



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

USB-OHJELMOINNIN OPPIMATERIAALIN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Juha Hänninen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Elektroniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juha Hänninen	
Työn nimi USB-ohjelmoinnin oppimateriaalin suunnittelu	
Päiväys 5.5.2015	Sivumäärä/Liitteet 30/3
Ohjaaja(t) yliopettaja Väinö Maksimainen, Savonia-ammattikorkeakoulu	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu / elektroniikkalaboratorio, laboratorioinsinööri Pertti Kainulainen	
Tiivistelmä Opinnäytetyössä tavoitteena oli luoda opetusmateriaalia, jota voisi käyttää USB-väylän käytön teorian ja käytännön opetuksen tukena. Materiaali jakautuu ohjelmisto-osaan ja teoriaosaan. Ohjelmisto-osa luotiin Arduino Due -kehityskortin ja Microsoft Windows -käyttöjärjestelmän ympärille. Kehityskortti ohjelmoitiin emuloimaan HID-laitetta ja siihen lisättiin oheislaitteita, joita voidaan ohjelmallisesti lukea tai ohjata. Windows-käyttöjärjestelmään luotiin ohjelma, joka käyttää eri kirjastoja ja rajapintoja kehityskortin ohjaamiseen. Työssä perehdyttiin USB-väylän historiaan, kehitykseen ja nykytilaan, selvittäen väylän sähköistä toimintaa ja ohjelmallista hallintaa. Lähdemateriaalina käytettiin pääosin USB Implementers Forumin tarjoamaa USB-standardisarjaa, joka tarjoaa kattavan ja ajantasaisen tietolähteen väylän ominaisuuksista ja käytöstä. Lisäksi ohjelmiston käytöstä ja lähdekoodin toiminnasta tehtiin ohjeet opetuskäyttöä varten. Opinnäytetyön tuloksina saatiin USB-väylän käytön opetukseen soveltuvia ohjeita ja ohjelmistoa, joita voidaan käyttää pohjana jatkokehitystä varten.	
Avainsanat USB, laboratorio, ohjelmisto	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electronic Engineering			
Author(s) Juha Hänninen			
Title of Thesis Designing Educational Material for USB Programming			
Date	5 May 2015	Pages/Appendices	30/3
Supervisor(s) Mr. Väinö Maksimainen, Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences / Electronics Laboratory, laboratory engineer, Mr. Pertti Kainulainen			
<p>Abstract</p> <p>This thesis focused on investigating different avenues to create educational material that can be used to teach theoretical and practical aspects of the Universal Serial Bus, USB. The material is divided into two sections: software and theory.</p> <p>The software was created to support the Arduino Due development board and Microsoft Windows operating system. The development board was programmed to emulate a Human Interface Device, and other accessories were added that can be read or controlled programatically. A program was created for the Windows operating system that uses different libraries and application programming interfaces to control the development board.</p> <p>In the theory section, the history, development, and current state of USB is presented. It details both the electronic and programmatic functions of the bus. The source material consists mostly of the USB standard set provided by USB Implementers Forum. The standards provide an extensive and contemporary information set about the properties and use of USB. Additionally, the use of the software, and its source code, has been documented for teaching purposes.</p> <p>The material package can be further developed as needed, especially as the documentation itself only scratches the surface of all the possibilities offered by USB.</p>			
Keywords USB, laboratory, software			
public			

Esipuhe

Haluan esittää kiitokset yliopettaja Väinö Maksimaiselle työn ohjauksesta sekä Savonia-ammattikorkeakoulun henkilökunnalle kaikesta tuesta ja kärsivällisyydestä niin työn suorituksen kuin opintojenkin aikana.

Kuopiossa 5.5.2015

Juha Hänninen

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 USB-VÄYLÄ, STANDARDI JA OMINAISUUDET.....	9
2.1 USB:n perusteet.....	9
2.1.1 Isäntä.....	9
2.1.2 Laitteet.....	9
2.1.3 Keskittimet.....	10
2.2 USB-tekniologia ja sen kehitys.....	11
2.2.1 Liitäntästandardit.....	11
2.2.2 Nopeus.....	13
2.2.3 Tiedonsiirto.....	14
2.2.4 Virransyöttö.....	16
2.2.5 Hot Swapping.....	16
2.2.6 Usean laitteen tuki.....	17
2.2.7 Päätepiisteet, putket, siirrot.....	18
2.3 Esimerkki tiedonsiirrosta USB 2.0 -standardin mukaan.....	18
2.3.1 Signaalointi.....	18
2.3.2 Pakettidata.....	19
2.3.3 Siirto (Transaction).....	20
2.3.4 Yhdistäminen ja konfigurointi.....	21
3 TYÖN SUORITUS.....	23
3.1 Tavoite.....	23
3.2 Laitteisto.....	23
3.2.1 Arduino Due.....	23
3.2.2 Atmel SAM3X8E.....	23
3.2.3 Windows-PC.....	23
3.2.4 Oheislaitteet.....	23
3.3 Ohjelmisto.....	24
3.3.1 ATMEL ASF-USB.....	25
3.3.2 Visual Studio C++ ja HID API.....	26
3.3.3 Lisenssitarkastelu.....	26

3.3.4	Jatkokehitys.....	27
3.4	Oppimateriaali	27
4	TARKASTELU	28
	LÄHTEET	29
	LIITE 1: ATMEL-LISENSSI	31
	LIITE 2: HIDAPI-LISENSSI	32
	LIITE 3: KUVIEN LISENSSIT	33

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

HID = Human Interface Device - Laite, joka tarjoaa rajapinnan ihmisen ja tietokoneen välille.

Keskitin (Hub) = USB-väylään kytkettävä oheislaite, johon voi liittää muita USB-laitteita

Isäntä (Host) = USB-väylää hallinnoiva osa, yleensä tietokone

Laite (Device) = USB-väylään kytkettävä oheislaite, esimerkiksi näppäimistö

NRZI = Non-Return to Zero Inverted

OTG = On-The-Go

USB = Universal Serial Bus

USB-IF = USB Implementers Forum, USB-väylän kehitystyötä ja hallinnointia suorittava yhdistys.

1 JOHDANTO

Niin tietotekniikassa kuin elektroniikan alalla on tarve siirtää tietoa eri laitteiden välillä. Tähän käyttötarkoitukseen USB-väylästä on tullut varteenotettava vaihtoehto. Se on yleiskäyttöinen liitäntä, jolla voi siirtää niin tietoa kuin käyttövoimaakin, ja standardi kehittyy jatkuvasti käyttöympäristön tarpeen mukaan. Yhteensopivuudessaan ja levinneisyydessään siitä on tullut nimensä mukaisesti universaali.

Tekniikan alojen opiskelijalle USB-väylän perustietojen omaksuminen on hyödyllistä, sillä jatkossa tietoa voi joutua soveltamaan niin työssä kuin harrastuksissakin. Tämän työn tarkoituksena on luoda opetusmateriaalia, jonka avulla opiskelija tutustuu USB-väylän historiaan ja toimintaan. Opetusmateriaalissa käydään läpi myös väylän käyttöä sulautetuissa laitteissa ja Microsoft Windows -käyttöjärjestelmäympäristössä.

Valmis oppimateriaali pyritään julkaisemaan internetissä yleiseen käyttöön, sillä vastaavaa materiaalia joka kattaisi myös sulautetut laitteet ei ole kirjoitushetkellä vapaasti saatavissa.

2 USB-VÄYLÄ, STANDARDI JA OMINAISUUDET

2.1 USB:n perusteet

USB (Universal Serial Bus) on liitännäväylä tietokoneiden ja oheislaitteiden yhdistämiseksi. Väylän kehitystyö aloitettiin vuonna 1994. Kehitystyössä pyrittiin vähentämään ja yhtenäistämään sen aikaisten PC-tietokoneiden sähköisiä liitäntöjä. USB-väylän kehitystä ohjaamaan perustettiin voittoa tavoittelematon yhdistys USB Implementers Forum, jonka taustavoimina toimii suurimpia tietotekniikkayrityksiä, kuten Microsoft ja Hewlett-Packard. (MQP Electronics 2008; USB-IF 2000-04-27, ii.) USB on nimensä mukaisesti sarjamoitoinen dataväylä, jonka tiedonsiirto on pakettimuotoista. USB-väylässä on aina yksi isäntä (Host) ja yksi tai useita laitteita (Device). Väylä tukee enintään 127:ää laitetta. (USB-IF 2000-04-27, 30.)

2.1.1 Isäntä

Isäntä (Host) on laite, yleensä tietokone, joka hallinnoi USB-väylään kytkettyjä laitteita. Se tarkkailee väylään kytkeytyviä ja siitä poistuvia laitteita ja määrittelee niiden asetukset automaattisesti. Se myös tarjoaa ja hallinnoi väylän laitteiden virransyöttöä. (USB-IF 2000-04-27, 278.)

Isäntä ohjaa väylän tiedonsiirtoa jakaen siirtoon käytettävissä olevan ajan aikakehyksiin ja antaen jokaiselle laitteelle vuorollaan oman kehyksen tiedonsiirtoa varten. Toisin sanoen kaikki tiedonsiirto tapahtuu isännän aloitteesta. (USB-IF 2000-04-27, 205.)

2.1.2 Laitteet

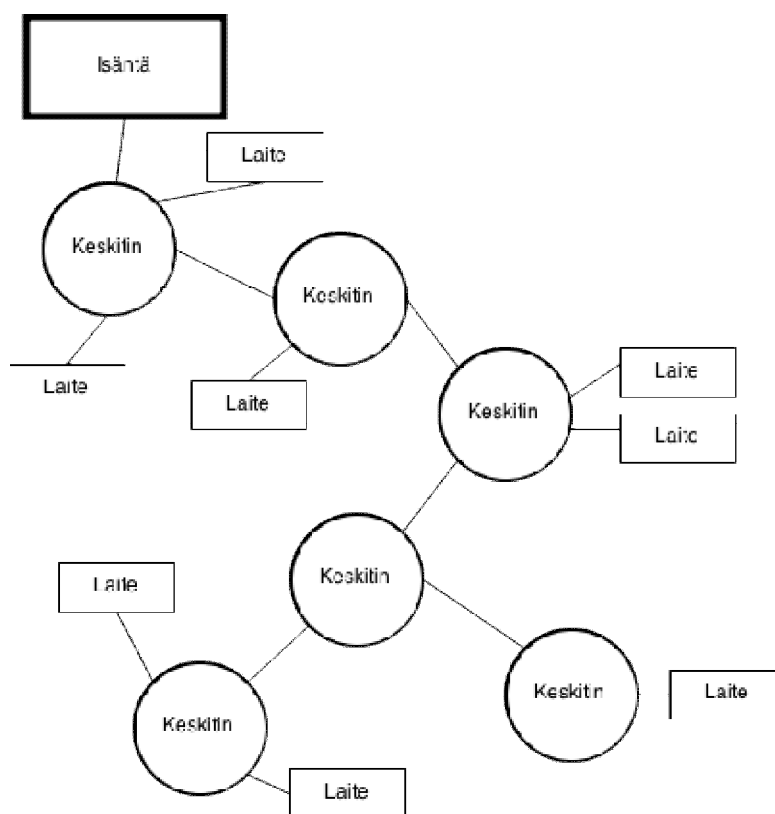
Laite (Device) kytkeytyy USB-väylään ja toimii siinä isännän ohjauksessa. Laite voi olla esimerkiksi näppäimistö, ulkoinen kiintolevy, videokamera tai väylästä käyttövoimansa ottava tuuletin. USB-standardi tarjoaa useita tiedonsiirtotapoja erilaisiin käyttötarkoituksiin. Näin samassa väylässä voi toimia pientä tiedonsiirtokapasiteettia vaativia laitteita, kuten näppäimistöt ja muut ohjauslaitteet, sekä suurta kaistanleveyttä ja virransyöttöä vaativia laitteita, kuten kiintolevyt ja skannerit. (USB-IF 2000-04-27, 22.)

On mahdollista myös yhdistää isännän ja laitteen roolit. Tällöin tabletit, älypuhelimet ja muut tietokonetta vastaavat laitteet voivat tarvittaessa toimia sekä laitteena USB-väylässä, esimerkiksi siirtäessä tietoa tabletin ja tietokoneen välillä, että isäntänä, kun tabletti kytketään tulostimeen tai muuhun USB-laitteeseen. (USB-IF 2001-12-18, 13.)

2.1.3 Keskittimet

Isäntälaitteella on yleensä vain muutama USB-portti, ja porttien määrä ei aina riitä väylään kytkettäville laitteille. Laitteiden määrää voidaan laajentaa USB-keskittimillä (Hub). Tätä laitteiden ja keskittimien kokonaisuutta kutsutaan kerrostetuksi tähtitopologiaksi (Tiered Star Topology, kuva 1). Topologian tähtinä ovat keskittimet ja tähden kärkinä keskittimestä lähtevät portit ja niiden laitteet. (USB-IF 2000-04-27, 16.)

Keskittimillä on aina yksi portti isännän suuntaan (Upstream) ja yksi tai useita portteja laitteille (Downstream) (USB-IF 2000-04-27, 298). Keskittimet ottavat isännältä tulevan tiedon vastaan ja välittävät sen kaikille väylässä oleville laitteille. Erona tähän on USB 3.0:n SuperSpeed-nopeusluokan tiedonsiirto, joka ohjataan yhteensopivan keskittimen läpi suoraan määrätyle laitteelle.



KUVA 1. Kerrostettu tähtitopologia

2.2 USB-teknologia ja sen kehitys

USB-teknologiaa on aktiivisesti kehitetty, ja sen myötä USB-väylästä on tullut yleisesti tuettu ja vallitseva teknologia. USB tarjoaa useita etuja verrattuna aiempiin liitännätarvikkeisiin.

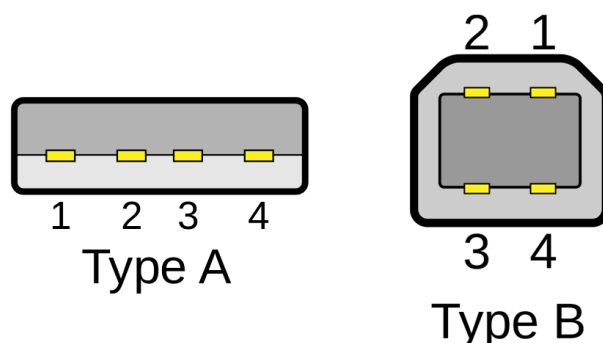
2.2.1 Liitännästandardit

USB 2.0 -väylän sähköinen kaapelointi sisältää neljä johdinta. Kahdessa johtimessa siirretään käyttöjännite laitteille (VBUS ja GND) ja kierretyssä parikaapelissa kuljetetaan varsinainen datasiinaali. (USB-IF 2000-04-27, 86.)

Versiossa 3.0 standardiin lisättiin kaksi lisäparia datasiinaaleille ja valinnaisesti kaksi johdinta käyttöjännitteelle ja maalle (USB-IF 2013-07-26, 3-3).

USB Type-C -standardissa jänniteparien määrä nostettiin neljään ja datapareja on yhteensä kahdeksan (USB-IF 2015-04-03, 18).

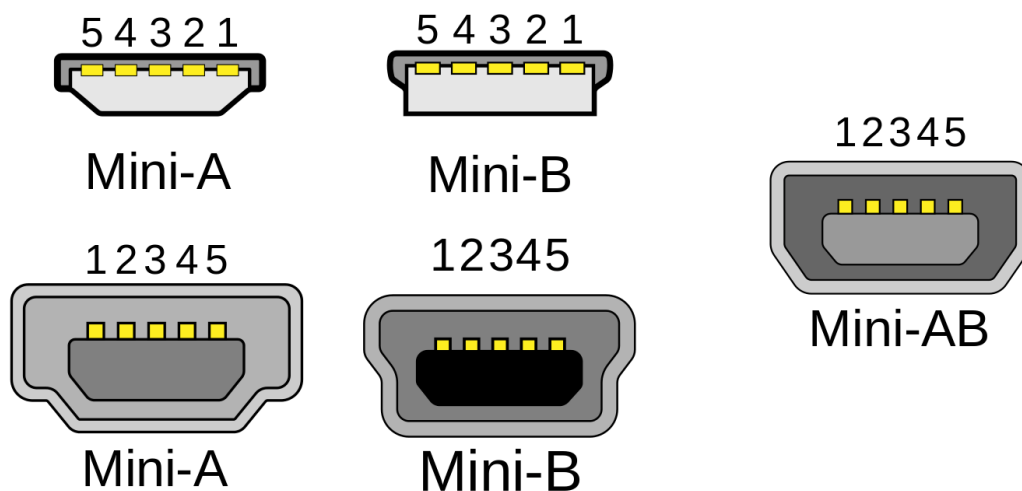
USB-standardissa on lukuisia liitinmäärittelyjä, tosin osa niistä on vähemmän käytettyjä tai ne on sittemmin poistettu käytöstä. Standardin versiossa 2.0 yleisimmät liitintyyppit ovat A-tyyppi ja B-tyyppi (kuva 2). A-tyyppiä käytetään yleensä isäntälaitteen tai keskittimen päässä, kun taas B-tyyppin liitintä käytetään aina laitteen päässä. (USB-IF 2000-04-27, 85.)



KUVA 2. USB Tyyppi-A ja -B -liittimet (Fred the Oyster 2014.)

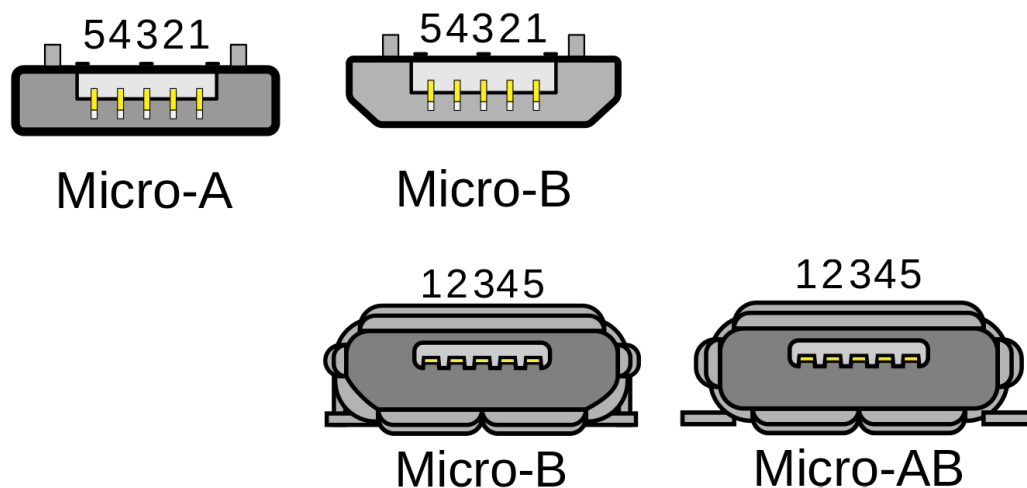
Mobiililaitteiden yleistyessä 2000-luvun alkupuolella tarvittiin pienempiä USB-liittimiä, joten standardiin lisättiin liittimet Mini-A ja Mini-B. Nämä liittimet vastaavat toiminnaltaan suurempia parejaan, eli A-tyyppi on aina isännän päässä ja B-tyyppi laitteen päässä. (USB-IF 2000-10-20, 1.)

USB OTG (On-The-Go) -toiminto mahdollisti laitteen toimimisen myös isäntänä, niin että matkapuhelimeen voitiin kytkeä oheislaitteita, kuten esimerkiksi tulostin. Koska sama laite pystyi toimimaan sekä isäntänä että USB-laitteena, luotiin tähän sopiva pistorasiatyyppi Mini-AB, joka pystyy vastaanottamaan sekä Mini-A että Mini-B -liittimiä. (Kuva 3.) (USB-IF 2001-12-18, 5.) Mini-A ja Mini-AB -liittimet on sittemmin poistettu käytöstä ja korvattu Micro-versioilla (USB-IF 2007-05-23, 2).



KUVA 3. Mini-A, Mini-B ja Mini-AB -liittimet (Fred the Oyster 2014.)

2000-luvun loppupuolella mobiililaitteiden pienentyessä standardiin lisättiin pienemmät liittimet ja pistorasiat Micro-A, Micro-B ja Micro-AB (kuva 4).



KUVA 4. Micro-A, Micro-B ja Micro-AB -liittimet (Fred the Oyster 2014; Music Sorter 2011.)

USB 3.0 toi tullessaan suuremman tiedonsiirtokapasiteetin, mutta kuitenkin säilytti yhteensopivuuden edellisen USB 2.0 -standardin kanssa. Väylään lisättiin kaksi paria datasiinaalikaapeleita full-duplex-tiedonsiirtoon edellisen USB 2.0 -version half-duplex-parin lisäksi. Koska uusi siirtokapasiteetti on lisätty edellisen version rinnalle, USB 3.0 on yhteensopiva USB 2.0 -version kanssa eikä uusien laitteiden tarvitse välttämättä tukea kaikkia uuden USB-version ominaisuuksia. (USB-IF 2013-07-26, 3-4.)

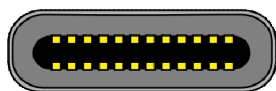
USB 3.1 -versio kaksinkertaisti tiedonsiirtonopeuden, mutta ei vaatinut merkittäviä muutoksia liittimiin. Kaapelointi ja pistorasiat on värikoodattu sinisellä, jotta ne erottuvat edellisestä versiosta. (Kuva 5.) (USB-IF 2013-07-26, 5-20.)



KUVA 5. USB 3.0, tyyppi A (Knäpper 2010.)

C-tyyppin liitin (kuva 6) luotiin yksinkertaistamaan väylän käyttöä tekemällä siitä yleiskäyttöisen sekä isännän että USB-laitteen päässä. Käyttäjän kannalta yksi merkittävä hyöty on se, että toisin kuin edellisen version liittimillä, C-tyyppin liittimen asennolla ei ole merkitystä kytkettäessä liitintä laitteeseen.

C-tyyppin liittimeen sisältyvät kaikki edellisen version jännite- ja tiedonsiirtolinjat yhteensopivuuden säilyttämiseksi. C-tyyppin liittimessä varsinaisia datapareja on yhteensä kuusi: USB 2.0 -tyyppisiä datapareja on kaksi ja USB 3.0 -tyyppisiä datapareja on neljä. Virransyöttöä varten johtopareja (VBUS ja GND) on neljä. Lisäksi liittimessä on kaksi ohjaussignaalinjaa (Configuration Channel) ja kaksi sivukaistalinjaa (Sideband Use). (USB-IF 2015-04-03, 18.)



Type C

KUVA 6. Tyyppi-C-liitin (Pietzowski 2015.)

2.2.2 Nopeus

USB-standardin kehityksen alkuaikoina väylän pääasialliset käyttökohteet olivat pienen tiedonsiirtokapasiteetin laitteita, kuten hiiret ja näppäimistöt. Digitaalisen äänen ja videokuvan myötä tiedonsiirron nopeus väylässä muodostui pullonkaulaksi. (USB-IF 2000-04-27, 12.)

Ulkoisten tallennuslaitteiden käytön lisääntyminen ja tallennusnopeuden kasvu ovat myös ohjanneet USB-väylän kehitystä. Kiintolevyjen siirtyessä puolijohdeteknologiaan niiden tallennusnopeus on moninkertaistunut. Standardin kehitystä on ohjattu seuraamaan tiedonsiirron nopeuden tarvetta. (USB-IF 2013-07-26, 1-1.)

TAULUKKO 1. USB-standardin nopeusluokat

Nimi	Teoreettinen nopeus	Käytännön nopeus	Datalinjat
Low-speed	1,5 Mb/s	Ei tietoa	2
Full-speed	12 Mb/s	Ei tietoa	2
High-speed	480 Mb/s	256 Mb/s	2
SuperSpeed (Gen 1)	5 Gb/s	3,5 Gb/s	6
SuperSpeed+ (Gen 2)	10 Gb/s	8,8 Gb/s	6

Taulukossa 1 esitetään USB-standardin nopeusluokkien väliset erot. Käytännön nopeus on aina teoreettista pienempi, sillä tiedonsiirto on pakettipohjaista. Jokainen datapaketti sisältää myös ohjaus- ja virheenkorjaustietoja, jotka vievät tilaa varsinaiselta siirrettävältä tiedolta. Lisäksi on otettava huomioon, että USB-väylä on jaettu useamman laitteen kesken ja jokainen laite tarvitsee oman osansa väylän siirtokapasiteetista. Tämän vuoksi todellinen nopeus on vielä esitettyä pienempi. (USB-IF 2013-07-26, 1-1, 4-18.)

2.2.3 Tiedonsiirto

USB-väylän tiedonsiirto sähköisellä tasolla tapahtuu johdinpareissa differentiaalisella signaloinnilla. Laitteen nopeuden määrittelyssä, pakettidatan synkronoinnissa ja datan siirrossa datalinjoja käytetään tiedonsiirron ohjaukseen ajamalla ne joko korkeaan tai matalaan jännitteeseen. Paketin sisältö on NRZI-koodattu eli jännitetason muutos kellojaksollaan tarkoittaa nollaa ja jännitetaso ilman muutosta tarkoittaa ykköstä. (USB-IF 2000-04-27, 17, 157.) Nämä signaloititavat yhdistämällä voidaan luoda yksittäinen datapaketti, joilla varsinainen tiedonsiirto suoritetaan isännän ja laitteen välillä. Isäntä määrittelee aikakehyksen, jonka puitteissa pakettidata siirretään (USB-IF 2000-04-27, 204–205).

USB-standardin 2.0-version pakettiliikenne jaettiin keskittimien kautta kaikille väylään kytketyille laitteille, ja laite valitsee sitä koskevan liikenteen paketin osoitteen mukaan. USB 3.0 -version SuperSpeed-nopeusluokan myötä tiedonsiirtoa tehostettiin siten, että keskittimet ohjaavat paketit vain niille laitteille, joille ne on tarkoitettu. SuperSpeed-laitteet eivät myöskään toimi enää isäntäohjattuina (Polling) vaan ne ilmoittavat isännälle, jos tiedonsiirrolle on tarvetta (Asynchronous traffic flow). Tietoa on myös mahdollista siirtää molempiin suuntiin yhtä aikaa. (USB-IF 2013-07-26, 3-4.)

Tiedonsiirtotyyppejä USB-standardin 2.0-versiossa on neljä (USB-IF 2000-04-27, 21).

Ohjaussiirto (Control Transfer)

Ohjaussiirroilla isäntä voi määritellä laitteen tilan ja ominaisuudet sekä muuttaa laitteen tilaa. Laitteella on käytössä aina yksi päätepiste ohjaussiirtoa varten.

Massasiirto (Bulk Transfer)

Tämä on kaksisuuntainen tiedonsiirto, jolla voidaan siirtää suuria määriä tietoa virheentarkistuksen kanssa. Massasiirrolla kaistaa on käytettävissä vain sen verran mitä muilta väylässä sillä hetkellä tapahtuvilta siirtotyypeiltä jää jäljelle. Tämä siirtotyyppi soveltuu sellaisille laitteille joiden tiedonsiirron ei tarvitse tapahtua välittömästi, kuten esimerkiksi tulostimet, skannerit ja massamuistit.

Tasa-aikainen siirto (Isochronous Transfer)

Aikapohjaiset siirrot tapahtuvat täsmällisin aikavälein, joten siirron kaistanleveys on vakio. Näillä siirroilla ei ole virheentarkistusta ja siten virheellisiä paketteja ei lähetetä uudelleen. Tasa-aikainen tiedonsiirto soveltuu täten esimerkiksi äänen tai videokuvan siirtoon.

Keskeytyspohjainen siirto (Interrupt Transfer)

Pakettien siirtojen välinen aika on vakio eli tämä siirtotyyppi vastaa tasa-aikaista siirtoa. Tässä siirtotyypissä käytetään virheenkorausta, tasa-aikaisesta siirrosta poiketen. Esimerkkinä keskeytyspohjaisesta tiedonsiirrosta ovat esimerkiksi hiiri, näppäimistö ja muut HID-laitteet.

TAULUKKO 2. Tiedonsiirtotyyppien ominaisuudet

	Control	Bulk	Isochronous	Interrupt
Suurin pakettikoko, tavua:				
Low-speed	8	-	-	8
Full-speed	64	64	1023	64
High-speed	64	512	1024	1024
SuperSpeed	512	1024	1024	1024
Taattu siirtonopeus	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Taattu latenssi	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Virheenkoraus	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei

TAULUKKO 3. Tiedonsiirtotyyppien suurin lähetämä pakettimäärä aikavälillä nopeusluokittain

	Isochronous	Interrupt
Low-speed	-	1 / 10 ms
Full-speed	1 / 1 ms	1 / 1 ms
High-speed	3 / 125 μ s	3 / 125 μ s
SuperSpeed	3 x 16 / 125 μ s	3 / 125 μ s
SuperSpeed+	6 x 16 / 125 μ s	3 / 125 μ s

Taulukoista 2 ja 3 voidaan laskea eri tiedonsiirtotyyppien teoreettiset suurimmat siirtonopeudet. Esimerkkinä aikapohjainen (Isochronous) tiedonsiirto SuperSpeed+-nopeusluokassa: Yhdessä siirtoraportissa voi olla 1024 tavua. Tietoa lähetetään aikakehyksessä 125 mikrosekunnin välein ja yhdessä aikakehyksessä voidaan lähettää kuusi pursketta (Burst). Yksi purske voi sisältää 16 pakettia. Näin saadaan teoreettinen siirtonopeus 750 MB/s. (USB-IF 2013-07-26, 4-15.)

2.2.4 Virransyöttö

USB-väylään kytkeytyvät laitteet voivat toimia joko omalla käyttövirrallaan (Self-powered) tai ottaa virtansa suoraan väylästä (Bus-powered). Matalan virran tilassa laite saa ottaa väylästä enintään 100 mA. Jos laite ylittää sille määritellyn virransyötön rajan isäntä tai USB-keskitin voi tarvittaessa kytkeä laitteen irti väylästä. Laite voidaan siirtää matalan virran tilasta korkean virran tilaan jolloin suurin saatavissa oleva virta on 500 mA. (USB-IF 2000-04-27, 171.)

USB:n versiossa 3.0 virransyötön yläraja nostettiin 900 milliampeeriin. Uusin Tyyppi-C-liitinstandardi tarjoaa useita eri käyttöjännitteitä ja mahdollistaa saatavissa olevan tehon aina sataan wattiin saakka. (USB-IF 2014-08-11, 475.)

TAULUKKO 4. USB-väylän virransyöttö standardin eri versioissa

Standardi	Suurin jännite ja virta	Teho
USB 2.0 (matala virta)	5 V, 100 mA	0,5 W
USB 2.0 (korkea virta)	5 V, 500 mA	2,5 W
USB 3.1	5 V, 900 mA	4,5 W
USB 3.1, Type-C	20 V, 5 A	100 W

2.2.5 Hot Swapping

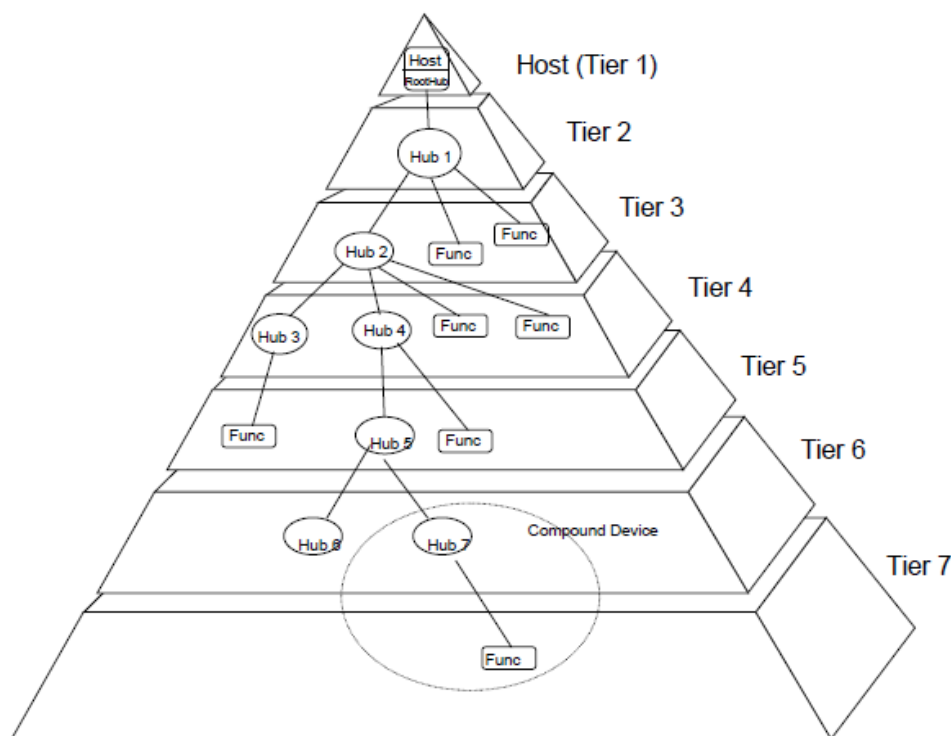
Hot Swapping tarkoittaa laitteen kytkemistä tai irrottamista ilman, että kytkennän kumpaakaan osapuolta tarvitsee sammuttaa tai uudelleenkäynnistää. Laitteen lisäys ja sen poisto väylästä tunnustetaan automaattisesti. Sähköisesti tämä vaatii sen, että liitännän maalinja kytketään ennen signaalilinjoja ja että väylään kytketyt laitteet kestävät irtikytkennästä syntyvän induktiivisen häiriöjännitteen. (USB-IF 2000-04-27, 177.)

2.2.6 Usean laitteen tuki

Yhteen USB-isäntään voidaan liittää enintään 127 laitetta. Tämä rajoitus johtuu USB-pakettien osoitekentän leveydestä, joka on 7 bittiä.

Laitteiden liitettävyydessä on kuitenkin tiettyjä rajoituksia. Keskitimiä voi olla peräkkäin enintään viisi kappaletta jotta siirtoviive ei kasva liian suureksi. Keskitin synkronoi sen läpi kulkevan pakettidatan uudelleen, mutta edestakaisen viiveen isännältä laitteelle täytyy kuitenkin pysyä asetetuissa katkaisuaajan rajoissa. (USB-IF 2000-04-27, 16.)

Kaapelien pituutta ei ole erikseen määritelty mutta niiden pituus rajoittuu käytännössä viiteen metriin. Jos laite on matalan nopeuden tilassa, tai käytetään USB 3.0 -versiota, kaapelin enimmäispituus on kolme metriä. Jos kaapeli on liian pitkä, signaalin heijastukset kaapelissa saattavat mahdollisesti rikkoa laitteita. (USB-IF, USB Frequently Asked Questions.)



KUVA 7. USB-topologia (USB-IF 2000-04-27, 16.)

Isäntä sisältää yleensä juurikeskitimen (Root Hub) tarjotakseen enemmän kuin yhden portin. Keskitin voi olla myös sisällytettyä laitteeseen, jolloin kyseessä on yhdistelmälaite (Compound Device) (Kuva 7).

Joissain isäntälaitteissa, kuten tietokoneissa, on useampi kuin yksi USB-isäntä ja juurikeskitin, jotta tarjolla oleva siirto- ja virtakapasiteetti vastaisi paremmin käyttäjien tarpeita.

2.2.7 Päätepisteet, putket, siirrot

Laitteella voi olla useita päätepisteitä (Endpoint) jotka puskuroidaan lähetettyä ja vastaanotettua tietoa. Päätepiste voi siirtää tietoa vain yhteen suuntaan, ja sen siirtopuskurin koko määrittelee kuinka monta tavua se voi jokaisella siirrolla (Transaction) siirtää.

Yksittäinen siirto alkaa kun isäntä lähettää laitteelle paketin jossa pyydetään tiedonsiirtoa joko isännältä laitteelle (Out) tai laitteelta isännälle (In). Tässä muodostuu putki (Pipe) joka yhdistää yksittäisen päätepisteen isäntään. Putkityyppejä on kaksi: Kaksisuuntaiset viestiputket (Message Pipe) ja yksisuuntaiset tietovirtaputket (Stream Pipe). (Peacock 2010.)

2.3 Esimerkki tiedonsiirrosta USB 2.0 -standardin mukaan

USB-standardin mukainen tiedonsiirto on monikerroksinen prosessi joka on parhaiten esitettävissä esimerkin avulla. Seuraavana annetaan pelkistetty kuvaus siitä mitä tapahtuu, kun USB-laite kytketään isäntään, ja niiden välillä suoritetaan yksinkertainen tiedonsiirto. Oletetaan että tiedonsiirto tapahtuu low-speed-nopeudella. Tapahtumat, erityisesti laitteen konfigurointi, eivät välttämättä tapahdu esitetyssä järjestyksessä.

2.3.1 Signalointi

Tiedonsiirtoa varten väylässä on johdinpari, jonka yli tiedonsiirto tapahtuu differentiaalisella signaloinnilla. Tieto on NRZI-koodattu eli nollabitti saadaan kun signaali muuttaa tilansa matalasta korkeaan jännitteeseen tai korkeasta jännitteestä matalaan. Vastaavasti ykkösbitti saadaan kun signaali pysyy muuttumattomana kellojakson ajan. Koska väylässä ei ole erillistä kellosignaalia, pitkät peräkkäiset määrät ykkösbittejä saattavat johtaa siihen että tiedonsiirto ei pysy synkronoituna vastaanottopäässä. Tämän ongelman korjaamiseksi joka kuuden ykkösbitin jälkeen lisätään nollabitti, jotta vastaanottava laite voi täsmätä sisäisen kellopulssinsa vastaanotetun signaalin kanssa. Vastaanottava pää poistaa ylimääräiset bitit automaattisesti. (USB-IF 2000-04-27, 157.)

Sähköisellä tasolla ykkösen ja nollan jännitetasot vaihtelevat yhteyden nopeuden mukaan. Nopeusluokissa Low-speed ja Full-speed linja on matalalla tasolla kun jännite on alle 0,8 voltia ja korkealla tasolla kun jännite on yli 2,0 voltia. High-speed-tilassa matalan tason jännite on oltava alle 10 mV ja korkean yli 360 mV. (USB-IF 2000-04-27, 179.)

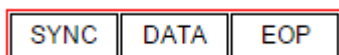
Differentiaalinen ykkönen saadaan, kun D+-johdin nostetaan korkean tason jännitteeseen, ja D-lasketaan matalan tason jännitteeseen. Differentiaaliselle nollalle jännitetasot ovat päinvastoin. (USB-IF 2000-04-27, 145.)

Kytkenään alkuvaiheessa laite ilmaisee yhteysnopeutensa joko nostamalla johtimen D+ tai D- korkeaan jännitetasoon. Low-speed-nopeutta varten johdin D- nostetaan korkeaan jännitetasoon.

Vastaavilla signaloineilla viestitään esimerkiksi yhteyden kytkennästä, katkaisusta ja nollauksesta sekä ilmaistaan paketin alku- ja loppukohdat.

2.3.2 Pakettidata

Varsinainen tiedonsiirto isännän ja laitteen välillä siirretään pakettimuotoisena. Jokaisessa paketissa on synkronointiosa (SYNC), dataosa (DATA) ja paketin loppua merkitsevä signaali (EOP, End Of Packet) (Kuva 8).



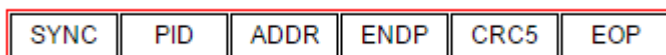
KUVA 8. Paketti

Erilaisia pakettityyppejä on yhteensä 17, jotka on jaettu neljään ryhmään (USB-IF 2000-04-27, 196):

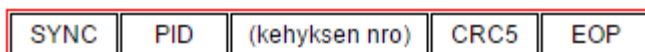
- Token (Merkki, valtuutus)
- Data
- Handshake (Kättely)
- Special (Erikoispaketit).

Token-paketit määrittelevät tiedonsiirron suunnan tai tarkoituksen (OUT, IN, SETUP) tai merkitsevät siirtokehysten alun (SOF, Start Of Frame). Uusi siirtokehys alkaa yhden millisekunnin välein low-speed ja full-speed -nopeusluokissa. High-speed-nopeusluokassa yksi kehys on jaettu kahdeksaan mikrokehykseen, mutta siirtokehysten aloituspaketti lähetetään vain alkuperäisen pääkehysten tahtiin. (USB-IF 2000-04-27, 205.)

Token-paketti sisältää paketin tyypin (PID, Packet ID), laitteen osoitteen ja päätepisteen (ADDR, ENDP) ja tarkistussumman (CRC5) (kuva 9). Jos Token-paketti osoittaa kehysten alun, siinä on paketin tyypin (SOF) lisäksi kehysten järjestysnumero (kuva 10).

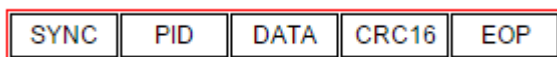


KUVA 9. Token-paketti



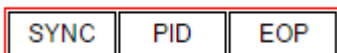
KUVA 10. SOF-paketti

Data-paketit sisältävät siirrettävän tiedon (pakettityypit DATA0, DATA1). High-speed -nopeusluokassa käytetään myös pakettityyppejä DATA2 ja MDATA. Tiedonsiirroissa pakettityyppejä DATA0 ja DATA1 vuorotellaan, jotta mahdolliset hukkuneet paketit voidaan havaita. (Kuva 11.) (USB-IF 2000-04-27, 57.)



KUVA 11. Data-paketti

Handshake-paketit (kuva 12) toimivat pääasiassa tiedonsiirron virheenkorjauksessa. Kun laite vastaanottaa paketin, se kuittaa onnistuneen vastaanoton paketilla ACK. Jos vastaanottava laite ei voi ottaa tietoa vastaan, lähetetään vastaukseksi paketti NAK. Paketti STALL ilmaisee, että päätepiiste on pysähtynyt. (USB-IF 2000-04-27, 206.)



KUVA 12. Handshake-paketti

Special-paketit sisältävät lisäsignalointia low-speed-laitteille ja keskittimille sekä PING-paketin tiedonsiirron säätelyä varten (USB-IF 2000-04-27, 196).

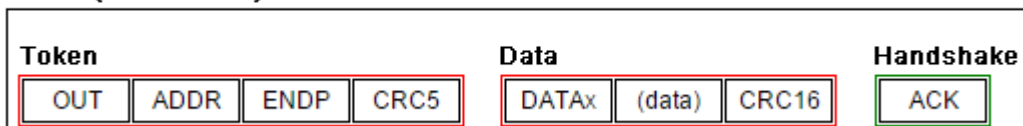
2.3.3 Siirto (Transaction)

Edellä mainittuja paketteja yhdistämällä saadaan luotua yksittäinen siirto (Transaction) (kuva 13). Siirtotyyppiä on kolme: OUT, IN ja SETUP. OUT-siirto tapahtuu isännältä laitteelle ja IN-siirto laitteelta isännälle. SETUP-siirtotyyppi ilmaisee, että seuraava datapaketti on SETUP-paketti, joka sisältää isännältä tulevaa ohjausdataa.

Esimerkiksi siirrettäessä tietoa isännältä laitteelle luodaan OUT-siirto. Ensin lähetetään Token-paketti, jonka paketti-ID on OUT. Tässä paketissa kerrotaan vastaanottavalle laitteelle ja sen yksittäiselle päätepiisteelle, että seuraava paketti kuuluu sille.

Siirron seuraava paketti on datapaketti, joka sisältää siirrettävän tiedon. Tämän paketin tunniste on jokin DATA-luokista (DATA1, DATA2, DATA3, MDATA). Lopuksi laite kuittaa lähettämällä Handshake-paketin, jonka paketti-ID on ACK. (MQP Electronics 2008.)

Siirto (Transaction)



KUVA 13. Siirto

2.3.4 Yhdistäminen ja konfigurointi

Kun laite on kytketty, sen siirtonopeus on määritelty ja yhteys on nollattu vakaan alkutilan saavuttamiseksi isäntä suorittaa kyselyitä ja asetuksia SETUP-siirtojen avulla (kuva 14), jotta laitteen käyttötarkoitus saadaan määriteltyä ja laite saadaan onnistuneesti kytkettyä isäntään.



KUVA 14. SETUP-siirto

Isäntä pyytää ensin laitteelta kuvaustietoja sen laiteluokasta ja ominaisuuksista. Tämä suoritetaan lähettämällä laitteelle SETUP-siirto, jonka pyyntötyyppi on GET_DESCRIPTOR(Device) eli laitteen kuvaus. Tämä pyyntö sisältyy kuvan 14 toisen paketin dataosaan.

Laite palauttaa seuraavia perustietoja ominaisuuksistaan:

- käytetty USB-versio
- laitteen luokka, aliluokka ja laiteprotokolla. Esimerkiksi laitteen luokka 0x03 (HID-laitteet), aliluokka 0x0 (ei luokkaa) ja protokolla 0x1 (näppäimistö).
- laitteen valmistajakoodi (VID, Vendor ID), tuotekoodi (PID, Product ID) ja julkaisunumero. Esimerkiksi VID 0x46D (Logitech Inc), PID 0xC305 (Internet Keyboard).

Jokaisella laitteella väylässä on 7-bittinen osoite, jota laitteen kytkennän alkuvaiheessa ei ole vielä määritelty. Isäntä määrittelee laitteen osoitteen SETUP-siirrolla SET_ADDRESS.

Laitteen kokoonpanon kuvauksesta isäntä saa tietoja pyynnöllä GET_DESCRIPTOR(Configuration). Laitteilla on yleensä vain yksi kokoonpano (Configuration), mutta tarvittaessa niitä voi olla useampi, esimerkiksi laitteen eri virransyöttötavoille. Laitteella on tällöin oma kokoonpanonsa, kun laite saa virtansa USB-väylän kautta tai kun laitteella on oma virtalähteensä.

Kokoonpanokuvauksesta isäntä saa tiedon, kuinka monta rajapintaa (Interface) laitteen kokoonpanossa on. Isäntä saa tarkemmat tiedot rajapinnasta pyynnöllä GET_DESCRIPTOR(Interface). Laite palauttaa rajapinnan luokan, aliluokan ja protokollan. Luokat ovat samat kuin laitteen kuvauksessa. Koska laitteella voi olla useita rajapintoja, yhdellä laitteella voi olla myös useita eri käyttöluokkia. Esimerkkinä tästä on USB-väylään kytketty laite, jossa on sekä hiiri että näppäimistö.

Rajapinnan määrittelyssä annetaan sen sisältämät päätepisteet (Endpoints). Päätepisteen määrittely sisältää

- tiedonsiirron suunnan (In tai Out)
- päätepisteen järjestysnumeron (1–15)
- tiedonsiirtotyyppin (ks. luku 2.2.3)
- suurimman lähetettävän tai vastaanotettavan paketin koon
- tiedonsiirron aikavälin.

Kun isäntä on kerännyt tarpeelliset tiedot yhteyden käynnistämiseksi, se asettaa sopivimman kokoonpanon pyynnöllä SET_CONFIGURATION. Tämän jälkeen laite on käyttövalmis ja isäntä ohjaa laitetta lähettämään tai vastaanottamaan tietoa edellä määritellyin väliajoin. (MQP Electronics 2008.)

3 TYÖN SUORITUS

3.1 Tavoite

Työn tavoitteena oli luoda opetusmateriaalia, joka tutustuttaa sen käyttäjän USB-väylään, USB-standardin pääkohtiin ja väylän käyttöön ohjelmoinnissa. Ohjelmoinnin malliksi tarvittiin yksinkertaiset ohjelmarungot sekä isännälle että laitteelle, jotka toimisivat samalla harjoitusympäristönä USB-väylän testaamiseen ja lisäkehitykseen.

3.2 Laitteisto

USB-tiedonsiirto tapahtuu kehityskortin ja Windows-PC:n välillä. Kehityskorttien vaihtuvuus on nopeaa mikrokontrollerien jatkuvan kehityksen johdosta, jonka vuoksi opetusmateriaali voi näiltä osin myös vanhentua nopeasti. PC-tietokoneen osalta tätä ongelmaa ei ole, sillä väylän tiedonsiirtoa käsitellään käyttöjärjestelmässä ohjelmatasolla, laitteiston pysyessä samankaltaisena.

3.2.1 Arduino Due

Arduino Due on Atmel SAM3X8E ARM -mikrokontrolleriin perustuva 32-bittinen kehityskortti. Kortilla on kaksi USB-liitintä. Toista liitintä käytetään kortin ohjelmointiin ja toinen on yleiskäyttöinen USB-portti sovelluskehitykseen. (Arduino.cc 2015.) Kortti on alun perin suunniteltu ohjelmoitavaksi Arduinon omalla sovelluskehittimellä, mutta se on yhteensopiva myös mikrokontrollerin valmistajan Atmelin sovelluskehittimen kanssa.

3.2.2 Atmel SAM3X8E

Kehityskortin mikrokontrolleri, Atmel SAM3X8E, perustuu ARM Cortex-M3 -prosessoriin. Sen sisäänrakennettu USB-kontrolleri tukee USB 2.0 -versiota ja enintään kymmentä kaksisuuntaista päätepiistettä. (Atmel Corporation, 1053.)

3.2.3 Windows-PC

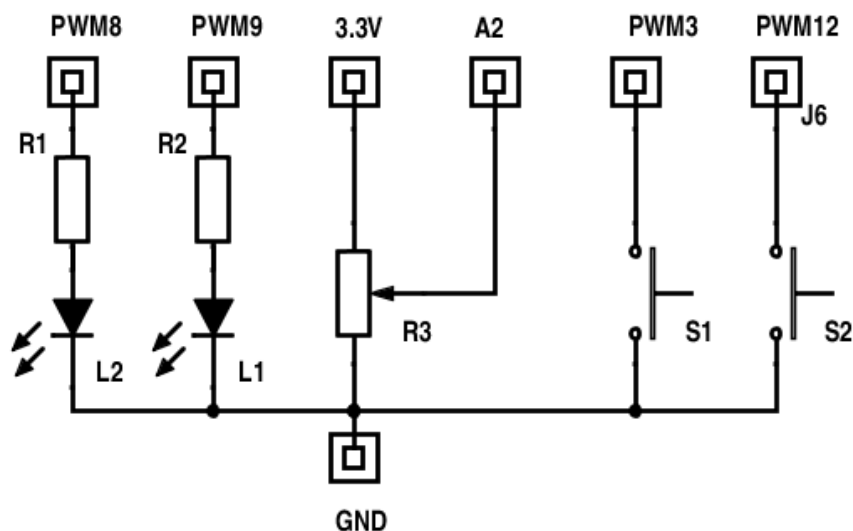
Kehitystyössä käytettiin PC-tietokonetta. Tietokoneen käyttöjärjestelmänä oli Microsoft Windows 7, jonka kanssa kehitysympäristöohjelmisto toimii.

3.2.4 Oheislaitteet

Ohjelmiston käyttöä helpottamaan ja HID-laitteen simulointia varten kehityskorttiin voidaan lisätä oheislaitteita, kuten tässä tapauksessa kytkimiä, merkkivaloja ja säätövastuksia. Kehityskortilla on tähän tarkoitukseen sekä tulo- että lähtöliitäntöjä. (Kuva 15.)

Ohjelmistoon on oletusasetuksiksi laitettu seuraavat ohjaustiedot:

- LED 1: PWM9
- LED 2: PWM8
- kytkin: PWM12
- säätövastus: A2.



KUVA 15. Oheislaitteiden kytkentäkaavio

3.3 Ohjelmisto

Ohjelmisto jakautuu kahteen osaan: Kehityskortille ohjelmoitavaan C-kielillä luotuun käyttöohjelmaan ja PC-tietokoneella ajettavaan C++-kieliseen hallintaohjelmaan. Kummassakin on käytetty valmiita kirjastoja ohjelmointia yksinkertaistamaan.

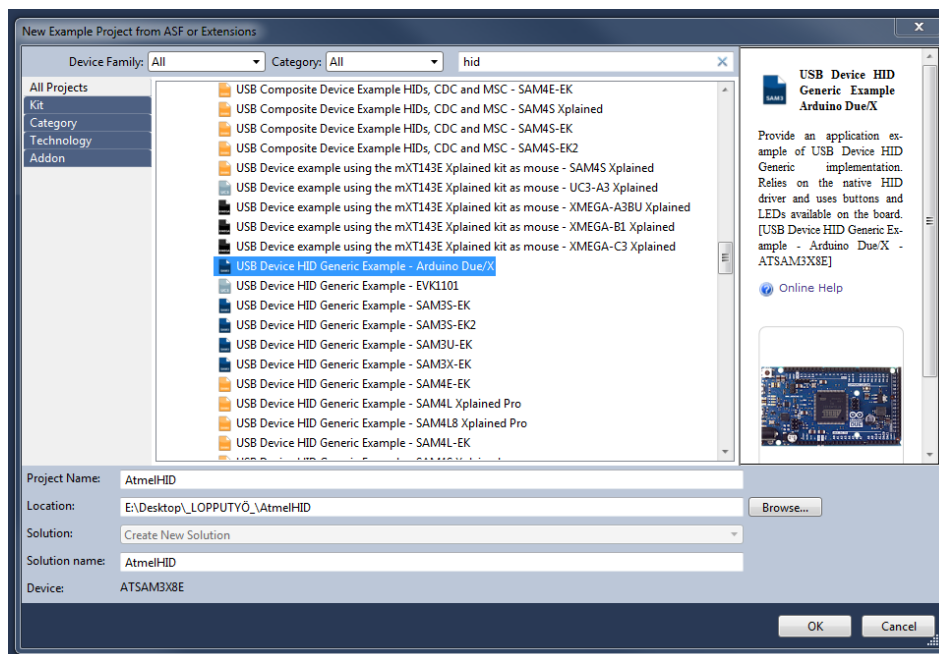
Ohjelmiston kehityksen alkuvaiheessa tavoitteena oli käyttää kehityskortin USB-kirjastona Dean Cameran tekemää LUFA-kirjastoa (Lightweight USB Framework for AVR). Kirjastossa oli kokeellinen tuki Atmelin 32-bittiselle UC3-arkkitehtuurille, jota yritettiin muokata yhteensopivaksi SAM3X-sarjan kanssa. (Camera 2015.)

Kirjasto oli alun perin luotu 8-bittisille mikrokontrollereille ja siihen lisätty tuki 32-bittisyydelle teki kirjastosta tavallista monimutkaisemman. Tavoitteena oli samanaikaisesti liittää kirjasto sekä uuteen mikrokontrolleriin että uudempaan Atmel Studio -kehitysympäristöön, mutta tämä tehtävä osoittautui ylivoimaiseksi. Vaihtoehtoiseksi mikrokontrollerin USB-kirjastoksi oli tarjolla Atmel Software Frameworkin tarjoama ASF-USB-ohjelmakirjasto, jonka generisen HID-laitedemon pohjalta ohjelmistopaketti rakennettiin.

Hallintaohjelman luomiseen käytettiin Visual Studio 2013 Community Edition -kehitysympäristöä. Kehitysympäristön avulla voidaan käyttää Windows-käyttöjärjestelmän tarjoamia kirjastoja USB-tiedonsiirtoon. Tämän rinnalle lisättiin Signal 11 Softwaren HID API -kirjasto, jolla voi helposti lähettää ja vastaanottaa tietoa USB HID -laitteiden kanssa.

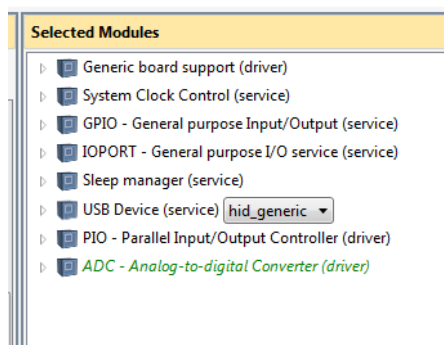
3.3.1 ATMEL ASF-USB

Mikrokontrollerin kehitysympäristönä käytettiin Atmel Studio 6.1:tä. Kehitysympäristön mukana oli Atmel Software Framework (ASF), joka tarjoaa laajan valikoiman mikrokontrollerin ominaisuuksia tukevia kirjastoja ja esimerkkikoodia laitteiden testaukseen. Kehitystyön pohjaksi valittiin geneerinen USB HID -sovellusrunko, joka ensin testattiin toimivaksi kehityskortilla ja josta työtä laajennettiin (Kuva 16).



KUVA 16. Atmel Studio, esimerkkiprojekti

Sovellusrungon koodi lukee kahta painiketta ja ohjaa kahta LED:iä. Näiden oheislaitteiden lisäksi luetaan säätövastusta, jonka vuoksi lähdekoodiin lisättiin ADC-tuki (Kuva 17).



KUVA 17. Projektin moduulit

Kehityskortin ohjelmaa ohjataan vastaanotetuilla USB-kehyksillä, ja kortti lukee painikkeiden tilan sekä säätövastuksen arvon neljäkymmenen kehyksen välein. Jos jokin arvoista on muuttunut edellisen mittauksen jälkeen, uusi arvo lähetetään IN-raporttina USB-väylään.

Kun kehityskortti vastaanottaa OUT-raportin, kehityskortin LED:ejä joko sammutetaan tai sytytetään raportista saadun arvon mukaan.

3.3.2 Visual Studio C++ ja HID API

PC-tietokoneella tiedon lähetystä ja vastaanottoa suorittamaan luotiin C++-kielinen hallintaohjelma Visual Studio-kehitysympäristössä. Atmelin esimerkkikoodin mukana tuli vastaava hallintaohjelma, mutta sen kaikki toiminnot suoritettiin AtUsbHid DLL -kirjaston kautta, eikä kirjastosta ole annettu lähdekoodia.

Windows-ympäristössä on useampia vaihtoehtoja, miten USB- ja HID-laitteiden tiedonsiirto voidaan toteuttaa. Raw Input -ohjelmointirajapinnan avulla HID-laitteita voidaan lukea suoraan ilman, että käyttöjärjestelmään tarvitaan erillistä ajuria tai laitetukea kyseiselle laitteelle. Laite rekisteröidään sen käyttöluokituksen mukaan, käyttöluokkana voi olla esimerkiksi peliohjain. Tässä tapauksessa kehityskortti on asetettu valmistajan määrittelyksi (Vendor-defined). Laite voidaan rekisteröidä myös ennenkuin se on kytketty tietokoneeseen. Kun laite lähettää IN-raportin, hallintaohjelma voi ottaa sen vastaan kuuntelemalla käyttöjärjestelmän WM_INPUT-viestiä. (MSDN, About Raw Input.) Raw Input -rajapinta ei tue tiedonsiirtoa laitteen suuntaan.

Raw Input-rajapinnan rinnalle on lisätty Signal 11 Softwaren HID API -kirjasto. Sen avulla voidaan luoda kaksisuuntainen tiedonsiirtoyhteys HID-laitteiden kanssa. Kirjastossa on myös valmiit funktiot laitteen ominaisuusraporttien ja muiden tietojen lukemiseen. Yhteys laitteelle avataan sen VID/PID-parin avulla, jonka jälkeen tietoa voi lähettää tai vastaanottaa. HID API -kirjastoa käytettiin LED-valojen ohjaukseen. (Signal 11 Software 2010.)

3.3.3 Lisenssitarkastelu

Ohjelmiston kehitystyössä käytettävien ohjelmien ja lähdekoodin lisenssit on huomioitava. Ohjelmistokirjaston lisensointi ei aina mahdollista sen käyttöä kaupallisissa tarkoituksissa tai että yhdistettäessä useampia lähteitä niiden keskinäiset lisenssit ovat epäyhteensopivia. Siksi lisenssien läpikäynti on suotavaa.

Ohjelmistopakettissa käytetään seuraavia lisenssejä:

- Atmel Software Frameworkin sisältämiä kirjastoja ja lähdekoodia saa muokata ja levittää, kunhan lähdekoodin mukana tuleva lisenssiteksti on annettu (Liite 1).
- Microsoft Visual Studio 2013 Community Edition sallii kehitysympäristön ja sillä tuotettujen ohjelmien käytön, jos sillä luodaan avoimen lähdekoodin ohjelmia tai jos ohjelmia käytetään opetustoiminnassa (Visualstudio.com 2015).
- Signal 11 Softwaren HIDAPI-kirjastoa käytettäessä voidaan valita jokin kolmesta eri lisenssityypistä: GPL v3, BSD tai alkuperäinen HIDAPI-lisenssi. Näistä alkuperäinen lisenssi on vapaamuotoisin. Ainoana vaatimuksena on että lisenssiteksti on liitetty lähdekoodin mukaan. (Liite 2.)

3.3.4 Jatkokehitys

Oppimateriaalissa on käsitelty vain USB HID -laitteen hallintaa ja tiedonsiirtoa. HID-laitteet yleiskäyttöisyydestään huolimatta sisältävät tiettyjä rajoituksia, joista merkittävimpiä on HID-laitteiden pieni tiedonsiirtonopeus, jonka ylittämiseksi täytyy käyttää jotain toista tiedonsiirtotyyppiä.

Kehityskortin osalta Atmelin ASF-kirjasto tarjoaa esimerkkikoodia kaikista USB 2.0 -standardin tiedonsiirtotyypeistä. Kirjaston avulla jatkokehityksen pitäisi olla suoraviivaista. (Atmel Corporation 2015.)

Jos Windows-käyttöjärjestelmässä halutaan käyttää muita kuin HID-laitteita tarvitaan laitteelle yhteensopiva laiteajuri. Useimmat HID-laitteet on tuettu suoraan Microsoftin käyttöjärjestelmän mukana tulevilla geneerisillä ajureilla. Windows-käyttöjärjestelmän mukana tulee WinUSB-ajuri, jota voidaan käyttää luotaessa hallintaohjelmia, jotka käyttävät muitakin tiedonsiirtoluokkia. (MSDN, WinUSB.)

3.4 Oppimateriaali

Tekstimateriaalissa annetaan perustietoa USB-väylän historiasta ja nykytilanteesta sekä esimerkki HID-laitteen käyttöönotosta väylässä. Omatoimisen tiedonhankinnan helpottamiseksi käydään läpi tärkeimmät standardit ja hyödylliset työkalut.

Käyttöympäristön ohjeissa opastetaan kehityskortin, oheislaitteiden ja tietokoneen kytkentä sekä tutustutaan käytettävien ohjelmien peruskäyttöön. Ohjelmakoodin läpikulussa selvitetään sekä kehityskortin että Windows-hallintaohjelman lähdekoodin keskeisimmät kohdat. Lopuksi annetaan muutama esimerkki mahdollisista materiaaliin pohjautuvista harjoitustöistä.

4 TARKASTELU

Opinnäytetyössä oli tavoitteena luoda elektroniikkalaboratorioon soveltuva oppimateriaalipaketti, joka tukee teorian opetusta ja mahdollistaa käytännön harjoitusten suorittamisen.

Työssä luotiin opetusmateriaalia, joka antaa tietoa väylän toiminnasta aina yleiskuvasta sähköiseen signalointiin saakka. Käytännön harjoituksia varten voidaan muokata annettua ohjelmakoodia ja tarvittaessa lisätä kehityskorttiin oheis- tai mittalaitteita sen mukaan, mihin kurssiin tai syventävään opiskeluun opetusmateriaalia käytetään.

Työn suoritus on antanut hyvän pohjatiedon väylän käyttöön ja on hyödyksi myös tulevaisuudessa. Vaikka työn suorituksen aikana oli ongelmia, lopputulos on vähintäänkin tyydyttävä.

LÄHTEET

- ARDUINO.CC 2015. Arduino Due (Verkkoaineisto). Arduino-alustan valmistajan kotisivut. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
- ATMEL CORPORATION 2015. SAM3X/SAM3A Datasheet. (Verkkoaineisto) Revision 11057C. 2015-03-23. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.atmel.com/Images/Atmel-11057-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3X-SAM3A_Datasheet.pdf
- ATMEL CORPORATION 2015. Quick start guide for USB Device Vendor module (UDI Vendor). (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://asf.atmel.com/docs/latest/sam3x/html/udi_vendor_quickstart.html
- CAMERA, Dean. 2015. LUFA (2013) (Verkkoaineisto). Four Walled Cubicle -kotisivut. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.fourwalledcubicle.com/LUFA.php>
- Fred the Oyster 2014-10-15. USB-liittimet. (Digitaalinen kuva) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?search=%22fred+the+oyster%22+usb&profile=all>
- KNÄPPER, Rainer 2010-11-08. Steckverbindung USB 3.0. (Digitaalinen kuva) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Connector_USB_3_IMGP6022_wp.jpg
- MSDN.COM 2015. About Raw Input. (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms645543\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms645543(v=vs.85).aspx)
- MSDN.COM 2015. WinUSB (Winusb.sys). (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff540196\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff540196(v=vs.85).aspx)
- MQP Electronics Ltd. 2008. USB Made Simple. (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.usbmadesimple.co.uk/>
- Music Sorter 2011-07-27. Micro-B, Micro-AB. (Digitaalinen kuva) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?search=%22music+sorter%22+usb&profile=all>
- PEACOCK, Craig. 2010. USB in a NutShell. (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/>
- PIETZOWSKI, Andreas 2015-04-17. USB Type C plug. (Digitaalinen kuva) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:USB-Type-C.svg>
- SIGNAL 11 SOFTWARE 2010. HID API for Linux, Mac OS X, and Windows. (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.signal11.us/oss/hidapi/>
- USB IMPLEMENTERS FORUM. Universal Serial Bus Specification. (Verkkoaineisto) Revision 2.0. 2000-04-27. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_031815.zip (tiedosto usb_20.pdf)
- USB IMPLEMENTERS FORUM. USB 2.0 Specification Engineering Change Notice (ECN) #1: Mini-B connector. (Verkkoaineisto) 2000-10-20. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_031815.zip (tiedosto ecn1-usb20-miniB-revd.pdf)
- USB IMPLEMENTERS FORUM 2000. Bus Topology. (Digitaalinen kuva) Revision 2.0. 2000-04-27. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_031815.zip (tiedosto usb_20.pdf)
- USB IMPLEMENTERS FORUM. On-The-Go Supplement to the USB 2.0 Specification. (Verkkoaineisto) Revision 1.0. 2001-12-18. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.usb.org/developers/onthego/otg1_0.pdf
- USB IMPLEMENTERS FORUM. RE: Deprecation of the Mini-A and Mini-AB Connectors. (Verkkoaineisto) 2007-05-23. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa: http://www.usb.org/developers/Deprecation_Announcement_052507.pdf

USB IMPLEMENTERS FORUM. Universal Serial Bus 3.1 Specification. (Verkkoaineisto) Revision 1.0. 2013-07-26. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa:

http://www.usb.org/developers/docs/usb_31_040315.zip (tiedosto USB_3_1_r1.0.pdf)

USB IMPLEMENTERS FORUM. Universal Serial Bus Power Delivery Specification. (Verkkoaineisto) Revision 2.0. 2014-08-11. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa:

http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_031815.zip (tiedosto USB_PD_R2_0 V1.0 - 20140807.pdf)

USB IMPLEMENTERS FORUM. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification. (Verkkoaineisto) Revision 1.1. 2015-04-03. [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa:

http://www.usb.org/developers/docs/usb_31_040315.zip (tiedosto USB Type-C Specification Release 1.1.pdf)

USB IMPLEMENTERS FORUM 2015. USB Frequently Asked Questions. (Verkkoaineisto) [Viitattu

2015-04-29.] Saatavissa: <http://www.usb.org/developers/usbfaq#cab1>

VISUALSTUDIO.COM 2015. Microsoft Software License Terms. Microsoft Visual Studio Community 2013. (Verkkoaineisto) [Viitattu 2015-04-29.] Saatavissa:

<https://www.visualstudio.com/support/legal/dn877550>

LIITE 1: ATMEL-LISENSSI

(Lisenssi kopioitu lähdekoodista, USB Device HID generic, main.c)

Copyright (c) 2011-2012 Atmel Corporation. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. The name of Atmel may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.
4. This software may only be redistributed and used in connection with an Atmel microcontroller product.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY ATMEL "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NON-INFRINGEMENT ARE EXPRESSLY AND SPECIFICALLY DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

LIITE 2: HIDAPI-LISENSSI

(Lisenssi kopioitu lähdekoodista, LICENSE-orig.txt)

HIDAPI - Multi-Platform library for
communication with HID devices.

Copyright 2009, Alan Ott, Signal 11 Software.

All Rights Reserved.

This software may be used by anyone for any reason so
long as the copyright notice in the source files
remains intact.

LIITE 3: KUVIEN LISENSIT

Fred the Oyster 2014-10-15. USB-liittimet.

<http://en.wikipedia.org/w/index.php?search=%22fred+the+oyster%22+usb&profile=all>

Licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license.

KNÄPPER, Rainer. 2010-11-08. Steckverbindung USB 3.0.

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Connector_USB_3_IMGP6022_wp.jpg

This work of art is free; you can redistribute it and/or modify it according to terms of the Free Art License.

Music Sorter 2011-07-27. Micro-B, Micro-AB.

<http://en.wikipedia.org/w/index.php?search=%22music+sorter%22+usb&profile=all>

Licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

PIETZOWSKI, Andreas. 2015-04-17. USB Type C plug. (Digitaalinen kuva) [Viitattu 2015-04-29.]

Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:USB-Type-C.svg>

Licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.