Finance, Animation, Mechanical Computer Aided Creation, Oil & Gas, Life Sciences & Imaging, Financial Tech, Automotive, Energy, Government, Industry, Design, Architecture Engineering Construction, Digital Modelling, Software Development, Visualization, Simulation, Academia, Life Sciences, Finance, Animation Mechanical Digital Content Creation, Oil & Gas, Life Sciences & Imaging, Simulation, Parma, Bio-Tech, Automotive, Energy, Government, Mechanical Computer Aided Design, Architecture Engineering & Imaging, Financial Modelling, Software Development, Government, Industry, Academia, Life Sciences, Finance, Engineering Construction, Digital Content Creation, Development, Visualization, Simulation, Parma, Bio-energy

# 

# Naam: Gerrald Kuijt Klas: 5Hf

# Plaats: Jacobus Fruytier Scholengemeenschap Apeldoorn, Holland

# Vak: Informatica

# Onderwerp: Profielwerkstuk Docent(e): Dhr. M. Kerkhoff

# Datum: 08-01-2013

SUPERCOMPUTERS

Omslagillustratie: De behuizing van de supercomputer, Gerrald Kuijt

# Gerrald Kuijt Supercomputers

# © 2012, Gerrald Kuijt uitgegeven in eigen beheer ALLE RECHTEN VOORBEHOUDEN. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# ALL RIGHTS RESERVED.

# No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Voorwoord

# Dit profielwerkstuk was niet tot stand gekomen zonder de hulp van meneer Kerkhoff, het geduld van mijn ouders, en de bereidwilligheid van de afdeling I&A om spullen uit te lenen.

# Gerrald KuijtInhoudsopgave:

|  |  |
| --- | --- |
| **Voorwoord** | **Pagina 2** |
| **Inhoudsopgave** | **Pagina 3** |
| **Inleiding** | **Pagina 4** |
| **1 Wat is een supercomputer?** | **Pagina 5** |
| **1.1 Hoe werkt een supercomputer?** | **Pagina 5** |
| **1.2 Waar bestaat een supercomputer uit?** | **Pagina 6** |
| **1.3 Welke vormen van supercomputers heb je?** | **Pagina 8** |
| **1.4 Hoe worden supercomputers getest?** | **Pagina 9** |
| **1.5 Waar worden supercomputers voor gebruikt?** | **Pagina 10** |
| **1.6 Deelconclusie** | **Pagina 12** |
| **2 Kunnen we een goedkope, maar snelle, supercomputer bouwen?** | **Pagina 13** |
| **2.1 Van welk soort maken we de supercomputer?** | **Pagina 13** |
| **2.2 Wat hebben we nodig om onze supercomputer te bouwen?** | **Pagina 13** |
| **2.3 Hoe bouwen we onze supercomputer op?** | **Pagina 16** |
| **2.4 Hoe testen we de supercomputer?** | **Pagina 25** |
| **2.5 Deelconclusie** | **Pagina 26** |
| **3 Hebben we een goedkope, maar snelle, supercomputer gebouwd?** | **Pagina 27** |
| **3.1 Meetresultaten** | **Pagina 27** |
| **3.2 Ververwerking** | **Pagina 29** |
| **3.3 Deelconclusie** | **Pagina 30** |
| **Eindconclusie** | **Pagina 31** |
| **Bijlagen** | **Pagina 32** |
| **Bronvermelding** | **Pagina 42** |

# Inleiding

**Imagine a world without computers…**

Zonder computers zou de wereld er heel anders uitzien dan dat hij er nu uitziet. Wij mensen van generatie Y kunnen een wereld zonder computers niet meer voorstellen om de simpele reden dat we er mee opgegroeid zijn. Wij kunnen heel veel met de computer. Maar weten we wel eens wat we aan het doen zijn? Weten we hoe de computer werkt. Dit waren allemaal vragen die in me opkwamen toen we een onderwerp moesten opzoeken voor onze PWS. Omdat ik informatica één van de leukste vakken op school vind, en omdat ik geïnteresseerd ben in de laatste technologieën wil ik graag mijn PWS maken over een onderdeel uit de informatica. Daarbij heb ik goed afgewogen wat ik interessant vond. Mijn voorkeur ging voornamelijk uit naar de hardware kant allereerst omdat programmeren mij te theoretisch is en ik wilde ook iets doen. Na een stuk onderzoek, op voornamelijk internet, vond ik een interessant onderwerp. De supercomputer.

Supercomputers zijn computers die voornamelijk voor wetenschappelijk onderzoek worden gebruikt. Ze zijn speciaal gebouwd om grote berekeningen te maken aan bijvoorbeeld de bouw van een speciaal molecuul of om stromingen in water te berekenen. Omdat in de toekomst supercomputers steeds belangrijker worden moeten we manieren vinden om op een goedkopere manier meer rekenkracht uit een supercomputer te kunnen halen. Daarom is de hoofdvraag van dit profielwerkstuk:

**Is het mogelijk om, doormiddel van eenvoudige en goedkope computers, een supercomputer te ontwikkelen die, in verhouding met de prijs, goed presteert?**

Om dit uit te zoeken is het profielwerkstuk opgedeeld in enkele deelonderwerpen. Eerst wordt uitgelegd hoe de supercomputer werkt, welke vormen je hebt, wat het nut ervan is. In het tweede deel zullen we een eigen supercomputer bouwen en stap voor stap uitleggen hoe we dat gedaan hebben. Om daarna in de eindconclusie een antwoorde te geven op de hoofdvraag.

Om goed te begrijpen wat in dit profielwerkstuk uitgelegd wordt is het belangrijk om wel enige kennis te hebben in de informatica. Daarom is dit profielwerkstuk vooral bedoeld voor geïnteresseerden met gevorderde computerervaring, leerlingen/docenten informatica of mensen die zich in hun dagelijks beroep bezig houden met informatica.

**1 Wat is een supercomputer?**

* 1. **Wat is een supercomputer?**

Een supercomputer is een computer die een heel grote rekencapaciteit bevat. Eigenlijk is het een verkeerde naam, want in de praktijk zijn het aan elkaar gekoppelde computers die onderling, met een snel netwerk, contact hebben. Dit computernetwerk, eenmaal aan elkaar gekoppeld, wordt een computercluster genoemd. (Afbeelding 1)

De capaciteit van een dergelijke supercomputer kan op meerdere manieren uitgedrukt worden. De twee belangrijkste manieren zijn:

1. In FLOP/s (floating point operations per second). Dit begrip in het Nederlands genoemd, zwevende kommabewerkingen per seconde, geeft weer wat de rekencapaciteit van de computer is. Het aantal FLOP/s wordt bepaald door de hoeveelheid rationele getallen een computer per seconde in de goede volgorde kan zetten.
2. In MIP/s (million instructions per second). Dit begrip geeft de verwerkingscapaciteit van de CPU weer. Tegen deze manier is wel wat tegen in te brengen omdat deze manier afhankelijk is van verschillende factoren. Wel geeft de MIP-waarde maar een ruwe schatting van de verwerkingscapaciteit van de computer weer. Dit komt omdat de MIP-waarde afhankelijk is van de hoeveelheid instructies men test, de soorten instructies men test en de weging men geeft aan de uitvoering van de verschillende instructies. Om deze reden wordt de MIP-waarde ook wel de Meaningless Indication of Processor Speed (betekenisloze indicatie van processor snelheid) genoemd, omdat de MIPS-waarde weinig zegt over de snelheid van de processor.

De capaciteit van de supercomputer is afhankelijk van vier verschillende factoren:

1. De snelheid van de CPU (Central Processing Unit). De CPU is de chip die de computer aanstuurt doormiddel van instructies die na elkaar uitgevoerd worden. De snelheid is per CPU verschillend, de CPU in de supercomputer die wij gebouwd hebben, heeft een standaard snelheid van 700 MHz en kunnen ‘opgevoerd’ worden tot 1 GHz. De CPU bestaat meestal uit 1 tot 8 kernen.
2. De snelheid van de GPU (Graphics Processing Unit). De GPU is de chip die zorgt voor alle videotaken.
3. Werkgeheugen. Het werkgeheugen zorgt onder andere voor de communicatie tussen de CPU en de harde schijf.
4. Netwerksnelheid. De snelheid van het netwerk moet de snelheid van de andere componenten.

**1.2 Waar bestaat een supercomputer uit?**

Ruwweg gezien bestaat een supercomputer uit vier onderdelen:

1. een regelbaar elektriciteitssysteem, zodat de supercomputer gecontroleerd opgestart kan worden.
2. een regelbaar koelsysteem, om de supercomputer te koelen
3. een netwerk om de communicatie tussen de computers te verzorgen
4. computers die voor de rekenkracht zorgen
5. software die zorgt voor de onderlinge samenwerking van de computers

De basis van een supercomputer ligt natuurlijk in de CPU. De CPU neemt de rekentaken voor zich. Wel word de laatste jaren ook steeds meer gebruik gemaakt van de GPU omdat de GPU bestaat uit tientallen tot honderden kleine kernen waardoor de GPU dus nog meer taken tegelijk kan uitvoeren. Dit is in tegenstelling tot de CPU die maar uit één tot ongeveer acht kernen, en dus minder goed taken parallel kan uitvoeren. Je ziet dit terug in de nieuwere supercomputers waarbij de CPU gebruikt wordt om de GPU aan te sturen. De GPU zorgt dan voor de rekenkracht. (Afbeelding 2)

Om de rekenkracht goed te gebruiken is er een snel netwerk nodig om bijvoorbeeld de berekeningen onderling te verdelen. Doordat de computers een hoge snelheid hebben moet het netwerk deze snelheden ook aankunnen. Als de computers zelf wel snel zijn maar het netwerk voor de informatieoverdracht traag is gaat er dus onnodig veel tijd en energie verloren en wordt de supercomputer dus inefficiënt. Daarom wordt er bij de meeste supercomputers een speciaal netwerk gebruikt dat deze snelheden aankan. Een voorbeeld hiervan is het InfiniBand-netwerk dat gegevens tot ongeveer 30 Gbits/sec aan kan. Dit gebeurt met een snelheid van ongeveer 670 MHz. Een ander soort is ontwikkeld door IBM en maakt gebruikt van een glasvezelnetwerk. Dit netwerk kan gegevens verwerken tot 40 Gbits/sec.

Doordat de computers veel gegevens te verwerken krijgen gebruiken ze veel stroom. Daarom zijn de meeste supercomputers voorzien van een goede stabiele stroomvoorziening die ten alle tijd door kan gaan. Als er door een reden de stroom uitvalt worden de meeste supercomputers gevoed door stroomaggregaten. Ook is het belangrijk om een goed verdeling te maken in het opstartproces. Als de computers allemaal in één keer opgestart worden krijg je een piekbelasting wat eventueel voor overbelasting kan zorgen. Daarom word een supercomputer in verschillende etappes opgestart.

Maar net als een gewone desktop computers geven supercomputers ook veel warmte. Een supercomputer moet dus gekoeld worden. Dat kan op twee manieren:

1. Waterkoeling is de meest efficiënte manier om een supercomputer te koelen. Waterkoeling kost bijna geen stroom(alleen voor waterpompen en regelapparatuur). Wel is de installering van waterkoeling duurder omdat er overal koperen leidingen geïnstalleerd moeten worden. Tot op de processor toe.
2. Luchtkoeling is de goedkoopste manier. In de ruimte waar de supercomputer staat wordt van onderen lucht in gezogen, die aan de bovenkant weer weggeblazen wordt.

Aan een supercomputer zonder software heb je niets. Daarom heb je ook speciale software nodig om de supercomputer te gebruiken. Ten eerste moet er op elke computer afzonderlijk een besturingssysteem geïnstalleerd worden. Het besturingssysteem zorgt ervoor dat de computer werkt. Daarna moet er op elke computer een programma geïnstalleerd worden die zorgt voor de onderlinge samenwerking van de computers. Zo’n programma heet een Multi Processing Interface (MPI). Het programma verdeelt het werk dat gedaan moet worden over de afzonderlijke computers, zorgt ervoor dat de resultaten op de goede plek komen en zorgt ervoor dat de processen op elkaar wachten als dat nodig is.

Doordat een supercomputer een parallel gebouwd systeem is heb je programma’s nodig die op een zodanige manier geprogrammeerd zijn dat ze het werk kunnen verdelen. Als je programma’s gebruikt die opdrachten na elkaar uitvoert kun je dus nooit de maximale capaciteit van de supercomputer gebruiken. Het programmeren van zulke programma’s wordt gedistribueerd programmeren genoemd.

**1.3 Welke vormen van supercomputers heb je?**

In de supercomputerwereld heb je eigenlijk maar twee soorten van supercomputers:

1. Cluster-computing is de bekendste vorm. Bij deze vorm worden speciale borden gebruikt. Op zo’n bord worden ongeveer 4 CPU’s en 4 GPU’s geplaats met het bijbehorend werkgeheugen. Het bord wordt in een node geplaatst. Een node is een knooppunt voor de borden. In een node passen ongeveer 32 borden. De node wordt in een rack geplaatst. Een rack is een soort kast met daarin lades, in elke lade past een node. De kasten worden naast elkaar en achter elkaar gezet.

(Afbeelding 3)

Voordat de ‘racks’ geplaatst worden moet er eerst van alles voorbereidt worden. In de hal waar de supercomputer geplaatst word moet een sprinklerinstallatie geïnstalleerd worden. Ook moeten er leidingen aangelegd worden voor koeling en stroomtoevoer. Daarnaast moet er een netwerk aangelegd worden voor de communicatie. En om de computer te beheren word er meestal ook een controlekamer gebouwd.

Na het installeren van de hardware wordt de software geïnstalleerd. Tijdens de installatie wordt één node omgevormd tot masternode. Dit houdt in dat deze node de ‘manager’ is van de overige workernodes. Na de installatie van de software is de computer klaar voor gebruik.

Bekende fabrikanten van dit soort systemen zijn Cray Inc., Bull, Fujitsu en IBM. De snelste computer op dit moment is gebouwd door Cray Inc. De computer heeft een rekencapaciteit van 17,59 PFlops/s, 710 TB aan werkgeheugen, 10 PB aan opslaggeheugen, verbruikt 8,2 MW aan stroom en kostte 97 miljoen dollar. De computer met de naam Titan staat in het Oak Ridge National Laboratory in de Verenigde Staten. (Afbeelding 4)

1. Distributed computing is de andere vorm van supercomputers. Bij distributed computing wordt gebruik gemaakt van computers die in één ruimte of op meerdere locaties staan. Onderling maken ze gebruik van het conventionele ethernet. Het is voornamelijk geschikt voor taken waar kleine pakketjes met data gebruikt worden omdat de verwerkingssnelheid van het netwerk laag ligt. Bij distributed computing wordt gebruikt gemaakt van de idle-time van de CPU. Dit is de kracht van de CPU die op dat moment niet gebruikt wordt.

Deze vorm van super computing wordt vaak gebruikt in, door vrijwilligers opgezette, projecten. Vaak zijn dat projecten voor medicijnonderzoek, encryptie- algoritmen of het zoeken naar priemgetallen. Je kunt zelf ook deelnemen aan een project:

* zoek de website van het project dat jij wilt steunen;
* meld je aan;
* en geef het project een ‘boost’ met jouw computer.

**1.4 Hoe worden supercomputers getest?**

Als men een supercomputer test gaat men eerst testen of de hardware goed aangesloten is en controleert men of de hardware ook goed werkt. Daarna controleert men of de software goed geïnstalleerd is. Klopt alles dan kan het belangrijkste van het testproces beginnen. Men test de software die zorgt voor de onderlinge samenwerking (MPI). Als die goed werkt voert men een benchmark uit. Een benchmark is een reeks berekeningen waarbij de maximale rekencapaciteit van de supercomputer getest wordt. Een dergelijke berekening kan bijvoorbeeld zijn: “Zoek alle priemgetallen tussen 1 en 1.000.000 volgens een bepaald algoritme.”

De meest bekende benchmark voor supercomputers is de LINPACK-benchmark. Dit is een pakket wat bestaat uit verschillende benchmarks waaronder ook enkele die goed te gebruiken zijn voor supercomputers. De programma’s achter deze benchmarks stammen al uit 1979 en zijn opgesteld door enkele professoren.

De lijst met daarin de 500 snelste computers ter wereld wordt ook samengesteld op basis van computers die getest zijn met de LINPACK-benchmarks. (Afbeelding 5)

### TOP 10 november 2012

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Plaats in de lijst | Naam | Snelheid |
| 1 | Titan | 17.59 PFlops/sec |
| 2 | Sequoia | 16.32 PFlops/sec |
| 3 | [K computer](http://www.top500.org/system/177232) | 10.51 PFlops/sec |
| 4 | Mira | 8.16 PFlops/sec |
| 5 | JUQUEEN | 1.38 PFlops/sec |
| 6 | SuperMUC | 2.89 PFlops/sec |
| 7 | Stampede | 2.6 PFlops/sec |
| 8 | Tianhe-1A | 2.56 PFlops/sec |
| 9 | Fermi | 1.73 PFlops/sec |
| 10 | DARPA Trial Subset | 1.52 PFlops/sec |

**1.5 Waar worden supercomputers voor gebruikt?**

De supercomputer wordt voornamelijk ingezet voor wetenschappelijke doeleinden. Het gebruik van de supercomputer valt onder de wetenschapstak Computational Science. Deze tak in de wetenschap is door de jaren heen steeds meer een volwaardig onderdeel van de wetenschap geworden. Computational Science is de ontwikkeling en het gebruik van simulaties en modellen, ondersteund door de grootschalige inzet van computers. Het wordt de derde methodologie van de wetenschap genoemd naast theorievorming en experiment.

1. Weer, klimaat en milieu: nauwkeurige hoge resolutie modelleringen van lange termijn voorspellingen voor klimaatverandering, luchtverontreiniging en extreme weersituaties.
2. Watermanagement: waterstroombeheer in extreme situaties en adviezen bij calamiteiten.
3. Nanotechnologie: voorspelling van eigenschappen van samengestelde nano systemen om te komen tot innovatieve oplossingen voor energieproblemen, moleculaire elektronica en bio moleculaire materialen.
4. Levenswetenschappen, biotechnologie: nauwkeurige dynamische moleculaire simulatie van eiwitten, interacties van medicijnen, modellering van complete cellen.
5. Medische wetenschappen: simulatie van ontwikkeling botstructuren onder stress, van bloedstromen en hartfunctie, van computational neurology (hersenonderzoek)
6. Energieonderzoek: begrijpen van hoge-energieplasma's, kernfusie, zonne-energie, modellering van verbrandingsprocessen voor efficiënte en schone energie.
7. Astrofysica: studie van de evolutie van sterrenstelsels, van energieomzettingen onder extreme omstandigheden, ontstaan van het heelal.
8. Chemie en materiaalkunde: katalyse voor chemische processen bij lage(re) temperaturen (wassen bij lage temperatuur, olie kraken bij lage temperatuur, efficiëntere chemische omzettingen), berekening en verklaring chemische eigenschappen van materialen en hun duurzaamheid, moleculaire dynamica.
9. Computerlinguïstiek/talen: spraaktechnologie: vertalen en uitspreken van tekst, het detecteren van fouten in tekst, het beantwoorden van vragen en het voeren van dialogen.[[1]](#footnote-2)

Ook worden supercomputers ingezet bij militaire doeleinden. Ze worden dan gebruikt voor de zogenaamde ‘war games’ of bij het modelleren van de gevolgen van een nucleaire aanval.

Chemische sector

De chemie is een grootverbruiker van supercomputers. Bijvoorbeeld in de polymeren industrie. Dit is een enorme markt met grote toegevoegde waarde. Specifieke producteisen vragen gedetailleerd onderzoek. Daarom wordt het onderzoek naar nieuwe varianten gedaan met behulp van computersimulaties en modellering. Meer computer(reken)kracht betekent onmiddellijk meer (en vooral) sneller inzicht in mogelijke combinaties. Vooral het aspect van snelheid is belangrijk. Hoe sneller nieuwe combinaties kunnen worden doorgerekend, des te meer mogelijke combinaties vergeleken kunnen worden. Het heeft geen zin een analyse te doen van 1 miljoen verschillende combinaties van stoffen als het antwoord op een enkele combinatie al een week op zich laat wachten. Indien het antwoord echter binnen enige uren bekend is, kan men nog diezelfde werkdag de resultaten verwerken en gebruiken om de analyse bij te stellen. Ook het doorrekenen van zogenaamde opschalingproblemen van de laboratoriumomgeving naar industriële productie (wat gebeurt er als je een stof in grote hoeveelheden gaat produceren) kan uitstekend met computermodellen worden opgelost. In de chemie wordt dan ook veel gebruik gemaakt van supercomputers en is men grootverbruiker van computermodellering. De toenemende nadruk op “green chemistry” (milieubewust en duurzaam produceren) betekent een belangrijke stimulans voor deze ontwikkeling. De grote uitdaging daarbij is om afval terug te dringen (‘zero waste’), te werken met water oplosbare stoffen en katalytische reacties te verbeteren.

De farmaceutische industrie

In het stukje over de chemische sector hebben we over hoeveelheden door te rekenen combinaties gesproken. In de farmaceutische industrie geldt deze uitdaging nog veel sterker. Het ontwikkelen van medicijnen “in silico” richt zich vooral op het doorrekenen van het effect van medicijnen op het functioneren van enzymen en eiwitten in het menselijk lichaam. Het bepalen van de juiste stoffen in medicijnen heeft uiteraard een groot gezondheidsbelang, maar voor de farmaceutische industrie ook een economisch belang. Het op de markt brengen van medicijnen is een kostbaar en langdurig proces. Elke keuze die tijdens dat proces gemaakt moet worden, dient juist te zijn. Het beschikbaar hebben van grote rekenfaciliteiten is daarbij cruciaal.

De halfgeleiderindustrie

Dit is een zeer snel groeiende, zeer innovatieve en hoogwaardige sector. Binnen de sector is het gebruik van supercomputers essentieel voor het ontwikkelen van de volgende generatie chips. Voor de toekomstige generatie computerchips zijn nieuwe materialen nodig die worden ontwikkeld met de huidige supercomputers. Er is nog tamelijk veel onderzoek nodig om de vragen op te lossen die worden opgeroepen door de alsmaar verdere miniaturisering van de chips. Vragen op het gebied van lichtpaden, energieverbruik en dataopslag. De eigenschappen en werking van nieuwe (alternatieve)

materialen voor de halfgeleiderindustrie worden getest met behulp van complexe computermodellen. Met name het analyseren van materiaaleigenschappen op het moleculaire niveau (het zogenaamde “moleculair modelling”) neemt een hoge vlucht.

Maar ook voor het oplossen van vraagstukken op aanpalende gebieden is supercomputing van belang. Bijvoorbeeld voor het toekennen van “watermerken” aan nieuwe chips waarmee inbreuken op patenten kunnen worden tegengegaan. Of bij het oplossen van allerlei wiskundige problemen die samenhangen met het analyseren van zeer grote databestanden (bijvoorbeeld uit de deeltjesfysica en de astronomie). Of bij de cryptografie voor de versleuteling van dataverkeer

Maatschappelijke belangen

Vaak wordt wetenschappelijk onderzoek gekenschetst als fundamenteel of maatschappelijk relevant. Maatschappelijk relevant zijn die wetenschappelijke resultaten die reeds snel bruikbaar zijn in de maatschappij. Te denken valt bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van wasmiddelen die werkzaam zijn bij lage temperaturen. Katalyse, modellering en grootschalige rekenfaciliteiten zijn bij de ontwikkeling van dergelijke producten onmisbaar. Gebruik van dergelijke wasmiddelen heeft minder energieverbruik tot gevolg, wat duidelijk een maatschappelijk belang dient. Een ander voorbeeld is de bescherming tegen weers- en klimaatinvloeden: hoe hoog gaan we in Nederland dijken maken, wat dient er te gebeuren met de kustverdediging, en hoe kunnen we verantwoorde beslissingen nemen in het geval van hoog water? Grote beschikbare rekenfaciliteiten zijn bij dit laatste onmisbaar. Het is onder meer om deze reden van veiligheid dat binnen de wereld van de technologische instituten van Nederland al langer belangstelling bestaat voor het gebruik van supercomputers.[[2]](#footnote-3)

**1.6 Deelconclusie**

Een supercomputer is een computer die een heel grote rekencapaciteit bevat. De capaciteit van een dergelijke supercomputer kan op diverse manieren uitgedrukt: In FLOP/s (floating point operations per second) en in MIP/s (million instructions per second). De supercomputer wordt getest met een benchmarkprogramma. Een benchmark is een reeks berekeningen waarbij de maximale rekencapaciteit van de supercomputer getest wordt. De supercomputer wordt voornamelijk ingezet voor wetenschappelijke doeleinden. Het gebruik van de supercomputer valt onder de wetenschapstak Computational Science. De belangrijkste vakgebieden zijn: klimaatvraagstukken, watermanagement, nanotechnologie en fysica. (Afbeelding 6)

**2 Kunnen we een goedkope, maar snelle, supercomputer bouwen?**

**2.1 Van welk soort maken we de supercomputer?**

Omdat het een goedkoop computersysteem moet zijn komen we al snel uit bij een supercomputer die werkt op basis van distributed computing. Als we een computer bouwen op basis van cluster computing zullen we onderdelen moeten aanschaffen die ver boven het budget en het beoogde doel liggen. Zouden we een computer bouwen op basis van efficiëntie dan komen we al snel uit bij een clustercomputer omdat die gebruik maken van een snel netwerk.

Alles tegen elkaar opwegend komen we uit bij een supercomputer uit die werkt op basis van distributed computing.

**2.2 Wat hebben we nodig om onze supercomputer te bouwen?**

1. Computers voor rekenkracht (Afbeelding 7);
2. Adapters voor stroomvoorziening (Afbeelding 8);
3. Netwerkswitch voor de informatieoverdracht (Afbeelding 9);
4. Netwerkkabels voor de informatieoverdracht;
5. SD-kaart met het besturingssysteem en de benodigde software (Afbeelding 10);
6. Behuizing voor de computers (Afbeelding 11);
7. Monitor, toetsenbord en muis;
8. Een besturingssysteem in de vorm van een .img-bestand (Afbeelding 12).

Computer

Voor de computer hebben we de keus laten vallen op een Raspberry Pi Model B. Deze computer wordt gemaakt in Groot-Brittannië bij de bekende fabrikant Sony. Het idee van deze computer is van Eben Upton die een computer wilde ontwikkelen die bedoeld was voor scholieren en hobbyisten, maar met de voorwaarde dat de computer goedkoop was. De computer is te bestellen bij Farnell en RS Components.

Adapter

Voor de adapter maken we gebruik van een micro-USB adapter van het merk Voltcraft met als uitgangsspanning 5 volt bij een stroomsterkte van 1000 milliampère. De Adapter transformeert de netvoeding naar een voeding die de Raspberry Pi aankan. Voltcraft staat bekend om zijn hoge kwaliteit.

Netwerkswitch

Een netwerkswitch is een apparaat dat zorgt dat de pakketjes informatie bij de goede computer aankomen. Het apparaat wordt gevoed door de normale netvoeding. De netwerkswitch die wij gebruiken is van school en is gemaakt door de Amerikaanse fabrikant Cisco.

Netwerkkabels

Netwerkkabels zorgen voor dataoverdracht. De netwerkkabels die wij gebruiken zijn geleverd door Conrad.

SD-kaart

Je hebt een SD-kaart nodig waar je het besturingssysteem en de benodigde software op zet. Omdat we er zeker van wilden zijn dat we genoeg opslagruimte hadden hebben we SD-kaarten gebruikt van 16 GB, besteld bij Informatique.

Behuizing

Om de kosten laag te houden is de behuizing gemaakt van LEGO uit eigen doos. De behuizing is deels naar eigen ontwerp en deels naar een beschrijving van het internet.

Monitor, toetsenbord en muis

Omdat op school alleen maar monitoren zijn met een VGA-aansluiting moesten we een converter kopen die het HDMI-signaal omzette in een VGA-signaal. De converter met toebehoren is besteld bij Conrad. Het toetsenbord en de muis zijn van school

Besturingssysteem

Voor het besturingssysteem gebruiken we een, voor de Raspberry Pi, geconfigureerd .img-bestand. Je kunt deze bestanden vinden op de website van de Raspberry Pi Foundation.

Wij gebruikten deze versie: **2012-08-16-wheezy-raspbian.zip**.In dit bestand bevind zich een bestand met de naam **2012-08-16-wheezy-raspbian.img**.Wil je dit bestand gebruiken moet je de ingepakte map eerst uitpakken.

Al de hardware onderdelen zijn zonder enige verplichtingen los te verkrijgbaar bij de genoemde fabrikanten en leveranciers.

Het uiteindelijke computersysteem bestaat uit 4 Raspbery Pi’s die met elkaar communiceren via een netwerkswitch. De monitor is doormiddel een converter aangesloten op de HDMI-poort van de masternode. Het toetsenbord en de muis zijn ook aangesloten op de masternode. Het besturingssysteem inclusief de benodigde software staat op een SD-kaart die aan de achterkant van de node geplaatst. De stroom- voorziening wordt verzorgt door een adapter die is aangesloten op de netvoeding.

Hieronder worde de specificaties van de supercomputer weergegeven:

Specificaties supercomputer

|  |  |
| --- | --- |
| Aantal nodes | 4 |
| Computer: | Raspberry Pi Model B |
| CPU: | 700 MHz ARM1176JZF-S core [ARM11](http://nl.wikipedia.org/wiki/ARM-instructieset) 0,175 GFLOPS/s |
| GPU: | Broadcom VideoCore IV 26 GFLOPS/s |
| Opslaggeheugen | 4 x 16 GB = 64 GB |
| Werkgeheugen (SDRAM): | 4 x 512 MB = 2 GB (afgerond) |
| Aantal Flops: | 4 x (0,175 GFLOPS/s + 26 GFLOPS/s) = 104,70 GFLOPS/s |
| Energieverbruik: | 4 x 3,5 Watt 14 Watt |
| Netwerk | 10/100 MB/sec [ethernet](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ethernet) |

2.3 Hoe bouwen we onze supercomputer op?

1. De hardware moet worden aangesloten.
2. De software moet naar de SD-kaart geschreven worden.
3. De SD-kaart moet in de Raspberry Pi geplaatst worden
4. De computer voorbereiden om te testen.

Om de hardware aan te sluiten worden eerst de netwerkkabels aan de netwerkswitch en de Raspberry Pi’s aangesloten. Daarna word de monitor aangesloten via een kabel aan de HDMI naar VGA converter. De onderste Raspberry Pi zullen we als masternode gebruiken, daarom wordt deze Raspberry Pi aangesloten op de converter via een HDMI-kabel. Dan worden muis en toetsenbord aangesloten op de masternode. Als laatste worden de netwerkswitch, monitor en converter aangesloten op de netvoeding.

(Abeelding 13)

De onderstaande handleiding is gebaseerd op de handleiding van professor Simon Cox. Op sommige onderdelen is de handleiding naar eigen inzicht uitgebreid of aangepast.

Dat komt omdat de handleiding in sommige onderdelen onvolledig was in de uitleg.

Om het besturingssysteem naar de SD-kaart te schrijven moet hij eerst gedownload worden van de website van de Raspberry Pi Foundation. Daarna kan hij naar de SD-kaart geschreven worden. Hiervoor gebruiken we het programma Win32 Disk Imager. Dit programma schrijft het bestand van het besturingssysteem naar de SD-kaart.

(Afbeeling 14)

* Download het besturingssysteem (image) van de website;
* Stop de SD-kaart in een kaartlezer;
* Start het programma Win32 Disk Imager;
* Zoek het bestand **2012-08-16-wheezy-raspbian.img** op.
* Klik op “Write”;
* Wacht met het verwijderen van de SD-kaart totdat het programma klaar is.

Als het besturingssysteem op de SD-kaart staat moet hij in de masternode geplaatst worden en kan hij aangesloten worden op de netvoeding.

Vanaf nu zullen we stap voor stap uitleggen wat er moet gebeuren om de supercomputer te configureren.

1. Start de masternode op door de Raspberry Pi aan te sluiten op de netvoeding en wacht totdat er een keuzemenu op het scherm verschijnt. (Afbeelding 15)
2. Op het keuzemenu kies je door middel van het toetsenbord de functie: **expand\_rootfs.** Hierna volg je de instructies op het scherm.
3. Nadat de masternode weer opnieuw is opgestart log je in met de inloggegevens die op de website van de Raspberry Pi Foudation staan.
4. Nu kunnen we de benodigde software installeren.
5. Verander het wachtwoord.

pi@raspberrypi:~$ passwd

------------------------------------------------------  
Changing password for pi  
(current) UNIX password:  
Enter new UNIX password:  
Retype new UNIX password:  
passwd: password updated successfully  
------------------------------------------------------

pi@raspberrypi:~$

6. Log uit en log opnieuw in om te controleren of het gelukt is.

pi@raspberrypi:~$ exit

7. Controleer of er nieuwe updates zijn en installeer die.

pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update

8. Installeer het programma Fortran (een programmeertaal ontwikkeld voor rekenwerk).

pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install gfortran

9. We gaan nu de MPI (Multi Processing Interface) installeren. Om dat te doen maken we eerst een nieuwe map aan met de naam **mpich2** en gaan we naar die map toe.

pi@raspberrypi:~$ mkdir /home/pi/mpich2

pi@raspberrypi:~$ cd ˜/mpich2

10. Nu gaan we het MPI-programma downloaden.

pi@raspberrypi:~$ wget http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/downloads/tarballs/1.4.1p1/mpich2-1.4.1p1.tar.gz

11. Omdat het een gecomprimeerd (ingepakt) bestand is, moeten we hem eerst uitpakken.

pi@raspberrypi:~$ tar xfz mpich2-1.4.1p1.tar.gz

12. Nu moeten we een map maken waar we uitgepakte bestanden opslaan.

pi@raspberrypi:~$ sudo mkdir /home/rpimpi/

pi@raspberrypi:~$ sudo mkdir /home/rpimpi/mpich2-install

13. Maak nu een map aan waar we de MPI opslaan en we gaan naar die map toe.

pi@raspberrypi:~$ mkdir /home/pi/mpich\_build

pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/mpich\_build

14. Nu gaan we de installatie voorbereiden.

pi@raspberrypi:~$ sudo /home/pi/mpich2/mpich2-1.4.1p1/configure -prefix=/home/rpimpi/mpich2-install

15. Na een poos wachten kun je verder met voorbereiden.

pi@raspberrypi:~$ sudo make

16. Na de voorbereiding is het tijd voor de installatie.

pi@raspberrypi:~$ sudo make install

17. Verplaats de installatiebestanden naar de map die er speciaal voor aangemaakt is.

pi@raspberrypi:~$ export PATH=$PATH:/home/rpimpi/mpich2-install/bin

18. Wil je de bestanden daar permanent plaatsen dan moet je het volgende doen.

pi@raspberrypi:~$ nano ˜/.profile

In het menu wat er verschijnt typ je de volgende commando’s en sla je de veranderingen op.

# Add MPI to path

PATH="$PATH:/home/rpimpi/mpich2-install/bin"

19. Controleer of alles op de goede manier is geïnstalleerd.

pi@raspberrypi:~$ which mpicc

pi@raspberrypi:~$ which mpiexec

20. Ga nu weer terug naar de hoofdmap en maak een map aan om de MPI te testen.

pi@raspberrypi:~$ cd˜

pi@raspberrypi:~$ mkdir mpi\_testing

pi@raspberrypi:~$ cd mpi\_testing

Nu kunnen we testen of de MPI werkt op de masternode.

21. Omdat te testen hebben we eerst het IP-adres nodig van de masternode.

pi@raspberrypi:~$ ifconfig

Schrijf het IP-adres op, want die hebben we straks nodig.

22. We slaan het IP-adres op in een speciaal bestand waar straks ook de andere IP- adressen opgeslagen worden.

pi@raspberrypi:~$ nano machinefile

In het menu wat er verschijnt typ je het IP-adres van de masternode en sla je de veranderingen op.

192.168.1.---

23. Om te testen of het MPI-programma werkt gebruiken we het volgende commando. Het commando wordt in de volgende paragraaf uitgelegd. Als het goed is komt er na het commando ingevoerd te hebben het volgende op het scherm te staan: **raspberrypi**.

pi@raspberrypi:~$ mpiexec –f machinefile –n hostname

raspberrypi

24. Nu voeren we het benchmarkprogramma uit om te testen of het werkt met het MPI-programma. Dit benchmarkprogramma zullen we met het testen ook gebruiken. Ook dit programma wordt in de volgende paragraaf uitgelegd.

pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/mpi\_testing

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 2 ~/mpich\_build/examples/cpi

Process 0 of 2 is on raspberrypi

Process 1 of 2 is on raspberrypi

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

time is:---

Als dit op het scherm verschijnt betekent het dat alles goed is geïnstalleerd.

Nu hebben we alle benodigde software voor één node . We hebben een besturingssysteem en het MPI-programma is geïnstalleerd en geconfigureerd. Nu de masternode klaar is moeten we alle software ook op de workernodes zetten. Hoe dat moet wordt in de volgende stappen uitgelegd.

25. Sluit de masternode af.

pi@raspberrypi:~$ sudo poweroff

26. We gaan nu alle software die op de SD-kaart staat naar de computer kopiëren.

* Verwijder de SD-kaart en plaats de SD-kaart in de kaartlezer;
* Start Win32 Disk Imager op;
* Klik op “Write”;
* Noem het bestand “**2012-08-16-wheezy-raspbian\_backup\_mpi\_master.img**;
* Wacht met het verwijderen van de SD-kaart totdat het programma klaar is.

We hebben nu een kopie van de SD-kaart op de computer staan.

27. Stop een nieuwe SD-kaart in de computer en voer de procedure uit zoals beschreven op pagina 16 maar nu met **2012-08-16-wheezy-raspbian\_backup\_ \_mpi\_master.img**.

28. Plaats de nieuwe SD-kaart in de eerste workernode. Sluit hierna ook de monitor, het toetsenbord en de muis aan op de eerste workernode. Sluit de eerste workernode aan op de netvoeding en log in met het wachtwoord die je in stap 5 hebt aangemaakt. Zoek het IP-adres op zoals beschreven in stap 21 en schrijf het IP-adres op. Log hierna uit van de workernode.

pi@raspberrypi:~$ logout

29. Verwijder de monitor-, toetsenbord- en muiskabel van de eerste workernode en sluit ze weer aan op de masternode.

30. Nu gaan we een digitale sleutel aanmaken waardoor we straks niet telkens apart hoeven in te loggen, maar waardoor we in één keer toegang hebben tot de workernodes. Dit doen we op de masternode.

pi@raspberrypi:~$ cd ˜

pi@raspberrypi:~$ ssh-keygen -t rsa –C “raspberrypi@raspberrypi”

In het scherm dat er nu verschijnt maak je een sleutel. Hierna kopiëren we de sleutel na de eerste workernode. Je maakt gebruik van het IP-adres van de workernode.

pi@raspberrypi:~$ cat ~/.ssh/id\_rsa.pub | ssh pi@192.168.1.--- "cat >> .ssh/authorized\_keys"

31. Om te controleren of de sleutel goed op de workernode is geïnstalleerd sluiten we de kabels weer aan op de workernode en loggen we weer in op de workernode. Na het inloggen, controleren we de RSA-sleutel.

pi@raspberrypi:~$ ls –al ~/.ssh

Als er een bestand verschijnt met de naam “authorized\_keys” is de RSA-sleutel goed geïnstalleerd.

32. We sluiten de kabels weer aan op de masternode. Om de workernode te gebruiken moeten we eerst zijn IP-adres toevoegen in het bestand waar ook het IP-adres van de masternode is opgeslagen.

pi@raspberrypi:~$ nano machinefile

In het menu wat er verschijnt typ je het IP-adres van de masternode en daaronder het IP-adres van de workernode. Als dit gebeurt is sla je de veranderingen op.

192.168.1.---

192.168.1.---

33. We gaan nu het MPI-programma weer testen maar nu met de master- en workernode tegelijk. We gaan ons eerst verplaatsen naar de map waar het testprogramma is opgeslagen.

pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/mpi\_testing

Nu kunnen we het programma testen. Voer als het nodig is eerst de RSA-sleutel in.

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 2 ~/mpich\_build/examples/cpi

Process 0 of 2 is on raspberrypi

Process 1 of 2 is on raspberrypi

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

time is:---

34. Het lijkt alsof het programma is uitgevoerd op alleen de masternode omdat er twee keer dezelfde hostname voorkomt, maar dit is niet zo. Omdat we de naam van de workernode nog niet veranderd hebben geeft de uitkomst twee keer dezelfde naam. Dit kunnen we veranderen. Dit doen we vanaf de masternode. In dit commando moet het IP-adres van de workernode zijn. Eerst moet je weer naar de hoofdmap, daarna kun je de naam veranderen

pi@raspberrypi:~$ cd ˜

pi@raspberrypi:~$ ssh pi@192.168.1.--- 'sudo echo "workernode1" | sudo tee /etc/hostname'

Hierna moet je eerst weer de workernode opnieuw opstarten wil je de verandering van kracht laten worden. De onderstaande code wordt dus uitgevoerd op de workernode.

pi@raspberrypi:~$ sudo reboot

Hierna log je weer in op de masternode.

35. Als je nu weer het commando van stap 33 uitvoert krijg je als het goed is het volgende resultaat.

pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/mpi\_testing

Nu kunnen we het programma testen. Voer als het nodig is eerst de RSA-sleutel weer in.

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 2 ~/mpich\_build/examples/cpi

Process 0 of 2 is on raspberrypi

Process 1 of 2 is on workernode1

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

time is:---

De masternode en de workernode zijn nu helemaal af, nu is het alleen zaak om de configuratie van de workernode te kopiëren naar de andere workernodes. Dit doen we volgens stap 26-28.

Alle software die op de SD-kaart van de workernode staat gaan we naar de computer kopiëren.

* Verwijder de SD-kaart en plaats de SD-kaart in de kaartlezer;
* Start Win32 Disk Imager op;
* Klik op “Write”;
* Noem het bestand “**2012-08-16-wheezy-raspbian\_backup\_mpi\_worker.img**;
* Wacht met het verwijderen van de SD-kaart totdat het programma klaar is.

We hebben nu een kopie van de SD-kaart op de computer staan.

36. Stop een nieuwe SD-kaart in de computer en voer de procedure uit zoals beschreven op pagina 15 maar nu met **2012-08-16-wheezy-raspbian\_backup\_ \_mpi\_worker.img**.

37. Plaats de nieuwe SD-kaart in de tweede workernode. Sluit hierna ook de monitor, het toetsenbord en de muis aan op de tweede workernode. Sluit de tweede workernode aan op de netvoeding en log in met het wachtwoord die je in stap 5 hebt aangemaakt. Zoek het IP-adres op zoals beschreven in stap 21 en schrijf het IP-adres op. Log hierna uit van de workernode.

38. Nu moeten we eerst de RSA-sleutel naar de tweede workernode kopiëren. Dit doen we weer vanaf de masternode. Je maakt gebruik van het IP-adres van de tweede workernode.

pi@raspberrypi:~$ cat ~/.ssh/id\_rsa.pub | ssh pi@192.168.1.--- "cat >> .ssh/authorized\_keys"

39. Nu kun je stap 31 en 32 achter elkaar uitvoeren. Als dit gebeurt is sla je de veranderingen op.

192.168.1.---

192.168.1.---

192.168.1.---

40. Om het overzichtelijk te houden moeten we de naam van de tweede workernode ook nog veranderen. Dit doen we volgens stap 34.

pi@raspberrypi:~$ cd ˜

pi@raspberrypi:~$ ssh pi@192.168.1.--- 'sudo echo "workernode2" | sudo tee /etc/hostname'

Hierna moet je eerst weer de tweede workernode opnieuw opstarten wil je de verandering van kracht laten worden. De onderstaande code wordt dus uitgevoerd op de tweede workernode.

pi@raspberrypi:~$ sudo reboot

Hierna log je weer in op de masternode.

41. Als je nu weer het commando van stap 33 uitvoerd krijg je als het goed is het volgende resultaat.

pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/mpi\_testing

Nu kunnen we het programma testen. Voer als het nodig is eerst de RSA-sleutel weer in. Wel veranderen we het getal 2 in een 3. Dit zullen we later uitleggen.

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 3 ~/mpich\_build/examples/cpi

Process 0 of 3 is on raspberrypi

Process 1 of 3 is on workernode1

Process 2 of 3 is on workernode2

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

time is:---

Als het bovenstaande verschijnt betekent het dat alles correct werkt. Je hebt nu een supercomputer gebouwd met 3 nodes.

42. Om de supercomputer compleet te maken herhalen we het tweede gedeelte van stap 35 tot en met stap 40 voor de derde workernode. Alleen de naam van deze workernode veranderen we natuurlijk in “workernode3”.

Nu kunnen we het programma testen voor de uiteindelijke supercomputer. Voer als het nodig is eerst de RSA-sleutel weer in. Wel veranderen we het getal 2 in in de test code in een 4 (rood gearceerd). Dit zullen we later uitleggen.

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 4 ~/mpich\_build/examples/cpi

Process 0 of 4 is on raspberrypi

Process 1 of 4 is on workernode1

Process 2 of 4 is on workernode2

Process 3 of 4 is on workernode3

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

time is:---

Als het bovenstaande code goed wordt uitgevoerd betekent het dat alles correct werkt. Stap 42 kun je natuurlijk onbeperkt herhalen. We hebben nu onze supercomputer opgebouwd, de software geïnstalleerd en de computer getest voor het echte werk.

**2.4 Hoe testen we de supercomputer?**

Om onze supercomputer te testen moeten we natuurlijk een soort van benchmarkprogramma uitvoeren. In het bestand van het MPI-programma bevinden zich ook testprogramma’s. In het onderstaande tekstgedeelte wordt uitgelegd wat de tekstcode inhoudt.

Om te testen hebben we deze code gebruikt:

pi@raspberrypi:~$ mpiexec -f machinefile -n 2 ~/mpich\_build/examples/cpi

Het eerste gedeelte van het test programma bestaat uit een commando dat het testprogramma opstart en uitvoert:

mpiexec -f

In het tweede gedeelte wordt het bestand opgeroepen waar de IP-adressen in staan van alle nodes.

machinefile

In het derde gedeelte stelt de n het aantal keren voor dat het proces herhaalt moet worden.

-n (getal)

Het laatste gedeelte staat voor de map waar het testprogramma opgeslagen is.

~/mpich\_build/examples/cpi

Als het commando uitgevoerd is komt er eerst een lijst met resultaten te staan. In de lijst staat welk proces op welke node is uitgevoerd.

Process 0 of 4 is on raspberrypi

Process 1 of 4 is on workernode1

Process 2 of 4 is on workernode2

Process 3 of 4 is on workernode3

Direct daaronder word het getal pi weergegeven met zestien cijfers achter de komma.

pi is approximately 3.1415926544231318, Error is 0.0000000008333387

Daaronder staat hoelang de supercomputer erover deed om het proces te voltooien. De tijd is in seconden weergegeven.

time is:---

Nu we weten wat de verschillende waardes en codes inhouden kunnen we uitleggen wat het testprogramma doet. In de onderstaande opsomming wordt weergegeven hoe het testprogramma te werk gaat .

1. Open het testprogramma;
2. Controleer het aantal keren dat het proces herhaalt;
3. Bereken pi op zestien cijfers achter de komma nauwkeurig;
4. De uitkomst wordt vermenigvuldigd met het aantal keren dat het proces herhaalt moet worden;
5. Geef op het scherm weer hoe het programma verdeelt is over de nodes;
6. Geef op het scherm het getal pi weer;
7. Geef op het scherm weer wat de totale berekeningstijd was.

**2.5 Deelconclusie**

Als we een supercomputer gaan bouwen is het eerst belangrijk om te weten wat we nodig hebben. Het is ook belangrijk dat je weet welke software je nodig hebt en weet hoe je met de software om moet gaan. Het belangrijkste is dat je weet wat je aan het doen bent.

Nadat je weet welke hard- en software je nodig hebt kun je beginnen met het opbouwen van de supercomputer en kun je de software installeren. Als alles klaar staat en geïnstalleerd is kun je beginnen met het testen.

3 Hebben we een goedkope, maar snelle, supercomputer gebouwd?

**3.1 Meetresultaten**

We hebben de computer drie keer getest met hetzelfde testprogramma. In de tabellen hieronder wordt weergegeven wat de resultaten waren. Uiterst links in de tabel staat, van boven naar beneden, hoe vaak het proces herhaald is. In de bovenste rij staat van links naar rechts weergegeven hoeveel computers er gebruikt. Tabel 4 is het gemiddelde van de eerste drie tabellen.

Tabel 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 node | 2 nodes | 3 nodes | 4 nodes |
| 1 | 0,002135 sec. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| 2 | 0,00315 sec. | 0,007983 sec. | n.v.t. | n.v.t. |
| 4 | 0,010841 sec. | 0,012613 sec. | 0,042662 sec. | n.v.t. |
| 8 | 0,028408 sec. | 0,051969 sec. | 0,054611 sec. | 0,05273 sec. |
| 16 | 0,147619 sec. | 0,115634 sec. | 0,097147 sec. | 0,113989 sec. |
| 32 | 0,284705 sec. | 0,286895 sec. | 0,238052 sec. | 0,221995 sec. |
| 64 | 1,018132 sec. | 0,536145 sec. | 0,804157 sec. | 0,491319 sec. |
| 128 | Unable | 0,950777 sec. | 2,41967 sec. | 1,929851 sec. |
| 256 | Unable | Unable | Unable | 7,610084 sec. |
| 512 | Unable | Unable | Unable | Unable |

Tabel 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1 node** | **2 nodes** | **3 nodes** | **4 nodes** |
| **1** | 0,002148 sec. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| **2** | 0,016121 sec. | 0,016748 sec. | n.v.t. | n.v.t. |
| **4** | 0,032143 sec. | 0,022813 sec. | 0,021251 sec. | n.v.t. |
| **8** | 0,058429 sec. | 0,036615 sec. | 0,05207 sec. | 0,042906 sec. |
| **16** | 0,110396 sec. | 0,117291 sec. | 0,126644 sec. | 0,078672 sec. |
| **32** | 0,418441 sec. | 0,239878 sec. | 0,248083 sec. | 0,213723 sec. |
| **64** | 0,578172 sec. | 0,628566 sec. | 0,812164 sec. | 0,66818 sec. |
| **128** | Unable | 1,33153 sec. | 2,424936 sec. | 1,868078 sec. |
| **256** | Unable | Unable | Unable | 7,230794 sec. |
| **512** | Unable | Unable | Unable | Unable |

Tabel 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1 node** | **2 nodes** | **3 nodes** | **4 nodes** |
| **1** | 0,00223 sec. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| **2** | 0,004813 sec. | 0,008327 sec. | n.v.t. | n.v.t. |
| **4** | 0,038705 sec. | 0,017027 sec. | 0,024561 sec. | n.v.t. |
| **8** | 0,060591 sec. | 0,04325 sec. | 0,061106 sec. | 0,055982 sec. |
| **16** | 0,128952 sec. | 0,117092 sec. | 0,12615 sec. | 0,083591 sec. |
| **32** | 0,328056 sec. | 0,264121 sec. | 0,267068 sec. | 0,210871 sec. |
| **64** | 0,683087 sec. | 0,616728 sec. | 0,78984 sec. | 0,637776 sec. |
| **128** | Unable | 1,049713 sec. | 2,590496 sec. | 1,945257 sec. |
| **256** | Unable | Unable | Unable | 6,770491 sec. |
| **512** | Unable | Unable | Unable | Unable |

Tabel 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1 node** | **2 nodes** | **3 nodes** | **4 nodes** |
| **1** | 0,002171 se. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| **2** | 0,008028 sec. | 0,011019 sec. | n.v.t. | n.v.t. |
| **4** | 0,02723 sec. | 0,017484 sec. | 0,029491 sec. | n.v.t. |
| **8** | 0,049143 sec. | 0,043945 sec. | 0,055929 sec. | 0,050539 sec. |
| **16** | 0,128989 sec. | 0,116672 sec. | 0,116647 sec. | 0,092084 sec. |
| **32** | 0,343734 sec. | 0,263631 sec. | 0,251068 sec. | 0,21553 sec. |
| **64** | 0,759797 sec. | 0,593813 sec. | 0,802054 sec. | 0,599092 sec. |
| **128** | Unable | 1,110673 sec. | 2,478367 sec. | 1,914395 sec. |
| **256** | Unable | Unable | Unable | 7,20379 sec. |
| **512** | Unable | Unable | Unable | Unable |

**3.2 Verwerking**

Bij het verwerken van de meetresultaten moeten we eerst vaststellen wat we willen weten. We willen weten of we een goedkope en efficiënte supercomputer kunnen bouwen. Daarom zullen we eerst kijken of we een goedkope supercomputer gebouwd hebben. Daarvoor hebben we een lijst opgesteld met de onderdelen die we gebruikt hebben:

Kostprijs

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Naam** | **Aantal** | **Prijs per stuk** | **Bedrag** |
| Raspberry Pi Model B | 4 | € 34,79 | € 139,14 |
| N-Way 8-poorts switch zwart | 1 | € 22,99 | € 22,99 |
| Netwerkkabel RJ45 CAT 5e U/UTP GRIJS 1 m | 4 | € 1,49 | € 5,96 |
| Netwerkkabel RJ45 CAT 5e U/UTP GRIJS 5 m | 1 | € 3,09 | € 3,09 |
| VOLTCRAFT micro-usb netvoeding 5V/ 1000 mA | 1 | € 7,99 | € 7,99 |
| Transcend 16GB SDHC Class 10 | 4 | € 11,50 | € 46 |
| HDMI naar VGA omvormer | 1 | € 59,95 | € 59,95 |
| HDMI 1.4 kabel (high speed) | 1 | € 7,95 | € 7,95 |
| SVGA monitor kabel | 1 | € 14,95 | € 14,95 |
| **Totaal** |  |  | **€ 332,01** |

Onze supercomputer met 104,7 GFlop/s kostte dus € 332,01. Om uit te rekenen wat één GFlop kost, stellen we een simpele rekensom op.

€ 332,01 / 104,7 GFlops = € 3,17/GFlop

We vergelijken onze uitslag met de snelste computer op aarde. De snelste supercomputer op aarde heeft een rekencapaciteit van omgerekend 17590000 GFLops/s en kostte omgerekend 74,3 miljoen euro. Om uit te rekenen wat één GFlop kost, stellen we weer een simpele rekensom op.

€ 74000000,00 / 17590000 GFlops = € 4,20/GFlop

Aan de hand van deze ruwe schattingen kunnen we concluderen dat we een goedkopere supercomputer gebouwd hand. Ook als we vergelijken met andere supercomputers blijken de kosten van onze supercomputer per GFLop minder te zijn dan andere supercomputers. Deze schattingen zijn uiteraard erg ruw, daarom kunnen we niet verantwoordelijk worden gehouden voor enige vergissingen.

Uiteindelijk telt de prestatie van de supercomputer alleen maar. Daarom zullen we nu kijken naar de prestaties die de supercomputer gemaakt heeft.

Als we in de tabel kijken valt ons wat op. Als je naar de tweede kolom kijkt zijn alle uitkomsten hoger dan in de eerste kolom. Dat betekent dat de rekencapaciteit omhoog is gegaan. Je zou dan verwachten dat de rekentijd omlaag is gegaan. Dat is niet zo. Dit houd in dat er een vertragende factor in het proces zit. Het enige wat het proces kan vertragen is het netwerk waarover de nodes met elkaar communiceren. Daarom is het bij supercomputers belangrijk dat het communicatienetwerk de rekensnelheid van de nodes kan bijhouden

Ook in de derde kolom is er nog weinig verandering. Dat komt doordat je de processen moeilijk kunt verdelen over een ongelijk getal waardoor de rekentijd niet minder wordt. Pas in de vierde kolom is er een groter verschil te zien in de rekentijd.

Na deze conclusie moeten we concluderen dat het netwerk de grootste vertragende factor is in het verkorten van de rekentijden.

Wel kunnen vier nodes meer werk aan dan één node. Dat is kun je zien in de rij waarin het proces 128 keer herhaalt wordt; in dat proces staat bij één node “Unable”. Dit houdt in dat één node het proces niet 128 keer kan herhalen. Meerdere nodes tegelijk kunnen dat wel halen.

**3.3 Deelconclusie**

Nadat de computer getest is kun je beginnen om de supercomputer aan een stevige opdracht te zetten. Wij kozen voor het programma waar de supercomputer het getal pi op zestien cijfers achter de komma berekend en dat proces herhaalt voor het getal n. Toen de resultaten bekend waren konden we controleren of we inderdaad een goedkope supercomputer gebouwd die goed presteert in de verhouding met de prijs.

Al we naar de prestaties kijken zien we dat het proces pas bij vier nodes tegelijk een kortere rekentijd neerzet. Dat komt doordat het netwerk het proces erg vertraagt. Kijken we naar de prijs dan moeten we vaststellen dat we in vergelijk met meerdere supercomputers onder het gemiddelde liggen van de verhouding euro/GFlops. Dat betekent dat we op basis van een goedkope computer best een goedkope supercomputer bouwen.

Daarom is de conclusie dan ook als volgt. Heeft men rekenkracht nodig voor een lage prijs dan kun je op basis van een Raspberry Pi en het principe van distributed computing een goedkope supercomputer bouwen. Heeft men rekenkracht nodig op basis van prestatie dan is het beter om uit te wijken naar een beter alternatief.

4 Eindconclusie

Een supercomputer is een computer die een heel grote rekencapaciteit bevat. De capaciteit van een dergelijke supercomputer kan op diverse manieren uitgedrukt: In FLOP/s (floating point operations per second) en in MIP/s (million instructions per second). De supercomputer wordt getest met een benchmarkprogramma. Een benchmark is een reeks berekeningen waarbij de maximale rekencapaciteit van de supercomputer getest wordt. De supercomputer wordt voornamelijk ingezet voor wetenschappelijke doeleinden. Het gebruik van de supercomputer valt onder de wetenschapstak Computational Science. De belangrijkste vakgebieden zijn: klimaatvraagstukken, watermanagement, nanotechnologie en fysica.

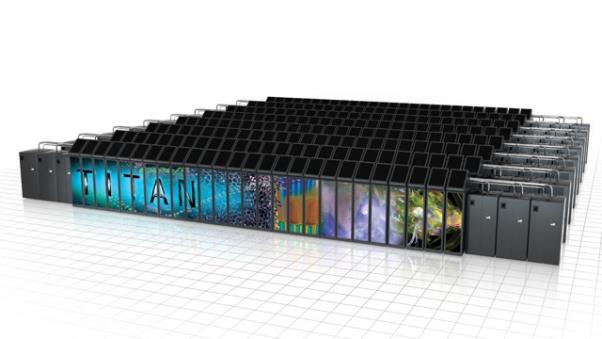
Als we een supercomputer gaan bouwen is het eerst belangrijk om te weten wat we nodig hebben. Het is ook belangrijk dat je weet welke software je nodig hebt en weet hoe je met de software om moet gaan. het belangrijkste is dat je weet wat je aan het doen bent.

Als je weet welke hard- en software je nodig hebt kun je beginnen met het opbouwen van de supercomputer en kun je de software installeren. Als alles klaar staat en geïnstalleerd is kun je beginnen met het testen.

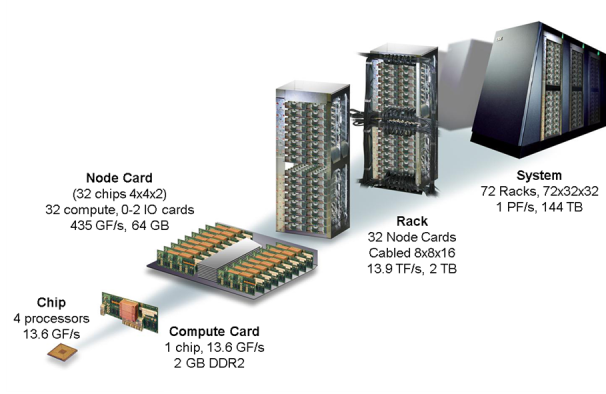
Nadat de computer getest is kun je beginnen om de supercomputer aan een stevige opdracht te zetten. Wij kozen voor het programma waar de supercomputer het getal pi op zestien cijfers achter de komma berekend en dat proces herhaalt voor het getal n. Al we naar de prestaties kijken zien we dat het proces pas bij vier nodes tegelijk een kortere rekentijd neerzet. Dat komt doordat het netwerk het proces erg vertraagt. Kijken we naar de prijs dan moeten we vaststellen dat we in vergelijk met meerdere supercomputers onder het gemiddelde liggen van de verhouding euro/GFlops. Dat betekent dat we op basis van een goedkope computer best een goedkope supercomputer bouwen.

Daarom is de conclusie dan ook als volgt: Heeft men rekenkracht nodig voor een lage prijs dan kun je op basis van een goedkope computer (Raspberry Pi) en het principe van distributed computing een goedkope supercomputer bouwen. Heeft men rekenkracht nodig op basis van prestatie dan is het beter om uit te wijken naar een alternatief.

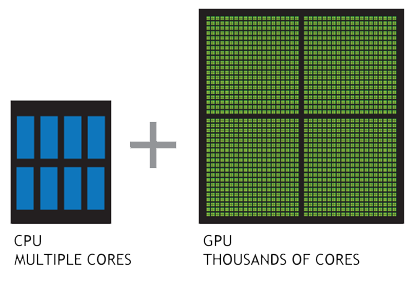
5 Bijlagen

****

Afbeelding 1 De snelste computer ter wereld



Afbeelding 2 De opbouw van een supercomputer

****

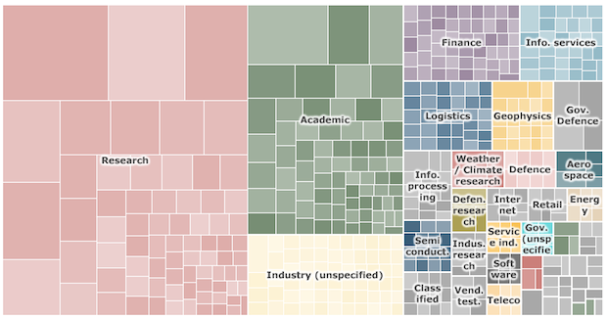
Afbeelding 3 De CPU en de GPU

****

**Afbeelding 4 Bull, een supercomputerfabrikant**

****

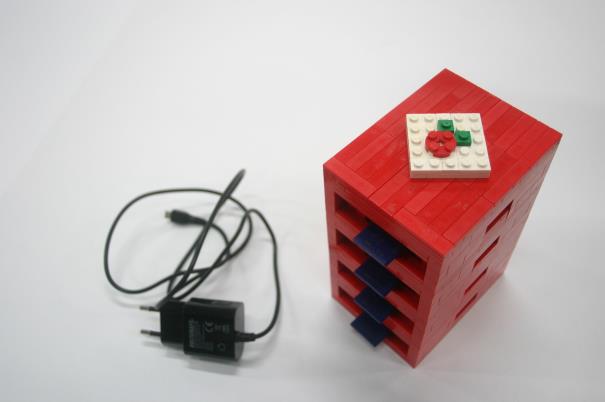
Afbeelding 5 De lijst van beste computers

****

Afbeelding 6 Het gebruik van supercomputers

****

Afbeelding 7 De Raspberry Pi

****

**Afbeelding 8 De computer met stroomadapter**

****

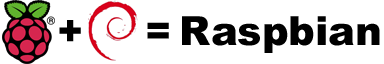
Afbeelding 9 De netwerkswitch met toebehoren

****

**Afbeelding 10 De SD-kaart met de software**

****

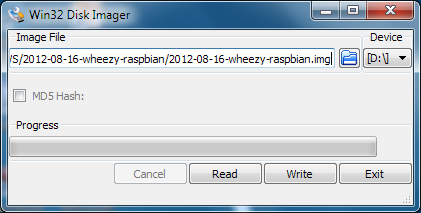
Afbeelding 11 De behuizing van de supercomputer

****

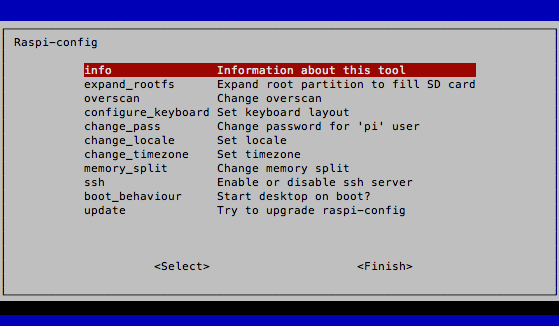
Afbeelding 12 Het besturingssysteem

****

Afbeelding 13 De complete opstelling

****

Afbeelding 14 Win32 Disk Imager



**Afbeelding 15 Het opstartscherm**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Model B |
| Richtprijs: | €35 |
| SoC: | Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + DSP) |
| CPU: | 700 MHz ARM1176JZF-S core [ARM11](http://nl.wikipedia.org/wiki/ARM-instructieset) (kan worden [overgeklokt](http://nl.wikipedia.org/wiki/Overklokken) naar 1000 MHz (1 GHz).) |
| GPU: | Broadcom VideoCore IV |
| Harde schijf: | [SD-kaart](http://nl.wikipedia.org/wiki/SD-kaart) van 2 GB of meer |
| Geheugen (SDRAM): | 512 MB (256 MB voor 15 oktober 2012) gedeeld met GPU |
| USB 2.0-poorten: | 2 (via gere-integreerde USB-hub) |
| Video-uitgangen: | [Composite RCA](http://nl.wikipedia.org/wiki/Composietvideo) (PAL en NTSC), [HDMI](http://nl.wikipedia.org/wiki/HDMI) (rev. 1.3 & 1.4), [lcd](http://nl.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal_display) via [DSI](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Display_Serial_Interface&action=edit&redlink=1).  14 HDMI resoluties van 640×350 tot 1920×1200 met nog enkele [PAL](http://nl.wikipedia.org/wiki/Phase_Alternating_Line)- en [NTSC](http://nl.wikipedia.org/wiki/NTSC)-standaarden. |
| Audio-uitgangen: | [3,5mm-jack](http://nl.wikipedia.org/wiki/Klink_(stopcontact)), [HDMI](http://nl.wikipedia.org/wiki/HDMI) |
| Netwerk: | 10/100 [ethernet](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ethernet) |
| Energiegebruik: | 700 mA (3,5 W) |
| Stroomvoorziening: | 5 [V](http://nl.wikipedia.org/wiki/Volt_(eenheid)) via [micro-USB](http://nl.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus) of optionele GPIO header |

**Specificaties van de Raspberry Pi Model B**

#include "mpi.h"

#include <stdio.h>

#include <math.h>

**int main( int argc, char \*argv[] )**

{

int n, myid, numprocs, i;

double PI25DT = 3.141592653589793238462643;

double mypi, pi, h, sum, x;

[MPI\_Init](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Init.html#MPI_Init)(&argc,&argv);

[MPI\_Comm\_size](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Comm_size.html#MPI_Comm_size)(MPI\_COMM\_WORLD,&numprocs);

[MPI\_Comm\_rank](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Comm_rank.html#MPI_Comm_rank)(MPI\_COMM\_WORLD,&myid);

while (1) {

if (myid == 0) {

printf("Enter the number of intervals: (0 quits) ");

scanf("%d",&n);

}

[MPI\_Bcast](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Bcast.html#MPI_Bcast)(&n, 1, MPI\_INT, 0, MPI\_COMM\_WORLD);

if (n == 0)

break;

else {

h = 1.0 / (double) n;

sum = 0.0;

for (i = myid + 1; i <= n; i += numprocs) {

x = h \* ((double)i - 0.5);

sum += (4.0 / (1.0 + x\*x));

}

mypi = h \* sum;

[MPI\_Reduce](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Reduce.html#MPI_Reduce)(&mypi, &pi, 1, MPI\_DOUBLE, MPI\_SUM, 0,

MPI\_COMM\_WORLD);

if (myid == 0)

printf("pi is approximately %.16f, Error is %.16f\n",

pi, fabs(pi - PI25DT));

}

}

[MPI\_Finalize](http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/www/www3/MPI_Finalize.html#MPI_Finalize)();

return 0;

}

**Het programma om pi te berekenen en het programma dat het proces herhaalt voor het getal n.**

program main

include "mpif.h"

double precision PI25DT

parameter (PI25DT = 3.141592653589793238462643d0)

double precision mypi, pi, h, sum, x, f, a

double precision starttime, endtime

integer n, myid, numprocs, i, ierr

c function to integrate

f(a) = 4.d0 / (1.d0 + a\*a)

call MPI\_INIT(ierr)

call MPI\_COMM\_RANK(MPI\_COMM\_WORLD, myid, ierr)

call MPI\_COMM\_SIZE(MPI\_COMM\_WORLD, numprocs, ierr)

10 if ( myid .eq. 0 ) then

print \*, 'Enter the number of intervals: (0 quits) '

read(\*,\*) n

endif

c broadcast n

starttime = MPI\_WTIME()

call MPI\_BCAST(n,1,MPI\_INTEGER,0,MPI\_COMM\_WORLD,ierr)

c check for quit signal

if ( n .le. 0 ) goto 30

c calculate the interval size

h = 1.0d0/n

sum = 0.0d0

do 20 i = myid+1, n, numprocs

x = h \* (dble(i) - 0.5d0)

sum = sum + f(x)

20 continue

mypi = h \* sum

c collect all the partial sums

call MPI\_REDUCE(mypi,pi,1,MPI\_DOUBLE\_PRECISION,MPI\_SUM,0,

& MPI\_COMM\_WORLD,ierr)

c node 0 prints the answer.

endtime = MPI\_WTIME()

if (myid .eq. 0) then

print \*, 'pi is ', pi, ' Error is', abs(pi - PI25DT)

print \*, 'time is ', endtime-starttime, ' seconds'

endif

goto 10

30 call MPI\_FINALIZE(ierr)

stop

end

Het programma dat de rekentijd weergeeft.**6 Bronvermelding**

Boeken:

* Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW), Kabinetsvisie supercomputers en supernode in Nederland, (Den Haag, 2009);
* Simon Cox, Steps to make Raspberry Pi Supercomputer, (2012, Southampton)
* Pavan Balaji e.a., MPICH2 User Guide, (2011, Argonne);
* Pavan Balaji e.a., MPICH2 Installation Guide, (2011, Argonne);
* Stichting Nationale Computerfaciliteiten (NCF), Rekenen helpt!, (Den Haag, 2009).

Internetadressen:

* http://www.vortech.nl/dossiers/high-performance-computing/
* http://westcoastlabs.blogspot.nl/2012/06/parallel-processing-on-pi-bramble.html
* http://en.wikipedia.org/wiki/Supercomputer
* http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\_cluster
* http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed\_computing
* http://en.wikipedia.org/wiki/FLOPS
* http://en.wikipedia.org/wiki/Cpu
* http://en.wikipedia.org/wiki/Graphics\_processing\_unit
* http://www.nvidia.com/object/what-is-gpu-computing.html
* http://en.wikipedia.org/wiki/GPGPU
* http://www.top500.org/
* http://www.raspberrypi.org/
* http://nl.wikipedia.org/wiki/Raspberry\_Pi
* http://www.raspbian.org/

# http://nl.farnell.com/jsp/bespoke/bespoke7.jsp?ICID=I-RASP-HPBLOF-0015&bespokepage=farnell/en\_UK/promotions/raspberryPiex.jsp

* http://www.conrad.nl/ce/nl/product/973219/N-Way-8-poorts-switch-zwart/0415143&ref=list
* http://www.conrad.nl/ce/nl/product/990417/Netwerkkabel-RJ45-CAT-5e-UUTP-Grijs-1-m/0410132&ref=list
* http://www.conrad.nl/ce/nl/product/990473/Netwerkkabel-RJ45-CAT-5e-UUTP-Grijs-5-m/0410132&ref=list
* http://www.allekabels.nl/na/19/1097754/SVGA-Monitor-Kabel.html
* http://www.informatique.nl/519992/transcend-16gb-sdhc-class-10.html
* http://www.allekabels.nl/na/1792/1174350/HDMI-naar-VGA-Omvormer.html
* http://www.allekabels.nl/na/4519/1193316/AANBIEDING-:-HDMI-1.4-kabel-(high-speed).html
* http://www.conrad.nl/ce/nl/product/518376/br---VOLTCRAFTbr---SPS-1000-MicroUSB-USB-voeding-micro-USB-oplader-stekkervoeding-5-Vbr1000-m/SHOP\_AREA\_17455&promotionareaSearchDetail=005
* http://www.webstreet.com/super\_computer.htm

Logboek

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Datum** | **Studielast** | **Verrichte werkzaamheden** | **Ervaringen** | **Afspraken** |
| 01-06 | 15 min. | Overleg met begeleider. |  | Informatie zoeken |
| 02-06 t/m 17-06 | 2 uur | Informatie gezocht op het internet. | Een project met Rasberry Pi, Supercomputer, goedkope computer, LEGO, ... |  |
| 30-08 | 2 uur | In de zomervakantie zijn de spullen besteld. | Spullen zijn op korte termijn niet leverbaar |  |
| 30-09 t/m 11-10 | 8 uur | Informatie opgezocht en uitgezocht. Beginnen met profielwerkstuk. |  |  |
| 12-10 | 1 uur | Definitieve onderzoeksvraag opgesteld. |  |  |
| 15-10 t/m 20-10 | 24 uur | De supercomputer opbouwen, installeren, en testen. |  |  |
| 01-11 t/m 07-01 | 40 uur | Profielwerkstuk verder uitwerken. | Slechte planning |  |

Evaluatie

Hoe is je planning uitgepakt?

In het begin ging het best goed. Doordat de spullen laat binnen waren kon er pas laat getest worden. Daardoor kon het profielwerkstuk ook niet op tijd af zijn. In de laatste weken voor de inleverdatum moest er nog hard gewerkt worden om het profielwerkstuk op tijd af te krijgen.

Welke grotere problemen heb je op welke manier opgelost of niet kunnen oplossen?

Het grootste probleem was de levering van de goederen. Dit duurde heel lang waardoor er tijd verloren ging. Ook kwam ik op het laatst met de planning niet goed uit waardoor ik op het laatst nog hard moest werken om het profielwerkstuk op tijd af te krijgen.

Wat vind je van de kwaliteit van je PWS ?

Ik denk dat het profielwerkstuk in ieder geval op niveau is. Ook is het specifiek op de informatica gericht waardoor niet iedereen alles zal begrijpen. Ook vind ik het belangrijk dat het profielwerkstuk er netjes uit moet komen te zien.

Welk cijfer zou je jezelf willen toekennen?

Ik denk dat een 7 terecht is.

Hoe beoordeel je de begeleiding door je vakdocent?

De vak begeleider was er wanneer ik hulp nodig had. Ook heeft hij de spullen besteld. Kortom, ik kon een beroep op hem doen als ik hulp nodig had.

Fraude clausule

**Datum en handtekening leerling(en)**:

Fraude clausule PWS:

Met het inleveren van het werkstuk geeft de leerling aan dat

* Hij/zij de pws-wijzer heeft geraadpleegd bij het opzetten van de pws structuur;
* Hij /zij het werkstuk zelf gemaakt heeft;
* Er geen delen van bestaande werkstukken zijn overgenomen of delen van websites of literatuur zonder bronvermelding (plagiaat). Een leerling die geen duidelijke bronverwijzing weergeeft per pagina, per hoofdstuk suggereert alle info van zich zelf te hebben.

Na het constateren van fraude wordt dit gemeld aan het Management Team (MT) en BGT bovenbouw TF en krijgt de leerling een onvoldoende voor het werkstuk. In eigen tijd en op school tijdens strafzaterdagen wordt een 2e werkstuk gemaakt.

Proces:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Vakbegeleiders registreren**  **het proces:** |  | **Docent**  **code** | **Paraaf**  **datum** |
|  | Introductie PWS | **mei 2012** |  |  |
|  | Inleveren keuze formulier digitaal  Inventariseren en toedelen (vak)begeleiders |  |  |  |
|  | Bijeenkomst vakbegeleiders |  |  |  |
| **1e** | contact met vakbegeleider:  - oriëntatie over onderwerp en literatuur | **Tot en met do 31-5** |  |  |
| **2e** | contact met vakbegeleider:  - Inleveren werkplan met onderzoeksvraag  7 juni. Je hebt een goedgekeurde literatuurlijst en onderzoeksvraag nodig voor je procesvoldoende. | **do 14-6 inleveren**  Niet op tijd inleveren geeft  1 punt vermindering op je eindcijfer |  |  |
| **3e** | contact met vakbegeleider:  -   tot ma 30 augustus: bespreking voortgang en planning | **Voor Ma 10-9** |  |  |
| **4e** | contact met vakbegeleider:  - 27-9 Inleveren deelvraag 1 | **Di 2-10** |  |  |
| **5e** | contact met vakbegeleider:  - 11-10 laatste voortgangsgesprek | **Di 13-11** |  |  |
|  | Werk-vakantie | **15-20 oktober vakantie** |  |  |
|  | Inleveren PWS in 3-voud bij TF Balie Ho, Bks, Mdr ; bij vakbegeleider en via teletop | **Vr 30 november 2012 inleveren** |  |  |

1. Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, Kabinetsvisie supercomputers en supernode in Nederland, blz. 7-8. [↑](#footnote-ref-2)
2. Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, Kabinetsvisie supercomputers en supernode in Nederland, blz. 9-10. [↑](#footnote-ref-3)