

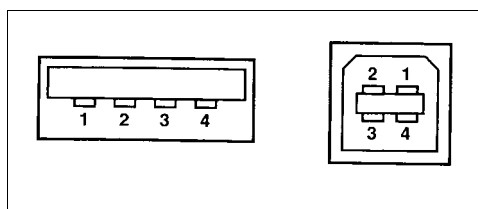
Universal Serial Bus

De in deze uitgave beschreven USB-interfctice laat zien dat de Universtil Serial Bus prima geschikt is voor zelf gemaakte schakelingen op het gebied van meten, regelen en sturen. In dit artikel bekijken we hoe zulke apparaten ontwikkeld moeten worden, aan welke voorwaarden moet worden voldaan en waar alle benodigde informatie verkregen kan worden.

USB is een serieel bussysteem (Universal Serial Bus) waarop meerdere apparaten aangesloten en geadresseerd kunnen worden. USB is aanmerkelijk complexer dan RS232 en met maximaal 1,5 Mbit per seconde (lowspeed-apparatuur) of 12 Mbit per seconde (fullspeed-apparatuur) ook veel sneller. Bovendien hebben de ontwerpers die aan de wieg stonden van USB grote nadruk gelegd op eenvoud en betrouwbaarheid in het gebruik. Eigenlijk heeft 'Plug & Play' met de komst van USB pas werkelijk betekenis gekregen. Normaal gesproken wordt een USB-apparaat namelijk eenvoudigweg bij al dan niet ingeschakelde PC aangesloten en initialiseert zich vervolgens automatisch. Het gevecht tegen dubbel gebruikte interrupts, foutieve adressen en ontbrekende drivers is eindelijk voorbij.

Deze vereenvoudiging voor de gebruiker betekent een aanzienlijk grotere inspanning voor de fabrikanten. Wie zelf een USB-apparaat wil ontwikkelen, zal zich dan ook in de complexe van USB moeten inwerken, uit een USB-microprocessor moeten programmeren en een bijbehorende driver moeten schrijven. In een kader zijn hiervoor een aantal informatiebronnen opgesomd.

USB: kabels en voeding



De USB kent twee verschillende typen stekers, namelijk type A en type B. Het systeem is zo ontworpen dat verwisseling onmogelijk is. In tegenstelling tot RS232 is er ook geen onderscheid tussen zogenaamde gekruiste en rechte verbindingen. Kabels zijn altijd 1-op-1 bedraad en de penbezetting is altijd hetzelfde:

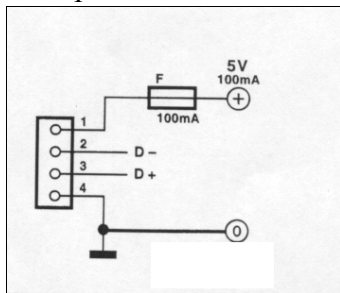
- 1 +5v
- 2 Data -
- 3 Data+
- 4 Massa

Aan de achterkant van een moderne PC zitten gewoonlijk twee connectoren van het type A. Hier kunnen twee apparaten direct op aangesloten worden. Kleinere lowspeed-apparaten, zoals bijvoorbeeld een muis, gebruiken een dunne, vast aangesloten kabel met aan het uiteinde een connector van het type A. In alle andere gevallen beschikt het apparaat zelf over een type B chassisdeel. De verbinding wordt dan gemaakt met een type A-B kabel.

Deze kabels zijn alleen kant-en-klaar verkrijgbaar, met aangegoten connectoren. Losse USB-stekers zijn niet verkrijgbaar. De lengte, de kabeldoorsnede, de afscherming enzovoort zijn allemaal nauwkeurig gespecificeerd. Ook het onderscheid tussen fullspeed en lowspeed speelt hierbij een rol. Het systeem met de gespecificeerde bekabeling verhindert op betrouwbare wijze dat een lowspeed kabel voor een fullspeed verbinding ingezet zou worden. Alle losse verbindingskabels zijn namelijk fullspeed, Lowspeed kabels zitten altijd vast aan apparatuur gemonteerd. Ook is er nog een type A-A verlengkabel beschikbaar, mocht deze nodig zijn. Hoewel losse USB-connectoren voor kabelmontage dus niet verkrijgbaar zijn, zijn er wel USB-

chassisdelen voor printmontage te koop. Zelf experimenten uitvoeren is dus zeker mogelijk. De USB-aansluiting stelt een voeding van +5 V ter beschikking, die zonder verdere maatregelen tot 100 mA belast kan worden. Dat is voldoende voor een klein bureaulampje, maar natuurlijk ook voor zinnigere toepassingen. Veel digitale schakelingen en microcontrollers werken op 5 V. Als men zulke schakelingen in combinatie met de PC gebruikt, is dus ook meteen de voeding verzord. Er moet echter beslist worden gelet dat een goede kortsluitbeveiliging tegepast wordt. Hiervoor lene ze een normale smeltveiligheid of een zogenaamde polyswitch-zekering.

De twee data-aansluitingen D+ en D- zijn alleen te gebruiken met speciale USB-componenten, dedicated microcontrollers dus. Deze kunnen dan direct via de USB-aansluiting van voeding worden voorzien. Na een speciaal commando richting PC kan een USB-apparaat zelfs tot 500 mA opnemen.



De voedingsspanning op een bus mag maximaal 5,25 V bedragen en bij grotere belastingen afnemen tot 4,2 V. Een spanningsregelaar zal zelfs in dat laatste geval nog een stabiele 3,3 V kunnen leveren. Het totale systeem van kabels en apparatuur is zo ontworpen dat ook bij de maximale belasting de voedingsspanning nooit onder 4,2 V zal zakken. Apparaten die meer dan de genoemde 100 mA nodig hebben, moeten hun vermogensbehoefte aan het systeem doorgeven. Zulke apparatuur wordt alleen toegelaten als er nog genoeg vermogensreserve beschikbaar is.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen apparatuur met een ingebouwde netvoeding (self powered) en apparaten die uit de USB gevoed worden (bus powered). In de meeste gevallen kan tussen beide mogelijkheden gekozen worden. Een apparaat is dan bijvoorbeeld uitgerust met een aansluiting voor een externe voeding waarop, als dat nodig is, een netadapter op aangesloten kan worden. Volgens de USB-specificaties is de stroomopname uit de bus automatisch begrensd. Als er meer dan de toegelaten stroom opgenomen wordt, zal de voeding uitgeschakeld worden.

USB-categorieën

Meestal wordt bij de aanschaf van een muis een diskette met bijbehorende driver geleverd. Als echter tegenwoordig een USB-muis wordt gekocht, zal tot veler verrassing de diskette ontbreken. Nadat men van de schrik bekomen is en de muis ondanks alle twijfel toch is aangesloten, volgt een nog grotere verrassing. Het besturingssysteem Windows 98 vindt de driver namelijk automatisch! De HID-driver (Human Interface Device) die voor dit soort toepassingen al meegeleverd was, wordt vanzelf geladen. De muis hoort namelijk tot een gespecificeerde categorie van apparaten waarvoor kant-en-klare drivers beschikbaar zijn.

Tot de HID-apparaten behoren muizen, keyboards, aanwijsmiddelen en joysticks. Behalve voor HID's bestaan er ook nog USB-categorieën voor geluidskaarten, printers enzovoort. Alle 'normale' apparaten zijn dus in bepaalde categorieën ingedeeld, waarvoor drivers in het systeem beschikbaar zijn. Daarmee is tegelijkertijd een zekere standaardisering opgelegd, omdat de fabrikanten van USB-apparatuur zich nauwgezet aan het raamwerk van de specificaties moeten houden.

Tegenwoordig zijn apparaten die met USB zijn uitgerust, niet zo duur meer. Daarom ligt het voor de hand om eens te kijken of USB ook gebruikt kan worden voor eigen projecten. Een voorbeeld: Een USB-geluidskaart wordt automatisch zo geïnstalleerd in het systeem, dat deze te gebruiken is als een normale geluidskaart. Dat is nu juist het doel van de hele operatie. Alle aanwezige programma's moeten namelijk kunnen werken met een USB-apparaat. Dat geldt dus ook voor zelf geschreven programmatuur. Een test met de module PORT.DLL uit het Elektuur-boek *PC-poorten onder Windows* verliep succesvol. Zelf geschreven programma's in Delphi zouden dus ook moeten werken met USB-apparatuur. Op grote schaal is hier nog geen ervaring mee opgedaan. We kunnen dus nog niet concluderen dat het ook echt altijd zal functioneren.

Een test met een USB-game-controller wees het volgende uit. Een USB-joystickpoort wordt geïnstalleerd met een DOS-emulatie. Hierdoor is het mogelijk direct te werken met de virtuele poortadressen van een game-kaart. Enkele programma's uit het boek blijken dan ook gewoon met de USB-variant te kunnen werken. Een gamepoort stelt dus op eenvoudige wijze een USB-interface met vier analoge en vier digitale ingangen ter beschikking.

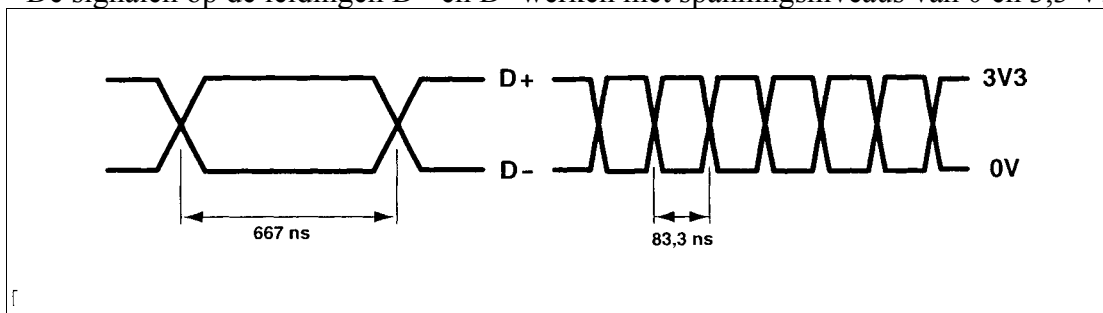
Bus-topologie

De USB is een stervormige bus met één master. Om meerdere USB-randapparaten aan te kunnen sluiten, is een hub nodig. Een hub is een busverdelers met meerdere poorten. De naam is afkomstig van het engelse woord voor wielnaaf. Hub is een aanduiding voor de stervormige verbindingen, net zoals een naaf de spaken van een wiel verbindt. Het meest gebruikelijke is een externe hub, met één upstream-poort en vier downstream-poorten. De PC zelf heeft ook al een hub ingebouwd, om de twee aansluitingen mogelijk te maken. Deze zogenaamde root-hub is geïntegreerd op het moederbord.

Op de downstream-poort van een hub kan weer een volgende hub worden aangesloten. In totaal kunnen zo tot zeven hubs achter elkaar geplaatst worden. Hieruit is ook het maximale aantal apparaten af te leiden dat aan te sluiten is, namelijk 127. Dit is een theoretische waarde die volgt uit het frame dat de beschikbare bandbreedte op de bus verdeeld moet worden onder alle aangesloten apparaten.

USB-signalen

De signalen op de leidingen D+ en D- werken met spanningsniveaus van 0 en 3,3 V. De



De USB
De data
in een
en.
lot kunnen
owspeeden
en worden,

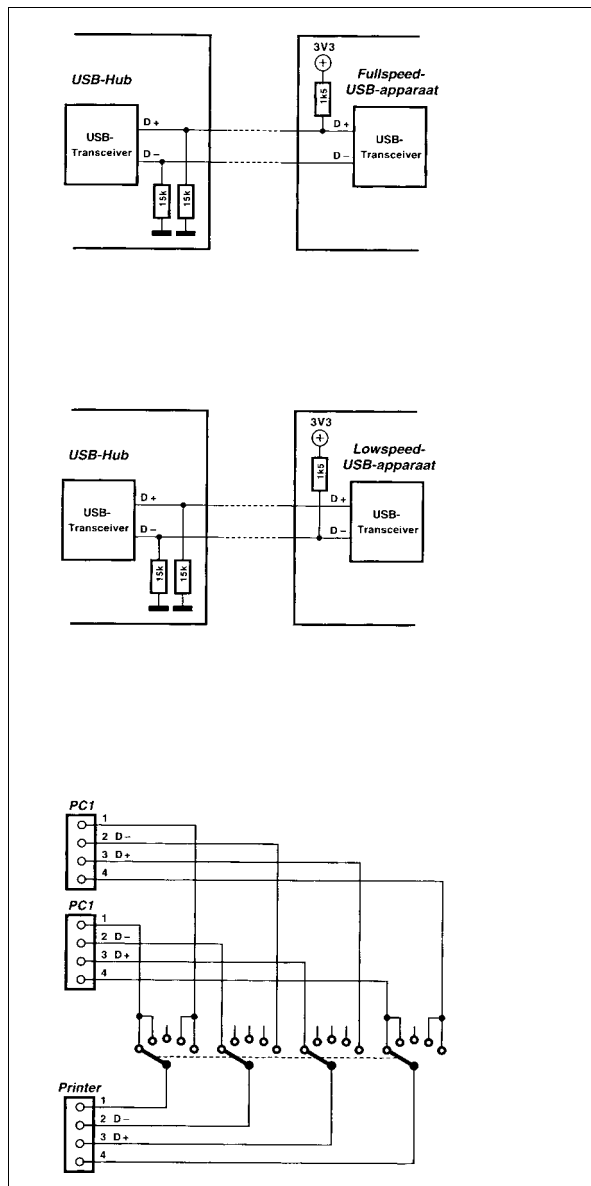
Low-speed-apparaten werken met een data-rate van 1,5 Mb/s. Een bit duurt dus precies 666,7 ns. Bij full-speed-verbindingen op 12 Mb/s is dat nog maar 83,3 ns. De snelheid wordt alleen door master bepaald. De 'slaven' zullen moeten synchroniseren met de datastroom. Omdat geen apart kloksignaal wordt doorgegeven, moet de klok uit data teruggewonnen worden. Daarom wordt een NRZI-codering (Non Return to Zero) gebruikt. Nullen in de data veroorzaken hierbij een niveauverandering, terwijl enen het niveau onveranderd laten.

Een USB-apparaat beschikt in het algemeen over meerdere FIFO's waarin data-overdracht kan plaatsvinden. Na het apparaat-adres volgt nog een 'endpoint'-adres dat aangeeft waar de data

naar toe gaan. of waar ze vandaan gehaald moet worden. Zo heeft een USB-muis bijvoorbeeld altijd een endpoint 0 en een endpoint 1. Endpoint 0 wordt hier gebruikt tijdens de initialisatie. De eigenlijke muisdata worden door de microcontroller in de endpoint-1-FIFO geschreven en van daaruit naar de PC gestuurd.

De USB-software vormt zogenaamde pipes naar de afzonderlijke endpoints. Een pipe is een logisch kanaal naar een endpoint in een apparaat. Een pipe is voor te stellen als een datakanaal dat bestaat uit een enkele draadverbinding. In werkelijkheid worden de data in een pipe echter als een pakket in een frame van een milliseconde doorgegeven. Door de hardware worden de data uiteindelijk aan de hand van het endpoint-adres op de juiste fysieke geheugenadressen geplaatst. Een apparaat kan meerdere pipes tegelijkertijd inzetten, waardoor de beschikbare datarate dan evenredig toeneemt.

Enumeratie (opsomming)



Een niet gebruikte USB-aansluiting is niet actief en de hub stuurt er geen pakketten naar toe. Beide signaalleidingen zijn laag en hebben een uitgangsweerstand van $15K\Omega$. Ieder USB-apparaat heeft intern een $15K\Omega$ die een van beide signaalleidingen met $+3,3V$ verbindt. Bij een fullspeed-apparaat wordt D+ hoog gemaakt, bij een lowspeed-apparaat D-. De hub herkent hieraan het type apparaat en zal de dataverbinding met de juiste overdrachtssnelheid opbouwen.

Bij het aansluiten en de daarop volgende toekenning van een ID aan het apparaat, de enumeratie, wordt automatisch een passende driver geladen. Omgekeerd zal het besturingssysteem ook herkennen dat een apparaat van de bus verwijderd wordt. In dit geval zal tevens de driver uit het geheugen van de computer verwijderd worden. Vanwege dit principe kan men dus betrekkelijk eenvoudig één USB-apparaat op meerdere PC's gebruiken. Het volstaat de kabel uit PC nummer 1 te verwijderen en bij PC nummer 2 weer aan te sluiten. Vervolgens zal er een nieuwe enumeratie plaats vinden. Zo is bijvoorbeeld een USB-printer gemakkelijk op twee PC's te gebruiken.

USB-dataswitch

Voor andere interfaces bestaan data-switches waarmee het omsteken van kabels voorkomen kan worden. Een schakelaar voor USB is door het geringe aantal draden gemakkelijk zelf te bouwen. Natuurlijk zal deze schakelaar zich net zo moeten gedragen als bij het handmatig omsteken het geval is. Belangrijk is dat de voedingsspanning uit de PC bij het omschakelen lang genoeg wordt onderbroken. Alleen op deze manier is het zeker dat het USB-apparaat zich reset. De interne microcontroller moet namelijk opnieuw gestart worden om een enumeratie te forceren. De dataswitch moet daarom een neutrale middenstand hebben waarbij het te delen apparaat met geen enkele PC verbonden is.

Er is nog een punt waar we op moeten letten. Bij het nauwgezet bestuderen van een USB-steker valt op dat de pennen 1 en 4, voedingsspanning en massa, iets langer zijn dan pennen 2 en 3, de datalijnen. Bij het aansluiten van de kabel zullen de voedingspennen dan ook het eerst contact maken met het apparaat. Het gevolg is dat het USB-apparaat al onder spanning staat voordat de datalijnen aangesloten worden. Bovendien worden op deze manier problemen met statische lading op een apparaat en gevaarlijke stromen ten gevolge van spanningsverschillen tussen de apparaten verminderd. Zo wordt voorkomen dat stroompieken die bij het verbinden zouden kunnen optreden, de dataleidingen zouden beschadigen. Om precies dezelfde reden heeft een printerkabel een connector met een metalen kraag, die langer is dan de signaalpennen. Deze kraag komt zo altijd als eerste in contact met de massa van de computer en de printer. Problemen met spanningsverschillen tussen randapparatuur zijn het gemakkelijkst te voorkomen door in de USBdataswitch de massa-aansluitingen permanent met elkaar te verbinden. Nadeel is echter dat zo via de randaarde-aansluitingen van de PC's een grote aardlus ontstaat. Onder ongunstige condities zou dit tot storingen en een onbetrouwbare werking kunnen leiden. Het is het beste dit alles te vermijden en er voor te zorgen dat alle vier de aansluitingen geschakeld worden. Het effect van de langere aansluitpennen is na te bootsen door een schakelaar met vijf standen te gebruiken. Bij het omschakelen wordt dan eerst de voedingsspanning aangesloten en vervolgens de dataleidingen D- en D+. De middenstand is neutraal. Het zal van het aangesloten USB-apparaat afillangen of men hier een pauze van een seconde moet inlassen.

Het gaat hier om een experimenten voorstel dat nog niet grondig getest. In het bijzonder zal het van de gebruikte printer afhangen hoe snel of hoe langzaam het omschakelen moet gebeuren, of dat er zelfs een echte pauze in de middenstand genomen moet worden. Het moet overigens

niet al moeilijk zijn om het om schakelen te verzorgen met een tweetal relais en een kleine schakeling die het geheel automatiseert.

USB en FireWire

Na de introductie van USB (Universal Serial Bus) en in het verlengde daarvan de FireWire (IEEE 1394) schaarden bijna alle aanbidders van hard- en software in de computerwereld zich achter dit concept. Daarmee is USB de standaard voor het aansluiten van randapparatuur op de PC geworden. Dankzij deze ontwikkeling is er eindelijk één standaard in de interfacewereld waarmee olie computerapparatuur aan elkaar kan worden gekoppeld. Inmiddels hebben ook de fabrikanten van consumentenelektronica de nieuwe FireWire-standaard omarmd.

Wie kent het probleem niet: koop een nieuwe uitbreiding voor de PC, zoek passende kabeltjes, raak verstrikt in de kabelbundels achter de computer en ga dan nog eens op zoek naar een geschikte driver. Vervolgens moeten juiste interrupt- en DMA-kanalen worden toegewezen. Tel daarbij op dat voor elk apparaat ook een losse netvoedingaansluiting nodig is, en de chaos is compleet. Zelfs de computerfabrikanten vinden dit te gortig. De Universal Serial Bus (universele seriële bus) laat zien dat een betere en vooral gebruikersvriendelijke aanpak mogelijk is. De USB biedt een volledig geïntegreerde "Plug & Play" voor alle apparatuur. Voor de gebruiker betekent dit dat hij een apparaat op eik willekeurig moment met de USB-aansluiting van de computer kan verbinden (het uitschakelen van de voeding is daarbij niet meer noodzakelijk!). Het besturingssysteem scant continu met een interval van enkele seconden de USB en reageert adequaat als er een nieuw apparaat wordt ontdekt. Automatisch wordt geheugen toegewezen en de een geschikte interrupt vrijgegeven. Maximaal kunnen 127 apparaten op de bus worden aangesloten, waarbij de interface voor kleine apparaten ook nog de voeding kan verzorgen.

Inmiddels heeft Microsoft in dit verband al aangekondigd dat Windows 98 volledige ondersteuning aan het USB-protocol zal gaan geven. Er zijn zelfs geruchten dat er nog een nieuwe OEM-versie van Windows 95 verschijnt met USB-ondersteuning.

Binnen USB zijn twee verschillende categorieën aansluitingen beschikbaar: één met een snelheid van maximaal 1,5 Mbit/s en één met een snelheid van maximaal 12 Mbit/s. Onder de eerste categorie vallen relatief trage invoerapparaten zoals muizen, barcodelezers, kaartlezers en toetsenborden. De snelle interface-variant is bestemd voor datacommunicatie met videorecorders en audio-systemen alsmede krachtige en snelle randapparatuur zoals harde schijven.

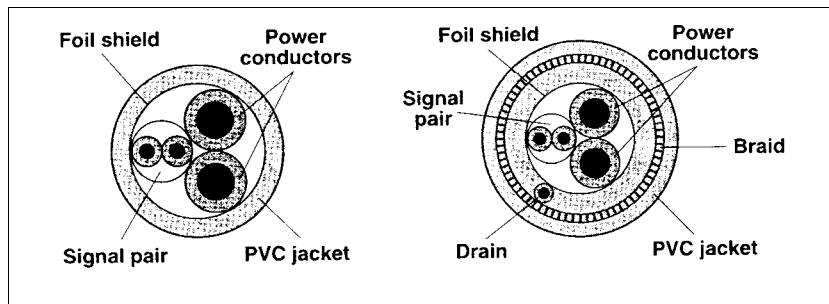
Bekabeling

De USB-interface maakt gebruik van een zogenaamde daisy-chain. Dit betekent dat alle apparaten achter elkaar op de kabel worden aangesloten. In theorie hoeft op de computer dus maar één bus aanwezig te zijn om verbinding te maken met het maximale aantal van 127 randapparaten.

De universele seriële bus heeft natuurlijk ook zijn beperkingen. De maximale afstand die kan worden overbrugd, is 5m. Grotere afstanden zijn mogelijk als gebruik wordt gemaakt van zogenaamde hubs (buffers/verdelers). Een hub kan onderdeel van een apparaat zijn, maar ook als losse buffer en/of verdeler in een verbinding worden opgenomen. Heeft een aangesloten apparaat een ingebouwde hub, dan wordt het eenvoudig mogelijk om twee of meer functies in

een kast te integreren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan een toetsenbord met een ingebouwde kaartlezer, touchpad en/of muis. Het verlengen van een USB-verbinding kan maximaal zeven keer herhaald worden, daarmee komt dus een afstand van zo'n 40 meter binnen bereik.

Bij de USB-verbinding wordt gebruik gemaakt van vieraderige kabel.



Twee dunne aders worden gebruikt voor de datacommunicatie, de twee dikke aders voor de voeding van de aangesloten apparatuur. Speciaal voor kritische toepassingen is ook nog een afgeschermd variant van de kabel beschikbaar. Dankzij de twee voedingsaders kunnen aangesloten apparaten gevoed worden met een spanning van 5 Volt en een stroom van maximaal 500 mA. Kleinere randapparaten zoals modems en kaartlezers hoeven dus niet meer van een eigen voeding voorzien te worden. Aansluiting op de apparatuur vindt plaats met behulp van een compacte stekker met vier aansluitpennen, die slechts 12 bij 4,5 mm meet.

FireWire, een stapje verder

De toepassing van USB beperkt zich tot datastromen van maximaal 12 Mbit/s. Voor veel toepassingen rond de PC is dat meer dan voldoende. Er zijn echter applicaties denkbaar waar aanzienlijk hogere datastromen gewenst zijn. Denk hierbij aan de verliesloze distributie van digitale 1V-signalen. Daarvoor is er een nieuwe communicatiestandaard ontwikkeld: IEEE 1394, beter bekend als FireWire. FireWire is platformonafhankelijk en laat bestaande interfaces, zelfs de meeste geavanceerde SCSI varianten, ver achter zich. Lage kosten, eenvoud in gebruik dankzij een compacte stekker, volledige "Plug & Play" en bijzonder hoge prestaties zijn de belangrijkste eigenschappen van deze interface. Zo kunnen de huidige I/O interfaces (Centronics, Ethernet, SCSI, RS232 etc.) worden vervangen door een beter systeem en wordt communicatie tussen en met uiteenlopende randapparaten aanzienlijk vereenvoudigd. De interface ligt qua prestaties tussen USB (maximaal 12 Mbit/s) en glasvezelverbindingen (circa 1 Gbit/s) in. FireWire zou qua prestatieniveau bekende standaarden als Ethernet (10BaseT) kunnen verdringen, maar is daarvoor op dit moment in de praktijk nog te duur. Bovendien komt Ethernet uit de computerwereld voort en is FireWire duidelijk bestemd om een dominante rol te gaan spelen in de moderne digitale consumentenelektronica. Ze hebben ieder hun eigen toepassingsgebied. USB wordt rond de PC gebruikt, terwijl de FireWire de digitale schakel vormt tussen een D-VHS-recorder, een settop-box en een digitale televisie.

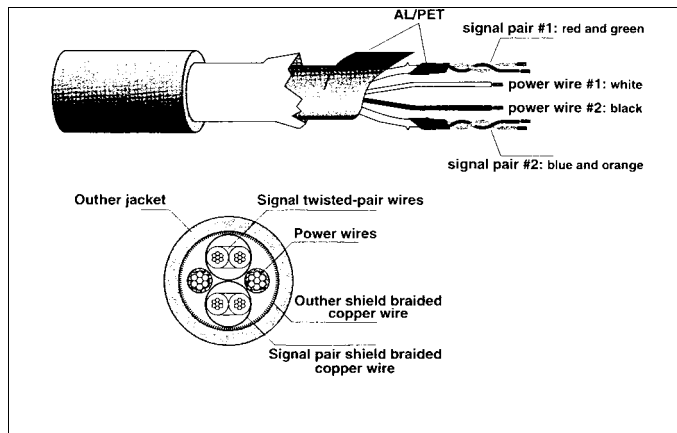
Het prestatieniveau van FireWire ligt op dit moment rond de 100 Mbit/s, terwijl snelheden van 200 en 400 Mbit/s binnen bereik komen. Net zoals bij USB het geval is, wordt gebruik gemaakt van een eenvoudige connector die in een handomdraai kan worden aangesloten.

Het protocol

Een belangrijk verschil met bestaande interfaces is dat IEEE 1394 isochrone datatransmissie transparant bovenop bestaande asynchrone datatransmissie mogelijk maakt (wat dit exact betekent, wordt verderop besproken). De interfacedefinitie staat bovendien toe dat gebruik wordt gemaakt van zowel kabels als backplanes (de interne verbinding tussen de diverse computercomponenten). Daarmee is het protocol dus zowel binnen als buiten de computerbehuizing te gebruiken.

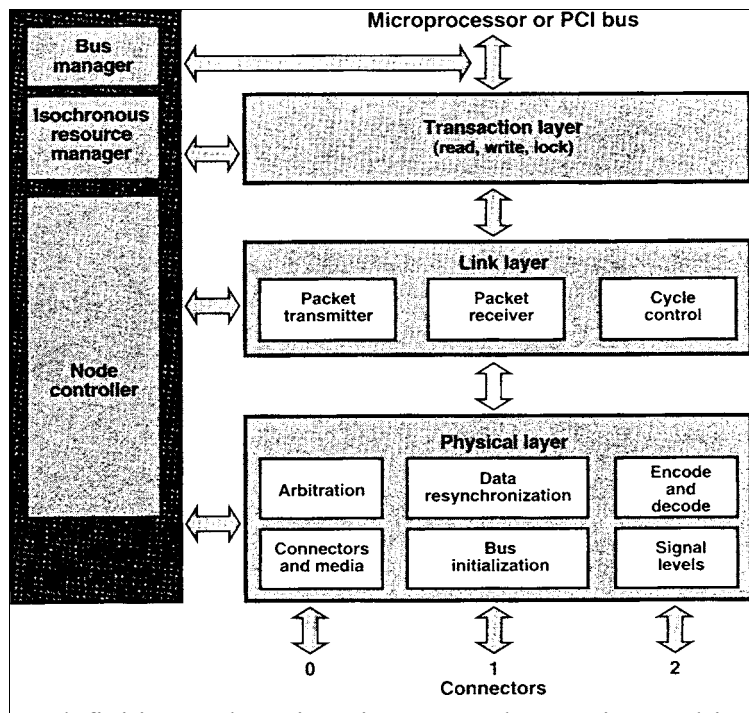
Afhankelijk van de gebruikte logica is op de backplane een snelheid van 25 tot 50 Mbit/s mogelijk, over de kabel is in theorie zelfs 400 Mbit/s mogelijk. In de kabel mogen maximaal 16 hubs worden opgenomen die onderling maximaal 4,5 meter van elkaar kunnen staan. Daarmee is de maximaal te overbruggen afstand 72 meter.

Omdat FireWire van hogere snelheden uitgaat, worden aan de bekabeling hogere eisen gesteld. Daar waar USB gebaseerd is op kabels met vier aders, gebruikt FireWire er zes.



Twee aders zijn gereserveerd voor de distributie van elektrische energie. De toegestane gelijkspanning ligt tussen 8 en 40 V met een stroom van maximaal 1,5 A. De signaaladers zijn uitgevoerd als twisted pair, waarbij elk paar nog eens apart -afgeschermd is van de andere.

Het model



De definitie van het FireWire-protocol gaat uit van drie zogenaamde layers. In de schets van zijn ze getoond: de transaction layer, de link layer en de physical layer.

Transaction layer

De transaction layer regelt de transmissie tussen twee apparaten via de seriële bus. Het systeem kent daarbij drie type transacties: *read* (data van het apparaat naar het hoofdsysteem), *write* (data van het hoofdsysteem naar het randapparaat) en *lock* (data van het randapparaat naar het hoofdsysteem dat vervolgens de bewerkte data weer terugstuurt). De bus ondersteunt de IEEE-1212-standaard die van een 64-bits adressering gebruik maakt. De hoogste 16 bits van dit adres worden als identificatie binnen het randapparaat (noodgebied) gebruikt. De 16 bits van het noodgebied worden nog eens opgesplitst in een adres van 10 bits voor het busrit en een adres van 6 bits als offset-ID. Omdat in alle gevallen het hoogste adres (allemaal enen) gereserveerd is voor bijzondere toepassingen, zijn uiteindelijk 1023 bussen met 63 onafhankelijke aansluitingen moge lijk.

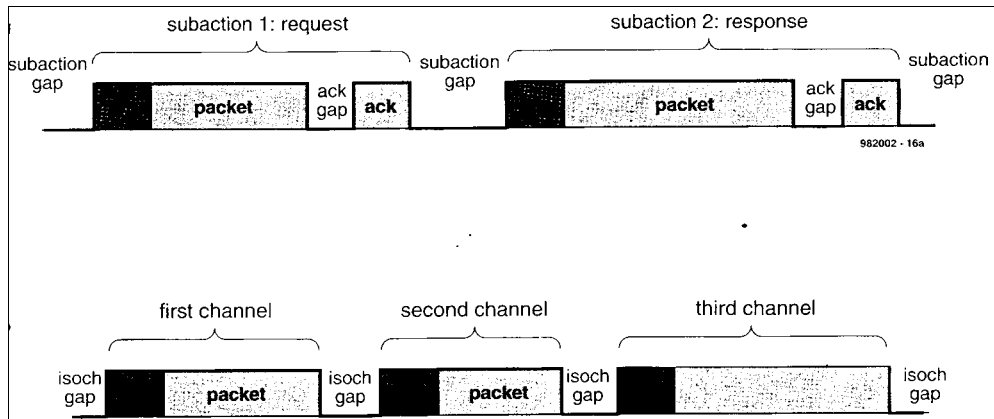
Link layer

De zogenaamde link layer zorgt voor het afleveren van pakketjes informatie in half-duplex-vorm. Het versturen van een enkel pakketje wordt een subactie (subaction) genoemd; hiervan zijn twee typen in gebruik:

- *asynchronous subaction*, waarbij een willekeurige hoeveelheid vanuit de transaction layer naar een specifiek adres (apparaat) wordt verzonden en er gewacht wordt op een bevestiging (acknowledge).
- *isochronous subaction*, waarbij een variabele hoeveelheid informatie met reguliere intervallen wordt verzonden. Hierbij wordt een adressering zonder bevestiging (acknowledge) gebruikt.

Voor de feitelijke verzending (subactie) zijn drie technieken mogelijk:

- *Arbitration Sequence*: een apparaat dat data wil gaan verzenden, vraagt bij de physical layer toegang tot de bus aan. Heeft het apparaat al toegang tot de bus, dan kan die ruimte direct worden gegeven - *Data Packet Transmission*: het apparaat verstuurt een pakketje snelheidsinformatie, formaat en informatiecode, het adres van de bron en de bestemming, en de data. Isochrone pakketjes bevatten alleen een identificatie (id) en dus geen verwijzing naar zender of ontvanger.



- *Acknowledgement*: een apparaat met een uniek adres stuurt een bevestiging waaruit blijkt dat het pakket met data ongeschonden is ingelezen. Pakketten die isochroon of asynchroon verzonden zijn, gebruiken geen acknowledge.

Alle asynchrone transmissies worden gewoonlijk van elkaar gescheiden door een korte periode waarbij de bus in rust is, de zogenaamde "subaction gaps". Deze gaps zitten tussen het moment waarop de complete data verzonden zijn en de acknowledge wordt ontvangen. De lengte van de pauze is afhankelijk van de opzet van het systeem. Op vergelijkbare wijze treden bij isochrone transmissies pauzes op die "isoch gap" worden genoemd.

Physical layer

De Physical layer heeft drie functies: Ten eerste vertaalt hij de logische niveaus van de link layer in elektrische signalen voor de kabel. In omgekeerde richting worden de signalen van de kabel weer vertaald naar de juiste niveaus voor de link layer. Verder bepaalt hij de feitelijke elektrische en mechanische opzet van de verbinding. Tenslotte functioneert de physical layer als een soort scheidsrechter die bepaalt welk apparaat toegang tot de bus heeft en data mag verzenden.

De toekomst is bepalend

USB en FireWire hebben veel in huis. Hoewel op dit moment de eerst apparaten (zowel computers als randapparatuur) op de markt verschijnen, is het nog te vroeg om te melden dat het systeem een groot succes is. Nog enkele jaren zullen daarvoor nodig zijn. lezers die de ontwikkelingen op dit gebied willen blijven volgen, kunnen dit via het Internet goed in de gaten houden. Informatie over USB is te vinden op: <http://www.usb.org>, terwijl FireWire een eigen site heeft onder de naam <http://www.firewire.org>.