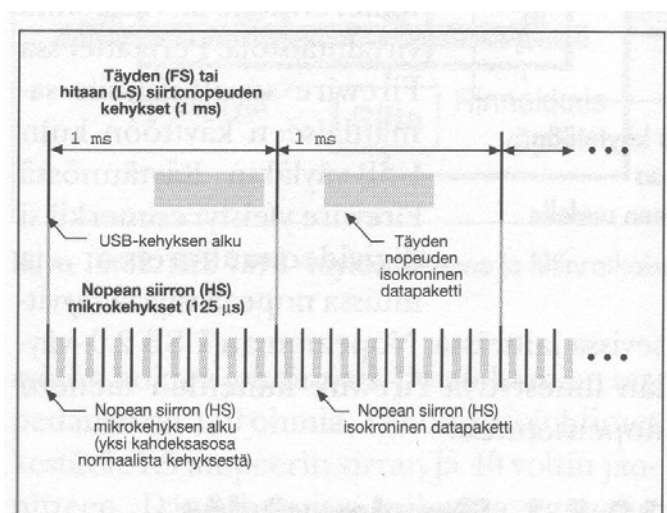
USB 2.0 -laitteista pitää löytyä tuki FS-tiedonsiirtonopeudelle, ja niiden täytyy pystyä muodostamaan yhteys tällä nopeudella. Hitaimmalle LS-tilalle ei tarvitse olla tukea. USB 2.0 -isäntälaitteiden ja keskittimien pitää tukea jokaista nopeusluokkaa laitteesta pois päin, mutta ainoastaan FS- ja HS-nopeusluokkia laitteeseen päin.



Kuva 8 Eri nopeuksisten laitteiden mahdolliset toimintatilat USB 2.0 -väylällä /2, s. 266, Kuva 10.28/

3.2 USB 2.0 -väylän signaalit

USB 2.0 -väylässä käytetään samanlaista NRZI-koodausta kuin USB 1.1 -väylälläkin. USB 2.0 -paketeissa on aina alussa 32 bitin mittainen ykkösistä ja nolista koostuva synkronointisana. Pakettien lopussa on puolestaan 40 bitin mittainen ykkönen. Vanhemmassa USB 1.1 -standardissa väylän liikenne on jaettu yhden millisekunnin mittaisiin kehyksiin, mutta USB 2.0 -standardissa kehykset ovat huomattavasti lyhyempiä 125 mikrosekunnin mittaisia mikrokehyksiä. Lyhyemmillä kehyksillä on saatu mahdutettua suurempi tiedonsiirtonopeus väyläprotokollan sekaan. Kuvassa 9 näkyvät USB 2.0 -väylän HS-tilan kehykset verrattuna USB 1.1 -väylän kehyksiin.



Kuva 9 USB 2.0 -väylän HS-tilan kehykset verrattuna USB 1.1 -väylän kehyksiin /2, s. 267, Kuva 10.30/

Kun oheislaite poistetaan väylältä, isäntälaitte huomaa sen väylän jännitetason muutoksena. Laitteen kytkeytyessä irti signaalien jännitetaso kaksinkertaistuu puuttuvien päätevastusten takia. Oheislaitteet ja solmupisteet tunnistetaan esittämällä väylällä epädifferentiaalista dataa +D ja -D -signaalien avulla. Samalla tekniikalla on toteutettu väylälaitteiden tehonhallinta. Signaalien tasot HS-tilassa ovat ± 400 mV.

4 WUSB

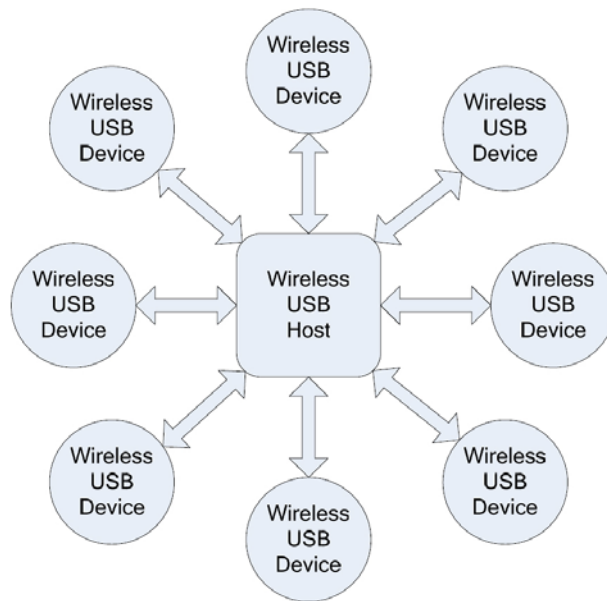
Vuoden 2004 alussa seitsemän suurta teknologiayritystä (Agere Systems, HP, Intel, Microsoft Corporation, NEC, Philips Semiconductors ja Samsung Electronics) perustivat ryhmittymän, jonka päämääränä oli kehittää nopea langaton tiedonsiirtoratkaisu langallisen USB-standardin rinnalle. Vuoden 2005 puolivälissä julkaistiin viralliset määrittelyt uudelle langattomalle USB-tekniikalle. Termi WUSB muodostuu sanoista Wireless Universal Serial Bus ja tarkoittaa langatonta yleissarjaväylää. WUSB perustuu WiMedia Alliancen versioon UWB (Ultra Wide Band) eli ultralaajakaistaiseen teknologiaan. UWB-teknologia mahdollistaa 480 megabitin siirtonopeuden kolmeen metriin asti ja 110 megabittiä 10 metriin asti. WUSB käyttää taajuusaluetta 3,1 GHz–10,6 GHz.

WUSB on suunnattu käytettäväksi kaikissa mobiili- ja multimedialaitteissa, jotka on perinteisesti liitetty toisiinsa USB-kaapeleilla. Langattomuus helpottaa huomattavasti kodin viihdelaitteiden, kuten television, stereoiden, pelikonsolien ja tietokoneiden liittämistä toisiinsa, kun laitteiden välille ei tarvitse vetää johtoja. WUSB on täysin yhteensopiva johdollisen USB-tekniikan kanssa, joten se on helppo integroida olemassa oleviin USB-laitteisiin. Monissa laitteissa on nykyään jo valmiina tavallinen USB-portti, joten ne voidaan helposti päivittää langattomiksi laittamalla niiden USB porttiin pieni langaton USB-lähetin-vastaanotin.

4.1 WUSB:n rakenne

WUSB-verkko koostuu isäntälaitteesta eli hubista ja siihen liittyvistä oheislaitteista. Jokaisella langattomalla oheislaitteella on oma pisteestä pisteeseen

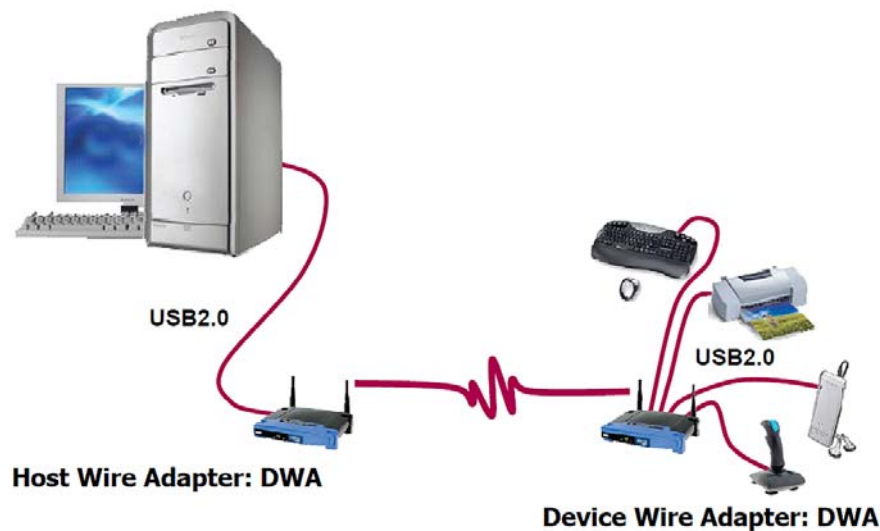
yhteys isäntälaitteen kanssa. Langaton USB-isäntälaite tukee enimmillään 127:ää samanaikaista yhteyttä, eli saman verran kuin johdollinen USB-isäntälaite. Koska langattomassa USB-järjestelmässä jokainen oheislaite yhdistyy suoraan isäntälaitteeseen, ei hubien tarvitse tukea porttien edelleen jakamista. Porttien jakamista ei edes ole sisällytetty langattoman USB:n määrittelyihin, koska järjestelmässä ei ole ollenkaan fyysisiä portteja. WUSB-väylän topologia näkyy kuvassa 10.



Kuva 10 WUSB-väylän topologia /1, s. 12, Figure 3-1/

Kaikissa USB-järjestelmissä on ainoastaan yksi isäntälaite. USB:n liityntärajapintaa isäntäkoneelle sanotaan isäntäohjaimeksi. Isäntäohjaimet yhdistetään tietokoneeseen yleensä sisäisen väylän, kuten PCI-väylän kautta. Isäntäohjain voidaan toteuttaa laitteiston ja ohjelmiston yhdistelmällä. Suoraan tietokoneen USB-liittimeen liitettäviä johdollisia HWA (Host Wire Adapter) -sovittimia kutsutaan johdollisiksi isäntäsovittimiksi. Johdollinen isäntäsovitin mahdollistaa langattoman USB ominaisuuden käyttämisen missä tahansa tietokoneessa. Lähitulevaisuudessa langaton USB löytyy integroituna ainakin kannettavista tietokoneista kuten WLAN (Wireless Local Area Network) eli langaton lähiverkkoyhteys nykyään. Oheislaitteita varten on DWA (Device Wire Adapter) eli johdollinen laitesovitin, joka mahdollistaa normaalien USB-laitteiden yhdistämisen tietokoneeseen langattomasti. Johdollisissa laitesovittimissa on yleensä USB A -tyypin liittimet. Sovittimessa voi olla useita liittimiä, jolloin sen

kautta pystyy yhdistämään useita laitteita tietokoneeseen. Jokainen johdollinen sovitin luo uuden USB-järjestelmän, jossa kyseinen sovitin toimii isäntänä ja kommunikoi yhden tai useamman samaa aikapoikkeamaa ja yhteyttä käyttävän laitteen kanssa. Langattomat laitteet voivat toimia sekä asiakkaina (client) että rajoitetuin toiminnoin isäntinä. Esimerkiksi digitaalinen kamera voi toimia asiakkaana, kun se yhdistetään tietokoneeseen, ja isäntänä, kun siitä siirretään kuvia suoraan tulostimeen. Kuvassa 11 on esimerkki kytkennästä eri laitteiden välillä.

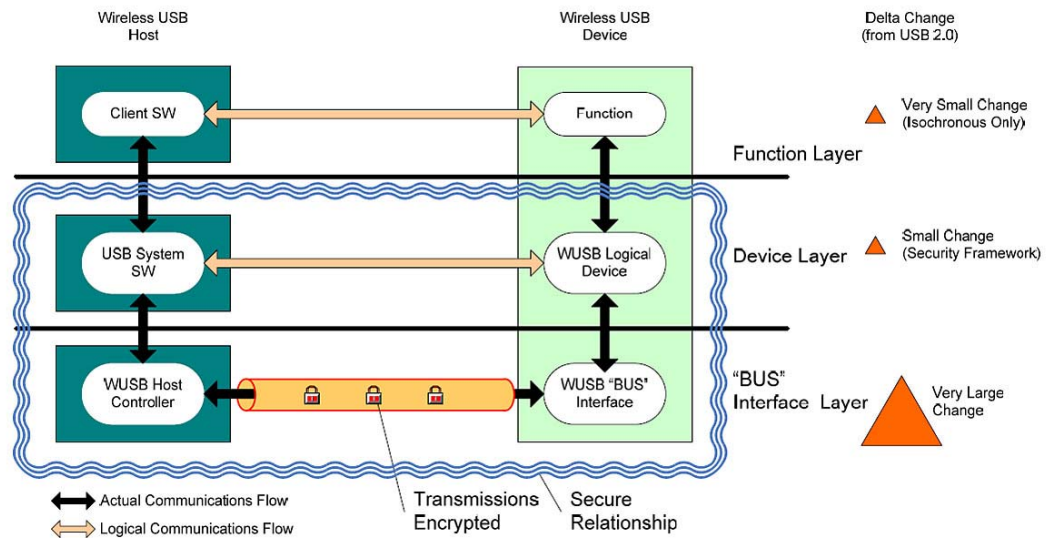


Kuva 11 WUSB-järjestelmän johdolliset laitesovittimet /1, s. 16, Figure 3-3/

4.2 WUSB-väylän yhteystopologia

WUSB:n yleinen yhteystopologia on samanlainen kuin johdolisella USB 2.0:lla. Tämän vuoksi monet olemassa olevat USB 2.0 -yhteensopivat komponentit toimivat ilman muutoksia, kun laitteiden fyysisen kerroksen komponentit vaihdetaan langatonta USB:tä tukeviin malleihin. Kuvassa 12 näkyvät WUSB:n muutokset verrattuna USB 2.0:aan. Kuvassa on esitetty oransseilla kolmioilla kuinka suuri muutos on kyseessä. Toimintokerros on molemmissa melkein sama. Ainoa eroavaisuus on WUSB:n isokronisessa siirtotavassa, johon tehdyt parannukset sallivat toimintojen reagoimisen väyläkerroksen vähentyneeseen luotettavuuteen. WUSB:n laitekerros sisältää myös muutaman kehyslaajennuksen, jotta se tukee turvallisuus- ja hallintakomentoja, joita tarvitaan langattomassa ympäristössä laitteiden hallinnassa. Väyläkerrokseen on kuitenkin tehty

huomattavia muutoksia, jotta saadaan luotua tehokas ja turvallinen tiedonsiirtoyhteys langattomassa verkossa.



Kuva 12 WUSB:n tiedonvälitystopologia /1, s. 20, Figure 4-1/

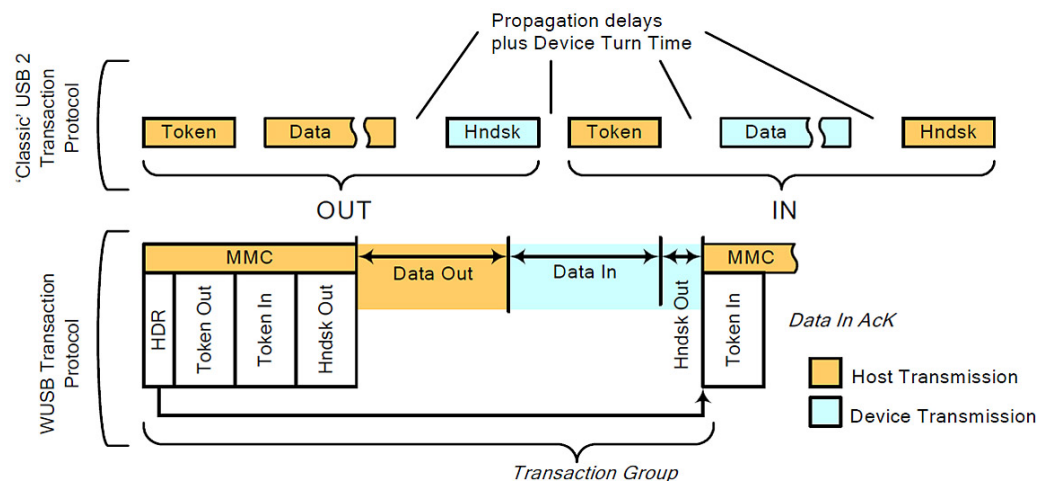
Johdollinen USB tarjoaa erittäin turvallisen tiedonsiirron, koska käyttäjä tietää, mitä oheislaitteita isäntälaitteeseen on liitetty. Sivullisen on hyvin vaikea kaapata siirrettävää tietoa, koska hänen pitäisi fyysisesti liittää jokin erillinen laite samaan isäntälaitteeseen, jotta olisi edes teoreettinen mahdollisuus päästä tietoon käsiksi. Kun korvataan fyysisen kerroksen kuparijohdin radiolla, niin tuloksena on paljon moniselitteisempi tilanne isäntä- ja oheislaitteiden yhteyksissä ja siirrettävän tiedon altistuminen kaikille kuuluvuusalueella oleville laitteille. Johtimen vaihtuessa radioon täytyy myös kaikille signaalitapahtumille luoda vastaavat funktiot langatonta järjestelmää varten. Johtimen poistaminen siis aiheuttaa huomattavan turvallisuuden alentumisen, joka täytyy korvata muilla keinoilla, jotta WUSB olisi käyttökelpoinen teknologia.

WUSB:ssä on määritelty prosessit, jotka sallivat luottosuhteen luomiseksi tarvittavan tiedonvaihdon isäntä- ja oheislaitteiden välillä. Luottosuhteen muodostamisen jälkeen isäntä- ja oheislaitteella on tarvittavat tiedot, jotta ne voivat tukea salattua tiedonsiirtoa langattomalla yhteydellä. Kuvassa 12 näkyy, kuinka tavallisen USB liikennöinnin topologia on laajennettu sisältämään WUSB:n konsepti luottosuhteesta isäntä- ja oheislaitteen välillä ja kuinka langaton tiedonsiirto on salattu. Huomionarvoista on, että nämä uudet WUSB:n

ominaisuudet ulottuvat vain laite- ja väyläkerroksiin, joten johdollisen USB:n olemassa olevat laitetoiminnot ja sovellukset toimivat myös WUSB:llä ilman muutoksia.

4.3 WUSB-väylän liikennöinti

WUSB on loogisesti kyselypohjainen TDMA-tekniikkaan perustuva protokolla, eli hyvin samanlainen kuin johdollinen USB. Isäntälaitte aloittaa kaikki datansiirtotapahtumat. Kuten johdollisessa USB:ssä, langattomassakin versiossa siirtotapahtuma koostuu kolmesta paketista, jotka ovat siirron valtuuttava paketti, datapaketti ja kättelypaketti. Langattomassa USB-järjestelmässä on kuitenkin kasvatettu väylän tehokkuutta eliminoimalla aikaa vievät tilamuutokset lähetys- ja vastaanottotilojen välillä. Tämä on toteutettu siten, että isäntälaitteet yhdistävät useita siirtojen valtuutuksia yhteen pakettiin. Tässä yhdistelmäpaketissa isäntälaitte kertoo eri oheislaitteille tarkat ajat, koska niiden pitäisi kuunnella lähetettävää pakettia tai lähettää paketti takaisin isäntälaitteelle. Kuvassa 13 näkyy vertailu johdollisen- ja langattoman USB:n väyläprotokollista. WUSB säilyttää samat konseptit ja mekanismit sekä tuen kehyksille ja siirtotyypeille kuin johdollinen USB.



Kuva 13 USB:n ja WUSB:n väyläprotokollien vertailu /1, s. 13, Figure 3-2/

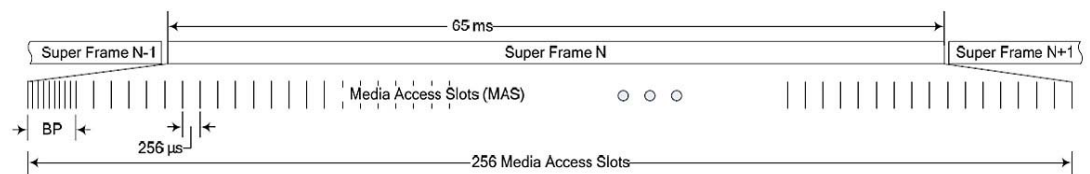
Kahden solmupisteen välistä tiedonsiirtoyhteyttä kutsutaan kanavaksi.

Langattoman yhteyden fyysinen kerros muokkaa radiolähetyksen sopivaksi kanavalle (tai kanaville), jota kautta bittivirrat lähetetään ja vastaanotetaan.

Fyysisen kerroksen yläpuolella oleva tiedonlinkityskerros koodaa bittivirrat

datapaketeiksi ja dekodaa datapaketit sekä käsittelee fyysisessä kerroksessa, virran hallinnassa ja kehyksien synkronoinnissa tapahtuvat virheet. Tiedonlinkityskerros sisältää fyysisen kanavan tiedonhallinnassa käytettävät MAC (Media Access Control) eli monipalvelujärjestelmäliittymän- ja LLC (Logical Link Control) eli loogisen siirtoyhteyden ohjausprotokollatoiminnot. Sovelluskerrokset hyödyntävät MAC:n ja fyysisen kerroksen tarjoamia perustason kanavapalveluja.

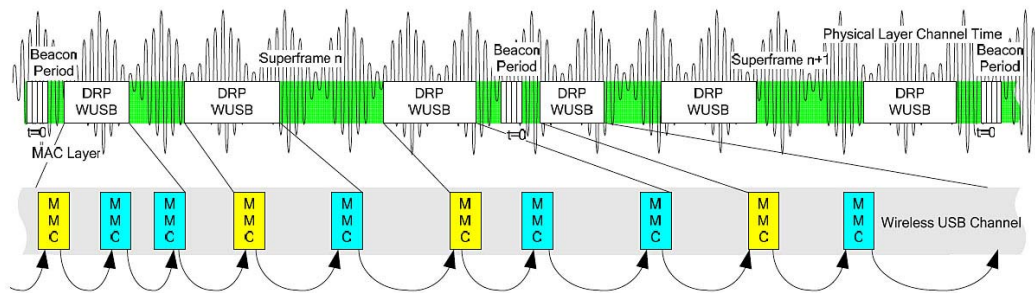
WUSB hyödyntää fyysistä- ja MAC-kerrosta, jotka määrittelevät useita metodeita joilla pääsee käsiksi MAC-kerroksen kanavaan, kuten majakoita ja DRP:n (Distributed Reservation Protocol) eli hajautetun varausprotokollan. Majakoita käytetään havainnoimiseen ja jonkin verran hajautettuun hallitsemiseen. WUSB isäntälaitte käyttää majakoita mm. tarkistaessaan, onko sen kantoalueelle tullut uusia laitteita. MAC-kerroksen kanava-aika on järjestetty superkehyksiksi. Kuvassa 14 näkyy MAC-kerroksen yleinen kanava-ajan jaottelu. Superkehykset ovat 65 millisekunnin mittaisia, ja ne alkavat majakkajaksolla. Superkehykset on loogisesti jaettu 256:een MAS:iin (Media Access Slot) eli mediansiirtoväliin, joista jokainen on 256 mikrosekuntia pitkä. Superkehyksen alussa olevat mediansiirtovälit on varattu majakkajakson käyttöön.



Kuva 14 MAC-kerroksen yleinen kanava-ajan jaottelu /1, s. 22, Figure 4-3/

WUSB määrittelee langattoman USB-kanavan, joka on kapseloitu MAC-kerroksen MAS-varauksen avulla MAC-kerroksen superkehyksiin. Langaton USB kanava on jatkuva sarja linkitettyjä sovelluskohtaisia hallintapaketteja, joita kutsutaan nimellä MMC (Micro-scheduled Management Commands) eli mikroajoitettu hallintakomento. Näitä isäntälaitte lähettää MAC-kerroksen aikavarauksissa. Kuvassa 15 on WUSB-väylän yleinen malli. MMC-paketit sisältävät isäntälaitteen tunnistetiedot, I/O hallintarakenteet ja aikaviittauksen eli linkin seuraavaan MMC-pakettiin. Nämä linkit tarjoavat jatkuvan hallintasäikeen, jota langattomaan USB laiteryhmään liittyvät laitteet voivat seurata. Tämä kapseloitu kanava tarjoaa

rakenteen, joka toimii tiedonsiirtoväylänä isäntälaitteen ja oheislaitteiden välillä langattomassa USB laiteryhässä.



Kuva 15 WUSB-väylän yleinen malli /1, s. 22, Figure 4-4/

4.4 WUSB-väylän kanava-aika

Johdollisen USB 2.0:n tavoin myös WUSB-isäntälaitte ylläpitää vapaasti juoksevaa ajastinta, joka määrittää USB:n kanava-ajan. Isokroniset laitteet voivat käyttää USB:n kanava-aikaa, ja sitä hyödyntävät myös ohjatut majakkalaitteet sekä useat muut WUSB-väylän toiminnot. USB:n kanava-ajan tarkkuuden täytyy olla 20 ppm (Parts per million) eli miljoonasosaa. Isäntälaitte kertoo tämänhetkisen USB:n kanava-ajan MMC-paketeissa. Jokainen MMC-paketti sisältää 24-bittisen aikaleiman, joka ilmaisee, milloin (USB:n kanava-aikana) kyseisen paketin alku on lähetetty. Aikaleima koostuu kahdesta osasta: 1/8 millisekunnin arvosta ja yhden mikrosekunnin arvosta. Mikrosekunnin laskuri on 7-bittinen, ja se laskee nolasta 124:een, jonka jälkeen se palaa takaisin nolnaan. 1/8 millisekunnin laskuri on 17-bittinen, ja se palaa takaisin nolnaan, kun sen kaikkien bittien arvo on 1. 1/8 millisekunnin laskurin arvo kasvaa aina yhdellä, kun mikrosekunnin laskuri palaa 124:stä nolnaan. WUSB-väylän käynnistyksen yhteydessä ei ole vaatimusta käyttää mitään tiettyä alkuarvoa aikalaskureissa. Kun aikaleimojen lähetys on aloitettu, täytyy niitä lähettää niin pitkään, kuin isäntälaitte tuottaa MMC-paketteja. Isäntälaitteen täytyy varmistaa, että MMC-pakettien lähetys alkaa aina yhden mikrosekunnin välein +/-40 nanosekunnin tarkkuudella ja että MMC-pakettien aikaleiman arvo on sama kuin USB:n kanava-aika.

4.5 WUSB-väylän turvallisuus

USB-väylän langattomat toteutukset ovat kaapelin korvaavia teknologioita. Kaapeliyhteys tarjoaa kaksi tyypillisesti turvallisuuteen liittyvää palvelua. Se yhdistää juuri ne solmut, jotka käyttäjä haluaa yhdistää, sekä suojaa siirrettävän tiedon ulkopuoliselta tarkastelulta ja tahalliselta muokkaamiselta. WUSB:n turvallisuuden tavoitteena on tarjota samantasoinen luotettavuus langattomasti yhdistetyille USB-laitteille. Turvallisuusratkaisuja mietittäessä on kuitenkin pidettävä mielessä, että mikään ratkaisu ei ole läpäisemätön. Turvallisuusjärjestelmiä ei suunnitella suoranaisesti estämään hyökkäyksiä, vaan enemmänkin tekemään hyökkäyksen kustannukset huomattavasti suuremmiksi kuin mitä varastetun tiedon arvo on.

USB:n perusspesifikaatio ei itsessään määrittele minkään tasoista turvallisuutta, mutta USB-väylää käyttävät sovellukset saavat vapaasti rakentaa suojaukset USB:n päälle. UWB-radioyhteyteen perustuva WUSB-toteutus vaatii kuitenkin jonkin tasoisen suojauksen, jotta käyttäjien tiedot pysyvät yksityisinä. Myös käytettävät laitteet täytyy suojata mahdollisten muiden käyttäjien valtuuttamattomilta yhteyksiltä. Seuraavassa määritellään yleisesti perustason turvallisuusarkkitehtuuri USB:lle. Turvallisuusarkkitehtuurin määrittelemisen yleisillä USB-termeillä mahdollistaa tavalliset USB-turvallisuudenhallinnat isäntälaitteessa, huolimatta perustana olevasta mediasta johon USB-protokolla on sidottu. Turvallisuustoiminnot käsitellään USB:n hallintakanavan kautta, millä sallitaan tämän määrittelyn pysyminen mediasta riippumattomana.

4.5.1 Luottamus pohja

Jokaisen turvallisuusarkkitehtuurin täytyy alkaa luottamus pohjasta. Suojattu suhde merkitsee, että A) ryhmän olemassaololle on syy, esim. jokin yhteinen tavoite ja B) että on olemassa jonkinlainen vaatimus, jolla rajoitetaan ryhmään liittymistä. Ryhmän ”luotto” jäsenet luottavat toisiinsa B:n takia, jotta ne voisivat aikaansaada A:n. Jos tarkastellaan USB-kaapelin toimintaa ja sen kykyä muodostaa suojattu suhde isäntä- ja oheislaitteen välille, niin huomataan, että A) suhteen tarkoituksena on siirtää tietoa ja B) ryhmän jäsenyys rajoittuu ainoastaan niille solmupisteille, joihin käyttäjä on kaapelin yhdistänyt. Koska WUSB on johtimen korvaava

yhteysmuoto, täytyy sen turvallisuuden tarjota sama toiminto. Näin ollen USB:n turvallisuus määrittelee ”omistussuhteen” luottamuksen pohjaksi USB:n turvallisuudelle. Luottamus alkaa aina käyttäjistä tai omistajasta ja välittyy häneltä laitteille. USB:n turvallisuusarkkitehtuuri on suunniteltu välittämään luottamus käyttäjältä käyttäjän laitteille. Yksittäiset solmut voivat sitten esitellä tämän luottamuksen toisilleen muodostaakseen omistajan haluamat suhteet.

USB:n turvallisuus ei saa vaikuttaa USB-laitemallin perusominaisuuksiin. Toteutus ei myöskään saisi lisätä oleellisesti laitteen kustannuksia tai tehdä siitä liian monimutkaista. Mikäli kustannuksia tai monimutkaisuutta tarvitsee lisätä, ne pitäisi rajoittaa ainoastaan isäntälaitteeseen. USB:n turvallisuuden täytyy tarjota pelkästään rautatason toteutukseen perustuva ratkaisu, koska USB ei vaadi laitteilta omaa prosessoria. USB:n epäsymmetrisen yhteysmallin mukaisesti turvallisuustoiminnot käynnistää ja toteuttaa aina isäntälaitte. USB:n turvallisuuden yhteysmenettelyn on tarjottava symmetrinen tunnistautuminen isäntä- ja oheislaitteen välille, eli oheislaitteelle on annettava mahdollisuus varmentaa isäntälaitte ja isäntälaitteelle annettava mahdollisuus varmentaa oheislaitte.

4.5.2 Turvallisuuslaajennusten toteutus

USB tarjoaa valmiiksi laitteiden hallintatason kehysrakenteensa kautta. Tämä kehysrakenne luotiin luettelointi- ja hallintatoimintoja varten ja on sen vuoksi ihanteellinen menetelmä turvallisuustoimintojen toteuttamiseen. USB:n turvallisuuden kehysrakenne sisältää kaikki tarvittavat elementit: kuvaajat, toiminnot ja kyselyt. USB:n turvallisuuskyselyt kohdistetaan aina laitteille. USB:n turvallisuus on laitetason laajuinen eikä se tee eroa päätepisteiden välillä, kuten ei johdinkaan. USB:n kuvaajia käytetään luettelemaan oheislaitteen turvallisuusominaisuudet isäntälaitteelle. Oheislaitte kertoo aina tukemansa ominaisuudet isäntälaitteelle, joka valitsee sitten, mitä oheislaitteen ominaisuuksia käytetään. Kuvaajia käytetään myös paketoimaan yleisiä turvallisuusobjekteja, kuten salausavaimia. Tämä mahdollistaa yleisien avaimenvaihtomekanismien käyttämisen huolimatta avaimen tai salauksen tyypistä. USB:n toiminnot on määritelty esittämään laitteissa valmiina olevia turvallisuuteen liittyviä hallintaelementtejä. Toimintoja käsitellään tavanomaisilla USB-menetelmillä

USB:n kehysrakenteen kautta. USB:n kyselyt on määritelty turvallisuuteen liittyviä komentoelementtejä varten. Kyselyjä käytetään avaimien hallintaan, haaste-vaste-varmennukseen ja salauksenhallintaan.

4.5.3 Salausmenetelmät

Tavanomainen salausmenetelmä ensimmäisen sukupolven WUSB:lle on AES-128-laskuri CBC-Mac (CCM) -algoritmin kanssa. Tämä on symmetrinen salausalgoritmi, joka käyttää AES-lohkosalausta vahvan jonosalauksen luomiseen, jota voidaan käyttää tuottamaan eheys, salaus tai molemmat. AES-128 pystyy toimimaan reaaliaikaisesti, kun se on toteutettu rautatasolla. Tämä on ainoa määritelty menetelmä tavanomaiseen istunnon salaukseen. WUSB tukee myös julkisen avaimen salausta, mutta vain tunnistautumisen yhteydessä. Laitteet voivat tarvittaessa aloittaa ensimmäistä kertaa tapahtuvan tunnistautumisen käyttämällä julkisen avaimen salausta. Tällaisessa tapauksessa julkisen avaimen salausta käytetään laitteen tunnistamisessa sekä alkuperäisen CCM-avaimen jakamista suojaamassa. Julkista avainta käytetään siten, että on myös mahdollista käyttää ohjelmallista toteutusta algoritmeille. CCM-salauspaketti tarjoaa 128-bittisen turvallisuuden ajonaikaisille toiminnoille. Yleisen avaimen salauspaketin täytyy tarjota vähintään samantasoinen salaus, tai koko systeemin turvallisuus on uhattuna. Tästä syystä WUSB käyttää RSA-salausta 3072-bittisillä avaimilla ja SHA-256:sta hajakoodaukseen. Turvallisuusarkkitehtuuri tunnistaa myös kaapeliyhteyden salausmenetelmäksi. Tämän takia SME (Security Management Entity) eli turvallisuudenhallintakokonaisuus tunnistaa kaapeliyhteyden turvalliseksi yhteydeksi, jolloin se ei turhaan lisää tälle salausta. Tämä mahdollistaa langattomat ja johdolliset laitteet, joilla voidaan käyttää kaapeliyhteyttä alkuperäisen CCM-yhteysavaimen jakamiseen.

Salaus yleensä kasvattaa sanoman pituutta jonkin verran. Alkuperäisen sanoman lisäksi salattu sanoma sisältää myös yhteysavaimien tiedot, tuoreusarvoja ja eheysarvon. Näiden lisätietojen tarkkaan luonteeseen vaikuttaa käytetty salausmenetelmä. Yleisesti kuitenkin kaikki sanomaan liitettävä lisätieto lisätään sanoman alkupäähän erilliseksi alkutietueeksi lukuun ottamatta eheysarvoa, jonka paikka on välittömästi sanoman lopussa.

5 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää pääpiirteissään USB-väylän tekniset ominaisuudet ja toimintaperiaate. Käsiteltyinä osa-alueina olivat USB 1.1, USB 2.0, sekä WUSB -tekniikat. USB 1.1 - ja 2.0 -tekniikoista on olemassa runsaasti kirjoitettua materiaalia, mutta uutta WUSB-tekniikkaa ei vielä ole suomenkielisissä julkaisuissa, joten tällä työllä on hieman yritetty korjata tilannetta.

USB-tekniikasta on vuosien 2009–2010 aikana tulossa markkinoille uusi 3.0 versio. USB 3.0:ssa tullaan käyttämään pelkän kuparikaapelin sijasta kuparin ja optisen kaapelin yhdistelmää, jonka avulla tiedonsiirtokapasiteetti nousee kymmenen kertaiseksi USB 2.0 tekniikkaan verrattuna, eli noin viiteen gigabittiin sekunnissa.

USB-väylän langaton versio WUSB tulee yleistymään voimakkaasti lähivuosien aikana. WUSB on täysin yhteensopiva johdollisen USB:n kanssa, joten sen käyttöönotto on kohtuullisen edullista ja helppoa. Tällä hetkellä yleisin langaton tiedonsiirtotekniikka tietokoneiden ja oheislaitteiden välillä on Bluetooth. Nykyisen Bluetooth 2.0:n tiedonsiirtonopeus on kuitenkin ainoastaan 3 megabittiä sekunnissa, joten sen käyttö rajoittuu enimmäkseen vähän tiedonsiirtokaistaa vaativiin laitteisiin, kuten langattomiin hiiriin ja näppäimistöihin. WUSB-tekniikasta voi nopeutensa ja yleiskäyttöisyytensä ansiosta tulla samanlainen menestys kuin johdollisesta USB-tekniikasta aikanaan.

LÄHDELUETTELO

- 1 Anderson, Don, USB system architecture, Addison Wesley Longman, Inc., Reading, Massachusetts, USA 1997
- 2 Lähteinen, Olavi – Pietikäinen, Ville – Kosonen, Harri, Suuri PC-tietokirja, WS Bookwell Oy, Juva, Suomi 2004
- 3 USB.org - Press [www-sivu] [viitattu 2.2.2008]
Saatavissa: <http://www.usb.org/press>
- 4 USB.org - USB 3.0 [www-sivu] [viitattu 2.2.2008]
Saatavissa: <http://www.usb.org/usb30>
- 5 USB_types_2.jpg - Wikipedia [sähköinen kuva] [viitattu 15.3.2008]
Saatavissa:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/USB_types_2.jpg
- 6 wirelessUSB.pdf [sähköinen dokumentti] Intel [viitattu 2.2.2008]
Saatavissa: <http://www.intel.com/technology/ultrawideband/downloads/wirelessUSB.pdf>
- 7 WUSBSpec_r10.pdf [sähköinen dokumentti] USB.org - Certified Wireless USB
USB Implementers Forum, Inc. Julkaistu 12.5.2005 [viitattu 2.2.2008]
Saatavissa: http://www.usb.org/developers/wusb/wusb_2006_0302.zip