

Hoofdstuk 4

Besturingssystemen

Een gebruiker bedient een computersysteem met bijvoorbeeld een toetsenbord, muis en monitor. Alles wordt elektronisch bestuurd. In het hart van het systeem zit de processor die signalen ontvangt en uitzendt.

Een *besturingsprogramma* verbindt de handelingen van de gebruiker en het computersysteem. Ze regelen de reacties in het systeem als je op een bepaalde toets of combinatie van toetsen drukt. Dat kan van alles zijn, afhankelijk waar je een computersysteem voor gebruikt. Je kunt ermee tekstverwerken, een robotarm sturen, een geluidsinstallatie bedienen, gegevens ergens vandaan halen of gegevens opslaan. Een groot computersysteem in een netwerk heet een *serversysteem*. Zo'n serversysteem moet tientallen gebruikers tegelijk kunnen bedienen, elk met een eigen toetsenbord en beeldscherm en vaak met verschillende programma's. Een besturingsprogramma zorgt er dan voor dat de ene gebruiker met een tekstverwerker bezig kan zijn, een ander met een spreadsheet, weer een ander met het ontwerp van een grafische presentatie en daarnaast nog vele gebruikers die op het internet informatie zoeken. Alles moet correct worden bestuurd door dezelfde centrale processor. Daarvoor zijn vele besturingsprogramma's nodig, die samen als geheel het besturingssysteem vormen.

Ook mobiele telefoons en handcomputers (PDA's: Personal Digital Assistants) hebben een besturingssysteem nodig. Elk apparaat dat via programma-instructies in actie kan komen en een specifieke taak of een aantal functies kan uitvoeren, is voorzien van een (mini-)besturingssysteem. Dat kan ook een televisie met afstandsbediening of een digitale fotocamera zijn.



Figuur 1 Apparatuur die door een besturingssysteem wordt bestuurd

4.1 Basisbegrippen besturingssysteem

Een besturingssysteem heeft twee hoofdfuncties: beheer van de hardware (apparatuur) en beheer van de software (toepassingprogramma's). De werking van software moet gecoördineerd worden, omdat verschillende programma's op elk moment een beroep kunnen doen op dezelfde hardware. Die programma's vragen dan om rekentijd van de centrale verwerkingseenheid, om extra geheugen en opslagcapaciteit, enzovoort. Soms heb je randapparatuur nodig, bijvoorbeeld als je een tekstbestand wilt printen. Het besturingssysteem coördineert zo'n aanvraag om ervoor te zorgen dat de computer effectief en efficiënt blijft werken. Dat kan door de juiste volgorde en toewijzingen te kiezen en goed overzicht te houden op het gebruik van het totale systeem door alle applicaties. In elk computergestuurd apparaat bestaat de hardware minimaal uit een processor, intern

geheugen en een vorm van invoer- en uitvoerapparatuur. In een PC komt daar nog een extern geheugen bij en allerlei randapparatuur. Het besturingssysteem regelt dat de toepassingsprogramma's alle systeemonderdelen kunnen gebruiken. Dit gaat voor elk programma op dezelfde manier. De programma's hoeven de details voor de aansturing van elk systeemonderdeel niet te kennen. Die aansturing wordt geregeld door het besturingssysteem. Bijvoorbeeld, het programma Microsoft Word hoeft niet te weten hoe de harde schijf uit de slaapstand gehaald wordt of hoe een document op de schijf gezet wordt. Wanneer je een document opslaat, vraagt Word aan het besturingssysteem om een pakket gegevens weg te schrijven. Voor andere applicaties geldt precies hetzelfde.

Elk besturingssysteem beschikt minimaal over enkele basisfuncties. Voor alle apparaten met een besturingssysteem zijn dat:

- De ingetoetste tekens of ingevoerde signalen van een invoerapparaat, zoals het toetsenbord, naar de processor sturen
- Tekens of signalen zichtbaar maken op een uitvoerapparaat, zoals het beeldscherm

Voor computers komen daar nog een aantal functies bij:

- Het besturen van randapparaten voor de verschillende applicaties van gebruikers, zoals een printer, modem, muis, memory stick, dvd-speler, geluidsinstallatie, (web)camera, microfoon, enzovoort
- Bestanden opslaan voor schrijven, lezen en zoeken op een extern geheugen
- Bestanden in mappen op het externe geheugen ordenen, kopiëren en verwijderen
- Vele gebruikers in grote computersystemen tegelijkertijd bedienen (multi-user systemen).

Typen besturingssystemen

Er zijn vier typen besturingssystemen. Het type is afhankelijk van de soorten computers en applicaties die ze besturen.

Real-time besturingssysteem

Voor computergestuurde machines, meetinstrumenten en industriële systemen zijn er *real-time besturingssystemen*. Een real-time besturingssysteem heeft zeer weinig gebruikersinteractie en nauwelijks voorzieningen voor invoer en uitvoer van en naar gebruikers. Belangrijk is dat specifieke instructies telkens snel en binnen precies dezelfde tijd worden afgehandeld. Als in een ingewikkelde machine een onderdeel niet snel genoeg reageert, kan dat ernstige gevolgen hebben. Denk bijvoorbeeld aan het mini-computertje in een auto dat beslist of de airbags moeten worden opgeblazen.

Single-user, single-tasking

Dit besturingssysteem is bedoeld om het computersysteem voor één gebruiker die één taak uitvoert te beheren. Voorbeelden van dit type besturingssysteem zijn te vinden in eenvoudige computergestuurde apparaten. Een magnetron volgt maar één kookprogramma zoals is ingesteld. Een mobiele telefoon die als mp3 speler wordt gebruikt zal direct reageren op een binnenkomend telefoongesprek en niet tegelijk ook de muziek kunnen afspelen.

Single-user, multi-tasking

Dit besturingssysteem kan voor één gebruiker 'tegelijkertijd' aan verschillende taken werken. Dit type besturingssysteem wordt het meest gebruikt in computers voor persoonlijk gebruik. Een gebruiker kan parallel meer dan één programma starten en daardoor verschillende taken tegelijkertijd activeren en wisselen tussen de uitvoering van die taken. Voorbeelden van single-user, multitasking systemen zijn Windows en Vista van Microsoft en OS X van Apple.

Multi-user

Een besturingssysteem laat verschillende gebruikers tegelijkertijd het computersysteem ieder hun eigen programma's uitvoeren. Het besturingssysteem zorgt ervoor dat alle gebruikers een evenredig deel van de beschikbare tijd, geheugencapaciteit en apparatuurtoegang krijgen toegewezen. Voorbeelden van multi-user systemen zijn Unix en VMS, waarmee wel tien of honderd gebruikers tegelijkertijd kunnen werken met dezelfde centrale computer in een netwerk.

Besturingssystemen in apparaten

Besturingssystemen komen in allerlei soorten en in zeer verschillende omvang voor:

Besturingssystemen voor computergestuurde systemen

Complexe apparaten zoals een mri-scanner in een ziekenhuis en robots of productiemachines in fabrieken hebben besturingssystemen. Deze zijn zeer specialistisch.

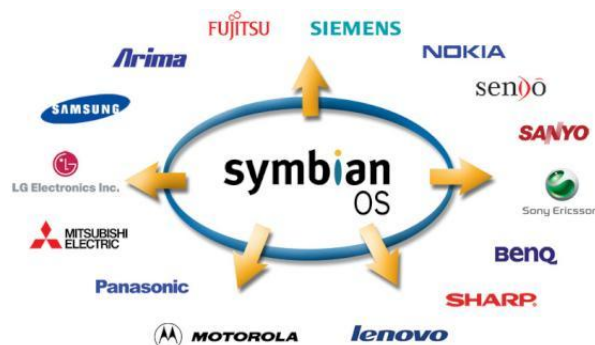


Figuur 2 Complexe computergestuurde apparaten in verschillende toepassingsdomeinen

Besturingssystemen voor kleine digitale apparaten

Besturingssystemen van digitale apparaten als mobiele telefoons bieden de mogelijkheid de functies van het apparaat gemakkelijk uit te breiden en aan te passen in programma's zonder de hardware te veranderen. Deze besturingssystemen zorgen ervoor dat de eerste functies van het apparaat werken (zoals muziek spelen op een MP3-speler). Ze bieden ook een user-interface en de mogelijkheid om andere software te gebruiken.

Een veel gebruikt besturingssysteem voor zulke apparaatjes is Symbian. Het wordt standaard meegeleverd op zeer veel mobiele telefoons. Het is er in vele maten: voor eenvoudige telefoons met een paar honderd kilobyte geheugen tot grote modellen. De grens met besturingssystemen voor PC's vervaagt. De interface van steeds meer telefoons lijkt op een compleet Windows-systeem.



Figuur 3 Symbian is een besturingssysteem voor veel typen mobiele telefoons

Besturingssystemen voor personal computers

Elke PC heeft een besturingssysteem. De meest voorkomende besturingssystemen zijn Windows van Microsoft en OS X van Apple. We komen hier later op terug.

Besturingssystemen voor netwerkcomputers

Voor serversystemen, minicomputers en mainframes zijn **UNIX** en **Linux** de meest voorkomende besturingssystemen. Ze bestaan uit grote aantallen programma's (mogelijk totaal meer dan 100 mb) die ontwikkeld zijn door bijdragen van individuen, universiteiten en bedrijven.



Figuur 4 Linux

4.2 Besturingssystemen voor computers

Een PC heeft een besturingssysteem dat geïnstalleerd is op het externe geheugen. PC's worden bijvoorbeeld bestuurd door Windows XP of Vista van leverancier Microsoft. Macintosh-computers worden gebruiksklaar afgeleverd met het OS X besturingprogramma van leverancier Apple. Op grote computersystemen in een netwerk (serversystemen) die vele gebruikers tegelijkertijd bedienen, wordt meestal Unix of Linux als besturingssysteem geïnstalleerd.

De beheertaken van besturingssystemen kunnen we indelen in zes groepen:

- Gebruikersinteractie
- Programma-invoer-uitvoer
- Apparaat-sturing
- Geheugen-beheer
- Processor-sturing
- Hardware-signalering

De beheertaken kun je ook zien als lagen in het besturingssysteem zijn. Elke laag biedt functies die de laag daarbuiten kan gebruiken. In de binnenste laag worden apparaten elektronisch aangestuurd, de buitenste laag is de interface voor de gebruiker.

Laag	Beheer	Besturingsfuncties
6. Gebruiker	Gebruikers(programma's)	Applicatiefuncties
5. Invoer/Uitvoer	Invoer/Uitvoer	Communicatiefuncties
4. Apparatuur	Randapparaten	Toetsenbord, Muis, Scherm, Disk(s), Printer, Netwerk,
3. Geheugen	Intern geheugen	Geheugenindeling en toewijzing
2. Processor	Processortijd	Tijdsverdeling en prioritering
1. Hardware	Hardwaresignaalsturing	Signalering en controle

Tabel 1 Lagen in een besturingssysteem.

- 1 Beheertaken voor de gebruikers: deze zorgen voor de communicatie van de gebruiker via toetsenbord, muis en beeldscherm met de computerprogramma's die voor die gebruiker worden uitgevoerd (de applicaties).
- 2 Beheertaken voor programma-invoer en –uitvoer: deze zorgen voor de invoer en uitvoer van gegevens naar randapparatuur en andere computersystemen.
- 3 Beheertaken voor apparatuur: deze zorgen voor een uitwisseling van gegevens tussen elk randapparaat en de programma's die daarvan gebruik maken. Hierbij horen ook de bestandsbeheertaken die zorgen voor de juiste indeling van programma's en gegevens in bestanden en de efficiënte en effectieve opslag van die bestanden in externe geheugens.
- 4 Beheertaken voor het geheugen: deze zorgen voor een optimaal transport van gegevens en instructies van externe geheugens en andere randapparaten naar de juiste delen van het interne geheugen.
- 5 Beheertaken voor de processor: deze verdelen de tijd van de processor over verschillende programma's of taken die parallel worden uitgevoerd. Als een programma wacht op invoer van een randapparaat, kan de centrale processor voor een ander programma instructies uitvoeren.
- 6 Beheertaken voor de hardware: deze coördineren en controleren de werking van alle verbindingen met alle aangesloten apparatuur.

Het voorbeeld in tabel 2 laat zien wat het besturingssysteem allemaal regelt als een gebruiker met een programma(onderdeel) werkt.

Stap	Actie gebruiker	Beheertaken	Acties besturingssysteem
1	Start het programma	Hardware, Proces, Geheugen, Apparatuur	- lees het programma van het externe geheugen - plaats het programma in het interne geheugen - start het programma
2	Activeer met de muis een menukeuze	Hardware, Proces, Apparatuur, Invoer/Uitvoer, Gebruiker	- lees de invoerpositie van de muis en de klik-activering - geef de invoer door aan het programma
3	Voer een gegeven in	Hardware, Proces, Apparatuur, Invoer/Uitvoer, Gebruiker	- lees de toetsaanslagen van het toetsenbord - geef die door aan het programma - lees uitvoer van het programma

			- geef uitvoer door naar het uitvoerapparaat (scherm)
4	Activeer de toets documentopslag	Hardware, Proces, Apparatuur, Invoer/Uitvoer, Gebruiker	- lees de toetsaanslag - geef die door aan het programma - ontvang de schrijfp opdracht d. schrijf het document in het externe geheugen
5	Sluit het programma	Hardware, Proces, Geheugen, Apparatuur, Invoer/uitvoer	- stop het programma - geeft het interne geheugen vrij - sla de instellingen op

Tabel 2 Werking van besturingssysteem bij uitvoering van een programma voor een gebruiker

Als de gebruiker een programma start (1), wordt een laadproces geactiveerd dat het programma in het externe geheugen zoekt, leest en overbrengt naar de juiste vrije plaatsen in het interne geheugen. Vervolgens wordt de eerste instructie van dat gebruikersprogramma gestart.

Als de gebruiker met de muis een menukeuze activeert (2), wordt het lopende proces onderbroken. Het stuurprogramma van de muis controleert en 'vertaalt' de muisbeweging van de gebruiker (positie en klik) en stuurt die invoer via de invoer-uitvoer-functie en procesbeheerfunctie naar het juiste gebruikersprogramma.

Ook de invoer van een gegeven in het gebruikersprogramma (3) wordt onder controle(beheer) van de besturingssysteemfuncties uitgevoerd. Dat gebeurt allemaal in een processor na elkaar, maar voor de gebruiker gaat dat zo snel dat het lijkt dat het computersysteem ook de instructies van andere programma's parallel uitvoert. Het indrukken van een toets lijkt 'tegelijkertijd' via het besturingssysteem de reacties op de monitor of een ander uitvoerapparaat op te leveren, terwijl dat feitelijk altijd heel snel na elkaar door de verschillende beheertaken van het besturingssysteem wordt afgehandeld.

Een opdracht voor documentopslag (4) activeert eerst de gebruikersbeheertaak voor lezen van de toetsaanslag, daarna de programma-invoer-uitvoertaak voor het doorgeven naar het juiste (actieve) programma, vervolgens de apparatuurbeheertaak voor het doorgeven van de opdracht naar het externe geheugen om dan door het stuurprogramma ook daadwerkelijk als document opgeslagen te worden.

Als een programma wordt afgesloten (5), wordt de interne geheugenruimte vrij gegeven voor een volgend proces en worden de instellingen opgeslagen om voor de volgende keer gebruikt te kunnen worden.

In de volgende paragrafen gaan we meer in detail in op de beheertaken in de besturingssysteemplagen.

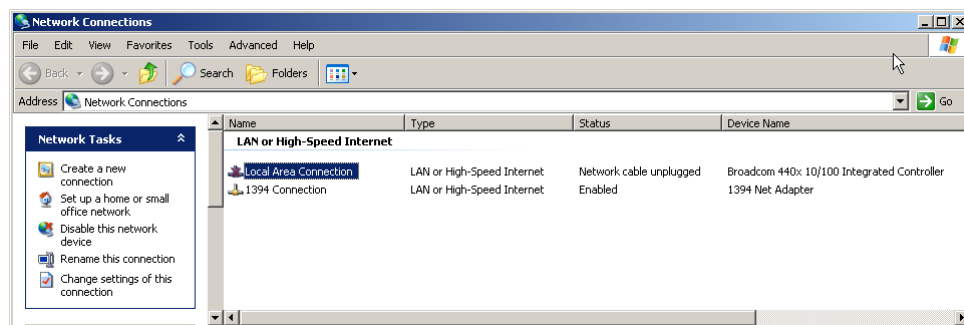
Hardwarebeheer

Hardwarebeheer wordt verzorgd door het BIOS (basic input output system). Het BIOS controleert de werking van alle hardwareonderdelen, zoals moederbord, I/O kaart, videokaart, geluidskaart, netwerkkaart en ook de aansluitingen van alle randapparaten. Dat gebeurt door alle basisfuncties van het BIOS te testen. Er wordt een bericht naar de monitor geschreven en er wordt gecontroleerd of het toetsenbord is aangesloten. Op elke invoer- en uitvoerpoort wordt getest of er een apparaat is aangesloten en daarmee ook een signaaluitwisseling mogelijk is. De aanwezigheid van een extern geheugen wordt gecontroleerd. Elk onderdeel en randapparaat stuurt op standaardwijze signalen terug, waaruit kan worden afgeleid of een onderdeel correct functioneert. Als alle functies in orde

zijn, worden de programma's voor de beheerfuncties van de hogere besturingslagen van het externe geheugen ingelezen en gestart.

De hardwarebeheerfuncties (van het BIOS) blijven na de start actief om de (elektronische) signaleringen tussen de onderdelen te blijven sturen. De hogere beheerlaag geeft opdrachten om signaleringsfuncties op de hardware uit te voeren. Die worden dan door het BIOS omgezet in de juiste elektronische stuursignalen.

Op die manier kan het systeem bijvoorbeeld zien dat je de verbinding met het netwerk eruit getrokken hebt.



Figuur 5 Netwerkconnecties in MicroSoft Windows

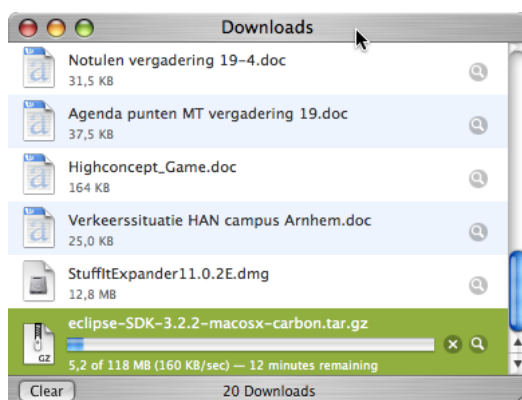
Processorbeheer

Processorbeheer verdeelt de **processortijd** (klokcycli) zodanig, dat elk proces en elke applicatie de tijd krijgt die nodig is om goed te kunnen functioneren. Processorbeheer bewaakt daarbij tevens de efficiënte en effectieve benutting van de totaal beschikbare processortijd.

Elke applicatie is een gebruikersproces dat bestaat uit een groot aantal deelprocessen die afzonderlijk worden gestart en beëindigd. Een proces is een serie programma-instructies die samen een actie uitvoeren voor een applicatie van een gebruiker. Het besturingssysteem hanteert bij de toewijzing van processortijd een proces als eenheid.

Het besturingssysteem coördineert weliswaar de uitvoering van gebruikersapplicaties, maar die zijn zo omvangrijk, dat ze bestaan uit duizenden of zelfs miljoenen processtappen. Om optimaal gebruik te kunnen maken van alle apparatuur worden die processtappen van verschillende applicaties wisselend en door elkaar uitgevoerd door de centrale processor. In een single-tasking systeem kan niet meer dan één applicatie (lees één proces) tegelijkertijd worden uitgevoerd. Als een gebruikersprogramma start worden alle stappen zonder onderbreking achter elkaar uitgevoerd. De procesuitvoering wordt niet onderbroken. De eerste computers werkten op deze manier. Computers kunnen nu vele processen aan.

Interrupts zijn signalen die door de hardware of software naar de centrale processor worden gestuurd en daarmee het actieve proces van dat moment onderbreken, om er later mee verder te gaan. Een muisklik veroorzaakt zo'n interrupt. Het is belangrijk dat een muisklik tussendoor wordt afgehandeld, anders zou je een langdurig proces, zoals het downloaden van een iets te groot bestand, niet kunnen afbreken!



Figuur 6 Downloaden van een groot bestand kan worden afgebroken met interrupt

Doordat processen elkaar aflossen kunnen ze volgens prioriteiten worden afgehandeld. Een proces met de hoogste prioriteit kan dan processen met lagere prioriteit onderbreken. Een proces met lagere prioriteit wacht op de belangrijkere processen die essentiële taken eerst volledig kunnen afronden.

In een multi-tasking systeem worden verschillende applicaties parallel uitgevoerd. Het besturingssysteem moet steeds wisselen tussen de processen van verschillende applicaties. Om en om worden enkele stappen van de ene en daarna van de andere applicatie uitgevoerd. Dat gebeurt zo snel (in milliseconden) dat de gebruiker ervaart dat beide programma's tegelijkertijd worden uitgevoerd. Voor het besturingssysteem is dat aanzienlijk complexer dan een single tasking systeem. Invoer, uitvoer en geheugengebruik moeten tegelijkertijd voor alle geactiveerde applicaties correct worden verwerkt. Om beurten krijgen processen van verschillende applicaties een aantal milliseconden processortijd toegewezen. Van elk proces worden procesgegevens vastgelegd in het *process control block*. Deze gegevens worden bij elke wisseling bijgewerkt. De inhoud van een dergelijk proces controleblok kan onder andere de volgende gegevens bevatten, zie tabel 3.

Proces identificatie
Adressen van data en instructies in het interne geheugen
Registerinhouden van de processor op moment van afbreken
Een lijst met in gebruik genomen bestanden
De toestand van de in gebruik genomen apparatuur
De prioriteit van het proces
De status van het proces

Tabel 3 Gegevens in een proces controleblok

Een onderdeel van het besturingssysteem is de *proceswisselaar* (Engels: *dispatcher*). Die moet ervoor zorgen dat de CPU-tijd goed verdeeld wordt over de actieve processen. De proceswisselaar onderbreekt telkens een proces om een volgend proces te kunnen activeren. Die taakwisselaar gebruikt de proces controleblokken om die wisseling steeds correct uit te voeren.

Geheugenbeheer

Geheugenbeheer heeft twee taken.

- Genoeg geheugenruimte toewijzen aan elk proces om uitgevoerd te kunnen worden en het geheugen van elk ander proces afschermen.
- De verschillende typen geheugen in het systeem (intern en extern) moeten optimaal gebruikt

worden, opdat elk proces maximaal efficiënt kan worden uitgevoerd.

Voor de eerste taak moet het geheugenbeheerprogramma geheugengrenzen afbakenen en bewaken voor de verschillende besturingsprogramma's en applicatieonderdelen. Voor de tweede taak is een snelle uitwisseling van instructies en gegevens van het interne naar het externe geheugen en omgekeerd van groot belang.

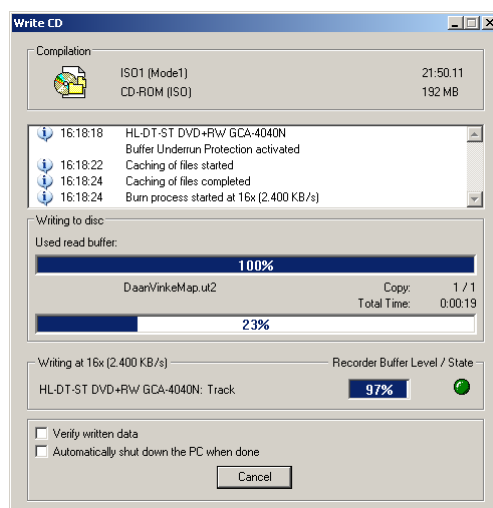
De functies in de eerste drie lagen van het besturingssysteem zijn de *kernprogramma's* (Engels: *kernel*) van het besturingssysteem. Zonder deze functies werkt niets. De kern wordt daarom altijd in het interne geheugen gehouden.

Apparaatbeheer

Als een applicatie via het besturingssysteem een randapparaat benut, dan maakt het gebruik van een specifiek *stuurprogramma* (Engels: *driver*) voor dat randapparaat. Een stuurprogramma vertaalt de elektronische of elektromechanische werking en alle betrokken signalen naar een procedureaanroep die door het besturingssysteem kan worden benut. Het lezen van een sector met een specifiek nummer in het externe schijfgeheugen gebeurt dan bijvoorbeeld door de procedureaanroep *readsector(nr, geheugenadres)*. Het stuurprogramma zet die aanroep om in de juiste signalen naar de leeskoppen, zodat de inhoud van de gevraagde sector in het geheugenadres wordt geplaatst.

Stuurprogramma's zorgen er ook voor dat gegevens op de goede manier naar bijvoorbeeld een printer gestuurd worden. Natuurlijk zijn er verschillen in randapparaten. De fabrikanten moeten ervoor zorgen dat hun apparatuur aan standaarden voldoet, dat ze werken met standaardaanroepen van het besturingssysteem. Nieuwe apparatuur vereist dus geen nieuw besturingssysteem, maar uitsluitend een aangepaste driver die aansluit op de procedureaanroep van het besturingssysteem.

Het beheer van invoer- en uitvoerapparatuur bestaat vooral uit het verplaatsen van bits in de juiste volgorde vanuit het geheugen naar die apparaten. Op tijd gegevens klaar hebben is ook belangrijk, daarvoor worden vaak tijdelijke opslagplaatsen (*buffers*) gebruikt. Een langzaam randapparaat kan dan een buffer eerst in eigen tempo geheel vullen en daarna een signaal 'buffer-vol' geven. Het stuurprogramma kan dan snel die inhoud van de buffer overbrengen naar het interne geheugen om verder verwerkt te worden na een signaal 'randapparaat-invoer-is-gereed' naar de processorbeheerfunctie.



Figuur 7 Buffer bij het beschrijven van een cd-rom

Invoer- en uitvoerbeheer

Toepassingsprogramma's maken gebruik van invoer en uitvoer. Uitvoer bijvoorbeeld naar het beeldscherm, naar de printer of naar een bestand op een extern geheugen. Invoer van een

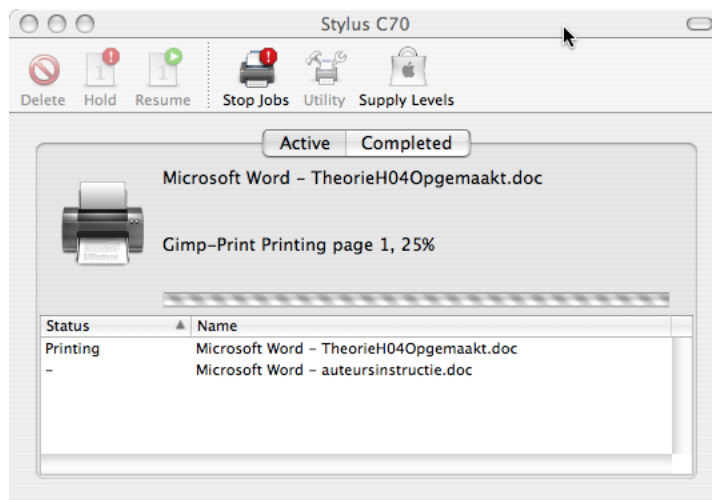
netwerkverbinding, van een scanner, van een toetsenbord of een ander invoerapparaat. Stuurprogramma's voor de applicatie-interactie voorkomen dat elk toepassingsprogramma direct die invoer-/uitvoerapparaten aanstuurt. Door die stuurprogramma's kan de applicatieprogrammeur zonder kennis van specifieke details de juiste aanroep voor invoer en uitvoer van en naar het programma schrijven.

In een besturingssysteem worden daarvoor API's gedefinieerd die door programmeurs direct kunnen worden gebruikt. **API** staat voor **Application Programmers Interface**. Een API bevat een lijst van procedures die je kunt aanroepen om het besturingssysteem iets te laten doen. Zo heeft elk systeem wel een multimedia-API, waarin bijvoorbeeld staat hoe je een programma een muziekje kunt laten afspelen.



Figuur 8 Een deel van 'MMAPI' de multimedia API voor mobiele telefoons

Behalve de stuurprogramma's voor de invoer-/uitvoerapparaten moet het besturingssysteem ook bijhouden welk proces op een bepaald moment de invoer-/uitvoerapparatuur gebruikt. Als een proces een rapport op de printer afdrukt kan een ander proces die printer niet tegelijkertijd gebruiken en moet dat tweede proces wachten, totdat de printer 'vrij' is. Het besturingssysteem houdt dan een wachtrij bij van alle processen die iets willen printen. Zo'n wachtrij heet een **queue**. De wachtrij voor de printer heet dus de printerqueue. Bij veel systemen kun je de **printerqueue** in beeld krijgen, bijvoorbeeld bij Mac OS X.



Figuur 9 Printerqueue

Gebruikersbeheer

De wijze waarop een gebruiker de computer kan bedienen noemen we de (grafische) gebruikersinterface, in het Engels de **GUI** (**Graphical User Interface**). Afhankelijk van de aan te sluiten randapparaten zoals muis, joystick, scherm, geluidkaart, toetsenbord, webcam of andere invoer-/uitvoerapparaten heeft de gebruikersinterface meer of minder functionaliteit. Net als bij de API voor invoer en uitvoer naar opslagapparatuur of printers en andere randapparaten is er ook voor de gebruikersinterface een API met procedureaanroepen in het besturingssysteem gedefinieerd. Via die gebruikersinterface aanroepen kan de programmeur zonder de details van bijvoorbeeld de muis te kennen toch de werking van de muis gebruiken in het programmeren van de interactie met de gebruiker. De procedure-aanroepen waarmee de functies van de gebruikersinterface door het besturingssysteem worden gedefinieerd vormen de bovenste laag van het besturingssysteem.

4.3 Computersystemen met meer dan één CVE

Computers worden steeds sneller, maar het is nooit genoeg. Sommige klussen vergen zo veel rekentijd, dat het kopen van een nieuwe, snellere computer niet helpt. Er is dan een andere mogelijkheid: een computer met meer processoren, die het werk verdelen. Dit noemen we **parallele verwerking**, in het Engels: **parallel computing**.

In een computersysteem met meer dan één CVE moet het besturingssysteem de applicaties en alle daarin voorkomende processen zodanig toewijzen aan de verschillende CVE's dat de totale uitvoering van de deelprocessen naast elkaar met maximale verwerkingsnelheid verloopt. Het besturingssysteem moet bepalen welke processen parallel kunnen worden uitgevoerd.

Niet alle toepassingen zijn geschikt voor verwerking door meer dan een processor. Er moet zeer veel rekentijd nodig zijn en je moet het werk kunnen opdelen. Dit kan bijvoorbeeld bij de computers die de weersvoorspellingen doorrekenen. De berekeningen worden uitgevoerd door zogenaamde supercomputers, die vele processoren hebben. De bekendste bouwer van supercomputers is Cray.



Figuur 10 Een supercomputer van het bedrijf Cray