

4.10. Waarom USB geen Real Time is

In de eerste les is al aangegeven dat USB geen Real Time is. USB-gestuurde machines voldoen daarmee niet aan de Machinerichtlijn en andere Arbo-wetgeving. De eigenaar van een USB-machine in een professionele werksituatie, is altijd boven-wettelijk aansprakelijk voor eventuele directe en indirecte schade!

Interrupt. De traditionele seriële communicatie (RS232) heeft een eigen hardwarematige datatoegang (COMx/xTTY) en daarmee ook een 'hotline' (de *interrupt*) naar de CPU zelf. Zodra een aangesloten RS232-apparaat via de seriële datalijn ongevraagd iets te melden heeft, wordt dit direct door de processor via de interrupt opgemerkt.

De seriële interrupt maak real time aansturing mogelijk, *mits* de computer een realtime Operating System draait, zoals LinuxCNC RTOS of CP/M of DOS.

USB-LAN. Hoewel USB een doorontwikkeling is van de traditionele seriële communicatie, is er een zeer groot hard- en softwarematig verschil. USB is hardwarematig een parallel geschakelde LAN van twee datalijnen (Rx/D+ en Tx/D-), met harde T-aansluitingen voor elk USB-netwerk-apparaat (=device).

In een USB-LAN verzorgt één **Host**-controller met een root-hub in een **Master-Slave-protocol** de communicatie over zijn eigen **USB-Local Area Network**. Elke actie wordt verzorgd op initiatief van de Master; Slaves moeten luisteren en mogen alleen spreken wanneer hun iets gevraagd wordt.

Per USB-LAN kunnen 127 *cliënts* (apparaten, ofwel slaves) worden aangesloten. En net als bij Ethernet-LAN, kunnen in een USB-netwerk Routers en Hubs onderdeel zijn van dat lokale netwerk.

De USB-Host-controller is een zelfstandig apparaat, met een eigen **Host-Operating System**; de oudste type/versie is de Universele Host Controller Interface **UHCI** (USB 1.0) met een snelheid van 12 Mbit/s. Nieuwere type/versies zijn; Enhanced **EHCI** (USB 2.0) met 480 Mbit/s, Open **OHCI**, Extended **xHCI** (USB3.0), enz. (MBit/s is hetzelfde als baudrate)

Dat de USB-HOST een compleet zelfstandig apparaat is, blijkt wel in het BIOS; USB kan gestart worden voordat de computer gestart wordt (Boot prioriteit).

Sterker nog; USB **wordt altijd** gestart vóórdat de computer gestart wordt; hoe kan anders een USB-toetsenbord gebruikt worden om het BIOS te openen?

Pas op: Bij een pc met alleen USB-poorten, is het in het BIOS uitschakelen van USB, hetzelfde als de deur achter je in het slot trekken, terwijl de sleutels nog binnenliggen.

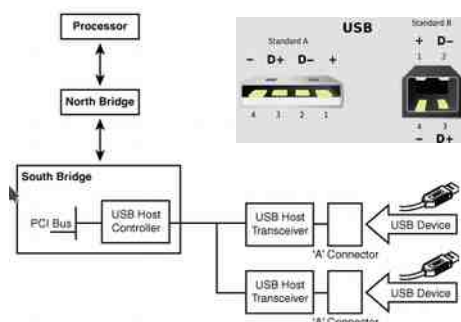


Figure 1: USB Architecture in PC Environment



Overzicht USB-Hosts en Poorten Vooral bij een haperende USB-communicatie is het handig om een overzichtje te hebben van alle op de computer aanwezige USB-Hosts en hun poorten. De voorbeeld PC heeft zeven host-chips met elk een vierpoorts root hub; maakt totaal 28 aanwezige USB-poorten. De PC-fabrikant heeft slechts acht USB-poorten op de kast aangebracht.

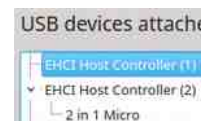
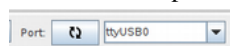
Front boven	Host 4 (UHCI USB 1.0)
Front onder	Host 2 (EHCI USB 2.0)
Back links boven	Host 1 (EHCI USB 2.0)
Back links onder	Host 1 (EHCI USB 2.0)
Back rechts eerste (boven)	Host 1 (EHCI USB 2.0)
Back rechts tweede	Host 1 (EHCI USB 2.0)
Back rechts derde	Host 1 (EHCI USB 2.0)
Back rechts vierde (onderste)	Host 4 (UHCI USB 1.0)

USB-poort-multiplexer

Bij gebruik van UHCI (oudere pc's) is de USB-poort naar host een vast bedrade verbinding; optimaliseren van deze verbinding is niet aan de orde. Bij nieuwere pc's met multi USB hosts (UHCI en EHCI of wat dan ook), **kān** tussen alle hosts en de USB-poorten een **USB-optimalisatie-poortmultiplexer** (-schakelcentrale-) geplaatst zijn. Een 2.0 flash drive (de 2 in 1 Micro) direct ingeprikt op de USB-poort wordt als USB2.0 correct verbonden met een EHCI Host.

Vanwege de USB-poortmultiplexer wordt dezelfde flash drive, met een 1,8 meter high speed USB 2.0 verlengkabel aangesloten op dezelfde USB-poort, vanwege de 'storende' verlengkabel als USB 1.0 verbonden met een UHCI Host.

Waar bij oudere PC's met het omprikken van de USB-stekkers een specifieke host kan worden geselecteerd, wordt dit bij nieuwere pc's dus ongevraagd door de USB-optimalisatie-multiplexer verzorgd. Sommige USB-gebruikers 'herkennen' de USB-poortmultiplexer door het 'zomaar opeens' verspringen van de te gebruiken USB-poort.



Hot pluggable. USB is vooral handig omdat het **hot pluggable** is, ofwel nadat de USB-stekker in een al functionele computer ingeprikt is, herkent de computer zelf het aangesloten apparaat. In een Master-Slave-netwerk is hot pluggable alleen mogelijk wanneer de Master eenmaal per zoveel tijd de communicatie over het netwerk compleet stil legt, en vraagt "Wie is daar?". "Ik" zegt de muis. Master: "Wat voor apparaat ben jij? Slave; "Ik ben een Logitech muis". Master: "OK Logitech muis, jij staat op mijn apparatenlijst en hoeft niet meer te reageren." Master: "Wie is daar?". "Ik" zegt het toetsenbord", enz., enz.



Op deze manier maakt de Host als Master een lijst van alle aangesloten apparaten. Wanneer twee USB-apparaten tegelijk en dus even snel reageren ontstaat er miscommunicatie (**signal collision**), en kan een 'lopende verbinding wegvallen', of een USB-apparaat wordt helemaal niet herkend. Wanneer binnen een bepaalde tijd geen reactie meer komt (**time out**), stopt de Host met vragen **wie** er aangesloten is.

USB Device. Wanneer USB-hubs worden gebruikt, zal alleen de eerste hub als USB-cliënt worden opgemerkt. Alle achter deze hub liggende USB-apparaten worden gezien als 'eigenschappen' van de gevonden hub (-als switchable USB sub devices-). De eigenschappen van die devices worden pas in een volgende controle-gang uitgevlood.

Devices kunnen ook **verborgen (hidden)**, in **slaapmodus** of **afgeschakeld** zijn. (Het destructieve Stuxnet-virus maakte gebruik van een afgeschakelde hidden device.)

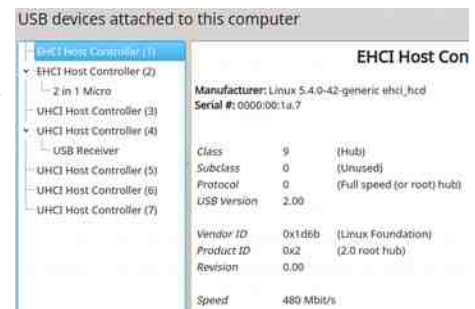
Een USB-apparaat kan zelfs uit meerdere USB-devices zijn samengesteld; neem de multi-functionele printer; het is een USB-printer, een USB-scanner, een USB-kaartlezer, enz.; elke functie kan een aparte USB-device zijn. Elektronisch kan de multi-functionele printer gebruik maken van een eigen hub (genaamd 'printer'), en bestaat dan uit hidden sub devices.



Hierboven is duidelijk te zien dat alleen de Hub als USB-apparaat wordt herkend. De twee daarop ingeprikte cardreaders, en de drie memorycards, en een smartcardreader worden niet eens als USB-apparaat weergegeven.

Clientlist. Nadat de USB Host een eerste versie (-inventarisatie-) van de *Clientlist* heeft aangemaakt, werkt deze vervolgens als Master een vraag-en-antwoord-protocol af over USB-apparaattypes zoals invoer, uitvoer, opslag (Class), sub devices (welke actief en zichtbaar zijn en welke niet (hidden)), welk communicatie-protocol (USB muis, Toetsenbord en Tablet zijn Human Interface Devices (HID's) en worden nooit weergegeven; ofwel 'hidden'), welke USB-versie, enz.

Een USB-apparaat kan wel zeggen dat het USB3.0 aan kan, maar of het met meerdere apparaten en/of extra lange kabels, hubs -en niet te vergeten de gebruikte USB-Host-versie- ook mogelijk is, is iets anders. Veel communicatieproblemen kunnen al opgelost worden, door simpelweg gebruik te maken van de juiste USB Host; USB1.0 apparaten op een UHCI-host, een USB3.0-apparaat op een xHCI-host, enz.



Het volgende onderdeel van de hotplug-aansluitprocedure is met een step-up-step-down-protocol testen van de meest optimale communicatie (dus zonder dataverlies) met elk afzonderlijk gevonden, aangesloten en actief ingeschakelde USB-device. Een USB 3.0 apparaat direct op een USB 3.0 Host is helaas geen garantie voor de hoogste snelheid; overgangsweerstanden, openliggende kasten, nabij liggende kabels, een Elektro Magnetisch stoorvuile omgeving, enz.; er zijn teveel factoren die een lagere datasnelheid noodzakelijk kunnen maken. Voordeel is wel dat USB de verbinding vooraf altijd test, en de op dat ogenblik hoogst mogelijke stoorvrije snelheid kiest.

CNC-machines in rust wekken nauwelijks tot geen stoorsignalen op. Vooral bij een onjuiste afscherming van de elektronica of bekabeling gaan ze dit juist wel doen wanneer een cnc-job gestart wordt. Een stilstaande machine wordt door USB gevonden, maar na het starten -of tijdens een cnc-job-, kan de machine zelf zijn eigen communicatie verstoren. Correcte afscherming en goede ontstoring is bij CNC een eerste vereiste.

Met een ingebouwde USB-poortmultiplexer, kan bij een lage vastgestelde datasnelheid, de USB-poort naar een tragere host worden doorgeschakeld, zodat de snellere Hosts beschikbaar zijn voor de snellere apparaten. Nadeel is dat na omschakelen de gehele hot-plug-cyclus weer herstart moet worden.

Samengevat; Met elke extra aangesloten USB apparaat op dezelfde Host, neemt de hotplug-update-tijd toe, en ligt de normale USB-communicatie óók langer stil. Met elke hub neemt de hotplug-update-tijd nog eens extra toe.

Onder Linux kan de huidige actieve cliëntlijst met `lsusb` eenvoudig opgevraagd worden. Merk op dat de USB-Host als 'Bus' wordt vermeldt, en de gevonden apparaten een 'tijdelijk' Device-nummer krijgt toegewezen.

```
hjs@pc1:~$ lsusb
Bus 002 Device 008: ID 14cd:125c Super Top SD card reader
Bus 002 Device 006: ID 058f:6362 Alcor Micro Corp. Flash Card Reader/Writer
Bus 002 Device 009: ID 08e6:3437 Gemalto (was Gemplus) GemPC Twin SmartCard Reader
Bus 002 Device 005: ID 05e3:0606 Genesys Logic, Inc. USB 2.0 Hub / D-Link DUB-H4 USB 2.0 Hub
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 007 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 006 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 005 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 004 Device 002: ID 046d:c52f Logitech, Inc. Unifying Receiver
Bus 004 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 003 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
```

Vaak zal de USB Host op het moederbord verbonden zijn met een 4-poorts hub-chip; de zogeheten **root hub**. Afhankelijk van de PC-fabrikant zullen deze al of niet (of slechts gedeeltelijk) als daadwerkelijk te gebruiken USB-poorten op de computerkast beschikbaar zijn (Test met een USB-stick welke poorten daadwerkelijk direct beschikbaar zijn). Sommige Host-chips kunnen direct verbonden zijn met andere elektronica, zoals de USB camera, USB GPS, USB Wifi, USB Blue Tooth module, enz..

Bus 002 Device 001 is de eerste poort van de root hub, waarin Bus 002 Device 005 een hub is geprikt (de overige drie root hub-poorten (002, 003, 004) worden pas vermeldt wanneer daadwerkelijk een USB-apparaat daarop aangesloten is, zoals de Logitech Receiver voor draadloze muis. De in dit voorbeeld extra aangesloten hub kent vier poorten namelijk Device 006, 007, 008 en 009. Op poort 006 vinden we de Alcor flash card reader, poort 007 wordt niet gebruikt, poort 008 een SD card reader, en op 009 de GemPC card reader.

De cliëntlijst laat duidelijk zien in welke volgorde (van beneden naar boven!) de verschillende usb-apparaten gevonden zijn, en welk USB-apparaat als sub-device aangesloten is. Wanneer een bepaald USB-apparaat telkens 'te laat aangemeldt' wordt, kan met de cliëntlijst gecontroleerd worden welke USB-poort sneller is. Voorbeeld; wordt de Super Top SD Card reader ingeprikt op de derde Host, eerste ingang van de root hub, *is de kans* dat dit apparaat als eerste gevonden wordt, vele malen groter. Bij een nieuwere pc met ingebouwde USB-poortmultiplexer is het vaak uitproberen met welke USB-host dan de verbinding wordt gelegd. Bizarre tip; gebruik een USB-verlengkabel als vertraaglijn om een USB-apparaat (bijvoorbeeld draadloze muis) iets later aangemeldt te krijgen op een UHCI-host, zodat een ander apparaat eerder aangemeldt kan worden.

Samengevat, met heel veel geduld, meestal korte kabels, weinig hubs, en heel veel uitproberen kan met het omprikken van de USB-stekkers bepaalde communicatiestoringen vaak al verholpen worden.

Indien geïnstalleerd kan onder DOS met USBHOSTS een host-overzicht, en met USBDEVIC een cliëntlijst worden opgevraagd. Helaas is het weergeven van een USB cliëntlijst onder Windows vaak alleen beperkt mogelijk via de systeemsoftware.

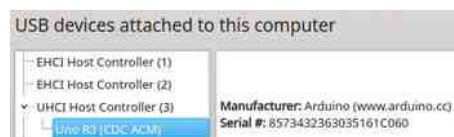
Drivers. Een ander voordeel van USB is dat *apparaatdrivers* ofwel 'speciale apparaat-software' niet (meer) moeizaam vanaf diskette of CD-ROM geïnstalleerd of ge-update hoeft te worden. Dit is mogelijk omdat USB ook vraagt naar het Fabrikant-identificatie-nummer (*VendorID*) en het Product-identificatie-nummer (*ProductID*) en welke Firmware-versie (*Revision*). Aan de hand van deze informatie zal USB, in samenwerking met de CPU en het lopende OS, de juiste softwaredrivers uit de OS-softwarebibliotheek in het computer-geheugen (RAM) plaatsen. Een bekende universele USB-driver is bijvoorbeeld CH340. Wanneer het OS geen drivers heeft, wordt vaak automatisch op internet gezocht. In een heel enkel geval (en bij USB onder DOS) zal alsnog zelf de juiste driver van diskette of CDROM in het geheugen geladen moeten worden.



Samengevat; eenmaal per tijdseenheid stopt USB compleet en start een hotplug-update-routine, waarbij de 'aansluittijd' - vanwege de step-up-step-down-procedure-, altijd langer duurt, dan de 'afsluittijd'. Plaats op het computerscherm het overzicht van de aangesloten USB-apparaten, en merk op hoe snel een nieuw apparaat in de Cliëntlijst wordt opgenomen, en hoe snel een USB-apparaat verwijderd wordt.

USB packets. Merk op dat in het voorbeeld hierboven de Arduino aangesloten is op een UHCI-controller (de 7e Host!), communicatie mogelijk is met 12 Mbit/S, en dat de Packet Size 8 bytes is; dit zijn LAN-specificaties! Vergelijk een Packet met een pakje van 8 RS232-enveloppen, ofwel 8 ASCII-tekens ('acht karakters'), die per pakje verstuurd kunnen worden. Alle te verzenden en te ontvangen informatie tussen de Master en elke Slave afzonderlijk, gebeurt over de twee gemeenschappelijke datalijnen (-de snelweg-) in *pakjes (packet)* van 8 tekens, waarbij het ene pakje voor de ene Slave is en de andere pakjes voor andere slaves. *Uitsluitend en alleen* wanneer de Host-Master er nadrukkelijk om vraagt (en dus een antwoord verwacht!) mag een aangewezen Slave een packet terugzenden. Een G-code-regel van 70 tekens vraagt dus om $70/8 = 9$ individuele packets die tussen de andere packets van andere USB-apparaten uitgevist moet worden. Dat wordt lekker druk en vooral zeer tijdrovend (=traag) wanneer er meerdere USB-apparaten op dezelfde controller zijn aangesloten!

Computerfabrikanten proberen met meerdere parallele USB-bussen (eigenlijk dus meerdere USB-LAN-systemen met elk een eigen Host; de eeuwige strijd tussen serie- en parallel-technieken) en USB-poort-multiplexing de 'gemiddelde bus-snelheid' te verhogen. Wanneer een USB-apparaat niet herkent wordt, of er telkens communicatie-storingen optreden, is vaak het inprikken op een andere USB-Host of -poort al een oplossing.



USB is geen real time. Hoewel aangesloten USB-apparaten intern hun eigen interrupts kunnen gebruiken (zoals de Arduino en andere MCU's), kunnen deze (als slave) via de USB-bus geen interrupt aan de computer geven; Real Time USB is vanwege het twee-draads bus-ontwerp, het gebruik van Master-Slave protocol, en vanwege packeting per definitie NIET en NOOIT mogelijk. Wel kan USB heel snel zijn, zodat de term **Semi Real Time** meer op zijn plaats is.

4.11. USB watchdog (slaapmodus)

Wat veel USB-gebruikers zich niet realiseren is dat USB een lokaal netwerk (LAN) is. Niet alleen zijn de normale seriële en elektrische stoorfactoren van toepassing, maar daar bovenop komen ook nog eens de typische netwerk-stoorfactoren, zoals signal collision, packet routing, packet collision, packet loss, enz., enz. Meestal zal de gebruiker USB-netwerk-verstoringsen niet eens opmerken (of er aan gewend zijn), omdat de apparaatdrivers voorzien zijn van correctieprotocollen. De bekendste LAN-verstoringsen (en correcties) zijn de 'frozen frames', 'a-synchrone en/of verstoorde audio', tijdvertraging bij beeldbellen, danwel het telkens wegvallen en herstellen van de verbinding.

Watchdog Een niet zo bekende 'netwerk-verstoring' is automatische afschakeling. Veel USB-apparaten (en/of diens drivers) zijn standaard voorzien van een *waakhondfunctie (watchdog)*; wanneer het apparaat een bepaalde tijd niet aangesproken wordt (*Timed Out*), zal het zichzelf in een slaapmodus (*Sleep mode*) brengen (-even schudden met muis-) danwel geheel afschakelen (*Power Off*).



USB device overload Bij het gebruik van hubs of te veel USB-apparaten op dezelfde host, kan de hotplug-updatetijd zelfs langer gaan duren dan de toegestane apparaat-wachttijd, zodat een USB-apparaat op een hub niet herkend kan worden, maar *wel* wanneer het direct in de PC wordt geprikt. De gebruiker denkt dan vaak dat de hub of kabels problemen veroorzaken, terwijl de oorzaak ligt in de opbouw en configuratie van het USB-netwerk, en de verschillende watchdog time out's van de diverse USB-apparaten. Berucht is de time-out error 'out-of-sync' van een aangesloten Arduino waarin een programma geladen moet worden (In hoofdstuk 11 wordt daar verder op in gegaan). Vanuit de aard van de machine, is menig USB-CNC-apparaat zeer kritisch en gevoelig voor dit soort netwerk-verstoringsen.

USB Auto suspend Vanaf de introductie van de XHCI-Host chip kan *USB Autosuspend* problemen veroorzaken. Wanneer deze optie ingeschakeld is (hetgeen standaard is), zal de USB Host chip niet actieve USB-apparaten vrij snel in Power Off-modus brengen om energie te besparen (Dynamic USB Power Management). Berucht bijvoorbeeld is dat bij het gebruik van een USB-netwerkadaptor en een USB-camera op een laptop, USB Autosuspend deze devices vrij snel zal afschakelen. De gebruiker gaat dan klagen over de aangesloten apparaten (of de kabels, of de computer, of het Operating Systeem, of de applicatie, of enz.).

De werkelijke oplossing is om USB Autosuspend zelf uit te schakelen. CP/M, DOS, FreeDOS en oudere Windows-versies van voor Windows 7 kennen deze optie niet, maar de destijds gebruikte USB-Host chips kenden de USB Autosuspend ook nog niet. Bij nieuwere computers, zeker met de XHCI-host chip, zal via het OS tijdens het booten de USB Host-chips ook opnieuw ge-reboot moeten worden met de gewenste USB Autosuspend-parameter (=off).

Zonder kennis van de USB-Host-chip of Dynamic USB Power Management, hebben nogal wat Linux-gebruikers een 'work around' bedacht. Zoek op internet met "Linux USB Autosuspend" voor beter gefundeerde oplossingen.

Door een USB-Host-chip reboot met de juiste parameter kan de energiebesparende USB-Autosuspend dus worden uitgeschakeld, al zal daarvoor soms diep in de instellingen gewroet moeten worden.

In Windows 10: Open Control Panel, Hardware en Sound, Power Options, Preferred Plan: Balanced, Change plan settings, Edit plan setting: Change advanced power settings, expand USB settings, USB selective suspend setting: Disabled. Na een reboot van de computer is de USB Autosuspend uitgeschakeld.



USB driver-gedrag Een heel andere oorzaak voor time-out-verstoring wordt veroorzaakt door de USB-apparaatdriver zelf. Sommige programmeurs hebben of willen geen rekening houden met andere USB-apparaten. Omdat USB het Master-Slave-protocol gebruikt, kan een programmeur met de apparaatdriver vrijwel alle USB LAN-tijd voor zichzelf opeisen, en zo andere USB apparaten het nakijken geven. USB-apparaten met een watchdog worden niet meer aangesproken, en zullen zichzelf dan afschakelen. De oorzaak ligt dan niet bij het afgeschakelde apparaat -of diens gebruikte kabels-, maar bij een totaal ander USB apparaat die schijnbaar zonder problemen het wèl doet.

Samengevat; Het verkooppraatje is, dat in principe de wijze van USB inprikken geen verschil zou mogen maken; de praktijk leert anders! Met deze achtergrondkennis van USB en een telkenmale actuele afdruk van de cliëntlist, kan meestal alsnog een optimale USB-LAN worden opgebouwd.

Vaak blijkt dat de PC op het moederbord niet gebruikte USB pinheaders heeft, zodat met een USB-bracket extension het aantal USB-poorten eenvoudig uitgebreid kan worden.



Wanneer ook dat niet (meer) mogelijk is, kan er natuurlijk altijd nog een extra USB-Host controller met een eigen root-hub worden toegevoegd.

USB kabellengte Als laatste, maar niet als de minste (*last but not least*), USB is bedoeld als 'Desktop-LAN', ofwel als een handige computergebruiker-oplossing voor op het bureau. Een kabellengte van meer dan 1,5 meter begint al problemen te geven. Weliswaar kan met een goede kwaliteitskabel een drietal meters worden gehaald, maar in de praktijk zal de communicatie verstoord raken en zal de verbinding regelmatig weer opnieuw moeten worden opgebouwd.

Alternatieven voor USB is de traditionele RS232 of de industriële RS485. Wie bekend is met Ethernet en diens applicaties kan mogelijk ook uitwijken naar Ethernet of WiFi.